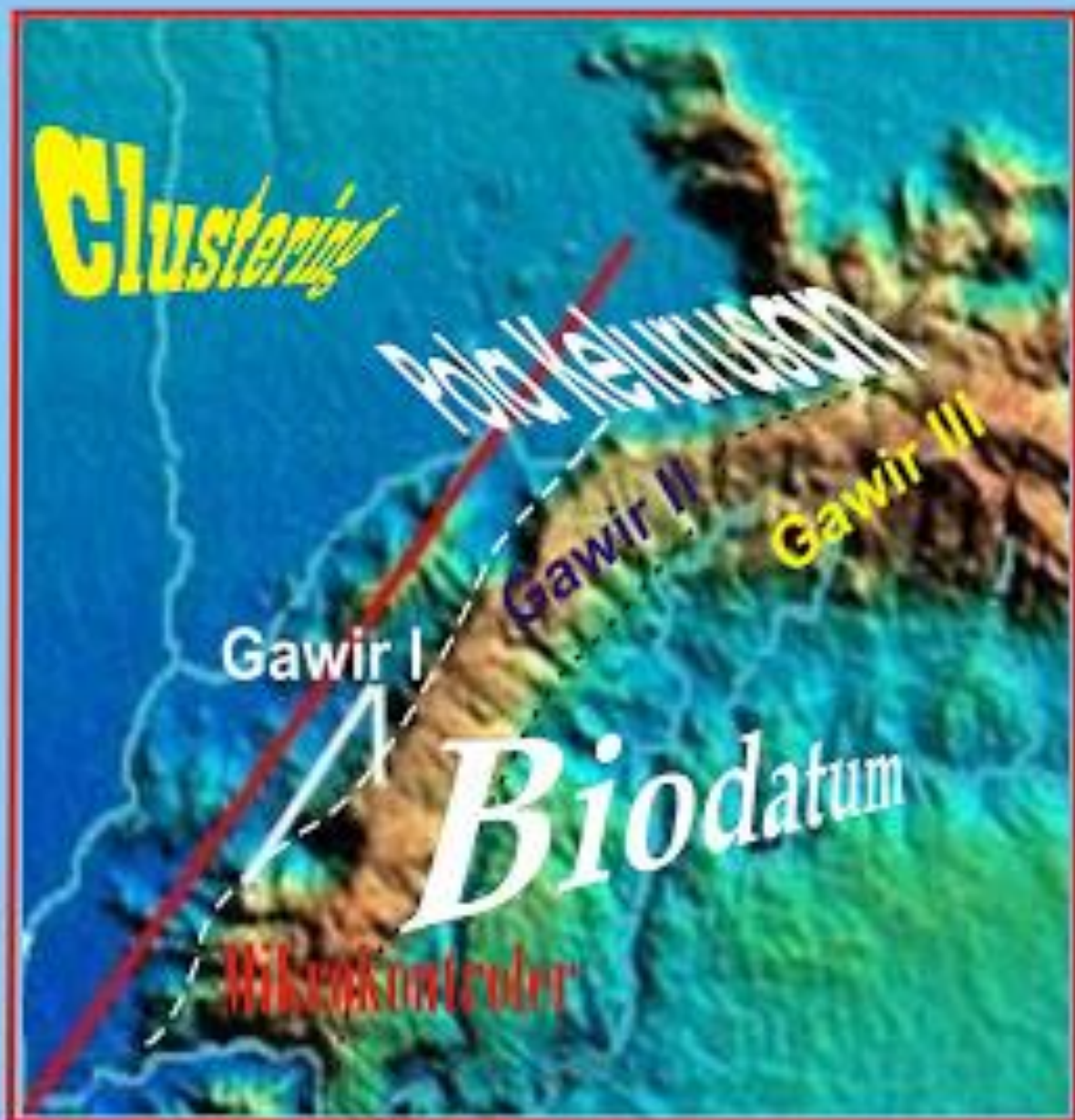


ISSN : 1979-8415

Jurnal Teknologi

TECHNOSCIENTIA

Vol. 1 No. 2 Februari 2009



DAFTAR ISI

Efek Penambahan Frasa dalam <i>Feature</i> Kata untuk <i>Clustering</i> Dokumen Teks <i>Amir Hamzah</i>	141 - 148
hubungan sebaran gerakan tanah dengan kelurusan struktur geologi berdasarkan interpretasi citra <i>landsat</i> di daerah kebumen jawa tengah <i>Arief Mustofa Nur , Chusni Ansori, Dwi Novi Purnami</i>	149 – 154
S Wave Velocity Structure in Non-tectonic Indo-China by Analyzing the Earthquakesin Sumatra-Java in TATO Station, Taiwan <i>Bagus Jaya Santosa</i>	155 – 163
optimalisasi temperatur pemanasan cetakan permanen (300°C, 350°C, 400°C) terhadap sifat mekanik paduan aluminium-magnesium (seri 5xxx) <i>basuki widodo</i>	164 – 172
aplikasi ergonomi pada pembuatan standar <i>hard competency</i> <i>Eko Nurmianto, Widha Kusuma Ningdyah</i>	173 – 181
perancangan alat pemecah kedelai yang ergonomis dengan pendekatan integrasi model kano & quality function deployment <i>Endang Widuri Asih</i>	182– 193
efek penambahan asam sitrat dan lama pemanasan terhadap mutu minyak kacang tanah selama penyimpanan <i>Enny Karti Basuki Susiloningsih</i>	194– 200
analisis pengendalian kualitas melalui evaluasi dan perbaikan proses produksi dengan pendekatan metode <i>control chart</i> dan metode <i>taguchi</i> <i>Joko Susetyo, M. Yusuf, Ardi Saputro</i>	201 – 211
pengujian kinerja mesin dan emisi gas buang mesin diesel berbahan bakar emulsi pada berbagai tekanan injeksi <i>Lukas Kano Mangalla, I Made Suardjaja</i>	212 – 220
analisis penentuan konfigurasi jaringan distribusi terbaik antara <i>warehouse</i> dan <i>demand region</i> dengan menggunakan model <i>bi-criteria</i> <i>Muhammad Yusuf, Imam Sodikin</i>	221 –229
reduksi derau dengan menggunakan tapis adaptif <i>Samuel Kristiyana</i>	230 – 237
biostratigrafi dan biodatum foraminifera planktonic sumur-95 di daerah cepu kabupaten blora jawa tengah <i>Siwi Sanyoto</i>	238 – 246
aplikasi <i>centrifuge turntable</i> berbasis mikrokontroler at89c51 dengan penampil lcd gm2004 <i>Slamet Hani</i>	247 –253
analisis distribusi kerusakan akibat gempabumi 27 mei 2006 melalui pendekatan kegunungapian di daerah wonolelo dan sekitarnya, kabupaten bantul, daerah istimewa yogyakarta <i>S. Mulyaningsih, Y.T. Husadani, L.R.Devi, S.N. Irawan</i>	254– 265

- sistem kunci elektronis dengan perekam waktu akses berbasis mikrokontroler
at89c51
Subandi 266 – 273
- analisis perawatan robot spot untuk mengetahui keandalan mesin produksi dan
ketersediaan *spare part* pada departement maintenance pt. astra daihatsu motor
jakarta
Suhartono 274 – 283

EFEK PENAMBAHAN FRASA DALAM *FEATURE* KATA UNTUK *CLUSTERING* DOKUMEN TEKS

Amir Hamzah¹

¹ Jurusan Teknik Informatika, IST AKPRIND, Jl. Kalisahak No. 28 Yogyakarta

Masuk: 15 Juni 2008 , revisi masuk: 17 Desember 2008, diterima: 20 Januari 2009

ABSTRACT

Text document clustering has been intensively studied because of its important role in text-mining and information retrieval. High dimensionality problem caused by high number of words is always happened in word-based clustering technique using vector space model. Although extracting words in the preprocessing phase is simple, the collection itself can not only be viewed as a set of words but also a set of partly more than one word phrase. Separating a phrase into its parts can eliminate the actual meaning of phrase. Therefore in order to maintain the context of words a phrase must be maintained as a phrase. It is assumed that by adding phrases to words as features in clustering will improve the performance. This paper will study the comparison of word-based and phrase-based clustering. Two clustering models were chosen i.e. hierarchical and partition. Four similarity techniques i.e.: Group Average, Complete Link, Single Link, and Cluster Center were tried for hierarchical, K-Means and Bisecting K-Mean and Buckshot for partition. A document collection from 200-800 news text that has been categorized manually was used to test these algorithms by using F-measure as criteria of clustering performance. This value was derived from Recall and Precision and can be used to measure the performance of the algorithms to correctly classify the collections. Results show that by adding phrases or simply word pair, although it's still not statistically significant, it slightly improves the performance of clustering.

Keywords: *Word-Base Clustering, Phrase-Based Clustering, Clustering Performance*

INTISARI

Clustering dokumen merupakan teknik yang intensif dipelajari karena peran pentingnya dalam *text mining* dan sistem temu kembali informasi. Problem tingginya dimensi ruang vektor yang disebabkan banyaknya jumlah kata selalu terjadi dalam teknik *clustering* berbasis kata menggunakan model ruang vektor. Meskipun mengekstrak kata dalam tahap *preprocessing* cukup sederhana, tetapi koleksi dokumen itu sendiri tidak hanya dapat dilihat sebagai kumpulan kata tetapi juga sebagian adalah kumpulan frasa yang terdiri lebih dari satu kata. Pemisahan frasa menjadi kata terpisah dapat menghilangkan makna sebenarnya dari frasa tersebut. Dengan demikian untuk melindungi konteksnya sebuah frasa harus tetap ditangani sebagai frasa. Diasumsikan bahwa dengan menambah frasa ke dalam *feature* akan meningkatkan kinerja *clustering*. Tulisan ini akan membandingkan kinerja *clustering* berbasis kata dan frasa. Dua model *clustering* dipilih, yaitu model *hierarchi* dan partisi. Untuk model *hierarchi* dipilih empat teknik yaitu *Group Average*, *CompleteLink*, *SingleLink* dan *ClusterCenter*, sedangkan untuk model partisi diambil metode *K-Means*, *Bisecting K-Means* dan *Buckshot*. Koleksi dokumen teks berita bahasa Indonesia 200 sampai 800 dokumen yang telah dikluster manual digunakan sebagai uji coba. Parameter yang digunakan untuk membandingkan kinerja algoritma adalah *F-measure*, nilai yang diturunkan dari *recall* dan *precision*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan frasa meningkatkan kinerja *clustering*, meskipun uji statistik belum menunjukkan signifikan.

Kata Kunci : *Clustering* Berbasis Kata, *Clustering* Berbasis Frasa, Kinerja *Clustering*

¹ Email: miramzah@yahoo.co.id,
telp:(0274)-563029

PENDAHULUAN

Clustering dokumen teks menduduki posisi penting dalam *text data mining* dan *text information retrieval*. Hal ini karena dengan intensifnya teknologi digital dalam manajemen menyebabkan koleksi dokumen meningkat eksponensial. Saat ini dalam web lebih dari 36 Milyar dokumen teks dikoleksi google (www.google.com, 2008). Diperkirakan bahwa sebagian besar informasi (80% lebih) dalam suatu perusahaan adalah teks (Tan,1999). Hal ini mendorong kebutuhan riset untuk elaborasi koleksi teks (*text-mining*) dan riset untuk optimalisasi me-sin pencari informasi (*IR-system*).

Dalam model ruang vektor dimana koleksi dokumen diwakili oleh matrik kata-dokumen dan sebuah dokumen diwakili oleh sebuah vektor dalam ruang dimensi t , dengan t jumlah kata dalam koleksi dokumen tersebut, umum dijumpai bahwa dimensi t sangat tinggi (Dhillon et al, 2001). Dalam dimensi tinggi jarak antar titik akan cenderung bernilai sama (Hinneburg and Keim, 1999). Hal ini berakibat algoritma *clustering* yang bertumpu pada fungsi jarak menghasilkan solusi yang bias. Reduksi dimensi ruang vektor dapat ditempuh pada tahap *clustering* atau tahap *pre-processing*. Pada tahap *clustering* reduksi ditempuh dengan pendekatan misalnya *projected clustering* (Aggarwal et al, 2000), analisis SVD atau PCA (Gao and Zhang, 2003). Reduksi tahap *pre-processing* ditempuh antara lain dengan seleksi kata (Dhillon, et al, 2002; Hamzah, dkk., 2006). Kata yang terlalu tinggi frekuensinya dibuang dengan cara *stop-word removal*, yaitu membuang kata seperti 'dan', 'ini', 'itu', 'dengan' dan lain-lain. Sedang kata frekuensi rendah dibuang dengan batas suatu *threshold* tertentu. Cara baku lain reduksi dimensi dalam tahap *pre-processing* adalah dengan *stemming* kata (Rijsbergen, 1979; Hamzah, 2006), yaitu mengembalikan kata ke dalam kata dasarnya.

Dalam model "bag of word" koleksi dokumen hanya diandaikan sebagai koleksi kata, padahal pada kenyataannya dalam dokumen sangat mungkin ada banyak frasa yang tersusun dari dua kata seperti "pasar modal", "kambing hitam",

atau frasa tiga kata seperti "terapi tusuk jarum". Memisahkan semua frasa menjadi tinggal kata-kata penyusunnya bisa berakibat makna kata menyimpang jauh dari konteks sebenarnya. Oleh karena itu idealnya *feature* adalah kata dan frasa, seperti yang buktikan oleh Zhang et al (2004) bahwa *feature* frasa lebih baik dalam kinerja pembeda dokumen.

Tidak seperti ekstraksi kata dari dokumen yang secara teknis sangat mudah, ekstraksi frasa memerlukan algoritma yang tidak mudah. Dalam dokumen bahasa inggris riset dalam bidang ekstraksi frasa dari dokumen teks telah banyak dilakukan, antara lain oleh Maynard and Ananiadou (1999) dan Frantzi and Ananiadou (2003). Sayangnya dalam kata (teks) bahasa indonesia riset seperti ini belum banyak dilakukan karena riset bidang komputasi linguistik masih sangat minim (Nazief, 2000). Penelitian ini dimaksudkan sebagai penelitian awal untuk ekstraksi kata dari dokumen teks menggunakan teknik statistik pasangan kata. Selanjutnya pengaruh frasa yang diekstraksi dalam kinerja *clustering* dokumen teks berbahasa indonesia akan dilakukan.

Model ruang vektor untuk koleksi dokumen mengandaikan dokumen sebagai sebuah vektor dalam ruang kata (*feature*). Klustering dokumen dipandang sebagai pengelompokan vektor berdasarkan suatu fungsi *similarity* antar dua vektor tersebut. Jika koleksi n buah dokumen dapat diindeks oleh t buah *term/feature* maka suatu dokumen dapat dipandang sebagai vektor berdimensi t dalam ruang term tersebut. Dengan demikian koleksi dokumen dapat dituliskan sebagai matrik kata-dokumen X , yang dapat ditulis :

$$X = \{x_{ij} \} \quad i= 1,2,..t ; j =1,2,.. n \quad (1)$$

x_{ij} adalah bobot term i dalam dokumen ke j

Menurut Luhn (1958), kekuatan pembeda terkait dengan frekuensi term (*term-frequency*, tf). *Term* yang memiliki kekuatan diskriminasi adalah *term* dengan frekuensi sedang. Pemotongan term dengan frekuensi tinggi dilakukan dengan membuang *stop-word*, seperti 'ini', 'itu', 'yang', 'yaitu' dan lain-lain yang

dapat mengurangi frekuensi *feature* 30 sampai 40 persen (Rijsbergen, 1979).

Pembobotan dasar dilakukan dengan menghitung frekuensi kemunculan *term* dalam dokumen karena dipercaya bahwa frekuensi kemunculan *term* merupakan petunjuk sejauh mana *term* tersebut mewakili isi dokumen. Menurut Luhn (1958), kekuatan pembeda terkait dengan frekuensi term (*term-frequency, tf*), di mana *term* yang memiliki kekuatan diskriminasi adalah *term* dengan frekuensi sedang. Mempertimbangkan panjang dokumen dan kemunculan term dalam dokumen pembobotan baku yang digunakan adalah *term-frequency invers-document frequency (TF-IDF)* (Steinbach et al, 2000) sebagai berikut :

Kesamaan antara dokumen D_i dengan dokumen D_j umumnya diukur dengan fungsi similaritas tertentu. Menurut (Chisholm et al, 1999) untuk tujuan *clustering* dokumen fungsi yang baik adalah fungsi similaritas *Cosine*, berikut :

$$\text{Cosine-sim}(D_i, D_j) = \frac{\sum_{i=1}^t D_i D_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^t (D_i)^2 \sum_{i=1}^t (D_j)^2}} \quad (2)$$

Jika vektor D_i dan D_j masing-masing ternormalisasi sehingga masing-masing panjangnya satu, maka fungsi *cosine* menjadi :

$$\text{Cosine-sim}(D_i, D_j) = \sum_{i=1}^t D_i D_j \quad (3)$$

Secara umum *feature* yang digunakan untuk mewakili dokumen dalam model ruang vektor adalah kata. Hal ini karena ekstraksi kata dari dokumen relatif mudah, yaitu hanya mendeteksi deretan karakter yang diakhiri dengan spasi. Jika dirancang bahwa angka tidak merupakan bagian dari kata maka dalam bahasa Indonesia karakter khusus yang mewakili kata hanya tanda hyphen (“-“), yang menunjukkan kata ulang, selainnya adalah karakter abjad. Penelitian untuk teks bahasa Inggris yang melibatkan frasa menunjukkan bahwa melibatkan frasa dalam *feature* dapat meningkatkan kinerja *clustering* (Zhang et al, 2004).

Penelitian tentang deteksi dan ekstraksi frasa dalam bahasa Inggris juga telah cukup banyak dilakukan (Frantzi and Ananiadou (2003). Metode seleksi beragam mulai dengan pendekatan statistik sampai pendekatan *natural language processing (NLP)*. Untuk kasus bahasa Indonesia penelitian di bidang ini masih sangat minim (Nazief, 2000).

Dengan latar belakang itu dalam penelitian ini frasa didefinisikan sebagai dua kata yang saling berdekatan yang memiliki makna tertentu yang bisa berbeda dengan makna kata-kata tunggalnya, misalnya “kambing hitam”. Teknik ekstraksi kata ditempuh dengan cara sederhana yaitu melakukan penghitungan frekuensi kemunculan dari pasangan dua kata. Selanjutnya seperti pada kata setelah dibatasi frekuensi minimal kemunculan, analisis variansi frekuensi dilakukan untuk melakukan seleksi. sebagai persamaan berikut (Dhillon et al, 2001; Dhillon et al, 2002) :

$$q_i(t) = \sum_{j=1}^{n_i} f_j^2 - \frac{1}{n_i} \left[\sum_{j=1}^{n_i} f_j \right]^2 \quad (4)$$

dengan q_i adalah variansi jika frekuensi minimal kata/frasa muncul dalam analisis adalah i ($i=0,1,2,\dots$).

Clustering didefinisikan sebagai upaya pengelompokan data ke dalam kluster sehingga data-data didalam kluster yang sama memiliki lebih kesamaan dibandingkan dengan data-data pada kluster yang berbeda (Jain and Dubes, 1998). Dikenal dua pendekatan, yaitu *hierarchical* dan *partisional* dengan masing-masing memiliki banyak variasi.

Metode klustering secara *agglomerative* berawal dari n = cacah dokumen sebagai cluster. Dengan menggunakan fungsi similaritas antar kluster kemudian proses penggabungan kluster terdekat dilakukan. Ukuran similaritas antar kluster antara lain, misalnya: *UPGMA CST* dan *IST Single Link, Complete Link* (Jain and Dubes, 1998). Berikut ini ringkasan masing-masing teknik tersebut:

- *Unweighted Pair Group Method Average similarity (UPGMA)*: Similaritas dua kluster diukur dengan rata-rata hi-

tung similaritas antar seluruh pasangan titik antara kedua kluster.

- *Single Link (SL)*: jarak terbaik dua kluster diwakili oleh jarak terdekat (similaritas tertinggi) dari dua titik dari dua kluster.
- *Complete Link (CL)*: jarak terbaik dua kluster diwakili oleh jarak terjauh (similaritas terendah) dari dua titik dari dua kluster.
- *Centroid-Similarity Technique (CIST)*: Jarak antar kluster ditentukan dengan jarak antar pusat kluster.

Secara teknis masukan bagi algoritma *hierarchical clustering* adalah matriks similaritas antar dokumen yang berukuran NxN. Iterasi yang setiap tahapnya melakukan penggabungan kluster dilakukan dengan melakukan *update* pada matrik similaritas. Hal inilah yang menyebabkan algoritma ini memiliki kompleksitas waktu dan ruang $O(N^2)$.

Algoritma *K-means clustering* merupakan algoritma iteratif dengan meminimalkan jumlah kuadrat *error* antara vektor objek dengan pusat kluster terdekatnya (Jain and Dubes, 1998), yaitu :

$$\sum_{j=1}^k \sum_{x \in \pi_j} \|x - m_j\|^2 \quad (5)$$

di mana m_j adalah pusat kluster (*mean vector*) dalam kluster ke j. Proses dimulai dengan mula-mula memilih secara random k buah dokumen sebagai pusat kluster awal.

Metode *Bisecting K-means* (Steinbach et al, 2000) mencoba menggabungkan pendekatan *partitional* dengan *divisive hierarchi*, yaitu mula-mula seluruh dokumen dibagi dua dengan cara *K-means (bisecting-step)*. Selanjutnya cara itu dikenakan pada tiap-tiap kluster sampai diperoleh K buah kluster.

Algoritma *Buckshot* menggunakan pendekatan *hierarchie agglomerative* untuk mendapatkan k buah vektor sebagai pusat kluster awal. Langkah *Buckshot* mula-mula mengambil sampel acak se-besar \sqrt{kn} dokumen, dikluster dengan prosedur *hierarchie agglomerative* untuk mendapatkan k buah kluster. Selanjutnya dari partisi awal *Buckshot* proses *refine-ment*

dilakukan sebagaimana dalam *K-means clustering* (Dhillon et al, 2001).

Validitas yang digunakan diturunkan dari *Confusion Matrix* yaitu matriks yang disusun berdasarkan berapa banyak objek yang diklasifikasikan dengan benar oleh proses *clustering*. Parameter kualitas *clustering* yang dapat diturunkan dari *confusion matrix* yang umum digunakan untuk document clustering adalah *F-measure* (persamaan (6)).

$$F\text{-measure} = \frac{2PR}{P + R} \quad (6)$$

PEMBAHASAN

Koleksi dokumen yang digunakan untuk eksperimen adalah koleksi yang diambil dari koleksi Asian et al (2004). Koleksi tersebut dikemas menjadi 5 koleksi, yaitu 200, 300, 400, 500 dan 800 dokumen yang masing-masing telah dikluster secara manual. Adapun statistik koleksi tes tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1. Koleksi Dokumen Untuk Pengujian algoritma *clustering*

Coll Name	Σ doc	Σ clus	Clust Size	Σ uniq Word	avg word /doc
T200	200	10	Sama	6.652	372
T300	300	10	Beda	8.472	373
T400	400	11	Beda	10.153	388
T500	500	13	Beda	11.637	385
T800	800	14	Beda	15.752	410

Setiap koleksi terdiri dari sejumlah dokumen dengan format setiap dokumen seperti gambar 1.

```
<DOC>
<DOCNO>news035-html</DOCNO>
  banyaknya calhaj kalse1
  bukan indikator membaiknya
  perekonomian .....
</DOC>
```

Gambar 1. Format koleksi dokumen untuk Tes

Proses *pre-processing* berupa ekstrak kata, frasa, komputasi statistik frekuensi sampai dengan penyusunan matrik dilakukan dengan kode program JAVA (jdk1.4.2). Frase dalam eksperimen ini adalah dua buah kata yang muncul berdampingan dengan frekuensi ter-

tentu. Selanjutnya diujikan metode-metode *clustering* yaitu: metode *hierarchi aglomerative* (strategi similaritas: *Single Link, Complete Link, Group Average, centroid similarity, intra cluster similarity*), metode *partitional* (*K-means, bisecting k-means, Buckshot*). Program dirancang dengan script MATLAB.

Hasil pengujian kinerja *feature* kata dan frasa diukur melalui nilai *F-measure* yang membandingkan *feature* kata saja, frasa saja dan *feature* campuran. Uji statistik hasil dengan uji t untuk pengamatan berpasangan. Pada semua koleksi dilakukan *pre-processing* dengan batas minimal nilai tertentu. Ditentukan 3 macam penggunaan *feature*, yaitu campuran, kata saja dan frasa saja. Selanjutnya *clustering* dilakukan dengan 100% *feature* yang didapat dengan pembatasan minimal tersebut.

Tabel 2. Statistik Kata+Frasa, Kata dan Frasa

Kol	Min f	Σ Kt+Fr	Σ Kata	Σ Frasa
T200	3	3037	1852	1069
T300	4	3306	2067	1142
T400	5	3588	2247	1242
T500	6	3748	2377	1237
T800	10	3680	2488	1108

Seleksi *feature* dengan persentase 20%,15%,10% dan 5% dengan ana-

Tabel 4. Perbandingan kinerja clustering dengan *feature* Kata dan Kata+Frasa diukur dari *F-Measure* untuk koleksi dokumen 200 dokumen

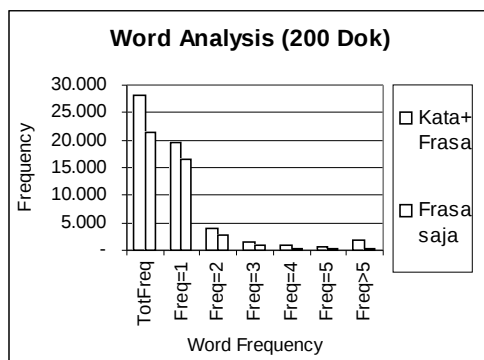
Metode	100% term		20% term		15 % term		10% term		5% term	
	Kt+Frs	Kata	Kt+Frs	Kata	Kt+Frs	Kata	Kt+Frs	Kata	Kt+Frs	Kata
hcaUPGMA	0.93	0.92	0.86	0.86	0.86	0.85	0.86	0.84	0.90	0.96
hcaCST	0.60	0.50	0.80	0.63	0.69	0.71	0.80	0.78	0.83	0.85
hcaIST	0.74	0.72	0.95	0.89	0.81	0.84	0.95	0.88	0.91	0.76
hcaSL	0.41	0.28	0.41	0.28	0.28	0.28	0.41	0.28	0.36	0.50
hcaCL	0.98	0.95	0.88	0.86	0.98	0.96	0.88	0.90	0.80	0.82
spherekm	0.75	0.73	0.63	0.71	0.66	0.65	0.61	0.61	0.70	0.72
bisectkm	0.99	0.90	0.93	0.97	0.90	0.98	0.98	0.93	0.98	0.99
buckshot	0.64	0.74	0.77	0.84	0.79	0.86	0.67	0.86	0.77	0.71
Rata-rata	0.73	0.67	0.78	0.54	0.72	0.71	0.78	0.73	0.77	0.76

lisis varian frekuensi kemunculan juga dilakukan. Statistik *feature* berdasarkan *threshold* minimal pada koleksi tersaji dalam Tabel 2.

Frasa didefinisikan sebagai pasangan dua kata yang berturutan dalam teks yang sering muncul. Asumsinya jika dua kata tersebut merupakan frasa maka kemungkinan besar frekuensi kemunculannya cukup tinggi karena jika pasangan kata tersebut acak maka kemunculannya akan rendah sehingga ia akan dominant pada frekuensi rendah. Hal ini dapat dijelaskan pada pola kemunculan kata dan pasangan kata yang sama pada seluruh koleksi, salah satunya untuk koleksi 200 kata seperti dalam Tabel 3 Gambar 2.

Tabel 3. Statistik frekuensi term 200 dokumen

	Kata dan Pas Kata	Hanya Kata	% Pas Kata
TotFreq	28,106	21,454	76.33%
Freq=1	19,694	16,609	84.34%
Freq=2	3,981	2,853	71.67%
Freq=3	1,394	811	58.18%
Freq=4	767	415	54.11%
Freq=5	467	208	44.54%
Freq>5	1,803	225	12.48%



Gambar 2. Frekuensi Kata+Frasa dengan Frasa

Terlihat dari Tabel 3 dan Gambar 2 bahwa diatas frekuensi 5 pasangan kata hanya 15% dari campuran kata dan pasangan kata.

Analisis kinerja *clustering* berdasar nilai *F-measure* menggunakan seluruh metode dilakukan pada tiap koleksi. Perbandingan dilakukan antara *feature* campuran (Kata+Frasa) dan *feature* hanya kata. Pada koleksi T200 (200 dokumen) hasil perbandingan tersaji pada Tabel 4. Karena sempitnya ruang perbandingan untuk koleksi T300, T400, T500 dan T800 tidak ditampilkan dan hanya akan ditampilkan hasil uji statistik perbandingan kinerja tersebut.

Terlihat dari Tabel 4 bahwa kinerja *clustering* pada berbagai metode terkadang unggul untuk *feature* kata+frasa dan kadang unggul untuk kata saja. Pola seperti ini terjadi tidak hanya pada koleksi T200 tetapi pada semua koleksi yang diujikan. Secara rata-rata *feature* campuran bernilai lebih tinggi dari *feature* kata saja, tetapi dari uji statistika *rank wilcoxon* untuk sampel berpasangan menghasilkan uji beda tidak signifikan pada seluruh koleksi yang diuji (Tabel 5). Semua menghasilkan uji *non-sig*, yang berarti belum dapat dikatakan bahwa ada perbedaan kinerja *clustering* karena penambahan pasangan kata pada *feature* kata.

Kenyataan ini dapat diduga disebabkan secara statistik kemunculan frasa (pasangan kata) dengan analisis frekuensi yang sama dengan kata paling tinggi adalah 38% dari seluruh *feature* (kata+frasa). Jika dilakukan seleksi maka frasa akan semakin mengecil pada selek-

si *feature* sampai 5%, maka hanya terdapat paling tinggi 9% *feature* adalah pasangan kata. Secara rinci prosentasi frasa (pasangan kata) akan berubah jika seleksi *feature* dilakukan seperti pada Tabel 6.

Tabel 5. Statistik Uji t *rank-wilcoxon* beda sample berpasangan pada alpa 5%

Kol	Rata-rata beda	T-value	T-tabel	Hasil Uji beda
T200	0.007	0.56	1.96	Non sig
T300	0.015	0.879	1.96	Non sig
T400	0.009	0.770	1.96	Non sig
T500	0.018	0.885	1.96	Non sig
T800	0.012	0.812	1.96	Non sig

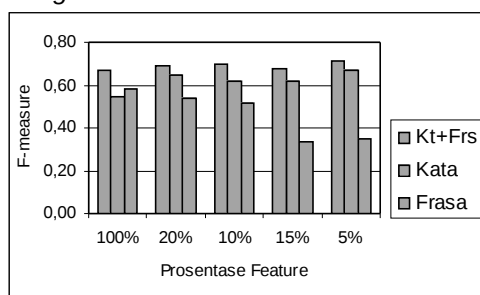
Tabel 6. Penurunan prosentasi frasa (pasangan kata) dalam *feature* campuran oleh seleksi *feature*

Kol	100% featr	20% featr	15% featr	10% featr	10% featr
T200	38%	17%	15%	13%	9%
T300	37%	18%	13%	10%	7%
T400	38%	16%	13%	9%	8%
T500	36%	16%	11%	9%	9%
T800	33%	15%	11%	9%	9%

Penggunaan *feature* sepenuhnya frasa menunjukkan hasil yang relatif lebih rendah, baik pada 100% *feature*, maupun 20%, 15%, 10% atau 5%. Hasil lebih rendah ini konsisten pada semua koleksi yang diujikan. Sebagai contoh untuk koleksi T500 rata-rata *F-measure* untuk seluruh metode tersaji pada Gambar 3. Kinerja hanya frasa semakin menurun jika digunakan seleksi *feature* yang rendah. Pada prosentasi 10% dan 5% perbedaan antara frasa dan kata serta antara frasa dan campuran terlihat signifikan. Dari gambar tersebut juga terlihat jelas bahwa kinerja yang terbaik adalah manakala digunakan *feature* campuran. Ini terlihat pada semua prosentasi *feature* yang diambil.

Salah satu penyebab menurunnya nilai *F-measure* yang berarti menurunnya kinerja *clustering* karena pada kenyataannya *feature* kata dan frasa akan cenderung lebih banyak kata. Pemilihan frasa dengan hanya mengambil dua kata yang berdekatan dan dengan frekuensi tertentu, tanpa melihat makna be-

lum menjamin bahwa pasangan kata tersebut benar-benar sebuah frasa. Tabel 7 menyajikan contoh 20 pasangan kata terbaik yang diekstraksi dari koleksi T300. Terlihat beberapa pasangan kata seperti “per gram”, “per dolar”, “juara piala” adalah bukan frasa yang benar. Pasangan kata yang “abdullah syafei” dengan “abdullah syafiie” adalah contoh pasangan yang sebenarnya sama tetapi diidentifikasi berbeda karena ketidak konsistenan wartawan dalam menulis berita. Hal ini juga terjadi pada pasangan kata “jamaah haji” yang kadang ditulis sebagai “jemaah haji”. Tentu saja ini merupakan noise yang menurunkan kinerja *clustering*.



Gambar 3. Rata-rata F-measure pada koleksi T500

Tabel 7. Contoh pasangan kata tersekstrak dari koleksi

per dolar	manchester united
jamaah haji	arab saudi
abdullah syafei	menko polkam
piala dunia	pasar uang
terhadap dolar	tenaga kerja
mata uang	kota ambon
banda aceh	pasukan tni
liga utama	juara piala
abdullah syafiie	jamaah haji
juara liga	per gram

KESIMPULAN

Penambahan *feature* frasa yang diambil dari pasangan kata dengan frekuensi tertentu meningkatkan hasil kinerja *clustering*, meskipun pengujian secara statistik peningkatan belum signifikan.

Jika digunakan seleksi *term* atas *feature* campuran dengan hanya mengambil beberapa persen dari total *feature* campuran, maka jumlah frasa yang terlibat akan menurun sampai dibawah 10%.

Penggunaan *feature* hanya frasa memiliki kinerja yang rendah dibandingkan dengan *feature* campuran (kata dan frasa) ataupun *feature* kata saja. Kinerja ini semakin jika digunakan seleksi *feature* frasa pada prosentase 10% atau 5%. Hal ini dapat dipahami karena pada kenyataannya suatu dokumen teks bukanlah kumpulan frasa tetapi kata dan frasa dengan frekuensi kata yang jauh lebih besar dari pada frasa.

Diperlukan penelitian lebih jauh untuk melakukan ekstraksi frasa dengan teknik yang lebih baik dari sekedar melakukan statistik pada kemunculan pasangan kata sebagai *feature*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, C.C. and Yu, P.S., 2000, Finding Generalized Projected Cluster in High Dimensional Spaces, *Proc.ACM SIGMOD Conf.*
- Asian, J., Williams, H.E., and Tahagho-ghi, S.M.M., 2004, Tesbed for Indonesian Text Retrieval, *9th Australian Document Computing Symposium*, Melbourne December, 13, 2004.
- Chisholm, E. and Kolda, T.G. , 1999, *New Term Weighting Formula for the Vector Space Method in Information Retrieval*, Research Report, Computer Science and Mathematics Division, Oak Ridge National Library, Oak Ridge, TN 3781-6367, March 1999.
- Dhillon, S. I., J. Fan, and Guan, Y., 2001, *Efficient Clustering of Very Large Document Collection*, www.citeseer.ist.psu.edu/dhillon01.html.
- Dhillon, I., Kogan, J. and Nicholas, C., 2002, *Feature Selection and Document Clustering*, www.csee.umbc.edu/cadip/2002Symposim/koghan.pdf.
- Jain, A.K. and Dubes, R. C. , 1998, *Algorithms for Clustering Data*, Prentice-Hall.

- Frantzi K.T. and Ananiadou, S., 2003, *Automatic Term Recognition Using Contextual Cues*, DEL-OS'03, www.ercim.org DELOS03/frantzi.pdf.
- Gao, J. and Zhang, J., 2003, *Clustered SVD Strategies in Latent Semantic Indexing*, Technical Report No. 382-03, Department of Computer Science, University of Kentucky, Lexington, KY.
- Hamzah, A., 2006, Pengaruh Stemming Kata Dalam Peningkatan Unjuk Kerja Document Clustering Untuk Dokumen Berbahasa Indonesia, *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Informasi*, AKAKOM, Juli, 2006.
- Hamzah, A., Soesianto, F., Susanto, A., Istiyanto, J.E., 2006, Seleksi Feature Kata Berdasarkan Variansi Kemunculan Kata Dalam Peningkatan Unjuk Kerja Document Clustering Untuk Dokumen Berbahasa Indonesia, *Pakar, Jurnal Teknologi Informasi dan Bisnis*, Vol.7, No.3, pp. 181-190.
- Hinneburg, A. and Keim, D.K., 1999, *Optimal Grid-Clustering: Towards Breaking the Curse of Dimensionality in High-Dimensional Clustering*, *Proceeding of 25th VLDB Conference*, Edinburg, Scotland.
- Luhn, H.P., 1958, The Automatic Creation of Literature Abstracts. *IBM Journal of Research and Development*, 2:159-165.
- Maynard, D. and Ananiadou, S., 1999, *Incorporating Linguistic Information for Multi-Word Term Extraction*, Dept. of Computing & Mathematics, Manchester, M1 5GD, UK.
- Nazief, B., 2000, *Development of Computational Linguistic Research: a Challenge for Indonesia*, Computer Science Center, University of Indonesia.
- Rijsbergen, C. J., 1979, *Information Retrieval*, Information Retrieval Group, University of Glasgow, UK.
- Steinbach, M., Karypis, G., Kumar, V., 2000, *A Comparison of Document Clustering Techniques*, University of Minnesota, Technical Report #00-034, at http://www.cs.umn.edu/tech_reports.
- Tan, AH, 1999, *Text Mining: The state of the art and the challenges*, Kent Ridge Digital Labs 21 Heng Mui Keng Terrace Singapore 119613. www.google.com
- Zhang, Y., E. Milios and Heywood, N. Z., 2004, *A Comparison of Key-word and Keyterm-based Methods for Automatic Web Site Summarization*, Technical Report, Faculty of Computer Science, University Ave. Halifax, Nova Scotia, 2004.

HUBUNGAN SEBARAN GERAKAN TANAH DENGAN KELURUSAN STRUKTUR GEOLOGI BERDASARKAN INTERPRETASI CITRA LANDSAT DI DAERAH KEBUMEN JAWA TENGAH

Arief Mustofa Nur¹, Chusni Ansori², Dwi Novi Purnami³

^{1,2,3} Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangsembung LIPI

Masuk: 18 Juni 2008 , revisi masuk: 9 Oktober 2008, diterima: 22 Desember 2008

ABSTRACT

Land movements or landslides represent one of the geologic hazards. It is often occur in Indonesia including Kebumen area. Landslide is much related with geologic lineament. The aim these study to know the relation between landslides with geologic lineament. Landslide distribution is obtained by field survey; geologic lineament is obtained by interpretation of digital TM land sat. Dominantly, the geologic lineaments of this area are northwest – southeast ward and southwest – northeast ward. Those are related with tectonic. Most of landslide occurrences at research area reside at geologic lineament zona. Landslide also influenced by slope, lithology, landuse and rainfall. Landslide type in research area is creeping, slump, debris slide, debris fall, rock slide, rock fall, earth slip, and subsidence. Research area has high potentiality of landslide; it is done mitigation.

Keywords: Land Movement, Geologic Lineament, Landsat Interpretation, Kebumen

INTISARI

Gerakan tanah atau tanah longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia, termasuk Kebumen. Gerakan tanah sangat berkaitan dengan pola kelurusan struktur geologi. Kajian ini dilakukan untuk mengetahui pola sebaran gerakan tanah dengan pola kelurusan struktur geologi. Data gerakan tanah diperoleh dengan survei lapangan, sedangkan pola kelurusan diperoleh dari hasil interpretasi citra landsat TM dijital. Pola kelurusan geologi daerah utamanya berarah baratlaut – tenggara dan baratdaya – timurlaut. Pola ini terkait dengan tektonik masa lampau. Hampir semua gerakan tanah di Kebumen berada pada zona atau sekitar zona kelurusan. Gerakan tanah di daerah penelitian dipengaruhi juga oleh kemiringan lereng, batuan penyusun, penggunaan lahan dan curah hujan. Jenis gerakan tanah yang berkembang berupa *creeping, slump, debris slide, debris fall, rock slide, rock fall, earth slip, dan subsidence*. Daerah penelitian merupakan daerah potensi tinggi gerakan tanah sehingga perlu dilakukan langkah mitigasi.

Kata Kunci : Gerakan Tanah, Kelurusan Geologi, Interpretasi Landsat, Kebumen

PENDAHULUAN

Gerakan tanah atau tanah longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia, termasuk Kebumen. Kabupaten Kebumen sendiri termasuk kedalam 3 (tiga) besar Kabupaten di Jawa Tengah yang sering mengalami bencana, gerakan tanah.

Gerakan tanah merupakan terminologi umum semua proses gerakan massa material bumi akibat gaya gravitasi bumi baik yang berlangsung secara lambat ataupun cepat, dan dari suatu

tempat ke tempat yang lain (Van Zuidam, 1983). Pada prinsipnya gerakan tanah terjadi akibat terganggunya kestabilan lereng, karena besarnya gaya penggerak lebih besar dari gaya penahannya (Karnawati, 1991).

Faktor pengontrol utama berupa litologi, struktur geologi, dan geometri lereng. Struktur geologi/zona lemah dapat diidentifikasi melalui analisis pola kelurusan dari hasil interpretasi citra *landsat*. Pola kelurusan struktur geologi merupakan bidang ketidakteraturan (*diskon-*

tinuitas) yang dapat berupa bidang lemah. Bidang lemah dapat berupa batas perlapisan batuan, bidang patahan. Bidang-bidang patahan tersebut dapat diinterpretasi melalui citra landsat, yang dicerminkan oleh adanya kelurusan-kelurusan perbukitan dan lembah, serta arah-arah pembelokan sungai secara tiba-tiba.

Kajian ini dimaksudkan untuk mengetahui pola sebaran gerakan tanah yang terjadi di wilayah Kebumen melalui pola kelurusan yang diinterpretasi dari citra landsat. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui hubungan antara pola

sebaran gerakan tanah dengan pola kelurusan tersebut.

Interpretasi dilakukan dengan menggunakan citra landsat daerah Kebumen, dengan didukung hasil pendataan gerakan tanah yang pernah terjadi. Interpretasi citra landsat yang digunakan adalah citra landsat TM digital tahun 2002 yang sebelumnya telah diproses sehingga mempermudah interpretasi. Pendataan gerakan tanah dilakukan dengan melakukan survei lapangan berupa posisi, dimensi dan jenis gerakan tanah.



Gambar 1. Lokasi Penelitian pada Fisiografi Jawa Tengah – Timur (van Bemmelen, 1949)

Secara fisografi, daerah Kebumen termasuk dalam fisografi Zona Pegunungan Serayu Selatan, Dataran Pantai Jawa Tengah Selatan dan Zona Pegunungan Selatan (van Bemmelen, 1949). Zona Pegunungan Serayu Selatan terdiri dari bagian barat dan timur. Bagian barat disebut sebagai zona depresi Bandung (di Jawa Barat) dan zona struktur baru yang (di Jawa Tengah), dan bagian timur membentuk antiklin. Bagian barat – bagian timur dipisahkan oleh lembah Jatilawang, yang ke arah timur membentuk antiklin yang dipotong oleh Sungai Serayu. Di sebelah timur Banyumas, antiklin

tersebut berkembang membentuk antiklinorium selebar 30 km yang memanjang dari Karangsembung sampai Banjarnegara. Ujung timur dari Pegunungan Serayu Selatan membentuk kubah yang memanjang dari Purworejo sampai lembah Sungai Progo dan dikenal sebagai Pegunungan Kulon Progo.

Zona Dataran Pantai Jawa tengah Selatan mempunyai lebar sekitar 10 – 20 km, yang sangat kontras dengan rangkaian Pegunungan Selatan Jawa di Jawa Barat dengan Jawa Timur. Dataran pantai selatan didominasi endapan alluvial serta endapan pantai.

Rangkaian Pegunungan Selatan di Jawa Tengah muncul membentuk pegunungan Karangbolong di Kebumen serta rangkaian Pegunungan Seribu dari wilayah Gunung Kidul hingga Wonogiri yang membentuk morfologi karst.

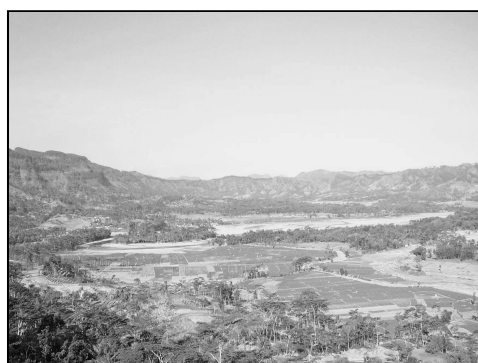
Memperhatikan relief, kemiringan lereng, bentuk bukit dan beda tingginya, secara keseluruhan bentang alam daerah Kebumen dibagi menjadi tiga yaitu: bentang alam perbukitan-pegunungan struktural, bentang alam perbukitan –pegunungan karst, bentang alam bergelombang dan bentang alam dataran.

Bentang alam pegunungan- perbukitan struktural. Bentang alam ini terdapat pada bagian utara daerah penelitian, tersusun oleh batuan vulkanik dan batuan Pratersier, kadang membentuk pola zig-zag terutama yang tersusun oleh breksi vulkanik epiklastik yang berselingan dengan batupasir memberikan kenampakan topografi yang menonjol. Jajaran perbukitan yang ada sebagian membentuk perbukitan monoklin dengan '*dip slope*' yang berarah ke timur. Batuan Pratersier umumnya berupa aneka ragam batuan yang bercampur aduk dengan struktur retakan dan patahan yang intensif di dalam masa dasar batu lempung yang terkekarkan juga.

Bentang alam pegunungan-perbukitan karst. Bentang alam ini tersusun oleh litologi batugamping. Perbukitan di selatan ini merupakan suatu perbukitan tersendiri yang terletak di antara dataran alluvial Serayu Selatan. Perbukitan di sebelah selatan ini didominasi oleh morfologi karst yang dicirikan oleh bukit-bukit kecil pepino yang berbentuk kerucut. Sedangkan di sebelah selatannya adalah pegunungan gunungapi tua yang berrelief kasar. Gua-gua yang berair umumnya keluar sebagai *fonor* (mataair karst) terdapat pada bagian utara dan timur serta jarang sekali berkembang di bagian barat serta selatan. Secara umum bentang alam kars dapat dibedakan antara morfologi permukaan kawasan kars dan morfologi bawah permukaan kawasan kars. Morfologi permukaan antara lain kubah-kubah dengan berbagai bentuk dolina dan polje. Morfologi bawah permukaan yang paling sering dijumpai adalah sungai bawah tanah dan gua.



Gambar 3. Morfologi karst di Gombang Selatan



Gambar 2. Rangkaian perbukitan – pegunungan curam yang tersusun oleh breksi vulkanik serta daerah bergelombang lemah – dataran yang tersusun oleh batulempung di Karangsambung.

Stratigrafi daerah penelitian termasuk bagian dari stratigrafi cekungan Banyumas (Gambar 4) tersusun oleh :

Komplek Melange. Kelompok batuan ini disimpulkan sebagai kompleks *melange* (bancuh) yang merupakan campuran yang bersifat tektonik, terdiri dari graywacke, marmer, sekis dan filit, serpentinit, lava basalt berstruktur bantal, gabro, batugamping merah, rijang, lempung hitam yang bersifat serpihan. Komplek batuan ini tersebar di wilayah utara Kebumen, disekitar Karangsambung – Sadang.

Formasi Karangsambung. Formasi ini tersusun oleh batulempung bersisik dengan bongkahan batugamping, konglomerat, batupasir, batulempung dan basalt. Nama formasi Karangsambung diajukan oleh Sukendar Asikin

(1974) dengan lokasi tipe di desa Karangsembung.

Formasi Totogan. Formasi ini tersusun atas masa dasar batu lempung bersisik, dengan komponen berupa breksi, batupasir, batugamping. Nama formasi ini diusulkan pertama kali oleh Sukendar Asikin (1974) dengan lokasi tipe di sekitar Totogan utara Karangsembung.

Formasi Gabon. Formasi ini tersusun oleh sebagian besar breksi vulkanik dengan sisipan lava andesit, tuf, tuf – lapilli dan breksi laharik, yang terletak di sekitar Karangbolong.

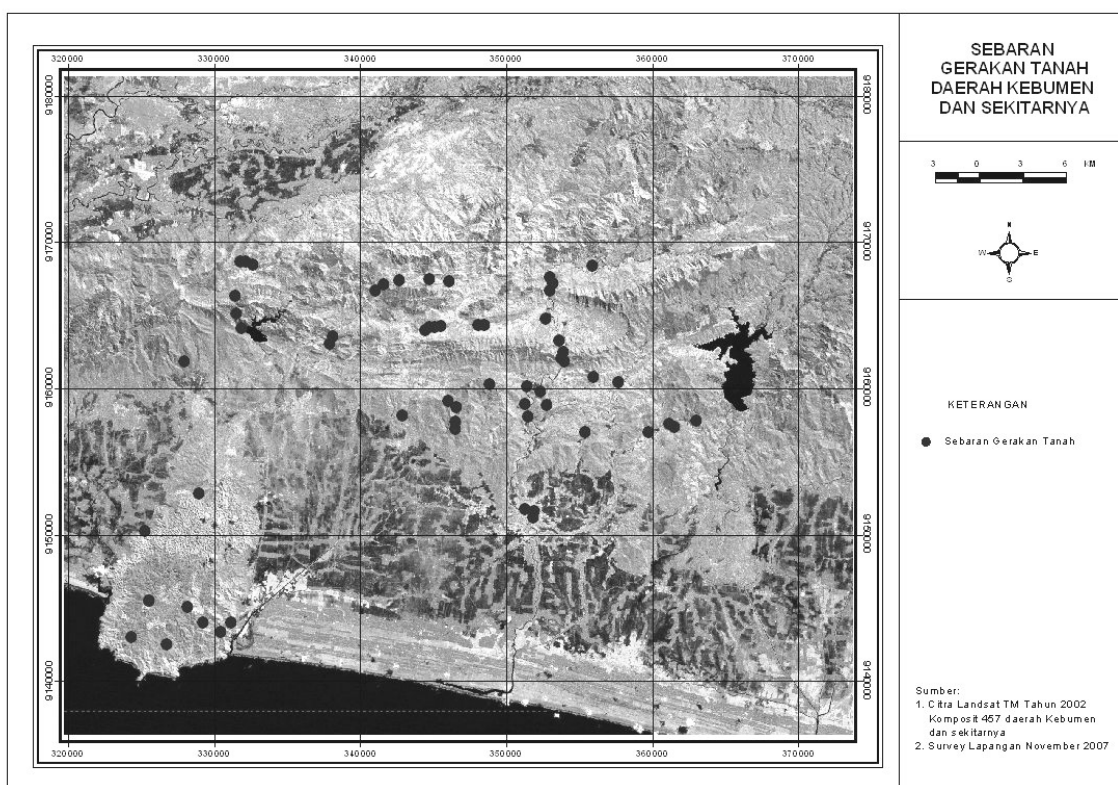
Formasi Waturanda dan anggota tuf. Formasi ini tersusun oleh breksi vulkanik dengan fragmen batuan beku dan lava andesitik sedangkan matriknya berukuran pasir. Terdapat anggota Tuf yang terletak di bagian bawah formasi. Menu-

rut Raharjo dkk (1977) dalam Asikin (1994), anggota tuf Formasi Waturanda dapat dibandingkan dengan Formasi Andesit Tua yang berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal di Yogyakarta.

Formasi Penosogan. Formasi ini tersusun oleh perselingan batupasir, batulempung, tuf, napal dan kalkarenit. Ciri khasnya adalah perulangan antara batupasir dengan batulempung pada bagian bawah.

Formasi Kalipucang. Formasi ini tersusun sebagian besar oleh batugamping terumbu, serta membentuk morfologi karst Gombong selatan.

Formasi Halang. Litologi penyusun formasi ini terdiri dari batupasir gampingan, batupasir kerikilan, batupasir tuffaan, napal, napal tuffaan, batulempung, batulempung napalan dan sisipan kalkarenit.



Gambar 6. Pola sebaran gerakan tanah pada citra *landsat* daerah Kebumen dan sekitarnya

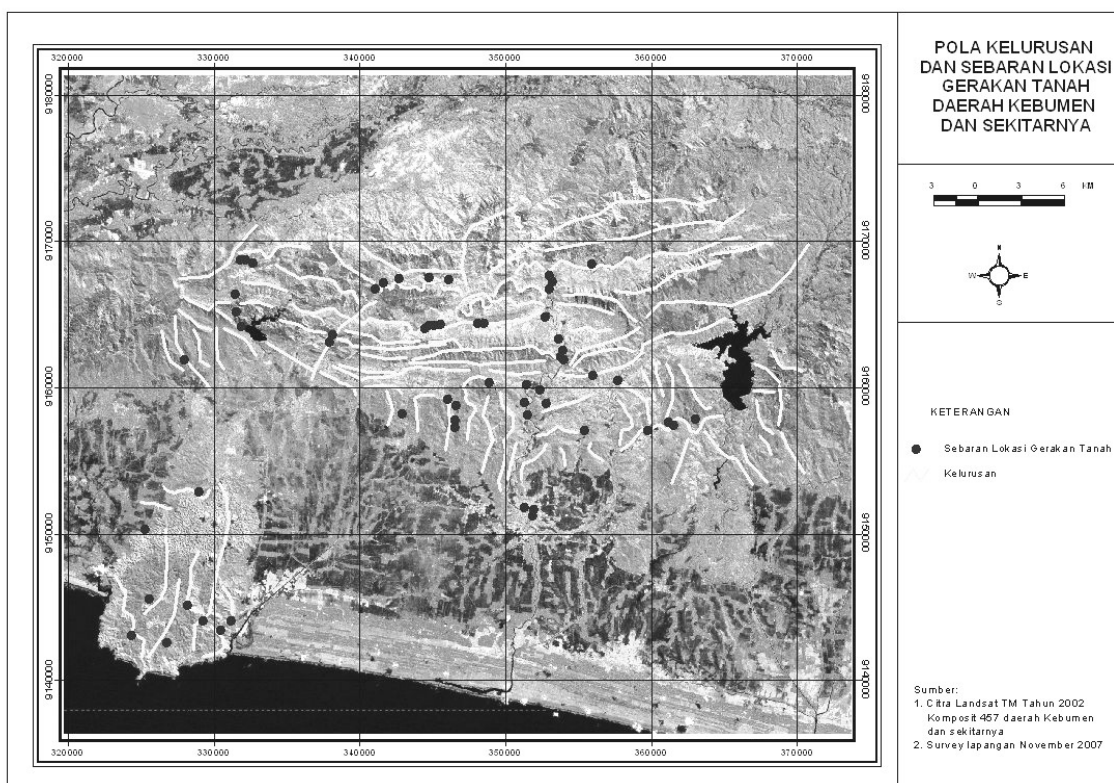
Berdasarkan kenampakan citra *landsat*, perbukitan – pegunungan sebagian besar berada di bagian utara dan sebagian kecil berada di bagian selatan.

Daerah Kebumen utara terutama di Kawasan Karangsembung dan sekitarnya, sangat berkaitan dengan proses tektonika pada jaman Kapur yang merupa-

kan zona penunjaman (*subduction zone*) antara Lempeng Samudera Hindia-Australia dengan Lempeng Benua Eurasia (Asikin, 1974). Proses tektonik tersebut menyebabkan Kawasan Karang sambung dijumpai berbagai macam batuan dari lingkungan pembentukan yang berbeda-beda serta struktur geologi yang rumit berupa retakan dan patahan.

Pola kelurusan mencerminkan pola struktur geologi yang dapat diinter-

pretasikan sebagai bidang lemah. Berdasarkan tumpang susun antara peta sebaran gerakan tanah dengan pola kelurusan geologi, diketahui ada keterkaitan antara keduanya. Hampir semua kejadian gerakan tanah yang terdata berasosiasi dengan pola kelurusan geologi yang tercermin pada citra *landsat*. Hal ini menandakan bahwa gerakan tanah dikontrol oleh keberadaan bidang lemah.



Gambar 7. Pola sebaran gerakan tanah dan pola kelurusan pada citra *landsat* daerah Kebumen dan sekitarnya

Gerakan tanah yang berkembang di daerah Kebumen dan sekitarnya ternyata tidak hanya dipengaruhi oleh faktor kelurusan geologi saja, namun juga dipengaruhi oleh curah hujan. Secara umum keterdapatan kejadian gerakan tanah berada pada daerah yang mempunyai kemiringan lereng besar ($>20^\circ$), pada batuan yang mudah bergerak (batuan yang *porous* menumpang pada batuan yang kedap air), dan pada penggunaan lahan yang kurang tepat peruntukannya (seperti pemotongan lereng untuk permukiman), serta pada musim hujan.

Namun, disini lain pola kelurusan yang terlihat dari interpretasi citra *landsat* juga tidak terkait dengan sebaran gerakan tanah. Hal ini diduga karena litologi yang menyusunnya lebih resisten dan lebih kompak, sehingga relatif lebih stabil.

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan adanya gerakan tanah yang tidak berada pada zona kelurusan. Gerakan tanah ini dijumpai pada tebing sungai, terutama pada tikungan luar sungai, karena erosinya lebih intensif. Akibatnya tebing-tebing menjadi lebih mudah bergerak.

Berdasarkan pendataan gerakan tanah di daerah Kebumen dan sekitarnya, diketahui bahwa jenis gerakan tanah yang terjadi di daerah ini adalah :

- *Creeping* (rayapan tanah) yang bergerak lambat
- *Slump* (nendatan), umumnya terjadi pada tanah yang tebal
- *Debris slide* (luncuran bahan rombakan) berupa tanah dan batuan
- *Debris fall* (jatuhan bahan rombakan) berupa tanah dan batuan
- *Rock slide* (luncuran batuan)
- *Rock fall* (jatuhan batuan)
- *Earth slip* (luncuran tanah yang tipis)
- *Subsidence* (amblesan).

Jenis gerakan tanah ini tidak dapat diinterpretasikan dari citra *landsat*, namun ditentukan berdasarkan hasil di pengamatan lapangan.

KESIMPULAN

Pola sebaran gerakan tanah di daerah Kebumen dan sekitarnya sangat berhubungan erat dengan pola kelurusan struktur geologi. Hampir semua kejadian gerakan tanah di daerah Kebumen berada pada zona atau sekitar zona kelurusan. Daerah penelitian sangat berpotensi terjadi gerakan tanah sehingga perlu dilakukan langkah mitigasi.

Gerakan tanah di daerah penelitian selain dipengaruhi oleh kelurusan geologi juga dipengaruhi oleh kemiringan lereng, batuan penyusun, penggunaan lahan dan curah hujan. Jenis gerakan tanah yang berkembang di daerah penelitian sebanyak 8 jenis gerakan tanah, yaitu : *Creeping* (rayapan tanah), *Slump* (nendatan), *Debris slide* (luncuran bahan

rombakan), *Debris fall* (jatuhan bahan rombakan), *Rock slide* (luncuran batuan), *Rock fall* (jatuhan batuan), *Earth slip* (luncuran tanah yang tipis), dan *Subsidence* (amblesan).

DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, S., 1974, Evolusi geologi Jawa Tengah dan sekitarnya ditinjau dari segi teori tektonik dunia yang baru, *Desertasi Doktor*, Institut Teknologi Bandung, 130, tidak dipublikasikan.
- Asikin, S., Harsolumakso, A.H., Busono, H., and Gafoer, S., 1992, *Geologic Map of Kebumen Quadrangle, Java, scale 1 : 100.000*, Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Asikin, S., Suyoto. 1994. *IPA Post Convention Field Trip, Banyumas Basin, Central Java*, Field Trip Guide Book, 31 pp.
- Karnawati, D., 1991. *Hubungan Antara Curah Hujan dan Longsoran Tanah di Margoyoso, Kabupaten Magelang*. (Laporan Penelitian)
- Permana, H., Prmumijoyo, S., Kumoro, Y., 1993, Pola Kelurusan Geologi Daerah Flores: Implikasinya Terhadap Kerusakan Akibat Gempabumi, *Proceedings IAGI volume I*, p.271
- Sabins Floyd F. 1996, *Remote Sensing, Principles And Interpretation* W.-H. Freeman And Company, New York, p.93
- Suwijanto, 2005 *Prinsip Dasar Penginderaan Jauh Dan Penggunaannya Di Bidang Kebumihan, Diklat Modul BDSK 2005*, BIKK Karang-sambung – LIPI, Kebumen, P.46
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *Geology of Indonesia*, Vol. I A,; General Geology, Martinus Nijhof, The Haque, 684p.
- Van Zuidam, R.A., 1983, *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation*, Netherland, ITC.

S Wave Velocity Structure in Non-tectonic Indo-China by Analyzing the Earthquakes in Sumatra-Java in TATO Station, Taiwan

Bagus Jaya Santosa¹

¹ Prodi Geofisika, FMIPA, ITS. Jl. Arif Rahman Hakim 1, Surabaya 60111

Masuk: 7 April 2008, revisi masuk: 27 Nopember 2008, diterima: 7 Januari 2009

ABSTRACT

The velocity structure of S wave under South-East Asia and South China Ocean due to earthquakes in Sumatra-Java subduction zone which data is recorded in TATO, Taiwan seismological station, has been investigated through seismogram analysis in time domain and three components simultaneously. The synthetic seismogram was calculated using GEMINI method, with the inputs are the earth model and the CMT solution of the earthquakes. A low-pass filter with corner frequency of 20 mHz was applied on the seismograms. Applying the deconvolution of unit response on the synthetic seismogram the seismogram comparison was executed in the same unit. The seismogram comparison indicated that the calculation from PREMAN synthetic seismogram deviates significantly from the measured ones. The deviation occurred on the arrival time of surface wave of Rayleigh and Love as well as S body waves. The interpretation results of seismogram analysis using waveform indicate that non-tectonic South-East Asia area in front of subduction zone has strong negative correction of β_v in the upper mantle and with smaller factor also at earth layers below. This result shows stronger vertical anisotropy than one in PREMAN earth model.

Keywords: Seismogram Comparison; Negative Anomaly in Front Area of Subduction Zone, Vertical Anisotropy.

INTISARI

Struktur kecepatan gelombang S yang berada di bawah wilayah Asia Tenggara dan Laut China Selatan telah diselidiki melalui analisis seismogram akibat gempa-gempa bumi pada zona subduksi Sumatra-Jawa yang direkam di stasiun stasiun seismologi TATO, Taiwan, dalam domain waktu dan ketiga komponen ruang secara simultan. Seismogram sintetik dihitung melalui metoda GEMINI, yang *inputnya* adalah model bumi dan solusi CMT gempa bumi. *Low-pass filter* dengan frekuensi sudut 20 mHz dikenakan pada seismogram-seismogram. Penerapan dekonvolusi file tanggap-response pada seismogram sintetik, perbandingan seismogram dilaksanakan dalam satuan sama. Perbandingan seismogram menunjukkan bahwa seismogram sintetik yang dihitung dari model bumi global PREMAN diketahui menyimpang jauh dari seismogram terukur, yang terjadi pada waktu tiba gelombang permukaan Rayleigh dan Love dan juga gelombang ruang S. Hasil interpretasi atas analisis seismogram dengan *waveform* menunjukkan bahwa daerah Asia Tenggara yang berada di depan bidang subduksi dan bersifat non-tektonik memiliki koreksi negatif kuat atas β_v di mantel atas dan dengan faktor yang lebih lemah juga pada lapisan-lapisan mantel di bawahnya. Hasil ini menunjukkan bahwa vertikal anisotropi lebih kuat dibandingkan dalam model bumi PREMAN

Kata Kunci: Perbandingan Seismogram, Anomali Negatif di Depan Bidang Subduksi, Vertikal Anisotropi

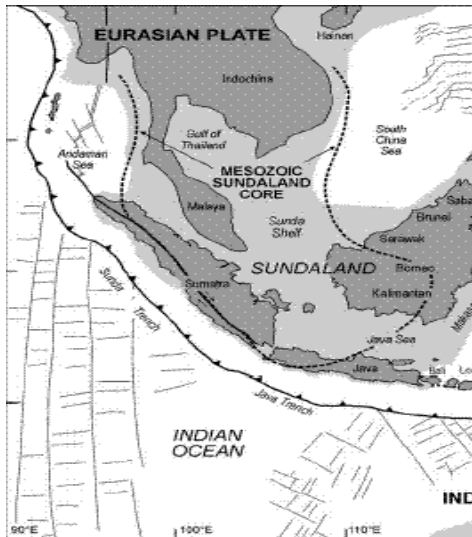
PENDAHULUAN

Tumbukan India-Asia, mengikuti penutupan Samudra Thetys di zaman Mesozoik, menciptakan dan berlanjut membentuk – rangkaian pegunungan Hi-

malaya dan lempeng Tibet. Hal tersebut juga menginduksi regangan yang mengendur luas di Asia Tenggara dan China. Akibat regangan yang mengendur ini, Replumaz et al. (2004) menginterpre-

¹ Email: bjs@physics.its.ac.id

tasikan struktur bumi di daerah Laut Cina Selatan dan Asia Tenggara memiliki anomali kecepatan gelombang P negatif (Gambar 1).



Gambar 1. Prinsip utama geologi di Asia Tenggara (Hall, 2002)

Daerah Indonesia Barat, khususnya pulau Jawa dan Sumatra adalah daerah dengan kondisi tektonik yang kompleks. Di daerah ini lempeng benua bertumbukan dengan lempeng Samudra Hindia. Kanal pegunungan dasar laut (*ridge*) di Laut Antartika memproduksi batuan-batuan baru ke arah lateral, ke utara dan selatan, sebagai bagian dari perputaran mantel. Karena lempeng mengembang secara lateral, batuan baru mende-sak lempeng-lempeng Samudra yang lama ke arah tegak bidang *ridge*. Hal itu mendorong Lautan Hindia dan Benua Australia bergerak ke arah utara, sehingga menumbuk paparan Asia Tenggara, dan menunjam ke bawah Benua Eurasia. Subduksi diberikan ilustrasi dalam Gambar 1 sebagai kurva dengan panah kecil-kecil sepanjang kurva, disebut sebagai palung Laut/*trench*, arah kurva menunjukkan arah dari pergerakan bidang subduksi. Lempeng Samudra bergerak dengan kecepatan rata-rata 11 cm/tahun. Pergerakan ini masih berlangsung hingga kini, menghasilkan gempa-gempa tektonik yang besar. Ini ditandai

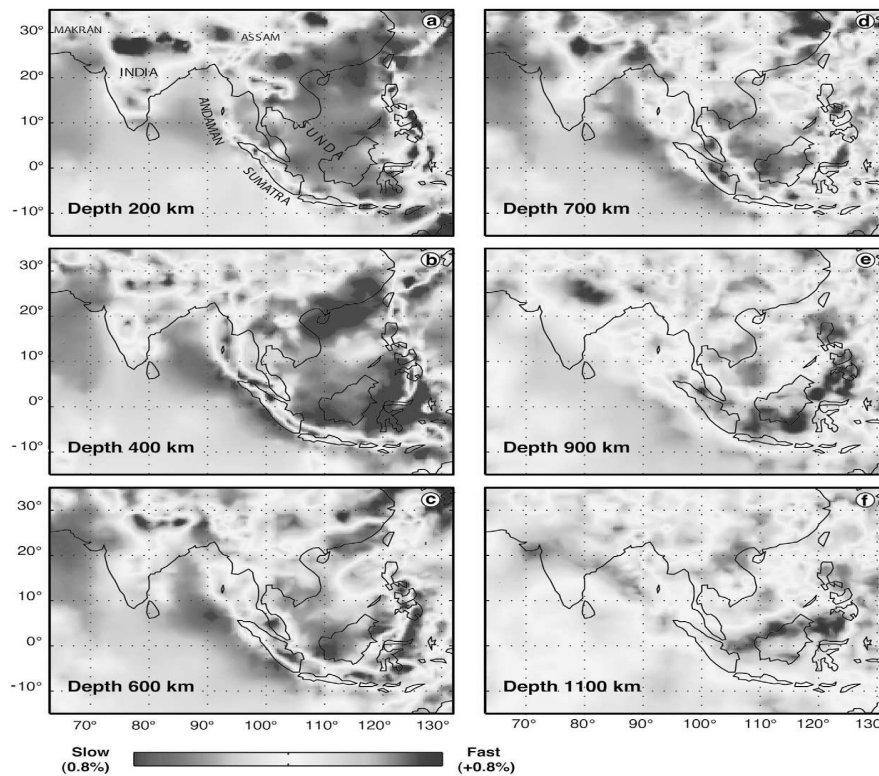
dengan banyak terjadinya gempa-gempa bumi di daerah ini.

Di tahun-tahun terakhir, tomografi gelombang seismik global telah dikembangkan dengan menginversikan data-data *travel-time*, yang datanya disuplai oleh *Internasional Seismological Center* (ISC). Tomografi tersebut khususnya telah sukses pada pemetaan atas tenggelamnya lapisan lithospherik dingin ke dalam mantel, yang berada di sepanjang palung laut aktif dari tepian lempeng-lempeng besar, secara tiga dimensi.

Menurut Replumaz et al. (2004), zona depan bidang subduksi tepian benua di Jawa dan Sumatra, yang ditandai oleh adanya anomali positif, mengalami pemampatan (Gambar 2). Struktur kecepatan seperti ini didapatkan dengan menginversikan data waktu tempuh gelombang P langsung sebanyak $\approx 8 \times 10^6$ buah, fase gelombang pantul pP sebanyak $\approx 0,6 \times 10^6$ buah, dan terbias dalam inti bumi PKP hampir sebanyak 1×10^6 buah. Data sejumlah ini dikumpulkan dari 300.000 gempa-gempa bumi sejak 1 Januari 1964 hingga 31 Desember 2000 (Engdahl et al., 1998). Hal yang sama juga dikerjakan pada sejumlah kecil data selisih absolut waktu tempuh PP-P, PKP-P_{diff}, yang diukur secara akurat melalui korelasi silang *waveform* dari data digital *broad-band* (Grand et al. 1997). Dalam inversi data waktu tempuh digunakan data waktu terhitung yang disimulasikan pada model bumi IASPEI91 (Kennett, 1991).

Hasil analisis gelombang S, gelombang permukaan Love dan Rayleigh yang ditujukan untuk menilai sifat mantel di bawah Asia Tenggara dan Laut Cina Selatan, disajikan dengan menganalisis data seismogram gempa-gempa bumi yang terjadi di sepanjang zona subduksi Jawa-Sumatra, melalui data rekaman di stasiun observasi TATO, Taiwan.

Data seismogram diunduh dari Databank Center IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*). Kedudukan sumber-sumber gempa ditentukan di wilayah Sumatera dan Jawa, Indonesia, Tabel 1 menyajikan gempa-gempa bumi yang dianalisis dalam riset ini, yang direkam di stasiun TATO.



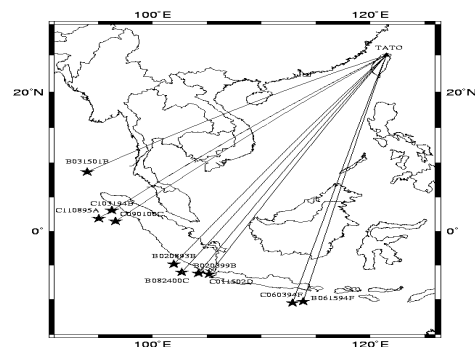
Gambar 2. Penampang horisontal tomografi struktur kecepatan mantel di bawah Asia Tenggara pada kedalaman-kedalaman 200, 400, 600, 700, 900 dan 1100 km (Replumaz et al., 2004)

Tabel 1. Lokasi gempa-gempa bumi di wilayah Sumatera – Jawa yang dianalisis dalam riset ini.

No	Kode Gempa bumi	Lintang	Bujur
1	B031501B	8.66	94,01
2	C103194B	3,03	96,27
3	C110895A	1,44	95,59
4	C090100C	1.85	95.06
5	B020893B	-4,86	101.96
6	B082400C	-6,03	102,69
7	B020399B	-6,19	104,22
8	C011502D	-6.31	105.21
9	C060394F	-10.49	112.87
10	B061594F	-10.28	113.85

Gambar 3 menunjukkan bahwa penjaluran gelombang gempa-gempa bumi di sepanjang zona subduksi. Busur antara episenter gempa dan stasiun TATO merupakan proyeksi vertikal dari

bidang penjaluran gelombang, melalui daerah non-tektonik. Pada zona lempeng tersebut terjadi regangan mengendur, sebagai akibat dari pertumbukan (kolisi) antara lempeng Benua India terhadap lempeng benua Eurasia.



Gambar 3, Proyeksi vertikal bidang-bidang penjaluran gelombang dari episenter-episenter gempa bumi ke stasiun observasi TATO (Taiwan)

Untuk menghitung waktu tempuh sintetik fasa-fasa gelombang ruang utama, digunakan program TTIMES secara komputerisasi, dengan mengikuti artikel dari Bulland and Chapman (1981) yang diperoleh dari <http://orfeus.knmi.nl>. Waktu-waktu tempuh sintetik digunakan sebagai petunjuk untuk mengidentifikasi fasa-fasa gelombang dalam seismogram. Untuk menghitung seismogram sintetik, digunakan program yang berbasis metoda GEMINI (Green's function of the Earth by MINor Integration) (Dalkolmo, 1993; Friederich dan Dalkolmo, 1995).

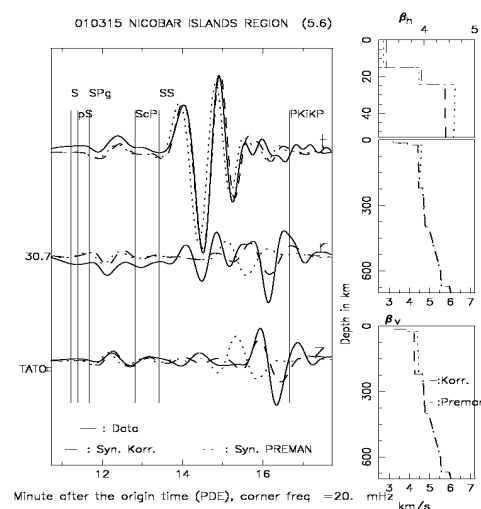
Program GEMINI tersebut berprinsip pada perhitungan minor fungsi-fungsi Green's atas suatu model bumi dengan kedalaman sumber gempa tertentu. Fungsi-fungsi Green's diekspansikan (diintegrasikan) dengan memenuhi kondisi syarat-syarat batas di titik terdalam gelombang, titik kedalaman sumber dan permukaan bumi. Ekspansi fungsi Green's dituliskan dengan variabel bebas sebagai frekuensi kompleks, dengan memasukkan *trick damping* ($\omega + i\sigma$) untuk menghindari *time aliasing*. Metoda GEMINI sendiri ekuivalen dengan Metoda Sumasi Mode, hanya berbeda pada penggunaan variabel bebasnya. Momen tensor gempa bumi, dirinci dalam baris ketiga solusi CMT (*Centroid Moment Tensor*). Data tersebut digunakan untuk menghitung koefisien-koefisien fungsi Green's yang diselesaikan dengan menggunakan aturan Cramer; dengan sisi kanan terdiri atas deret koefisien moment tensor. Koordinat sumber gempa diletakkan seolah-olah berada pada Kutub Utara, dan koordinat-koordinat stasiun observasi diubah ke bentuk sudut episentral dan sudut azimuth, yang kemudian dikembangkan fungsi Harmonik Sferis. Program DISPEC (termasuk paket GEMINI) selanjutnya membaca fungsi Green yang telah dihasilkan tersebut dan membentuk perkalian atas koefisien-koefisien ekspansi Moment Tensor dan fungsi Harmonik Sferis, menjumlahkannya, dan menghasilkan seismogram sintetik dalam domain frekuensi kompleks. Program MONPR (paket GEMINI) memindahkan seismogram sintetik dari domain frekuensi kompleks ke dalam domain waktu, namun sebelumnya dikenakan filter lolos

rendah Butterworth dan inverse RESPONSE file dari sistim peralatan seismometer di stasiun penerima. Yaitu dengan mendeskripsikan perubahan fase dan amplifikasi dari sistim peralatan, ketika mengubah input dari kecepatan/percepatan pergerakan tanah menjadi output tegangan [mV].

Pergerakan tanah direkam oleh seismometer direkam dalam 3 Kartesian komponen, yaitu US, TB dan Z. Komponen-komponen horisontal seismogram (komponen US dan TB) terukur harus diputar dengan sumbu Timur-Barat yang diarahkan pada busur kecil, dari stasiun observasi ke sumber gempa (Gambar 3). Hal tersebut ditujukan untuk mendekomposisi gerak gelombang dalam ruang 3D menjadi komponen-komponen P-SV dan SH. Dengan demikian, seismogram sintetik dapat dibandingkan dengan seismogram terukur dalam satuan dan arah gerakan yang sama.

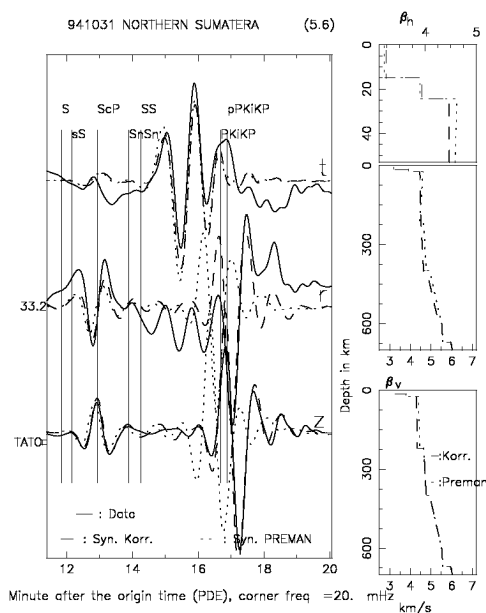
PEMBAHASAN

Gambar 4. menyajikan pengepasan seismogram gempa bumi B031-501B, Kepulauan Nicobar yang direkam di stasiun TATO. Kita dapat melihat bahwa model bumi global PREMAN (Dziewonski and Anderson, 1981) memberikan *waveform* Love sintetik yang datang sedikit lebih awal daripada *waveform* Love terukur, sedangkan pengamatan pada gelombang Rayleigh sintetik datang jauh di depan gelombang Rayleigh terukur.



Gambar 4. Pengepasan seismogram gempa gempa Nicobar di TATO

Model bumi dikoreksi, sehingga memberikan seismogram sintetik yang bagus pada gelombang permukaan Love dan Rayleigh dan juga gelombang ruang SV dan SH. Ini diperoleh dengan mengubah gradien β_h pada lapisan mantel atas menjadi positif dan memberikan koreksi negatif pada koefisien-koefisien awal polinomial yang menggambarkan struktur kecepatan β pada lapisan-lapisan mantel hingga kedalaman 730 km.

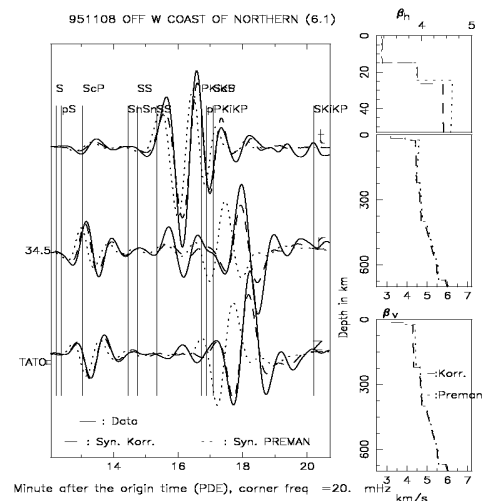


Gambar 5. Pengepasan seismogram Sumatra Utara di TATO

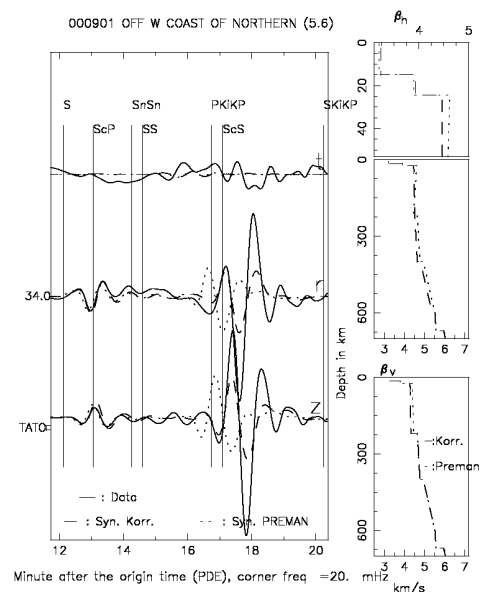
Gambar 5 menunjukkan ilustrasi tentang pengepasan seismogram gempa bumi C103194B, di Sumatra Utara yang direkam di stasiun TATO. Kita lihat dalam komponen-komponen sferoidal (r dan z), bahwa sintetik seismogram yang dihitung dari model bumi PREMAN datang jauh lebih awal dari gelombang Rayleigh dan datang sedikit lebih awal dari gelombang S. Ini menunjukkan bahwa koreksi negatif yang lebih besar harus dikenakan pada β_v di lapisan mantel atas dan koreksi negatif lemah di lapisan-lapisan mantel bawahnya hingga kedalaman 730 km.

Gambar 6 menyajikan analisis seismogram gempa C110895A, palung laut Sumatra Utara di stasiun TATO. Kita dapat melihat, bahwa seismogram sintetik dari PREMAN pada gelombang Rayleigh datang lebih awal daripada wave-

form terukurnya, sedang waveform Love datang sedikit lebih awal. Seismogram sintetik dari model bumi dikoreksi memberikan pengepasan yang bagus pada gelombang Rayleigh dengan nyata dan juga pada gelombang SV. Di komponen t, waveform gelombang Love juga didekati dengan lebih baik melalui model dikoreksi.



Gambar 6. Pengepasan seismogram gempa Palung Sumatra Utara di TATO

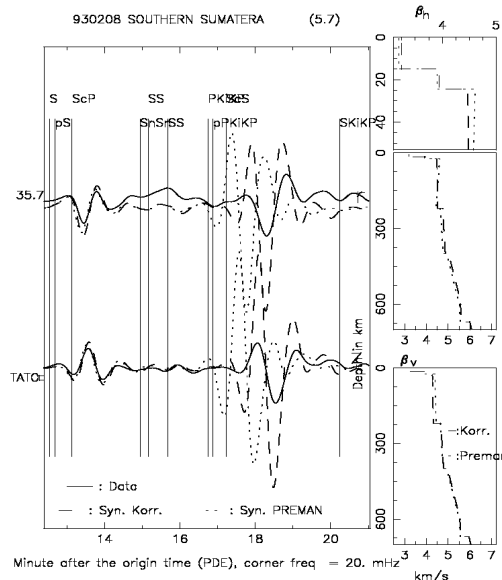


Gambar 7. Pengepasan seismogram gempa Palung Sumatra Utara di TATO

Analisis dan pengepasan seismogram gempa bumi C090100C, palung laut Sumatra Utara dapat kita lihat pada Gambar 7. Karena data kualitas pada

komponen t buruk, maka analisis dikerjakan hanya pada gelombang Rayleigh dan SV melalui komponen-komponen r dan z. Koreksi negatif koefisien-koefisien β_v orde nol di lapisan-lapisan mantel, dengan koreksi negatif besar pada lapisan mantel atas. Sementara lapisan-lapisan mantel di bawahnya dianalisis berdasarkan hasil koreksi negatif lemah.

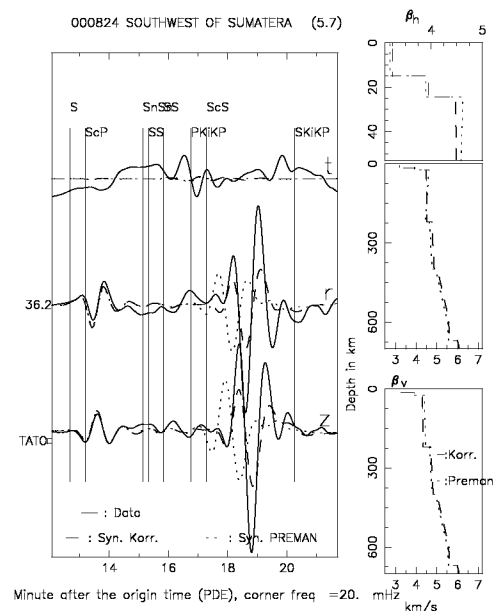
Gambar 8 menyajikan analisis dan pengepasan seismogram gempa bumi B020893B yang terjadi di palung laut Sumatra Selatan, dimana seismogram direkam di stasiun TATO. Kita dapat melihat, bahwa amplitudo gelombang SV sintetis mendekati amplitudo gelombang SV terukur. Namun amplitudo gelombang Rayleigh sintetis jauh lebih tinggi daripada amplitudo Rayleigh terukur. Oleh karena itu pengepasan hanya dilakukan dengan tujuan mendapatkan pengepasan yang baik pada waktu tempuh dari amplitudo maksimum Rayleigh. Ketidakesesuaian tinggi amplitudo di dua ragam gelombang ini disebabkan oleh kekurang akuratan dalam penentuan solusi CMT gempa bumi (Dreger, 2002).



Gambar 8. Pengepasan seismogram gempa Palung Sumatra Selatan di TATO

Gambar 9 menyajikan analisis seismogram gempa bumi B082400C, palung laut Sumatra Selatan yang direkam di stasiun TATO. Kualitas data pada komponen t buruk, sehingga pengepasan seismogram hanya dikerjakan di dua

komponen r dan z. Kita dapat melihat bahwa harus dikenakan koreksi negatif kuat pada β_v di lapisan mantel atas untuk mendapatkan pengepasan pada gelombang Rayleigh. Sementara lapisan-lapisan mantel di bawahnya tidak perlu dikoreksi, karena gelombang SV juga telah disimulasikan dengan baik.

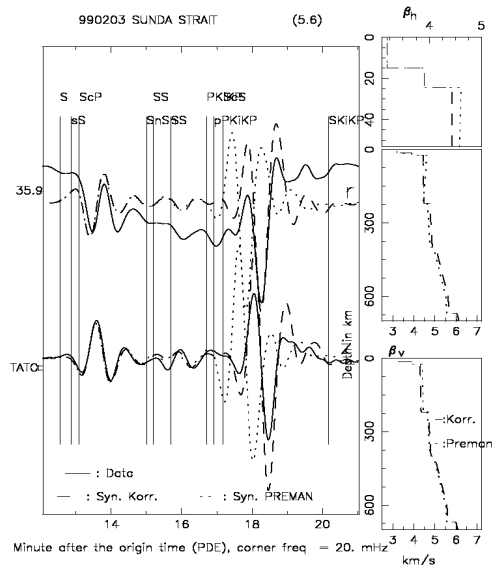


Gambar 9. Pengepasan seismogram gempa Palung Sumatra Selatan di TATO

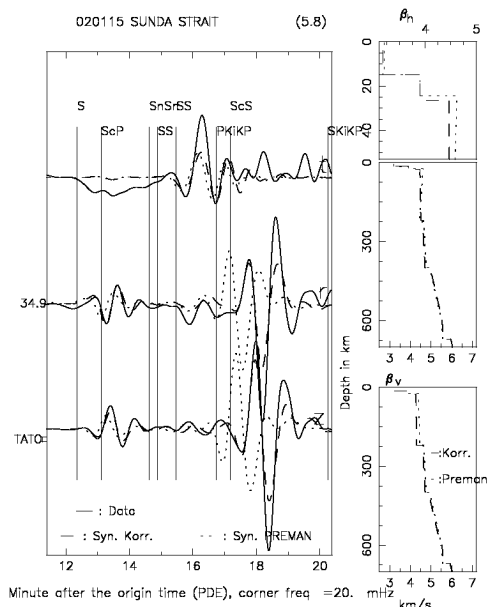
Analisis dan pengepasan seismogram B020399B yang terjadi di Selat Sunda yang direkam di stasiun TATO ditunjukkan dalam gambar 10. Seismogram sintetis yang dibentuk dari model bumi PREMAN memiliki bentuk yang menyimpang dari gelombang Rayleigh terukur, mereka datang lebih awal dengan distribusi tinggi amplitudo yang berbeda di maksimum pertama dan kedua gelombang Rayleigh, sementara Rayleigh terukur memiliki pola amplitudo yang menguncup. Model bumi dikoreksi memberikan kesepadanan yang lebih baik pada pola distribusi maksimum-maksimum gelombang Rayleigh dan waktu tiba yang mendekati gelombang Rayleigh terukur. Ini diperoleh dengan mengenakan koreksi pada β_v dan penggunaan gradien β_h positif di lapisan mantel atas.

Gambar 11 menyajikan analisis dan pengepasan seismogram gempa bumi C011502D, Selat Sunda yang datanya

direkam di stasiun TATO. Kita dapat melihat bahwa model bumi dikoreksi memberikan seismogram sintetik yang lebih mirip pada seismogram terukur, daripada seismogram sintetik yang dibentuk dari model bumi PREMAN. Koreksi negatif utama adalah pada β_v di lapisan mantel atas.



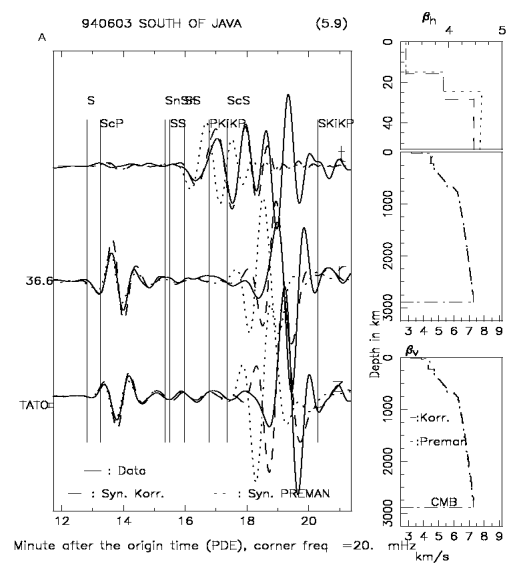
Gambar 10. Pengepasan seismogram gempa Selat Sunda di TATO



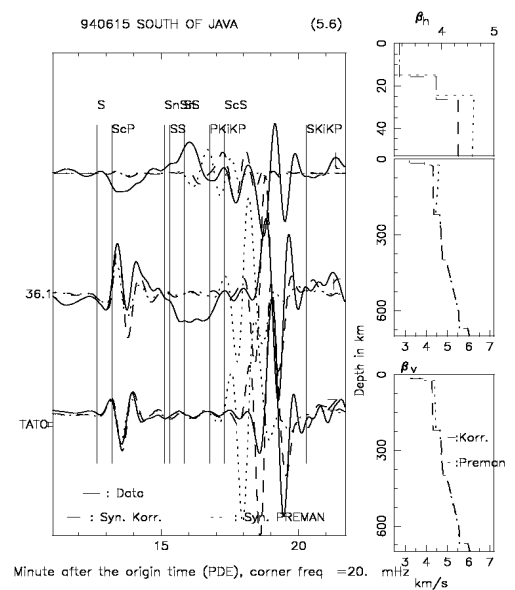
Gambar 11. Pengepasan seismogram gempa Selat Sunda di TATO

Gambar 12 menyajikan analisis dan perbandingan seismogram gempa

bumi C060394F Palung Jawa Selatan yang terjadi pada tanggal 3 Juni 1994 dimana direkam di stasiun TATO. Kita dapat melihat pengepasan seismogram sintetik yang dihitung dari model bumi dikoreksi mendekati seismogram terukur dengan bagus sekali, baik pada awal dari gelombang Love (merupakan gelombang SS), gelombang Rayleigh dan gelombang-gelombang SV dan SH. Amplitudo besar di bagian akhir dari gelombang Love tidak dapat disimulasikan sama sekali oleh kedua seismogram sintetik.



Gambar 12. Pengepasan seismogram gempa Palung Jawa Selatan di TATO



Gambar 13. Pengepasan seismogram gempa Palung Jawa Selatan di TATO

Gambar 13 menunjukkan perbandingan seismogram terukur dengan sintetikanya dari sebuah gempa bumi B0-61594F yang terjadi di Palung Jawa Selatan yang terjadi pada 15 Juni 1994, berselang 12 hari dengan gempa yang disajikan dalam gambar 12, dimana data direkam di stasiun TATO. Kita dapat melihat, bagaimana menyimpangnya seismogram sintetik yang dibentuk oleh model bumi PREMAN terhadap seismogram terukur. Model bumi dikoreksi memberikan seismogram sintetik yang mendekati osilasi-osilasi utama dalam gelombang permukaan Love dan Rayleigh, dan pengepasan juga diperoleh pada gelombang SV.

Model bumi PREMAN disajikan dengan sifat vertikal anisotropi pada lapisan mantel atas. Setelah riset ini, kita dapat melihat bahwa pada semua gempa bumi yang dianalisis, menunjukkan bahwa waktu tiba yang lebih awal pada gelombang permukaan Rayleigh sintetik dari model PREMAN. Hal itu menuntut koreksi negatif pada struktur kecepatan β_v dengan besaran yang cukup besar. Hal itu menunjukkan bahwa vertikal anisotropi lebih besar dan berbeda dengan yang dituliskan dalam model bumi PREMAN. Untuk mendapatkan pengepasan pada gelombang S (SV dan SH) pada seismogram-seismogram beberapa gempa bumi, diperlukan koreksi negatif dengan besaran yang lebih lemah pada lapisan-lapisan mantel hingga kedalaman 730 km. Ini menunjukkan bahwa sifat vertikal anisotropi terjadi pada lapisan-lapisan mantel di bawah mantel atas. Sifat anisotropi ini tidak dimanfaatkan dalam penelitian seismologi yang didasarkan pada data waktu tempuh gelombang, karena kita sulit sekali mengamati perbedaan waktu tiba gelombang S di ketiga komponen Kartesian. Hasil riset ini melengkapi hasil riset dari Replumaz et al. (2004) tentang struktur kecepatan S di bawah Asia Tenggara dan Laut China Selatan.

Penentuan solusi CMT gempa bumi, yang dilaksanakan dengan Rutin CMT (Dregger, 2002), mengandaikan model bumi yang isotrop, dikenal sebagai model bumi 1066B, dimana dihitung fungsi-fungsi Green untuk berbagai keda-

laman sumber gempa, dan rekonstruksi seismogram sintetik dengan kekuatan tensor CMT divariasikan dengan Metoda Monte Carlo, dengan memperhatikan spektrum absolut seismogram. Fungsi obyektif dari inversi CMT adalah perbandingan seismogram dalam domain waktu, namun eksekusi hanya dilakukan dengan frekuensi hingga 16 mHz. Sedangkan program GEMINI pada riset ini menghitung seismogram sintetik hingga 40 mHz, 2,5 kali lebih tinggi. Oleh karena itu sebaiknya rutin Green yang dipakai dalam inversi CMT digantikan dengan rutin GEMINI, sehingga perbandingan seismogram dapat dikerjakan pada frekuensi yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Perbandingan seismogram menunjukkan, bahwa seismogram sintetik dari gempa-gempa bumi Sumatera-Jawa yang direkam di TATO, yang dihitung dari model bumi awal PREMAN, menunjukkan waktu-waktu tiba yang lebih awal daripada fasa gelombang terukur sepadannya, pada gelombang Rayleigh. Koreksi dikenakan dengan mengubah gradien β_h , menjadi positif, dan koefisien-koefisien orde nol β_v pada fungsi polinomial kecepatan gelombang di setiap lapisan mantel dikoreksi. Koreksi negatif adalah utama pada β_v , untuk mendapatkan pengepasan pada gelombang Rayleigh. Koreksi juga diupayakan pada gelombang-gelombang ruang S dan SS. Ini menunjukkan bahwa sifat vertikal anisotropi lebih kuat daripada yang dicantumkan dalam model bumi PREMAN dan juga terjadi pada lapisan-lapisan mantel di bawah mantel atas.

Koreksi negatif besar terjadi di lapisan mantel atas. Ini menyatakan bahwa bagian mantel yang mengalami peregangannya akibat proses tektonik dimana benua India menumbuk Benua Asia, memiliki anomali kecepatan negatif pada lapisan mantel atas dan lapisan-lapisan di bawahnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dr. Dalkolmo dan Prof. Friederich yang telah bersama-sama saya mengembangkan program GEMINI, juga ke-

pada Prof. Wielandt. Terima kasih juga ditujukan kepada IRIS (International Seismological Network) yang telah menyediakan data seismogram untuk riset ini dan juga software-software pelengkapannya. Program utama dituliskan dengan software non-comersial Intel FORTRAN dan gambar-gambar dalam paper ini dituliskan dengan software PGPLOT dan GMT. Riset ini didanai oleh Dana Hibah Penelitian Dasar DIKTI no. 019/SP3/PP/DP2M/II/2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Bulland, R. and Chapman, C., 1983. Travel time Calculation, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 1271 – 1302.
- Dalkolmo, J., 1993. *Synthetische Seismogramme fuer Eine Sphaerisch Symmetrische, Nichtrotierend Erde durch Direkte Berechnung der Greenschen Funktion*, Diplomarbeit, Inst. fuer Geophys., Uni. Stuttgart.
- Dreger, D.S., 2002. *Time-Domain Moment Tensor INVerse Code (TD-MT_INV)*, The Berkeley Seismological Laboratory (BSL), Report Number 8511,
- Dziewonski, A.M. and Anderson, D.L., 1981. Preliminary reference Earth model, *Phys. of the Earth and Plan. Int.*, 25, 297 – 356.
- Engdahl, E.R., Van Der Hilst, R.D., and Buland, R.P., 1998. Global Teleseismic Earthquake Relocation with Improved Travel Times and Procedures for Depth Determination, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 722 - 743.
- Friederich, W. and Dalkolmo, J., 1995. Complete Synthetic Seismograms for a Spherically Symmetric Earth by a Numerical Computation of the Green's Function in the Frequency Domain, *Geophys. J. Int.*, 122, 537 - 550.
- Grand, S.P., Van Der Hilst, R.D., and Widiantoro, S., 1997. Global Seismic Tomography; A Snapshot of Convection in the Earth, *GSA Today*, 7, 1 - 7.
- Hall, R., 2002. Cenozoic Geological and Crust Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer Based Reconstructions, Model and Animations, *Journ. Of Asian Earth Sciences*, 20, 353 – 431.
- Kennett, B.L.N., IASPEI 1991, *Seismological Tables*, Research School of Earths Sciences, Australian National University.
- Replumaz, A, Kárason, H, van der Hilst, R. D., Besse, J. and Tapponnier, P., 2004. 4-D Evolution of SE Asia's Mantle from Geological Reconstructions and Seismic Tomography, *Earth and Planetary Science Letters*, 221, 103 – 115.

OPTIMALISASI TEMPERATUR PEMANASAN CETAKAN PERMANEN (300°C, 350°C, 400°C) TERHADAP SIFAT MEKANIK PADUAN ALUMINIUM-MAGNESIUM (SERI 5XXX)

Basuki Widodo¹

¹Jurusan Teknik Mesin ITN Malang

Masuk: 6 Mei 2008, revisi masuk: 11 Nopember 2008, diterima: 9 Januari 2009

ABSTRACT

Aluminium is a light metal which has a very good physical and mechanical properties and it easy to be formed. Casting of aluminium posses some advantages high conductivity and low melting point, enables applied permanent mold too. Material that is used to make mold is from special steel, and when casting process, after aluminium-mag-nesium alloy melting will be poured in mold hence after the permanent mold heated in va-rious temperature which has been determined that is, 300 °C, 350 °C and 400 °C. Heat-ing of mold at this research meant to know how far the influence is happened to mechani-cal properties from Aluminium-Magnesium alloy (series 5xxx) especially tensile strength, hardness and transformation of microstructure. From result of research which to be got best tensile strength value to draw alloy Aluminium-Magnesium (Al-Mg) at 350 °C tem-perature equal to 11,11 kg/mm² and highest hardness at 350 °C temperature equal to 101,64 HB (Hardness Brinell) while microstructure that is very homogen also there is at temperature 350 °C.

Keywords: Mechanical Properties, Temperature, Al-Mg, Permanent Mold.

INTISARI

Alumunium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat fisik dan mekanik yang sangat baik selain itu aluminium juga mempunyai sifat mudah dibentuk. Pengecoran aluminium memiliki beberapa keuntungan diantaranya konduktivitas yang tinggi dan titik cair rendah, memungkinkan digunakan untuk cetakan permanen. Bahan yang digunakan untuk membuat cetakan adalah dari baja khusus dan pada waktu proses pengecoran paduan aluminium-magnesium setelah mencair dan akan dituangkan kedalam cetakan maka cetakan permanen tersebut terlebih dulu dipanaskan dengan variasi temperatur yang telah ditentukan yaitu, 300°C, 350°C dan 400°C. Pemanasan cetakan dimaksudkan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh yang terjadi terhadap sifat mekanik dari paduan Aluminium-Magnesium (seri 5xxx) terutama kekuatan tarik, kekerasan dan perubahan struktur mikro. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan nilai kekuatan tarik paduan aluminium-magnesium (Al-Mg) terbaik adalah pada temperatur 350 °C sebesar 11,11 kg/mm² dan kekerasan yang tertinggi juga pada temperatur 350°C sebesar 101,64 HB (*Hardness Brinell*) sedangkan struktur mikro yang paling homogen juga terdapat pada temperatur 350°C.

Kata Kunci : Sifat mekanik, Temperatur, Al-Mg, Cetakan Permanen.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif di Indonesia menunjukkan peningkatan secara jumlah, hal ini tidak berlebihan karena industri otomotif di Indonesia sudah dua puluh tahun beroperasi namun belum menunjukkan hasil-hasil yang signifikan terhadap proses transfer teknologi. Industri otomotif selain berkonsen-

trasi terhadap penyediaan permesinan juga akan menumbuhkan industri hilir seperti: industri alat/mesin vulkanisir, industri velg yang semuanya akan banyak membutuhkan proses pengecoran aluminium dan menyerap tenaga kerja. Pengecoran aluminium merupakan salah satu industri pengerjaan logam yang telah lama digunakan untuk mempro-

duksi berbagai produk di Indonesia. Pengecoran aluminium memiliki beberapa keuntungan diantaranya : konduktivitas tinggi sehingga memungkinkan memproduksi dengan cepat, titik cair relatif rendah memungkinkan digunakan cetakan permanen (ASM Handbook, 1992).

Dalam hal ini logam *non ferrous* khususnya aluminium memegang peranan yang sangat penting didalam bidang industri dimana keberadaannya sangat mendominasi bahan-bahan logam lainnya. Sering kali aluminium menggantikan bahan lain dalam fungsi yang sama. Hal ini terjadi bila produk yang diinginkan harus mempunyai sifat ringan, tahan korosi, bertitik cair rendah, mempunyai penampang permukaan yang baik serta sifat-sifat lain yang menguntungkan. Material ini digunakan dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan sebagainya. Untuk kebutuhan komersil aluminium murni terlalu lunak sehingga kurang memenuhi persyaratan yang diinginkan, misal kekuatan dan kekerasan masih terlalu rendah. Untuk memperbaiki sifat mekaniknya biasanya dipadukan dengan unsur-unsur lain seperti: Cu (tembaga), Mg (magnesium), Mn (mangan), Zn (seng), Ni (nikel), dan sebagainya baik secara satu persatu maupun bersamaan (Smith, 2002).

Paduan aluminium mempunyai sifat yang berbeda-beda tergantung pada unsur-unsur yang menjadi paduannya. Jenis dan pengaruh unsur-unsur paduan terhadap perbaikan sifat aluminium antara lain (Surdia, 2000) :

O Silikon (Si), mempunyai pengaruh yang baik terhadap paduan aluminium, yaitu dapat memperbaiki kekuatan coran (ketahanan material terhadap pembebanan dari luar), mempermudah proses pengecoran, mengurangi pemuaihan akibat terkena pengaruh panas, dan juga meningkatkan ketahanan korosi serta memperbaiki kemampuan untuk dipotong. Pengaruh buruk dari silikon adalah dapat menurunkan ketangguhan coran (ketahanan material terhadap pembebanan secara kejutan). Jika kandungan silikon terlalu tinggi, maka

paduan aluminium menjadi sangat rapuh.

- O Tembaga (Cu), pengaruh yang baik paduan tembaga terhadap paduan aluminium, yaitu kekerasan, dan juga memperbaiki kekuatan tarik serta mempermudah pengerjaan mekanik, yaitu pengerjaan aluminium dengan mesin. Sedangkan pengaruh buruknya dapat menurunkan ketahanan aluminium terhadap karat (khususnya paduan Al-Mn), serta mengurangi ketangguhan material dan sulit untuk dibentuk.
- O Besi (Fe) mempunyai pengaruh yang baik terhadap aluminium, yaitu dapat mencegah terjadinya penempelan logam cair dengan cetakan selama proses penuangan. Sedangkan pengaruh buruknya adalah dapat menurunkan sifat mekanis, menurunkan kekuatan tarik, menimbulkan bintik yang keras pada coran (*Hard Spot*) dan meningkatkan cacat porositas. Namun hal itu dapat diperbaiki dengan sejumlah mangan (Mn) dan Chrom (Cr).
- O Seng (Zn) dapat meningkatkan mampu cor pada aluminium, tetapi dapat pula menurunkan sifat anti korosi dan menimbulkan cacat rongga pada pengecoran jika kandungan seng terlalu tinggi.
- O Mangan (Mn) pengaruh yang baik mangan pada aluminium adalah dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan pada temperatur tinggi, dapat mengurangi pengaruh besi, serta meningkatkan ketahanan korosi. Pengaruh buruk dari mangan adalah menurunkan kemampuan untuk dituang pada pengecoran, menghasilkan bintik keras pada permukaan, meningkatkan kekerasan butir partikel dan meningkatkan kekerasan permukaan coran.
- O Magnesium (Mg) mempunyai pengaruh yang baik terhadap paduan aluminium, yaitu dapat meningkatkan kemampuan potong, memudahkan proses lanjutan dan pabrikan, serta menghaluskan butir kristal secara efektif. Kerugian akibat pengaruh magnesium adalah dapat menurunkan ketangguhan material, menim-

bulkan bintik keras pada permukaan coran, menurunkan ketahanan korosi, dan meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat pada coran.

- O Nikel (Ni) dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan paduan aluminium pada temperatur tinggi, serta mengurangi pengaruh besi. Kelemahannya dapat menurunkan ketahanan terhadap korosi.
- O Titanium (Ti) dapat meningkatkan coran pada temperatur tinggi, memperhalus butir kristal. Biasanya penambahan bersama-sama dengan Cr dalam persentase 0,1 % titanium juga dapat meningkatkan kemampuan las.

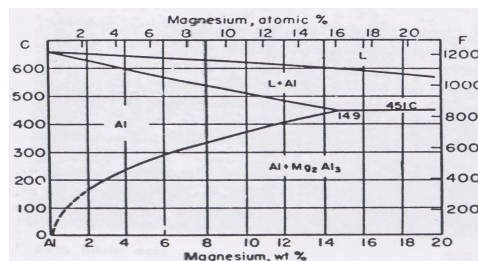
Tabel 1. Penandaan Paduan Aluminium

Paduan	Keterangan
1xx.x	Aluminium murni 99,0 % atau di atasnya
2xx.x	Cu merupakan unsur paduan utama
3xx.x	Mn merupakan unsur paduan utama
4xx.x	Si merupakan unsur paduan utama
5xx.x	Mg merupakan unsur paduan utama
6xx.x	Mg-Si merupakan unsur paduan utama
7xx.x	Zn merupakan unsur paduan utama

Didalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam yaitu Al_3Mg_2 (lihat gambar 1). Sel satuannya merupakan kubus berpusat muka (fcc). Titik eutektiknya adalah $450^{\circ}C$, 35% Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektik adalah 17,4% Mg, yang menurun pada temperatur biasa sampai kira-kira 1,9%, jadi kemampuan penuaan dapat diharapkan. Secara praktis penambahan Mg tidaklah banyak, pengerasan penuaan yang berarti tidak diharapkan. Senyawa β mempunyai masa jenis yang rendah dan mudah teroksidasi, oleh karena itu biasanya ditambahkan sedikit fluks dari Be, biasanya sekitar 0,004% (Surdia, 2000).

Pengecoran dengan cetakan permanen / cetakan logam dilaksanakan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan. Cara ini berbeda dengan pengecoran tekan, dimana tidak digunakan tekanan kecuali tekanan yang berasal dari tinggi cairan logam dalam cetakan, bahan cetakan yang dipakai adalah baja khusus, atau besi cor paduan, cara ini

dapat membuat hasil coran yang mempunyai ketelitian dan kualitas yang tinggi



Gambar 1. Diagram Fasa Aluminium-Magnesium (Surdia, 2000)

Keuntungan-keuntungan menggunakan cetakan permanen/cetakan logam adalah sebagai berikut :

- Ketelitian ukuran yang baik, sehingga bahan untuk menyelesaikannya dapat dikurangi, oleh karena itu mungkin membuat coran yang lebih ringan.
- Dengan cara ini dapat dihasilkan struktur yang rapat, oleh karena itu sifat-sifat mekanik dan sifat tahan tekanan yang dihasilkan baik.
- Mekanisasi dari proses adalah mudah dan produktivitasnya tinggi.

Kerugian dari cetakan permanen/cetakan logam adalah sebagai berikut :

- Cara ini tidak sesuai untuk jumlah produksi yang kecil disebabkan karena tingginya biaya pembuatan cetakan logam.
- Sukar untuk membuat coran yang berbentuk agak rumit.
- Pembetulan cetakan logam sukar dan mahal.

Didalam pengecoran tersebut diatas, logam yang dituangkan didinginkan secara cepat oleh cetakan logam, oleh karena itu cetakan harus mempunyai sifat sbb :

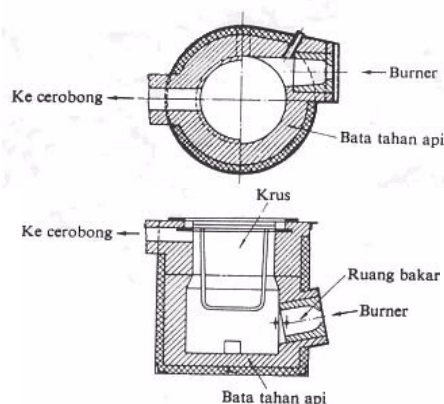
- Ketahanan aus yang baik
- Kemampuan mesin yang baik
- Pemuaian thermis yang terjadi rendah
- Ketahanan lelah pada temperatur tinggi

Perlu juga memberikan bahan pelapis permukaan pada cetakan agar memudahkan proses pembongkaran cetakan, dan mengurangi keausan cetakan serta menurunkan kecepatan pendingin-

an logam cair, sehingga terhindar dari cacat-cacat. Bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah besi cor yang mempunyai kualitas baik yang mengandung fosfor dan sedikit belerang. Kalau cetakan ini dikerjakan setelah pelunakan yaitu untuk menghilangkan tegangan, maka diperoleh cetakan permanen/cetakan logam yang memiliki ketelitian yang tinggi. Unsur cetakan biasanya beberapa puluh ribu kali pengisian kalau dipakai untuk membuat coran paduan ringan, dan kira-kira sepuluh kali pengisian kalau dipakai untuk membuat coran dari besi cor. Bahan organik yang bersifat tahan api, seperti tanah lempung atau grafit dipergunakan untuk melapisi permukaan cetakan, tetapi kalau digunakan untuk paduan yang mempunyai titik cair yang tinggi seperti besi cor, maka lapisan permukaan dan lapisan penyelesaian yang melindungi cetakan permanen/cetakan logam, yang berfungsi memudahkan pembukaan haruslah dibuat secara berhati-hati sekali. Untuk penelitian yang dilakukan, cetakan permanen/cetakan logam akan dipanaskan dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan. Ini dimaksudkan agar untuk mengetahui apakah dengan cetakan permanen yang dipanaskan dapat mengubah sifat-sifat yang dimiliki oleh paduan Aluminium-Magnesium (Al-Mg) seri 5xxx. Setelah itu dilakukan pengujian kekerasan, tarik, dan struktur mikro untuk mengetahui kepastian adanya perubahan sifat-sifat pada paduan Aluminium-Magnesium (Al-Mg). Paduan aluminium yang mempunyai titik cair rendah adalah bahan coran yang paling banyak dipakai untuk membuat coran seperti torak, sudu rumah mesin, dan sebagainya. Transformasi strukturnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan yang tinggi. Pertimbangan yang baik berdasarkan percobaan perlu diberikan dalam pengaturan temperatur pemanasan dan temperatur penuangan dari cetakan permanen / cetakan logam.

Dapur peleburan Al-Mg dan paduan non ferrous lainnya, biasa digunakan dapur krusible dan reverberatory disamping menggunakan listrik. Dapur krusible ini biasanya digunakan dalam skala kecil, sedangkan untuk skala yang

besar menggunakan dapur reverberatory.



Gambar 2. Dapur Krusible Jenis Pembakaran Minyak (Surdia, 2000)

Krusible yang ada dalam dapur berbentuk pot yang terbuat dari lempung api dicampur grafit. Terdapat tiga macam dapur krusible menurut jenis bahan bakar, gas, minyak, dan kokas. Krusible dengan bahan kokas jarang digunakan karena kurang efisien. Pada gambar 2. terlihat bahwa hasil pembakaran bahan bakar akan memanaskan dinding krusibel, yang kemudian akan mengalirkannya ke logam yang akan dilebur, dengan demikian api pembakaran tidak kontak langsung dengan logam.

Proses penuangan Aluminium dilakukan setelah temperatur yang ditunjukkan oleh termokopel mencapai titik didih yang ditentukan. Sebelum aluminium dituang ke dalam cetakan, terak diatas cairan aluminium harus dibuang. Terak terjadi karena penambahan inokulan dan erosi dari lapisan, kemudian cairan aluminium diambil dengan gayung, dituang dalam kecepatan seoptimal mungkin untuk mendapatkan hasil yang sangat baik.

Logam murni membeku pada temperatur tetap, mula-mula logam cair turun suhunya sampai mencapai titik dimana mulai terbentuk inti. Sejak saat mulai pembekuan sehingga logam menjadi padat seluruhnya, suhu campuran bahan padat ke cair tidak berubah. Segera setelah proses pembekuan selesai, suhu mulai turun. Dalam pembekuan logam cair pada permulaan, tumbuh inti-inti dalam kristal. Kemudian kristal-kristal inti tumbuh disekeliling inti tersebut, dan inti

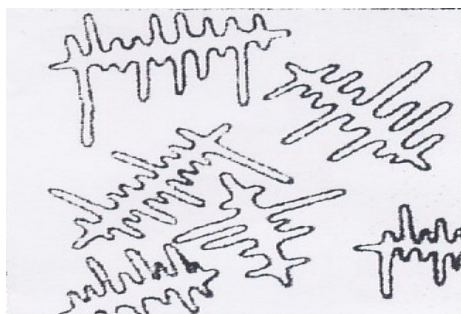
yang lain timbul pada saat yang bersamaan. Akhirnya seluruh inti ditutupi oleh butir kristal sampai logam cair habis. Ini mengakibatkan seluruh logam menjadi susunan kelompok butir-butir kristal dan batas-batasnya yang terjadi diantaranya disebut dengan batas butir. Ukuran butir kristal tergantung pada laju pendinginan dan pertumbuhan inti. Kalau laju pendinginan lebih cepat, maka dapat kelompok butir-butir kristal yang besar dan kalau laju pendinginan lebih lambat, maka didapat kelompok butiran-butiran yang lebih halus.

Pembekuan coran dimulai dari bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan, yaitu ketika panas dari logam cair diserap oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku. Dimana kemudian inti-inti kristal bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luar. Sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah kebagian dalam coran dan butir-butir kristal tersebut berbentuk panjang-panjang seperti kolom, yang disebut struktur kolom. Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang terbesar terjadi pada permukaan coran besar, seperti pengecoran dengan cetakan logam. Sebaliknya pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir yang menyebabkan gradien temperatur yang kecil dan membentuk struktur kolom yang tidak jelas. Bagian tengah coran mempunyai gradien temperatur yang kecil sehingga merupakan susunan butir-butir kristal segi banyak dengan orientasi yang sembarang.

Disamping itu cetakan logam menyebabkan permukaan menjadi halus. Dalam kasus daerah beku yang lebar, kristal tumbuh dari inti-inti dan akhirnya pembekuan berakhir pada saat dendrit saling bertemu. Aluminium membeku pada temperatur tetap, tetapi panas pembekuan yang dibebaskan pada waktu membeku begitu besar sehingga permukaan dalam menjadi kasar. Pada saat logam cair membeku, atom-atom mengatur diri mengikuti pola geometris tertentu. Mula-mula berbentuk inti kemudian tumbuh menjadi kristal dengan susunan kisi yang teratur. Inti tersebut terjadi pada waktu

logam cair mulai membeku dan arah pertumbuhannya acak.

Pada saat kristal yang satu bertemu dengan kristal yang lainnya yang sedang tumbuh, pertumbuhan kedua kristal tersebut terhenti dan permukaan sesungguhnya disebut dengan batas butir. Pada umumnya pertumbuhan kristal tidak merata, artinya pertumbuhan dalam satu arah mungkin lebih cepat. Pertumbuhan tersebut menyerupai dahan-dahan dan ranting dari pohon. Oleh karena itu kristal disebut dendrit (seperti yang terlihat pada gambar 3). Pertumbuhan berbeda kadang-kadang cabangnya bertambah lebar atau berbentuk cabang baru. Pada gambar dibawah ini tampak batas-batas butir dari kristal yang terbentuk.



Gambar 3. Struktur Dendrit.

Besar butir tergantung laju pada proses pengerjaan panas maupun pengerjaan dingin sewaktu logam dibentuk. Logam dengan butiran yang halus umumnya memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih baik dibandingkan dengan logam yang berbutir kasar. Hal ini disebabkan ada proses deformasi logam berbutir halus mempunyai hambatan slip yang lebih besar. Bahan dengan butiran yang kasar lebih mudah permesinannya., lebih mudah dikeraskan melalui perlakuan panas dan memiliki daya hantar panas dan listrik yang baik. Meskipun logam butir kasar akan mengeras secara merata, bahan berbutir halus tidak mudah retak sewaktu dicelup atau didinginkan secara tiba-tiba.

Aluminium cair dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa padat, sehingga dapat diketahui bahwa awal dan akhir pembekuan berlangsung pada suhu tetap. Distribusi temperatur dan kecepatan pendinginan dalam coran

diturunkan dari keadaan temperatur dan sifat thermal logam serta cetakan. Kondisi neukleasi dan pertumbuhan dalam cairan kemungkinan reaksi neukleasi dan pertumbuhan kristal tergantung pada partikel asing untuk kehadiran padat dalam cairan. Baik sebagai pengontrol atau sebagai tambahan yang disengaja. Karena banyak variasi, kondisi thermal dapat terjadi dalam tahapan selama pendinginan dari suatu pengecoran. Maka struktur keseluruhan mungkin terdiri dari daerah-daerah terpisah dengan perbedaan karakteristik yang sangat besar. Kekuatan paduan dengan pengerasan aging terutama ditentukan oleh interaksi dislokasi yang bergerak dengan presipitat. Hambatan pada paduan pengerasan presipitasi yang menghalangi pergerakan dislokasi adalah regangan sekitar zona presipitasi itu sendiri atau kedua-duanya. Jelas bahwa zona itu yang penting, maka dislokasi yang bergerak harus dapat memotongnya atau bergerak mengitarinya. Jadi dengan nalar sederhana paling sedikit akan ada empat penyebab kekerasan yaitu pengerasan kekerasan koheren, pengerasan kimia. Misalnya bila dislokasi memotong presipitat, pengerasan dispersi yaitu bila mana dislokasi mengitari atau melompati presipitat. Kontribusi masing-masing tergantung pada system paduan itu sendiri, namun umumnya terdapat dispersi kritis yang mengakibatkan penguatan maksimal. Seperti yang terlihat pada daerah partikel halus presipitat atau partikel koheren dan mampu diubah bentuk ketika dislokasi memotongnya, sedang didaerah partikel besar, partikel inkoheren tidak dapat diubah bentuknya ketika dislokasi melewatinya.

Bagi partikel yang dapat diubah bentuknya, ketika dislokasi membelahnya, maka sifat intrinsik partikel sangat penting dan kekuatan paduan tak banyak tergantung pada ukuran partikel. Untuk partikel yang tidak dapat diubah bentuknya, ketika dislokasi melewatinya, maka kekuatan paduan tidak tergantung pada sifat partikel tetapi tergantung pada ukuran partikel dan dispersi, kekuatan berkurang bila ukuran partikel atau dispersi bertambah. Transisi dari deformasi pada partikel yang dapat diubah bentuknya dapat mudah dikenal melalui perubahan

struktur mikro. Aliran dislokasi 'Laminer' terdapat pada partikel yang dapat diubah bentuknya. Yang terakhir ini menghasilkan kerapatan loop dislokasi yang tinggi, dipol dan produk lain yang menghasilkan laju pengerasan yang tinggi. Bila pada temperatur tertentu aging diperpanjang, akan terdapat kecenderungan materi yang larut akan mengendap pada partikel yang lebih besar, sehingga memungkinkan partikel tersebut untuk tumbuh. Dengan demikian dapat mengurangi energi permukaan keseluruhannya. Proses ini disebut proses pengerasan struktur atau pertumbuhan Ostwald (Dieter, 1993). Daya penggerak pertumbuhan partikel adalah perbedaan antara konsentrasi materi larut (S_r) yang berada dalam keadaan seimbang dengan partikel kecil jari-jari (r), dengan konsentrasi materi larut yang seimbang dengan partikel besar.

Dengan berbagai pertimbangan diatas, maka dilakukan penelitian terhadap hasil pengecoran paduan Aluminium-Magnesium (seri 5xxx) dengan menggunakan cetakan permanen dengan tujuan untuk mengetahui variasi temperatur pemanasan cetakan permanen terhadap sifat mekanik. Perlakuan panas yang dilakukan adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat dari aluminium dengan jalan memanaskan spesimen sampai temperatur yang cocok dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ketemperatur rendah dengan kecepatan yang sesuai. Proses-proses tersebut diatas serta temperatur dan waktu yang dibutuhkan berbeda tergantung pada sifat dan ukuran coran, sehingga kalau dilakukan proses yang tidak cocok untuk satu coran maka tujuan dari perlakuan panas tidak akan tercapai (De Garmo, et al., 1993). Perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Smith, 2002).

- *Solution Heat treatment*: Adalah pemanasan paduan ke temperatur tertentu, menaikkan pada temperatur tersebut selama waktu tertentu yang menyebabkan satu atau lebih unsur-unsur paduan masuk kedalam larutan padat.
- *Quenching*: Adalah pendinginan dengan cepat setelah solution heat tre-

atment untuk menahan unsur-unsur tetap dalam larutan sehingga terbentuk larutan padat super jenuh (*SSS = Super Saturated Solution*)

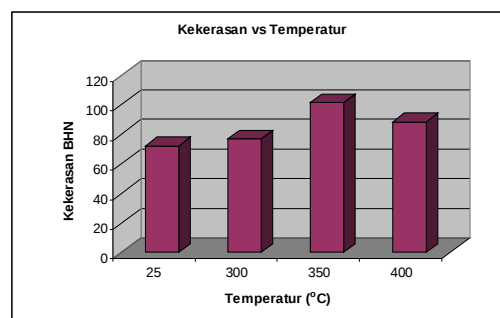
- *Aging*: Adalah proses pemanasan material yang telah mengalami solution heat treatment dan quenching sampai mencapai temperatur tertentu baik dalam temperature ruang (*natural aging*) maupun pada temperatur yang lebih tinggi (*artificial aging*), menahannya pada temperatur ini selama waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan endapan yang dikehendaki
- *Annealing*: Adalah proses pemanasan dan penahanan pada temperatur tertentu, kemudian didinginkan dengan kecepatan yang sesuai, dengan tujuan melunakkan struktur dengan rekristalisasi, penghilangan tegangan sisa dan lain-lain.
- *Stress Relief*: Adalah pemanasan ke temperatur tertentu, menahannya selama beberapa waktu untuk mengurangi tegangan sisa, kemudian didinginkan secara lambat untuk meminimumkan pertumbuhan tegangan baru.

Makin banyak komponen bahan logam fero yang digantikan fungsinya oleh tuangan paduan aluminium ini. Paling tidak dari segi volume dan variasi potensi aluminium benar-benar hampir tak terbatas. Di industri otomotif Amerika misalnya, dewasa ini sudah hampir berlipat tiga dari dekade terakhir (De Garmo, et al, 1993). Pencairan paduan Aluminium-Magnesium merupakan faktor yang turut menentukan kualitas dari coran, pencairan aluminium dapat menghasilkan dross dan penyerapan gas, disamping itu penentuan temperatur juga sangat berpengaruh pada coran (Donna, 1993). Pada artikel ini untuk mencairkan aluminium telah digunakan dapur jenis reverberator dengan sumber panas dari kompor minyak tanah. Dapur ini dipilih karena sangat sesuai dengan kebutuhan, yaitu jumlah logam yang dicairkan sedikit dan termasuk dapur nyala api tak langsung (*indirect fuel-fired*), sehingga logam cair terlindung dari hasil pembakaran dan timbulnya dross serta penyerapan gas

hydrogen biasanya ditekan serendah mungkin. Temperatur penuangan yang diijinkan adalah 60-170°C diatas titik lebur (Donna, 1993). Dari pengamatan, aluminium yang digunakan mencair pada temperatur 660 °C, sehingga penuangan yang dipilih dalam perbandingan kualitas produk aluminium dengan menggunakan cetakan logam adalah 750°C.

PEMBAHASAN

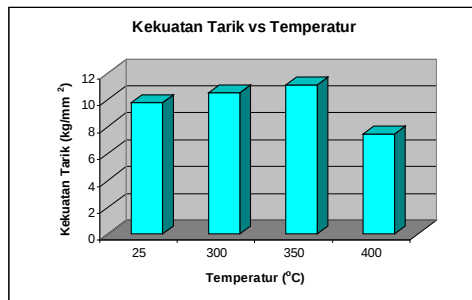
Pada pengujian kekerasan terjadi kenaikan kekerasan dari yang semula 72,27 BHN tanpa pemanasan cetakan menjadi 76,62 BHN pada cetakan yang dipanaskan pada temperatur 300°C, kemudian naik menjadi 101,64 BHN pada temperatur pemanasan cetakan 350°C, selanjutnya menurun menjadi 88,48 BHN pada temperatur pemanasan 400°C. Dari hasil setelah pemanasan cetakan paduan Al-Mg menunjukkan kenaikan kekerasan (gambar 5).



Gambar 5. Kekerasan Brinnel paduan Al-Mg menggunakan cetakan dengan pemanasan

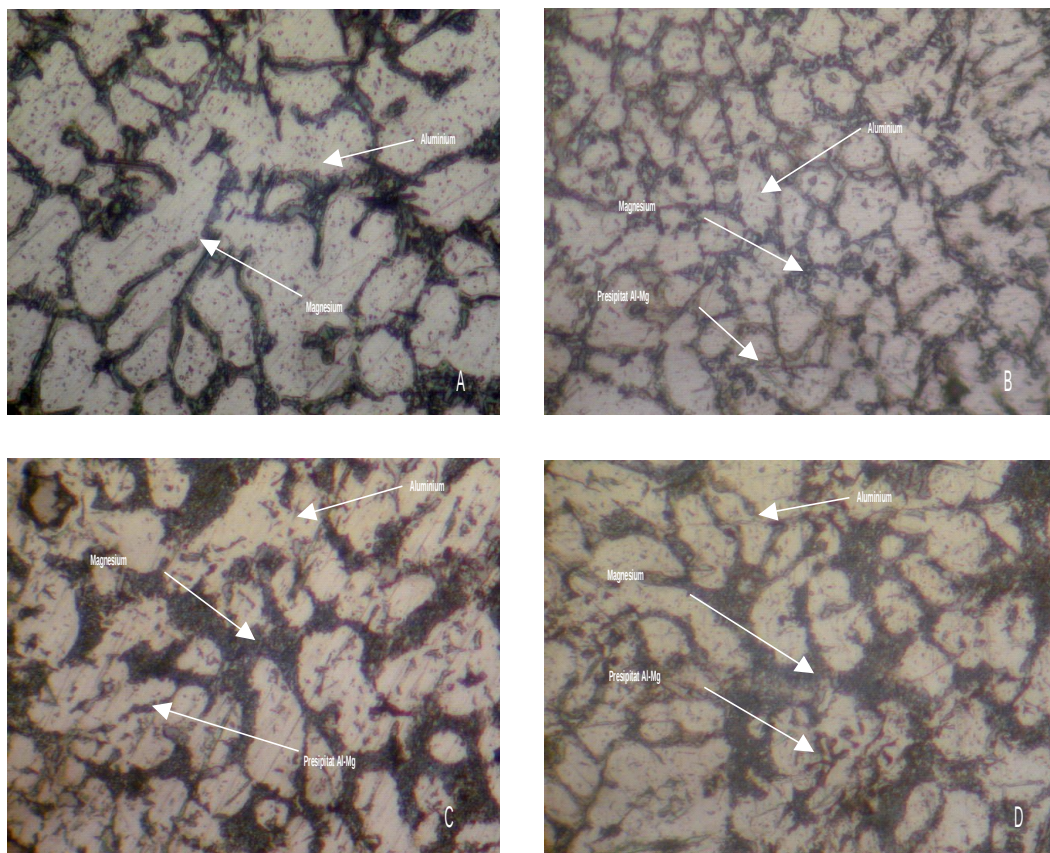
Jadi adanya kenaikan pada kekerasan disebabkan karena adanya kehomogenitasan struktur yang terjadi pada waktu cetakan mengalami pemanasan dan juga laju pendinginan yang cepat terhadap cetakan, jika dilihat dari struktur mikro pada paduan yang tanpa pemanasan cetakan *As-Cast* memperlihatkan keberadaan unsur aluminium dan unsur magnesium, dan terdapat endapan (presipitat) yang timbul karena temperatur thermalnya rendah dan laju pendinginan lambat, disamping itu dapat mengurangi kemungkinan timbul keretakan dan porositas (gambar 7A). Sedangkan untuk paduan yang dipanaskan terjadi penyebaran presipitasi dengan susunan rapat

(gambar 7.B,C dan D) dimana terjadi perubahan bentuk fasa menjadi fasa alpha atau fasa tunggal. Akibat adanya perubahan ini menyebabkan penyebaran partikel menjadi lebih kuat dari matriksnya dan pergerakan dislokasi pada permukaan harus mempunyai kekuatan yang seimbang.



Gambar 6. Kekuatan tarik paduan Al-Mg menggunakan cetakan dg pemanasan

Kenaikkan kekuatan tarik, pada paduan Al-Mg dengan kekuatan tarik tanpa pemanasan cetakan yaitu 9,805 Kgf/mm². Sedangkan pada temperatur 300°C terjadi penurunan yakni 7,476 Kgf /mm². Pada temperatur 350°C terjadi ke-naikan yaitu 11,111 Kgf/mm². Pada tem-peratur 400°C mengalami penurunan ke-kuatan tarik yaitu 10,512 Kgf/mm² (lihat gambar 6). Kekuatan tarik mengalami ke-naikan hal ini disebabkan karena pada cetakan yang dipanaskan dengan tempe-ratur yang bervariasi memiliki sifat meka-nik yang lebih baik dibandingkan dengan cetakan yang tidak dipanaskan (As-Cast) dan pada cetakan yang dipanaskan memperlihatkan lajunya penguangan pa-duan Al-Mg yang sudah mencair keda-lam cetakan yang sudah dipanaskan dan proses pembekuan paduan dari fase pa-dat ke fase cair (Al-Mg) begitu cepat se-hingga coran tidak mengalami porositas.



Gambar 7. Struktur mikro paduan Aluminium-Magnesium dengan (A) tanpa pemanasan cetakan, (B) pemanasan cetakan 300°C, (C) pemanasan cetakan 350°C, dan (D) pemanasan cetakan 400°C.

Dari pengamatan struktur Mikro dapat diketahui perubahan struktur mikro dari paduan Aluminium-Magnesium dengan Variasi temperatur pemanasan Cetakan pada temperatur 300 °C, 350 °C, 400 °C seperti terlihat pada gambar 7.

Struktur mikro khususnya matriks yang terbentuk sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanik, hal ini diperlihatkan dari kondisi kekuatan tarik dan kekerasan yang dicapai dari proses pemanasan cetakan pada temperatur 300°C, 350°C, 400°C. Dapat dilihat perbandingan kekuatan tarik dan kekerasan pada paduan Al-Mg tanpa pemanasan cetakan permanen dengan paduan Al-Mg dengan cetakan yang dipanaskan. Untuk paduan Al-Mg yang cetakannya tidak dipanaskan unsur aluminium dan unsur magnesium banyak terlihat dan terdapat presipitat yang timbul dikarenakan temperatur termalnya rendah dan laju pendinginan lambat, disamping itu dapat mengurangi kemungkinan timbul keretakan dan porositas. Sedangkan untuk paduan Al-Mg yang cetakannya dipanaskan terjadi adanya endapan pada pertumbuhan strukturnya dengan partikel yang luas dan akibatnya kondisi ini menyebabkan keretakan korosi, juga susunan struktur yang terjadi lebih rapat dan terjadi penyebaran (dispersi) presipitasi secara luas diluar dari matriks aluminiumnya ditambah dengan adanya perubahan yang terjadi akibat penyebaran presipitasi tersebut yakni perubahan fasa ganda atau fasa tetha menjadi fasa tunggal (fasa alpha) sehingga mempengaruhi sifat mekaniknya seperti pada paduan Al-Mg dengan cetakan yang dipanaskan kekerasannya mengalami kenaikan dan kekuatan tariknya mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan paduan Al-Mg yang cetakannya tidak dipanaskan (As-Cast).

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemanasan pada cetakan permanen paduan Al-Mg pada temperatur 300 °C, 350 °C dan 400 °C kekerasan dan kekuatan tarik

mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan As-Cast, hal ini disebabkan karena adanya kehomogenitasan struktur mikro yang terjadi pada waktu cetakan mengalami pemanasan dan juga laju pendinginan (*Cooling rate*) yang cepat terhadap cetakan. Pengecoran paduan Al-Mg dapat ditingkatkan sifat mekanisnya secara optimal dengan melakukan pemanasan pada cetakan dengan temperatur 350°C.

DAFTAR PUSTAKA

- ___ 1992, *Properties and Selection Non Ferrous*, ASM.Handbook, Ninth edition Ohio.
- Charles AH, *Handbook of Materials For Product Design*, 3rd Edition, Technology Seminars, Mc Graw Hill, Maryland
- De Garmo, EP, Black JT, Ronald, KA 1993, *Material And Processes In Manufacturing*, Ninth Editions, Mc Graw Hill, London.
- Dieter G E , Djaprie S, 1993 *Metalurgi Mekanik*, 3rd Edition, Jilid 1, Erlangga, Jakarta
- Donna L Z, AFS, 1993, *Aluminium Casting Technology*, 2nd Edition, American Foundrymen's Society, Inc, Illionis,
- Hanif, 2005, *Pengaruh temperatur pemanasan cetakan permanen Al-Mg*, Skripsi, Teknik Mesin, ITN Malang.
- [Http://www.world-aluminium.org/production/refining/index.html](http://www.world-aluminium.org/production/refining/index.html)
- Smith, WF, 2002, *Foundations of Material Science And Engineering*, Mc Graw, Hill International Editions, Singapore.
- Surdia T, Saito,S. 2000 *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Surdia T, Chijiwa, K, 2000 *Teknik Pengecoran Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Van Vlack,LH, 1994 *Terjemahan Djaprie,S. Ilmu Dan Teknologi Bahan* Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta.

APLIKASI ERGONOMI PADA PEMBUATAN STANDAR *HARD COMPETENCY*

Eko Nurmianto¹, Widha Kusuma Ningdyah²

^{1,2} Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya,
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111

Masuk: 8 September 2008, revisi masuk: 15 Nopember 2008, diterima: 10 Januari 2009

ABSTRACT

This paper describes the ergonomic application and the determination of standardized working systems hard competency at PT Atak Otomotif Indometal by using Behavioural Event Interview (BEI) methods and on the spot direct observation. The standard is made as the reference in determining employee minimum performance. By using standardized hard competency already made and weighted using Expert Choice 9.0 Software, furthermore it has to be evaluated towards employee competency to recognize the gap between the standardized and the real competency. Final results show that the average employee competency is still below at value 2.8 out of 5 based on Panggabean and Walter scale which means their competency tends to fulfill the employer expectation but it needs to be improved. Besides it has approved theory of Nurmianto and Terbit (2002) who have found that competence is influenced by four factors i.e training, education, working experience, skills which finally conclude that skills is the most influencing factor among other factors towards competency.

Keywords: Applied Ergonomic, Standardized Hard Competency, Expert Choice, Competence Evaluation

INTISARI

Makalah ini membahas tentang penerapan ergonomi dan penentuan standar hard competency pada sistem kerja di PT. Atak Otomotif Indometal dengan menggunakan metode *Behavioural Event Interview* (BEI) dan observasi langsung di lapangan. Standar tersebut dibuat untuk dijadikan acuan dalam penentuan performansi minimal yang harus dapat dilakukan oleh karyawan. Dengan menggunakan standar hard competency yang telah dibuat dan dibobotkan dengan Software Expert Choice 9.0, kemudian dilakukan evaluasi terhadap kompetensi karyawan pada saat itu untuk mengetahui kesenjangan kompetensi antara kondisi sebenarnya dengan standar yang telah dibuat. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kompetensi rata-rata karyawan masih berada pada nilai 2,8 dari nilai 5 berdasarkan tabel skala Panggabean dan Walter, yang artinya kompetensi karyawan cenderung memenuhi harapan namun masih perlu ditingkatkan. Selain itu untuk membuktikan teori dari Nurmianto dan Terbit (2002) bahwa kompetensi dipengaruhi oleh 4 hal yaitu pelatihan, pendidikan, pengalaman kerja dan keahlian maka dilakukan uji statistik terhadap data yang diperoleh. Hasil uji statistik dengan Software SPSS 10.0 membuktikan bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah keahlian dari karyawan, sedangkan faktor lainnya kurang berpengaruh secara signifikan terhadap kompetensi karyawan.

Kata kunci : Aplikasi Ergonomi, Standar Hard Competency, Expert Choice, Evaluasi Kompetensi

PENDAHULUAN

Ergonomi (Nurmianto, 2004) bertujuan efektifitas kerja yang dihasilkan oleh sistem manusia mesin meningkat, sambil tetap mempertahankan unsur kenyamanan dan kesehatan kerja sebaik

mungkin. Pendekatan dengan memakai data yang tersedia pada perancangan sistem yang ada. Data-data ini dapat berupa kemampuan, keterbatasan dan kompetensi yang dimiliki manusia. Hal penting yaitu, *fitting the task/job the man*.

¹ Email: nurmi@ie.its-sby.edu

Hal ini dapat diartikan bahwa dalam melakukan pekerjaan haruslah disesuaikan agar selalu berada pada jangkauan kemampuan serta keterbatasan manusia. Dalam hal ini akan banyak memberikan keuntungan dalam proses pemilihan pekerja untuk suatu pekerjaan tertentu.

Banyak metode dikembangkan untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan salah satunya adalah pola pengembangan berdasarkan kompetensi. Sistem pengembangan SDM ini pertama kali dikembangkan oleh David Mc Clelland tahun 1973 (Dessler, 1998; Soetjipto, 2002), dan Kleiner (2006). Selanjutnya oleh Nurmianto dan Wijaya (2003) yang telah mengevaluasi jabatan dan Perancangan Sistem Penilaian Kinerja Karyawan (SPKK) serta Perancangan Sistem Insentif Berbasis Kompetensi di Divisi Terminal Nilam dan Berlian PT PELINDO III Cabang Surabaya. Walau demikian sistem ini belum banyak dikenal dan digunakan oleh organisasi-organisasi yang ada di Indonesia. Metode ini sedang dikembangkan menjadi suatu metode pengembangan sumber daya manusia dengan mengintegrasikan bidang strategi, manajemen umum, organisasi ekonomi dan manajemen sumber daya manusia.

Kompetensi menunjukkan tingkat keahlian, sikap dan pengetahuan seseorang terhadap *task* atau pekerjaan yang menjadi tanggung jawabnya. *Aplikasi ergonomi* dalam aspek kompetensi adalah bagaimana ergonomi berperan pada kemudahan dicapainya kompetensi (Bridger, 2003). Berdasarkan sifatnya kompetensi dapat dibagi menjadi dua, yaitu *soft competency* dan *hard competency*. Pengembangan SDM berbasis *soft competency* lebih diarahkan pada *soft skill* dari manusia itu sendiri, dimana biasanya hal ini lebih banyak digunakan pada level manajerial. Sedangkan *hard competency* lebih mengacu pada kemampuan teknis seseorang untuk melakukan pekerjaannya, dimana kompetensi ini lebih banyak dimanfaatkan pada level operasional.

Hard competency menunjukkan tingkat ketrampilan dan pengetahuan seseorang yang diperagakan dalam menyelesaikan pekerjaannya. Untuk mengetahui tingkat ketrampilan dan pengeta-

huan yang dibutuhkan oleh seseorang untuk melakukan suatu pekerjaan dengan benar, maka perlu ditetapkan suatu standar kompetensi. Standar kompetensi tersebut nantinya dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi kinerja dari karyawan. Standar tersebut adalah acuan yang dibuat oleh organisasi untuk menetapkan tingkat kemampuan yang efektif dalam melakukan operasi kerja. Dengan adanya standarisasi terhadap *hard competency* tersebut, setiap karyawan memiliki acuan performansi kerja yang harus ditampilkannya dalam menyelesaikan pekerjaannya.

Hal ini sangat bermanfaat untuk meningkatkan kualitas kerja pada organisasi tersebut. Selain itu standar kompetensi ini nantinya dapat digunakan sebagai pedoman untuk memberikan pelatihan yang dibutuhkan oleh karyawan dan membuat uraian pekerjaan PT. ATAK Otomotif Indometal merupakan IKM yang bergerak di bidang produksi spare part. Bekerja dengan menggunakan mesin semi otomatis dan manual, namun sudah memegang sertifikat ISO 9000. Proses produksi dengan menggunakan mesin yang relatif sederhana, tentunya membutuhkan skill dan keahlian tertentu untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Kompetensi yang kurang memadai tentunya akan berakibat pada keberhasilan seseorang untuk menyelesaikan pekerjaannya. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu standar kompetensi untuk dijadikan acuan kerja agar diketahui performansi minimal yang harus mereka miliki untuk menyelesaikan pekerjaannya.

Pembuatan suatu pedoman *hard competency* diperlukan agar dapat dilakukan peningkatan dan penilaian kompetensi di bidang industri otomotif untuk melakukan prosedur Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Penggunaan dan Pemeliharaan Peralatan dan Perlengkapan Tempat Kerja, dan Operasi Penanganan Secara Manual bagi karyawan pada level operasional, sehingga dapat dilakukan evaluasi kompetensi karyawan berdasarkan *hard competency* yang dibuat.

Data ergonomi diperoleh dengan *Behavioural Event Interview* dan observasi langsung pada objek penelitian.

Data yang diperoleh kemudian dianalisa untuk merumuskan model kompetensi yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Dengan tetap mengacu pada Standar Kompetensi Otomotif yang dikembangkan oleh Kelompok Bidang Keahlian Otomotif Republik Indonesia (2001), model kompetensi yang dibuat meliputi bidang kompetensi, elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja serta komponen lain sesuai dengan format kompetensi. Pada model kompetensi ini juga ditentukan rincian tugas dari tiap kompetensi yang akan digunakan untuk evaluasi kompetensi karyawan.

Elemen kompetensi menggambarkan sasaran yang ingin dicapai oleh karyawan sesuai dengan bidang kompetensi. Kriteria unjuk kerja menunjukkan tingkat unjuk kerja yang diperagakan oleh karyawan pada setiap unit kompetensi untuk mencapai sasaran yang didefinisikan oleh elemen kompetensi. Tiap kriteria unjuk kerja diperagakan untuk satu atau lebih elemen kompetensi. Setelah ditentukan elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja yang dibutuhkan, kemudian dilakukan pengelompokan kriteria unjuk kerja ke dalam elemen kompetensi. Hasil dari langkah ini kemudian dibobotkan untuk mendapatkan suatu Sistem Penilaian Kompetensi Karyawan yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Setelah dilakukan perancangan model kompetensi, kemudian dilakukan pembobotan untuk tiap elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja. Perhitungan bobot elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja yang dilakukan dengan *software Expert Choice 9.0* ini akan digunakan pada evaluasi kompetensi karyawan. Pemberian bobot dilakukan dengan pertimbangan dan persetujuan dari pihak manajemen yang berwenang, dalam hal ini yaitu Manajer Produksi. Perhitungan bobot untuk elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja akan menghasilkan suatu formulasi penilaian kompetensi yang sesuai dengan kepentingan perusahaan. Masalah ini didiskusikan khusus dengan pihak manajemen, dalam hal ini diwakili oleh Bagian Produksi, Departemen QC dan Administrasi. Penilaian akan dilakukan dalam skala seperti pada tabel berikut ini.

Tabel Skala Penilaian Kinerja (Spencer & Signe, 1993), (Panggabean, 2002) dan Walter (2000)

Skala Penilaian	Keterangan
1	<i>Unsatisfactory Performance</i> (Tidak Memuaskan)
2	<i>Improvement Desired</i> (Perlu Perbaikan)
3	<i>Meets Expectation</i> (Memenuhi Harapan)
4	<i>Exceeds Expectation</i> (Melebihi Harapan)
5	<i>Outstanding Performance</i> (Luar Biasa)

Tabel skala tersebut kemudian menjadi angka dan kemudian dikalikan dengan bobot yang telah dihitung. Hasil pembobotan untuk elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja ditunjukkan pada tabel 3.1.

Uji Statistik Terhadap Faktor-faktor Kompetensi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara aspek ergonomi dari kompetensi karyawan dengan faktor-faktor yang diduga mempengaruhinya. Faktor-faktor tersebut terdiri dari tingkat pendidikan, keahlian, masa kerja dan pelatihan. Data dikumpulkan dari sampel karyawan yang telah dievaluasi tingkat kompetensinya, seperti ditunjukkan pada tabel 3.2. Data tersebut kemudian diolah dengan *software SPSS 10.0* untuk mendapatkan nilai F, nilai signifikan, persamaan regresi, koefisien determinasi dan koefisien korelasi, dimana masing-masing nilai memiliki interpretasinya sendiri-sendiri.

Identifikasi ergonomi dari kompetensi yang dibutuhkan oleh karyawan dilakukan dengan analisa terhadap hasil observasi dan interview dan merujuk pada Standar Kompetensi Otomotif yang dikembangkan oleh Kelompok Bidang Keahlian Otomotif Republik Indonesia (2001). Model kompetensi yang dirancang merupakan kompetensi umum untuk industri otomotif yang terdiri dari Pelaksanaan Prosedur Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Penggunaan dan Pemilihan Peralatan dan Perlengkapan di Tempat Kerja, dan Operasi Penanganan Secara Manual. Model kompetensi yang terdiri dari elemen kompetensi dan kriteria unjuk kerja ini kemudian didiskusikan de-

ngan pihak manajemen dalam hal ini bagian produksi. Dari hasil diskusi didapatkan bahwa standar kompetensi yang dibuat dapat menjabarkan aspek-aspek u-

tama yang dibutuhkan oleh seorang karyawan untuk menyelesaikan pekerjaannya.

Table 3.1 Pengelompokan kriteria unjuk kerja ergonomis ke dalam elemen kompetensi (Kelompok Keahlian Bidang Otomotif (2001), Bridger (2003), dan Kleiner (2006))

No	Elemen kompetensi	Bobot	Kriteria unjuk kerja	Bobot
A Pelaksanaan prosedur Ergonomi - Kesehatan dan Keselamatan Kerja				
A.I	Mengidentifikasi bahaya dan melakukan tindakan pencegahan	0.406	1. Mengenali bahaya di area kerja untuk melakukan tindakan pengontrolan yang tepat 2. Pemakaian pakaian pengaman pada saat bekerja sesuai dengan standar 3. Menggunakan peralatan dan perlengkapan yang sesuai untuk mencegah kecelakaan terhadap diri sendiri, orang lain dan kerusakan hasil pekerjaan 4. Berkonsentrasi ketika sedang bekerja untuk menghindari terjadinya kecelakaan kerja dan kerusakan hasil kerja 5. Mematuhi tanda bahaya dan peringatan 6. Penggunaan teknik dan pengangkatan/ pemindahan material secara manual yang tepat	0.061 0.107 0.169 0.02 0.013 0.035
A.II	Pemeliharaan kebersihan perlengkapan dan area kerja	0.155	1. Memilah perlengkapan sebelum melakukan pembersihan dan perawatan secara rutin 2. Membersihkan/ memelihara peralatan dan area kerja sesuai dengan keamanan dan jadwal pemeliharaan berkala.	0.116 0.039
A.III	Melaksanakan prosedur darurat	0.089	1. Bertindak sesuai prosedur perlindungan mesin pada saat tanda bahaya muncul 2. Melakukan prosedur penyelamatan pertama dan <i>Cardio-Pulmonary Resuscitation</i>	0.059 0.03
B Penggunaan dan Pemeliharaan Secara Ergonomis Terhadap Peralatan dan Perlengkapan Tempat Kerja				
B.I	Memilih dan menggunakan secara aman peralatan tempat kerja	0.209	1. Menggunakan peralatan dan perlengkapan sesuai dengan prosedur untuk mendapatkan hasil yang diinginkan 2. Berpikir secara analitis dan kreatif untuk menyelesaikan pekerjaan yang sulit dengan memanfaatkan peralatan 3. Menggunakan peralatan dan perlengkapan yang sesuai untuk mencegah kecelakaan terhadap diri sendiri, orang lain dan kerusakan hasil pekerjaan	0.131 0.029 0.05
B.II	Pemeliharaan/ servis pada peralatan dan perlengkapan tempat kerja	0.07	1. Peralatan dan perlengkapan diperiksa secara teratur berdasarkan rekomendasi pabrik, untuk memastikan kondisi kerja yang aman dan menjaga kualitas produk	0.07
C Pelaksanaan Operasional Berbasis Ergonomis Terhadap Penanganan Secara Manual				
C.1	Mengangkat dan memindahkan material/komponen/part	0.072	1. Penggunaan teknik dan pengangkatan/ pemindahan material secara manual yang tepat 2. Melakukan pekerjaan tanpa menyebabkan kerusakan pada komponen atau sistem lainnya 3. Menempatkan komponen / part / material dengan aman pada alat material handling dan menempatkan kembali dengan memastikan keselamatan petugas dan part/ komponen/ material yang diangkut.	0.045 0.01 0.017

Tabel 3.2 Nilai Kompetensi Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kompetensi Karyawan

No	Sampel	Nama	Nilai Kompetensi	Jumlah pelatihan yang diikuti	Lama Kerja	Skil/Keahlian	Tingkat Pendidikan
1	Karyawan 1	Ibnu Malik	2,297	-	3 tahun	Kurang	SMP
2	Karyawan 2	Kamidin	2,897	-	8 tahun	Baik	SMP
3	Karyawan 3	Fatkhur	2,834	-	13 tahun	Baik	SMP
4	Karyawan 4	Suparman	2,911	-	9 tahun	Baik	SMU
5	Karyawan 5	Khoiri	3,478	1 kali	19 tahun	Sangat Baik	SMU
6	Karyawan 6	Maksun	3,603	2 kali	11 tahun	Sangat Baik	SMU
7	Karyawan 7	Murtono	2,339	-	2 tahun	Kurang	SMP
8	Karyawan 8	Eko	2,504	-	2 tahun	Cukup	STM
9	Karyawan 9	Samsul B	2,271	-	1 tahun	Kurang	SMP
10	Karyawan 10	M. Yusuf	2,6	-	2 tahun	Cukup	STM
11	Karyawan 11	Mahfud	2,218	-	1 tahun	Kurang	SMP
12	Karyawan 12	Masykur	3,47	2 kali	16 tahun	Sangat Baik	SMP
13	Karyawan 13	A. Imron	3,339	1 kali	20 tahun	Sangat Baik	SMP
14	Karyawan 14	Suwarto	3,287	3 kali	18 tahun	Sangat Baik	SMP
15	Karyawan 15	Suprpto	2,203	-	1 thun	Kurang	SMP
16	Karyawan 16	Slamet H	2,59	-	9 tahun	Cukup	SMU
17	Karyawan 17	Yusron	2,26	-	2 tahun	Kurang	SMU
18	Karyawan 18	Rofiq	2,919	-	13 tahun	Baik	SMP
19	Karyawan 19	Sokeh S	3,384	1 kali	13 tahun	Sangat Baik	SMP
20	Karyawan 20	Ilul	2,109	-	2 tahun	Kurang	SMP

Setelah kerangka standar kompetensi telah disetujui oleh manajemen PT. ATAK Otomotif Indometal, lalu dilakukan pembobotan terhadap kriteria ergonomi pada unjuk kerja dari standar kompetensi. Penentuan bobot dalam hal ini diwakili oleh Kepala Bagian Produksi sampai diperoleh konsistensi rasio dibawah 0,1 yang menunjukkan bahwa pembobotan yang dilakukan telah konsisten. Dari hasil pembobotan dengan menggunakan *Software Expert Choice*, kompetensi Pelaksanaan Prosedur Ergonomi - Kesehatan dan Keselamatan Kerja memiliki bobot tertinggi (0,649), kompetensi ergonomis untuk Penggunaan dan Pemeliharaan Peralatan dan Perlengkapan di Tempat Kerja (0,279) dan kompetensi ergonomis dengan bobot terendah (0,072) yaitu Pelaksanaan Operasi Secara Manual. Pihak manajemen melihat bahwa kompetensi Pelaksanaan Prosedur Ergonomi-K3 perlu diutamakan. Pihak manajemen melihat bahwa pelaksanaan prosedur Ergonomi-K3 yang dilakukan dengan tepat akan membawa dampak positif bagi perusahaan itu sendiri. Secara internal, perusahaan dapat menekan biaya yang ditimbulkan jika terjadi kecelakaan di tempat kerja, sedangkan secara eksternal hal ini dapat meningkatkan kepercayaan *customer* untuk memesan produknya di PT ATAK Otomotif Indometal Kompetensi Ergonomis pada Penggunaan dan Pemeliharaan Peralatan dan Perlengkapan di Tempat Kerja memiliki selisih bobot yang tidak jauh dibawah kompetensi pertama, mengingat aspek ini berkaitan langsung dengan kualitas produk yang dihasilkan oleh PT ATAK. Perusahaan ini selalu berusaha agar standar mutu produk yang dihasilkan selalu terjaga sesuai dengan ISO 9001:2000 yang mereka peroleh. Selain itu kompetensi ini mendukung pelaksanaan kompetensi Ergonomi-K3, karena dengan menggunakan dan memilih peralatan dan perlengkapan kerja yang tepat untuk jenis pekerjaan yang tepat dapat mencegah resiko kecelakaan kerja secara dini.

Kompetensi Pelaksanaan Operasional Berbasis Ergonomi Terhadap Pengerjaan Secara Manual dinilai tidak terlalu penting dalam perusahaan ini

karena manual material handling yang terjadi di lantai produksi merupakan aktivitas yang tidak terlalu signifikan untuk menyebabkan kecelakaan kerja dan tidak berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan. Aktivitas ini tidak dapat dipisahkan dari kegiatan produksi namun tidak memberikan nilai tambah dalam proses produksi.

Dari hasil pembobotan elemen kompetensi, dapat dilihat untuk kompetensi Pelaksanaan Prosedur K3, bobot elemen kompetensi tertinggi yaitu pada identifikasi bahaya dan melakukan tindakan pencegahan sebesar 0,406, sedangkan yang kedua sebesar 0,155 adalah elemen kompetensi pemeliharaan dan perlengkapan area kerja. Bobot elemen kompetensi terkecil yaitu untuk melaksanakan prosedur darurat sebesar 0,089. Dari hasil pembobotan dapat dilihat bahwa untuk kompetensi yang pertama, pihak manajemen lebih mengutamakan tindakan pencegahan kecelakaan di lantai produksi. Dua elemen kompetensi dengan bobot tertinggi merupakan elemen kompetensi yang dibutuhkan karyawan untuk melakukan tindakan preventif terhadap segala resiko bahaya yang terjadi di tempat kerja. Sedangkan elemen kompetensi dengan bobot terendah merupakan elemen kompetensi karyawan yang harus dimiliki jika sudah terlanjur terjadi kecelakaan kerja. Hal ini dapat dipahami, bahwa pihak perusahaan tidak ingin beresiko mengalami kerugian yang jauh lebih besar ketika terjadi kecelakaan di lapangan kerja jika dibandingkan dengan melakukan unjuk kerja yang biayanya jauh lebih murah dengan pelaksanaan yang mudah. Namun demikian karyawan perlu untuk memiliki kompetensi dalam pelaksanaan prosedur darurat yang merupakan bagian dari manajemen kecelakaan kerja (*management of accident*) sehingga dapat meminimalkan resiko bahaya yang jauh lebih besar, baik korban jiwa maupun material. Sebaik apapun manajemen kecelakaan kerja disusun, namun kemungkinan terjadinya kecelakaan tidak dapat dihindari, di saat seperti inilah kompetensi tersebut sangat dibutuhkan.

Untuk aspek kompetensi Penggunaan dan Pemeliharaan Secara Ergo-

nomis Terhadap Peralatan dan Perlengkapan di Tempat Kerja, bobot tertinggi dimiliki oleh elemen kompetensi memilih dan menggunakan secara aman peralatan tempat kerja, yaitu sebesar 0,209. Sedangkan elemen kompetensi Pelaksanaan Operasi Penanganan Secara Manual memiliki bobot kepentingan sebesar 0,07. Hal ini disebabkan karena pihak manajemen melihat bahwa elemen kompetensi pertama merupakan hal yang penting pada jalannya proses produksi. Tingkat kualitas produk ditentukan oleh bagaimana karyawan memilih dan menggunakan peralatan dan perlengkapan dengan spesifikasi yang tepat untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Selain itu dengan memilih dan menggunakan peralatan yang tepat karyawan dapat mencegah terjadinya kecelakaan di tempat kerja. Pada akhirnya penggunaan peralatan dan perlengkapan sesuai prosedur dengan konsentrasi dan logika berpikir yang baik dapat mencegah terjadinya kecelakaan kerja dan kerusakan pada produk yang sedang dibuat. Pemeliharaan pada peralatan dan perlengkapan tempat kerja merupakan elemen kompetensi pendukung dari elemen kompetensi sebelumnya, bermanfaat juga sebagai usaha *preventif* terhadap kerusakan mesin yang akan berpengaruh pada mutu produk. Selain itu seperti telah disebutkan sebelumnya unit kompetensi ini dapat mencegah terjadinya kecelakaan kerja secara dini.

Kompetensi Pelaksanaan Operasional Berbasis Ergonomis Secara Manual hanya memiliki satu elemen kompetensi, sehingga elemennya sama dengan nilai bobot kompetensi itu sendiri, yaitu 0,072. Pada dasarnya elemen kompetensi mengangkat dan memindahkan material/komponen bertujuan lebih mengacu pada teknik material handling, dimana pada pelaksanaannya karyawan yang melakukan aktivitas ini dituntut untuk melakukan sesuai dengan prosedur pengangkatan yang ergonomis, sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan dan keselamatan. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa aspek kompetensi ini tidak mendapat nilai bobot yang tinggi, karena pelaksanaan manual material handling di lantai produksi dinilai tidak

memberikan resiko kerja yang signifikan terhadap kesehatan dan keselamatan karyawan. Pada kenyataannya kesalahan metode *manual material handling* dalam jangka panjang dapat memberikan dampak bagi kesehatan karyawan.

Standar kompetensi yang ergonomis yang telah dibuat, dapat dijadikan sebagai acuan kompetensi ideal yang seharusnya dimiliki oleh industri yang bergerak di bidang otomotif dengan batasan-batasan yang telah diberikan. Untuk PT. ATAK Otomotif Indometal sendiri, standar kompetensi yang telah dibuat akan dijadikan sebagai salah satu acuan untuk sistem penilaian karyawan dan menentukan pelatihan yang dibutuhkan untuk meningkatkan kompetensi karyawan. Selama ini PT ATAK memiliki program pelatihan untuk karyawannya yang diadakan 2 – 4 kali dalam setahun. Pelatihan yang bernuansa ergonomis diadakan untuk *upgrading* skill dan mengembalikan motivasi karyawan yang menurun. Program pelatihan dilakukan untuk kelompok kerja yang dinilai kinerjanya menurun. Oleh karena itu dengan adanya standar kompetensi dapat dibuat suatu bentuk pelatihan yang tujuannya tidak hanya meng*upgrading* kemampuan karyawan, namun sekaligus memberikan pengetahuan baru berkaitan dengan kompetensi yang seharusnya mereka miliki.

Dengan menggunakan sistem penilaian kompetensi yang ergonomis bagi karyawan, dilakukan evaluasi terhadap kompetensi karyawan. Penilaian kompetensi dilakukan pada kelompok sampel karyawan yang diambil secara acak oleh tim penilai yang terdiri dari peneliti, Kepala Bagian Produksi, Administrasi dan Kepala Bagian QC.

Karyawan yang akan dievaluasi ditentukan secara acak. Dari hasil evaluasi dapat diketahui bahwa kompetensi karyawan rata-rata berada pada level 2,8, artinya kompetensi karyawan pada umumnya masih perlu ditingkatkan walaupun sudah memenuhi harapan.

Kompetensi karyawan pada umumnya baik pada elemen kompetensi Pemeliharaan Kebersihan Perlengkapan dan Area Kerja unit kompetensi K3. Hal ini disebabkan karena budaya 5R sudah

mulai dirintis di perusahaan ini. Sehingga kegiatan memilah perlengkapan sebelum melakukan pembersihan dan perawatan rutin dan melakukannya sesuai jadwal berkala sudah menjadi budaya disini. Setiap kali selesai melakukan pekerjaan, maka peralatan dan perlengkapan kerja langsung dirapikan dan area kerja segera dibersihkan. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penelusuran alat dan perlengkapan ketika akan memulai pekerjaan lain. Selain itu membersihkan area kerja dengan segera dapat mencegah terjadinya kecelakaan secara dini.

Kompetensi karyawan rata-rata rendah pada elemen kompetensi Pelaksanaan Prosedur Darurat terutama pada pelaksanaan prosedur penyelamatan pertama dan *Cardio-Pulmonary Resuscitation* (CPR). Tingkat pendidikan menjadi salah satu faktor kurangnya pengetahuan di bidang ini. Selain itu belum pernah diberikan pelatihan dan pengetahuan bagi karyawan tentang penyelamatan pertama pada korban kecelakaan. Padahal kriteria unjuk kerja ini cukup penting mengingat tingkat dan resiko kecelakaan yang terjadi perusahaan tersebut. Karyawan biasanya terluka akibat kurang memadainya peralatan pengaman dan kurang berhati-hati ketika berinteraksi dengan mesin. Resiko kecelakaan yang terjadi pada umumnya adalah terpotongnya anggota tubuh (tangan), dimana ketika hal ini terjadi, korban bisa mengalami shock dan dapat menyebabkan jantung berhenti mendadak. Korban yang mengalami hal ini perlu segera diberikan CPR untuk memberikan pertolongan pertama.

Selain itu, kompetensi karyawan masih relatif rendah untuk pemakaian pakaian pengaman pada saat bekerja. Hal ini disebabkan karena kurangnya kesadaran dari karyawan mengenai pentingnya penggunaan peralatan pengaman pada saat bekerja. Selain itu manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja di PT ATAK Otomotif Indometal masih belum baik. Seperti yang telah disebutkan pada bab sebelumnya, bahwa karyawan di perusahaan tersebut hanya menggunakan kaos tangan dari bahan wol untuk setiap jenis pekerjaan. Padahal ada beberapa jenis operasi kerja yang

membutuhkan *ear plug* dan kacamata pelindung ketika bekerja. Dalam hal ini peran serta manajemen untuk mendorong pelaksanaan Ergonomi-K3 yang baik sangat dibutuhkan.

Terjadi perbedaan tingkat kompetensi karyawan yang cukup signifikan pada kompetensi kognitif karyawan, dalam hal ini yaitu kriteria unjuk kerja Pengalaman dan proses pembelajaran secara terus-menerus dalam jangka waktu yang cukup lama dapat meningkatkan kemampuan berkonsentrasi dan berpikir analitis untuk menyelesaikan pekerjaan dengan peralatan yang tersedia.

Faktor-faktor uji statistik yang berpengaruh terhadap tingkat kompetensi karyawan ada 4 macam, yaitu lama kerja, tingkat pendidikan, tingkat keahlian, dan jumlah pelatihan yang pernah diikuti karyawan. Dengan demikian variabel dependen dari uji statistik yang dilakukan adalah nilai kompetensi yang diperoleh dari hasil evaluasi kompetensi karyawan, sedangkan *fixed factor* -nya adalah keempat faktor yang telah disebutkan diatas.

Uji F (pengujian serentak) diolah dengan menggunakan *Software SPSS 10.0*. Hasil pengolahan data menunjukkan nilai F sebesar 130,717 dengan *significant level* kurang dari 0,05 yaitu sebesar 0,00. Kesimpulan yang diperoleh yaitu bahwa variabel-variabel bebas ini secara signifikan dapat diterima oleh model kompetensi karyawan.

Dari hasil dari pengolahan diketahui bahwa tidak semua variabel dependen yang berpengaruh terhadap kompetensi karyawan, seperti tingkat pendidikan SMP dan karyawan dengan skill yang kurang memadai. Untuk variabel lainnya selain kedua variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap kompetensi karyawan. Setiap variabel tersebut memiliki nilai koefisien dan *significant level* yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Dari tabel 4.1. tersebut diketahui bahwa yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kompetensi karyawan adalah tingkat keahlian karyawan pada level cukup, baik dan sangat baik. Untuk variabel X_{13} (tingkat pendidikan SMA), X_2 (masa kerja) dan X_3 (pelatihan) pengaruhnya

kurang signifikan terhadap kompetensi karyawan.

Tabel 4.1 Nilai Koefisien Variabel Yang Berpengaruh

Parameter	Koefisien regresi		Sig.
	B	Standard error	
Konst.	2.242	0.033	0.000
X ₃	-1.34E-02	0.043	0.761
X ₂	-6.66E-03	0.007	0.379
X ₄₂	0.271	0.072	0.002
X ₄₃	0.699	0.083	0.000
X ₄₄	1.288	0.143	0.000
X ₁₃	8.022E-02	0.047	0.110

Hal ini menunjukkan tinggi rendahnya kompetensi karyawan sangat tergantung pada baik buruknya skill yang dimiliki oleh karyawan tersebut. Dari nilai parameter regresi yang diperoleh model persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 2,242 - (6,66 \times 10^{-3}) X_2 - (1,34 \times 10^{-2}) X_3 + (8,022 \times 10^{-2}) X_{13} + 0,271 X_{42} + 0,699 X_{43} + 1,288 X_{44}$$

Hasil dari pengolahan untuk koefisien determinasi adalah sebagai berikut pada tabel 4.2. Pada tabel tersebut ditunjukkan besarnya nilai R² mendekati 1 yaitu sebesar 0,984. Dari sini dapat disimpulkan bahwa model yang dibuat telah mampu menjelaskan data yang ada dengan baik.

Tabel 4.2 Hasil Koefisien Determinan

Model	R	R kuadrat	R kuadrat terkoreksi	Standart Error dari parameter
1	0,992	0,984	0,976	7,782E-02

Faktor dominan merupakan faktor yang memberikan kontribusi terbesar dalam membentuk model kompetensi karyawan. Hal ini dapat dilihat pada besarnya nilai koefisien korelasi terbesar dari hasil pengolahan dengan menggunakan *Software Excel® 2000*. Besarnya

koefisien korelasi ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Nilai Korelasi Antar Variabel

Variabel	Nilai Korelasi
Y dengan X ₁	0,758
Y dengan X ₂	0,895
Y dengan X ₃	0,971
Y dengan X ₄	0,11

Pada tabel tersebut ditunjukkan bahwa variabel dependen yang memiliki korelasi terbesar dengan variabel independen adalah variabel X₃ sebesar 0,971. Hal ini bersesuaian dengan uji sebelumnya yang menunjukkan bahwa variabel X₃ (Keahlian) merupakan faktor yang pengaruhnya signifikan dan memberikan kontribusi terbesar terhadap kompetensi karyawan.

KESIMPULAN

Dari hasil observasi dan interview terhadap kinerja karyawan, dapat diidentifikasi aspek ergonomi pada kompetensi yang dibutuhkan oleh operator di lantai produksi. Kompetensi tersebut adalah Pelaksanaan Prosedur Ergonomi - Kesehatan dan Keselamatan Kerja (0,649), Penggunaan dan Pemeliharaan Secara Ergonomis Terhadap Peralatan dan Perlengkapan Tempat Kerja (0,279) dan Pelaksanaan Operasional Berbasis Ergonomis Terhadap Penanganan Secara Manual (0,072). Standar kompetensi terdiri dari elemen kompetensi dan criteria unjuk kerja yang harus ditunjukkan oleh karyawan. Standar ini nantinya akan dijadikan sebagai acuan untuk memperbaiki sistem penilaian kinerja karyawan yang selama ini digunakan di PT. ATAK Otomotif Indometal serta dijadikan sebagai acuan untuk program pelatihan yang dibutuhkan oleh karyawan di perusahaan tersebut.

Dari hasil pengolahan dan interpretasi data diketahui bahwa kompetensi karyawan masih rendah dalam kesadaran untuk menggunakan pakaian dan alat pengaman untuk kerja yang sesuai dengan standar, dimana salah satu faktor yang menjadi penyebab hal ini adalah manajemen pengelolaan Ergonomi – K3

masih rendah. Hal ini dapat mendorong kurangnya kesadaran karyawan untuk memakai alat pengaman yang sesuai dengan pekerjaannya. Kompetensi lain yang perlu ditingkatkan adalah kemampuan berpikir secara analitis terutama untuk karyawan baru. dari sini dapat diketahui kompetensi mana yang menjadi prioritas untuk ditingkatkan sekaligus dapat segera dirumuskan bagaimana metode pelatihan yang tepat. Dari hasil uji statistik diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kompetensi karyawan adalah skill/ keahlian dari karyawan tersebut. Oleh karena itu, untuk mendapatkan karyawan/pekerja dengan kompetensi yang memadai lebih ditekankan pada usaha untuk meningkatkan skill dari karyawan.

Untuk mempersiapkan implementasi, sebaiknya dilakukan sosialisasi aspek-aspek ergonomi terhadap karyawan terlebih dahulu, dan melaksanakan program pelatihan kompetensi, mengingat beberapa kriteria unjuk kerja yang terdapat pada standar kompetensi masih merupakan hal baru bagi perusahaan tersebut.

Metode pelatihan yang bernuansa ergonomis yang disarankan adalah metode pelatihan *on going process*, yang dirumuskan dengan menggunakan *task analysis*.

DAFTAR PUSTAKA

- Kelompok Keahlian Bidang Otomotif, 20-01, *Standar Kompetensi Otomotif Indonesia Untuk Perawatan Dan Perbaikan Kendaraan Ringan*, Januari 2001 Versi B. untuk Proyek Otomotif Indonesia Australia Partnership for Skills Development (IAPSD).
- Bridger, R.S., 2003, *Introduction to ergonomics*, Taylor & Francis. London.
- Dessler, G., 1998, *Human Resource Management*, Prentice Hall International, Inc., New Jersey.
- Kleiner, B M., 2006, Macroergonomics: Analysis and design of work systems, *Applied Ergonomics*, 37, 81-89.
- Nurmianto, E., 2004, *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*, Guna Widya, Jakarta.
- Nurmianto, E., Terbit, SP., 2002, Manajemen Kompetensi: Pengaruh Faktor-faktor Kompetensi Terhadap Peningkatan Prestasi Kerja Karyawan PT. Aneka Coffe Industri, *Proceeding Seminar Nasional Akademi Manajemen Indonesia*.
- Nurmianto, E., Wijaya, FH., 2003, Melakukan Evaluasi Jabatan dan Perancangan Sistem Penilaian Kinerja Karyawan (SPKK) serta Perancangan Sistem Insentif Berbasis-kompetensi di Divisi Terminal Nilam dan Berlian PT PELINDO III Cabang Surabaya, *Proceeding Seminar Nasional TIMP 3 "New Role of Industrial Engineering and Management Science in Shaping The Future of Indonesian Industry"*, 22-23 Juli 2003.
- Panggabean, MS., 2002, *Manajemen Sumber Daya Manusia*, PT Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Spencer, M. L., & Signe, 1993, *Competence At Work, Models for Superior Performance*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- SPSS Inc, 1999, *SPSS® Base 9.0 User's Guide*, USA.
- Soetjipto, BW., 2002, *Paradigma Baru Manajemen Sumberdaya Manusia*, Amara Books, Yogyakarta.
- Walter, D., 2000, Competency-based on-the-job-training for Aviation Maintenance and Inspection – a Human Factors Approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 26, pp. 343-54.

PERANCANGAN ALAT PEMECAH KEDELAI YANG ERGONOMIS DENGAN PENDEKATAN INTEGRASI MODEL KANO & QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

Endang Widuri Asih¹

¹ Jurusan Teknik Industri, IST AKPRIND, Jl. Kalisahak No. 28 Yogyakarta

Masuk: 21 September 2008, revisi masuk: 29 Nopember 2008, diterima: 10 Januari 2009

ABSTRACT

Operator work facility is one of the factors which influence work performance in a system. Good work facility must be comfortable for the operator. Operator work facility in a soya curd industry is a soya breaking tool. This tool doesn't fulfill the standardized concept of ergonomy and user satisfaction. In this paper we are going to discuss operator work facility improvement; that is designing of an ergonomic soya breaking tool which is ideal and needed by the users. In the designing of the soya breaking tool, Kano and QFD models are intergratedly used. The result of the need analysis, we found twelve atributes. From the twelve attributes, after we processed by using Kano model about operator satisfaction, applied in the House of Quality (HOQ), we found that there were five attributes in performance 1 and Basic factor. Those attributes were; the tool was easily maintained, the production process is fast, the tool is not tiring, the tool is save, and design is justified with the work position. To improve the quality of soya breaking tool by using Kano and QFD models, there are two primary factors. First, the tool size used Anthropometry, second, the tool is operated by using feet.

Keywords: *Ergonomic, Kano, Quality Function Deployment*

INTISARI

Fasilitas kerja operator merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi performansi kerja dalam suatu sistem. Fasilitas kerja yang baik harus memperhatikan kenyamanan kerja operator yang menggunakan. Fasilitas kerja operator pada industri tempe adalah alat pemecah kedelai yang digunakan tidak memenuhi standarisasi konsep ergonomis dan kepuasan pengguna. Guna perbaikan fasilitas kerja operator dilakukan perancangan alat pemecah kedelai yang ergonomic sesuai dengan keinginan atau kebutuhan pengguna. Perancangan alat pemecah kedelai ini menggunakan integrasi model KANO dan QFD (*Quality Function Deployment*). Hasil identifikasi kebutuhan pengguna alat pemecah kedelai didapat 12 atribut. Dari 12 atribut, setelah dilakukan pengolahan dengan model KANO mengenai kepuasan operator yang akan dipetakan pada rumah kualitas adalah atribut yang berada di *Performance 1* dan *Basic Factor* didapat 5 atribut yaitu; perawatan alat mudah, waktu proses produksi cepat, tidak lelah pada saat digunakan, aman pada saat digunakan dan desain alat sesuai dengan posisi kerja. Dalam Perancangan untuk perbaikan kualits alat pemecah kedelai dari hasil integrasi model Kano dan QFD diutamakan adalah ukuran alat dengan menggunakan dimensi tubuh operator, dan cara pengoperasian dengan menggunakan kaki.

Kata Kunci : *Ergonomis, Kano, Quality Function Deployment*

PENDAHULUAN

Kelangsungan dan pertumbuhan usaha pada industri besar maupun kecil sangat berpengaruh pada perekonomian pemerintah. Karena dengan adanya pertumbuhan usaha industri dapat meningkatkan kesempatan kerja dan juga dapat

memberikan pendapatan pemerintah. Industri kecil mempunyai potensi yang cukup besar dalam peningkatan penerimaan devisa negara, juga meningkatkan taraf kehidupan masyarakat karena dapat memberikan nilai tambah dalam berproduksi.

¹ Email: endang.akprind@gmail.com

Kebanyakan industri kecil lebih memprioritaskan pada permasalahan modal, pemasaran dan manajemen, sedangkan masalah yang berkaitan dengan tenaga kerja, sistem kerja, lingkungan kerja dan fasilitas kerja sering kali diabaikan. Untuk meningkatkan produktivitas dan kinerja *home* industri, hal ini perlu mendapatkan perhatian serius bagi pemilik *home industry* seperti; resiko faktor ergonomi, sikap dan posisi kerja yang tidak alamiah serta lingkungan kerja.

Fasilitas kerja operator merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi performansi kerja dalam suatu system. Fasilitas kerja yang baik harus memperhatikan kenyamanan kerja operator yang menggunakannya. Konsep *human centered design* harus diterapkan agar memudahkan operator saat menggunakan fasilitas kerja tersebut. Konsep tersebut ditujukan untuk menghasilkan suatu desain fasilitas kerja yang memudahkan operator bekerja dalam areanya dan memberikan kenyamanan kerja operator.

Salah satu industri kecil yang berkembang saat ini adalah industri Tempe. Untuk meningkatkan industri tempe maka harus dicari penyebab kendalanya. Salah satu penyebabnya adalah peralatan yang digunakan sebagai alat bantu-nya masih sangat sederhana yaitu; alat pemecah yang digunakan belum ada standarisasi pekerjaan, aspek antropometri para perajin dan sikap kerja tidak alami.

Akibat alat yang tidak sesuai dengan standar kerja dan ukuran antropometri, serta sikap kerja yang salah akan mengakibatkan pekerja sering mengeluh sakit pada bagian tubuh belakang (Asih, 2006). Dan orang yang bekerja dalam posisi bungkuk dalam waktu lama akan mempunyai resiko terkena gangguan pada otot dan tulang belakang (*Low back Pain*). *Low back Pain* dapat juga disebabkan oleh kelelahan otot apabila postur tubuh menyebabkan pembebanan secara statis pada otot tulang belakang secara terus menerus. Hal ini akan menurunkan kinerja operator, sehingga produktivitas kerja menurun.

Dalam artikel ini akan dibahas perbaikan fasilitas kerja operator yaitu; perancangan alat pemecah kedelai yang

ergonomic, sesuai dengan keinginan/kebutuhan penggunaanya dengan pendekatan kano dan QFD. Dan dihasilkan suatu rancangan alat pemecah kedelai yang ergonomis dan sesuai dengan kepuasan penggunaanya atau pekerja sehingga penggunaanya dapat bekerja dengan nyaman, aman, sehat, efisien dan efektif serta produktifitas kerja penggunaanya dapat meningkat.

Ergonomi berasal dari kata *ergo* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti aturan, prinsip atau kaidah. Sehingga kata ergonomi berarti suatu studi mengenai hubungan antara manusia dengan pekerjaanya. Dalam perkembangannya, pengertian ergonomi merupakan suatu istilah yang digunakan secara luas dengan istilah *human engineering* atau *human factor* yaitu suatu ilmu yang mempelajari perangkat *interface* maupun bentuk interaksi antara manusia dengan obyek yang digunakan dengan lingkungan tempat bekerja.

McCormick dan Sanders (1993) mendefinisikan ergonomi dengan menggunakan pendekatan yang lebih komprehensif. Pendekatan ini dilakukan melalui tiga hal pokok yaitu; fokus, tujuan dan ilmu *ergonomi*.

- Fokus dari ergonomi adalah manusia dan interaksinya dengan produk, peralatan, fasilitas, prosedur dan lingkungan pekerjaan serta kehidupan sehari-hari.
- Tujuan ergonomi adalah meningkatkan efektifitas dan efisiensi pekerjaan, memperbaiki keamanan, mengurangi kelelahan dan stress, meningkatkan kenyamanan, penerimaan pengguna yang lebih besar, meningkatkan kepuasan kerja dan memperbaiki kualitas hidup.
- Pendekatan yang dilakukan dalam ergonomi adalah aplikasi yang sistematis dari informasi yang relevan tentang kemampuan, keterbatasan, karakteristik, perilaku dan motivasi manusia terhadap rancangan produk dan prosedur yang digunakan untuk lingkungan tempat menggukannya.

Berdasarkan pendekatan tersebut diatas maka Chappins (1995) me-

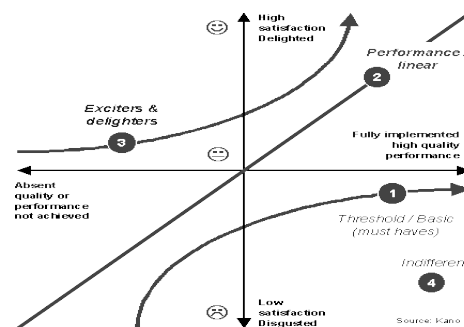
rangkum definisi ergonomi sebagai ilmu yang menggali dan mengaplikasikan informasi-informasi mengenai perilaku, kemampuan, keterbatasan, dan karakteristik manusia lainnya untuk merancang peralatan, mesin, sistem, pekerjaan dan lingkungan untuk meningkatkan produktivitas, keselamatan, kenyamanan, dan efektivitas pekerjaan manusia.

Model Kano dikembangkan oleh Dr. Noriaki Kano dari *Tokyo Riko University* pada tahun 1984 (Goncalves, 2000). Model Kano adalah suatu model yang bertujuan untuk mengkategorikan atribut-atribut dari produk maupun jasa berdasarkan seberapa baik produk atau jasa tersebut mampu memuaskan kebutuhan pelanggan. Kano juga mengklasifikasikan atribut-atribut suatu produk, baik barang atau jasa, berdasarkan seberapa baik atribut-atribut tersebut dapat diterima oleh *customer* dan pengaruhnya terhadap kepuasan pelanggan. Atribut-atribut tersebut (dapat dilihat pada gambar 1) dapat dibedakan menjadi beberapa kategori sebagai berikut :

- *Attractive* atau *excitement needs*, pada kategori ini tingkat kepuasan pelanggan akan meningkat sangat tinggi dengan meningkatnya kinerja atribut. Akan tetapi penurunan kinerja atribut tidak akan menyebabkan penurunan tingkat kepuasan. Goncalves menyatakan, "*There is no penalty for not including an attractive element, but including it makes the product or service better to use, differentiates it from competing offerings, and will 'delight' the user*". Hal ini jelas menyatakan bahwa pemenuhan atribut *attractive* akan membedakan pelayanan perusahaan dengan kompetitornya dan merupakan suatu *surprise* bagi pengguna layanan tersebut.
- *One-dimensional* atau *performance needs*, bila kategori ini terpenuhi maka dapat meningkatkan kepuasan pelanggan dan akan menyebabkan ketidakpuasan bila tidak terpenuhi, atau dengan kata lain tingkat kepuasan pelanggan berhubungan linier dengan kinerja atribut, sehingga menurunnya kinerja atribut akan

menurunkan pula tingkat kepuasan pelanggan.

- *Must-be* atau *basic needs*, jika layanan itu ada pelanggan tidak meningkatkan kepuasannya, sebaliknya jika tidak ada pelanggan tidak puas. Kategori ini merupakan kebutuhan dasar yang harus dipenuhi oleh penyedia jasa kepada konsumennya, namun bila perusahaan ingin meningkatkan performansi pada kategori ini maka tidak akan meningkatkan kepuasan konsumen. Walaupun kepuasan konsumen tidak akan meningkat dengan atribut-atribut pada kategori ini, tetapi atribut-atribut tersebut wajib dipenuhi oleh perusahaan, dengan kata lain atribut tersebut harus ada pada setiap produk atau jasa agar dapat diterima karena bila tidak maka konsumen tidak akan membeli.



Gambar 1. Model Kano
(<http://www.betterproductdesign.net/tools/definition/kano.htm>)

Ketidaktahuan terhadap kategori atribut layanan dapat menimbulkan akibat negatif bagi pihak perusahaan. Jika pemberi jasa tidak menyadari bahwa keinginan konsumen berbeda-beda dan kategori pelanggan tersebut bersifat dinamis. Secara spesifik, atribut *attractive* akan menjadi *one-dimensional*, dan akhirnya akan menjadi atribut *must-be*. Implikasi lain dari model Kano adalah keinginan pelanggan lebih bersifat dinamis daripada statis. Pada saat ini banyak beredar produk sejenis yang dapat dipilih oleh pelanggan, sehingga hanya produk inovatif saja yang dapat menarik perhatian pelanggan untuk dapat bertahan dalam persaingan yang ketat.

Keuntungan yang didapat dengan mengklasifikasikan kebutuhan pelanggan menggunakan model Kano adalah (Elmar Saurwein, dkk, dalam Yuniati, 2005):

- Prioritas pada pengembangan produk. Sebagai contoh, tidak akan berguna berinvestasi untuk meningkatkan atribut berkategori *must-be* yang merupakan tingkat kebutuhan dasar, tetapi lebih baik meningkatkan atribut berkategori *one-dimensional* atau *attractive* yang mempunyai pengaruh lebih besar dalam penerimaan kualitas produk dan konsekuensinya meningkatkan kepuasan pelanggan.
- Atribut-atribut produk dapat diketahui mana yang lebih baik. Kriteria produk yang mempunyai pengaruh paling besar terhadap kepuasan pelanggan dapat diidentifikasi.
- Metode Kano memberikan bantuan yang bernilai dalam menghadapi kondisi pada taraf/tahap pengembangan produk. Jika terdapat dua atribut produk yang tidak bisa terpenuhi secara simultan, baik karena alasan teknik maupun finansial, kriteria dapat diidentifikasi, atribut mana yang memberikan pengaruh terbesar terhadap *customer satisfaction*.
- Menemukan dan memenuhi kategori *attractive* akan menciptakan kemungkinan besar untuk perbedaan, yaitu membedakan produk perusahaan dengan pihak pesaing.
- Kategori *Must-be*, *one-dimensional*, dan *attractive* adalah berbeda sebagai suatu aturan, yang berguna dalam menentukan segmen pelanggan. Kebutuhan tiap segmen pelanggan yang berbeda juga berbeda.
- Metode Kano dapat secara optimal dikembangkan dengan model QFD. Model Kano digunakan untuk menentukan atau menetapkan karakteristik produk yang penting untuk terwujudnya kepuasan pelanggan, dan hal ini menciptakan syarat mutlak untuk proses yang berorientasi pada

kegiatan pengembangan produk yang optimal.

Quality Function Deployment (QFD) merupakan suatu metodologi yang digunakan oleh perusahaan untuk mengantisipasi dan menentukan prioritas kebutuhan dan keinginan konsumen, serta menggabungkan kebutuhan dan keinginan konsumen tersebut dalam produk atau jasa yang disediakan bagi konsumen.

Penggunaan *QFD* dalam proses perancangan produk akan membantu manajemen dalam memperoleh keunggulan kompetitif melalui proses penciptaan karakteristik dan atribut kualitas produk atau jasa yang mampu meningkatkan kepuasan konsumen. Disamping itu, penerapan metodologi *QFD* juga mampu menjamin bahwa informasi mengenai kebutuhan konsumen yang diperoleh pada tahap awal proses perencanaan diterapkan pada seluruh tahapan siklus produk, mulai tahap konsep desain, perencanaan komponen, perencanaan proses dan produksi, hingga produk sampai ketangan konsumen.

Menurut Cohen (1995), kunci kemampuan kompetitif adalah kemampuan untuk menjawab tantangan dalam memproduksi suatu produk dan atau pelayanan dengan cepat. Namun terdapat beberapa penghambat bagi perusahaan untuk memproduksi produk dan atau pelayanan dengan cepat, yaitu :

- Pengertian yang rendah tentang kebutuhan pelanggan.
- Kesalahan strategis dalam menentukan skala prioritas.
- Keinginan untuk mengambil resiko yang dapat dikembalikan.
- Adanya kecenderungan terhadap penggunaan desain yang tidak berkembang atau tidak mampu membe-rikan pelayanan.
- Penentuan spesifikasi yang terlalu tinggi.
- Skenario pengujian yang salah dalam menentukan kesalahan utama.

QFD menerjemahkan kebutuhan pelanggan (*Costumers Need*) ke dalam kebutuhan teknik (*Technical Response*)

untuk setiap tahapnya aktivitas, yang termasuk QFD adalah :

- Penelitian pasar (*Market Research*).
- Penelitian awal atau dasar (*Basic Research*).
- Penemuan (*Invention*).
- Pengujian prototipe (*Prototype Testing*).
- Pengujian produk akhir atau jasa (*Final Product or Service Testing*).
- Jaminan atau garansi setelah pembelian (*After Sales Service and Troubleshooting*).

Cara melihat kegunaan QFD sebagai sebuah pendekatan metode atau alat (*Tools*), didasarkan atas tiga dimensi (perspektif) yang berbeda yaitu :

- Ruang lingkup atau kesiapan (*Immediacy*): *Strategic Benefits, Tactical Benefits*. *Strategic Benefits* memiliki cakupan yang lebih luas dari *Tactical Benefits*.
- Tempat (*Place*): *Internal Benefits dan Market Place Benefits*. *Internal Benefits* berpengaruh di dalam perusahaan; *Market Place Benefits* menunjukkan kenaikan sales, kepuasan pelanggan meningkat, reputasi perusahaan meningkat dalam meraih pelanggan, dan kemampuan yang lebih baik dalam merekrut pekerja yang unggul (*Top-Notch Employee*).
- Dapat diukur (*Measurability*): *Tangible Benefits* adalah manfaat yang dapat diukur, contohnya pengurangan jumlah bulan untuk membawa produk ke pasar (*Time of Market*) atau jumlah uang yang diperoleh di atas perkiraan. *Intangible Benefits* adalah manfaat yang dapat diukur tetapi masih memiliki pengaruh positif.

PEMBAHASAN

Pengumpulan data awal (data kualitatif) dilakukan dengan interview terhadap karyawan pembuat tempe (operator), dengan tujuan mendapatkan atri-

but-atribut guna membangun kuisioner. Kuesioner terbagi menjadi 3 bagian yaitu; bagian 1 berisi tentang kepuasan operator terhadap alat pemecah kedelai yang sudah ada , bagaian 2 berisi tentang kepentingan terhadap alat pemecah kedelai dan bagaian 3 berisi Keluhan Biomekanis operator terhadap alat pemecah kedelai yang sudah ada. Penyebaran kuisioner pada operator sejumlah 31 orang dan pemilik industri tempe.

Tingkat Kepentingan (*Importance to Customer*) mencerminkan tingkat kepentingan operator terhadap indikator yang ada berdasarkan kuesioner. Pengukuran tingkat kepuasan konsumen pengguna alat diperoleh berdasarkan hasil kuesioner mengenai seberapa jauh operator merasa puas atas kualitas alat pemecah kedelai yang digunakan pada saat ini. Penentuan tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan indikator operator berdasarkan nilai rata-rata dari bobot atau jawaban responden pada pengolahan kuesioner. Hasil kuesioner tingkat kepentingan dan kepuasan dapat dilihat pada tabel 1.

Hasil kuesioner *Nordic body diagram* bagian 3 yaitu , bagian yang paling banyak adalah pinggang, punggung, leher, bahu kanan dan kiri, serta pergelangan tangan. Keluhan pada bagian pinggang dan punggung disebabkan oleh adanya kesalahan postural saat melakukan kerja. Kesalahan postural tersebut pada awalnya tidak terlalu menimbulkan rasa sakit, tapi lama kelamaan rasa sakit tersebut akan terakumulasi oleh ruas tulang belakang. Akumulasi rasa tersebut akan menyebabkan timbulnya *low back pain*.

Berdasarkan hasil kuesioner tersebut menunjukkan bahwa posisi operator pada saat proses pemecahan kedelai adalah tidak benar, karena hasilnya menunjukkan banyak keluhan dan ketidakpuasan operator pada saat melakukan pekerjaannya. Untuk memperbaiki hasil kerja dan mengurangi keluhan dan ketidakpuasan operator, perlu dirancang alat yang sesuai dengan posisi kerja dan kebutuhan para operatornya.

Tabel 1. Tingkat Kepentingan dan Tingkat Kepuasan

No	Atribut kualitas produk	Tingkat	Tingkat
----	-------------------------	---------	---------

		Kepuasan	Kepentingan
1	Kemudahan pengoperasian atau pengendalian	1.8065	4.0000
2	Kecepatan perputarannya dapat disesuaikan	1.8710	3.8065
3	Perawatan alatnya mudah	2.4516	4.0968
4	Waktu proses produksi cepat	2.2581	4.4194
5	Kapasitas produksi untuk satu kali proses ≥ 10 kg	2.1935	4.0645
6	Kesesuaian ukuran alat	2.0323	3.7742
7	Kualitas yang dihasilkan baik	2.0000	4.0645
8	Harga alat terjangkau	2.0968	3.8387
9	Kualitas bahan bagus	2.1290	3.8387
10	Tidak lelah pada saat digunakan	1.8710	4.3548
11	Aman pada saat digunakan	2.0968	4.3226
12	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	2.1290	4.1935

Untuk data dan gambar analisis Kano dilakukan dengan menggunakan diagram klasifikasi kepentingan yaitu berdasarkan kepentingan eksplisit dan kepentingan implisit. Data implisit diperoleh melalui korelasi antara satu atribut de-

ngan keseluruhan atribut dalam hal ini menggunakan hasil koefisien korelasi *spearman* sedangkan data eksplisit merupakan data tingkat kepentingan berdasarkan hasil kuisioner. Data selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 2. Perbandingan Implisit dan Eksplisit

No	Atribut Produk	Implisit	Eksplisit
1	Kemudahan pengoperasian atau pengendalian	0.1900	4.0000
2	Kecepatan perputarannya dapat disesuaikan	0.5640	3.8065
3	Perawatan alatnya mudah	0.6730	4.0968
4	Waktu proses produksi cepat	0.5470	4.4194
5	Kapasitas produksi untuk satu kali proses ≥ 10 kg	0.4660	4.0645
6	Kesesuaian ukuran alat	0.471	3.7742
7	Kualitas yang dihasilkan baik	0.4840	4.0645
8	Harga alat terjangkau	0.6170	3.8387
9	Kualitas bahan bagus	0.6730	3.8387
10	Tidak lelah pada saat digunakan	0.1990	4.3548
11	Aman pada saat digunakan	0.1720	4.3226
12	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	0.5320	4.1935

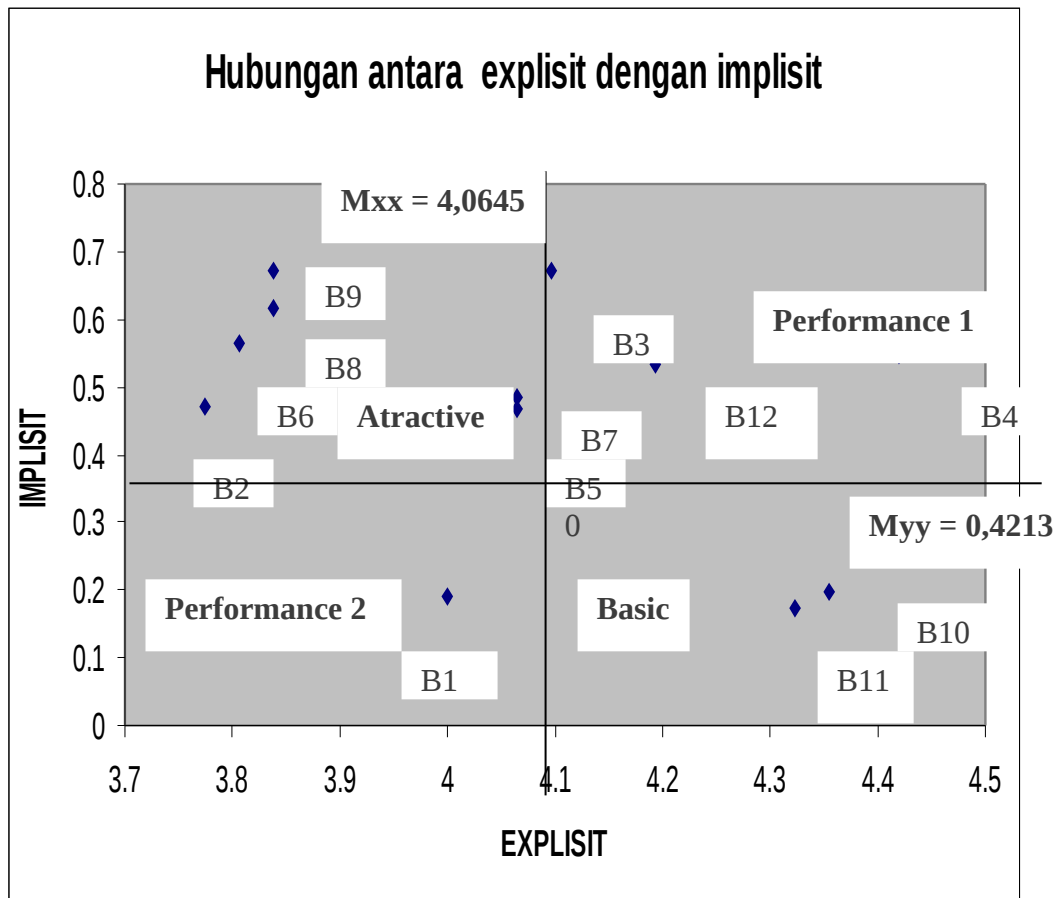
Hasil data implisit dan eksplisit kemudian dibuat dalam bentuk diagram klasifikasi kepentingan seperti gambar 2. Dari gambar 2. dapat diterangkan sebagai berikut:

- *Performance 1* = Faktor kepentingan Penting, kepentingan implisit tinggi dan kepentingan eksplisit tinggi.
- *Performance 2* = Faktor kepentingan Tidak Penting
- *Performance 1* yaitu kepentingan implisit tinggi dan kepentingan eksplisit tinggi, atribut yang masuk ke faktor ini adalah butir 3,4 dan 12
- *Basic factor* yaitu kepentingan implisit rendah dan kepentingan eksplisit

tinggi, atribut yang masuk ke faktor ini adalah butir 10 dan 11.

- *Performance 2* yaitu kepentingan implisit rendah dan kepentingan eksplisit rendah, atribut yang masuk dalam faktor ini adalah butir 1.
- *Attractive Factor* yaitu tingkat kepentingan implisit tinggi, kepentingan eksplisit rendah, yang masuk dalam faktor ini adalah 2,5,6,7,8 dan 9.

Hasil yang diperoleh dari model Kano mengenai kepuasan operator yang akan dipetakan pada rumah kualitas adalah atribut yang berada di *Performance 1* dan *Basic Factor*.



Gambar 2. Hubungan antara Eksplisit dengan Implisit Hasil Model Kano

Tabel 3. Atribut Kepuasan Konsumen Berdasarkan Pendekatan Analisis Kategori Kano

No.	Atribut	Kategori Kano
1	Perawatan alatnya mudah	Performance I
2	Waktu proses produksi cepat	Performance I
3	Tidak lelah pada saat digunakan	Basic Factor
4	Aman pada saat digunakan	Basic Factor
5	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	Performance I

Langkah-langkah dalam pembuatan HOQ adalah:

- Tingkat Kepentingan dan Kepuasan dari Model kano
- Penentuan Goal (Target)
 Penentuan Goal ini berkaitan dengan kepuasan operator pengguna alat pemecah kedelai terhadap tingkat per-

baikan yang hendak dilakukan oleh pemilik industri tempe untuk memulai tuntutan dari operator dan juga merupakan target performance dari masing-masing indikator kebutuhan operator sehingga memberikan Competitive Advantage atau keuntungan yang kompetitif bagi pemilik industri tempe.

Nilai goal (target) terhadap indikator kualitas produk rata-rata mempunyai nilai 4 dan 5 ini berarti pemilik industri tempe dalam meningkatkan kualitas alat pemecah kedelai mempunyai target yang positif, hal ini harus didukung dengan adanya perbaikan sehingga kebutuhan dan keinginan pengguna alat pemecah kedelai dapat terpenuhi.

- Penyesuaian Tingkat Kepentingan
 Data tingkat kepentingan pada tabel 4. adalah merupakan data mentah yang diperoleh dari kuisioner, karena pada pengukuran kepuasan konsumen juga

menggunakan metode kano maka perlu dilakukan penyesuaian tingkat kepentingan dengan maksud agar mendapat nilai kepentingan yang akurat dan jelas dalam menangkap suara konsumen (*Voice of Customer*), hal ini dikarenakan adanya perubahan penilaian kepentingan yang didasarkan pada faktor-faktor kepuasan konsumen (*basic, performance, dan attractive*) pada analisis Kano sehingga data yang diambil bukanlah data mentah lagi. Adapun cara menentukan penyesuaian tingkat kepentingan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_{adj} = Tk.Kepentingan\ konsumen \times IR_{adj} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 4. Penyesuaian Tingkat Kepentingan

No	Atribut kualitas produk	Tingkat Kepentingan
1	Perawatan alatnya mudah	5.1657
2	Waktu proses produksi cepat	6.5770
3	Tidak lelah pada saat digunakan	11.6378
4	Aman pada saat digunakan	8.2462
5	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	6.4265

Improvement ratio adalah perbandingan antara *Goal* dan *Customer Satisfaction performance* (Tingkat kepuasan konsumen). Hasil keseluruhan perhitungan *Improvement Ratio* ada pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan *Improvement Ratio*

No	Atribut kualitas produk	<i>Improvement Ratio</i>
1	Perawatan alatnya mudah	1.5898
2	Waktu proses produksi cepat	2.2146
3	Tidak lelah pada saat digunakan	2.6724
4	Aman pada saat digunakan	1.9077
5	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	2.3485

Secara logika semakin baik performansi kualitas produk kepada konsu-

men maka semakin tinggi pula tingkat kepuasan konsumen, namun pada model kano memberikan kita suatu pengetahuan bahwa tidak semua atribut kepuasan konsumen adalah sama dan linier, sehingga dalam melakukan perbaikan kita harus melihat kategori dan tingkat kepuasan berdasarkan faktor-faktor dari kepuasan konsumen. Dalam melakukan penyesuaian rasio perbaikan digunakan rumus:

$$IR_{adj} = \left[\frac{target}{Tk.Kepuasan\ Konsumen} \right]^{1/k} = (IR_0)^{1/k} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- k = konstanta kategori kano yaitu
 - *Basic* = 1
 - *Performance* = 2
 - *Attractive* = 4

Hasil selengkapnya tentang penyesuaian rasio pada table 6.

Sales Point ditentukan oleh perusahaan atau pengembang dimana nilai ini mencerminkan tingkat kepentingan yang dapat diperoleh apabila dilakukan peningkatan perbaikan dan penyempurnaan untuk indikator yang bersangkutan.

Tabel 6. Penyesuaian Rasio Perbaikan

No	Atribut kualitas produk	<i>Penyesuaian Rasio</i>
1	Perawatan alatnya mudah	1.2609
2	Waktu proses produksi cepat	1.4882
3	Tidak lelah pada saat digunakan	2.6724
4	Aman pada saat digunakan	1.9077
5	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	1.5325

Nilai *sales point* yang paling umum digunakan yaitu: (*Lou Cohen, 1995*)

- 1 : tanpa titik penjualan
- 1.2: titik penjualan menengah
- 1.5: titik penjualan ketat (kuat)

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel. sebagai berikut:

Tabel 7. *Sales Point*

No	Atribut kualitas produk	Sales Point
1	Perawatan alatnya mudah	1.2
2	Waktu proses produksi cepat	1.5
3	Tidak lelah pada saat digunakan	1.5
4	Aman pada saat digunakan	1.2
5	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	1.5

Nilai *Sales Point* mencerminkan tingkat kepentingan yang didapat dari pemilik industri tempe terhadap perbaikan dan penyempurnaan indikator kebutuhan operator.

Raw Weight merupakan hasil penelitian dari nilai keputusan yang ada atau dibuat pada kolom matrik Model ini merupakan prioritas kebutuhan pengguna alat pemecah kedelai yang harus dikembangkan oleh tim pengembang untuk masing-masing indikator kebutuhan pengguna (*Customer needs*). *Raw Weight* berdasar penyesuaian kepentingan (RWbpbk)

RWbpbk = Nilai penyesuaian kepentingan x Penyesuaian Rasio x *sales point*...(3)

Tabel 8. *Raw Weight & Normalized Raw Weight*




No	Kebutuhan Teknis	Raw Weight	Normalize Raw Weight
1	Perawatan alatnya mudah	7.81612	0.07603
2	Waktu proses produksi cepat	14.6818	0.14280
3	Tidak lelah pada saat digunakan	46.6513	0.45381
4	Aman pada saat digunakan	18.8775	0.18363
5	Desain alat sesuai dengan posisi kerja	14.7729	0.14371
TOTAL		102.799	

Respon Teknis diperoleh dari *brainstorming* dengan pihak manajemen atau pengembang tentang proses yang telah dilakukan pada kualitas alat pemecah kedelai untuk memenuhi kebutuhan atau keinginan pengguna. Berdasarkan VOC, respon teknis yang diberikan adalah sebagai berikut:

- Kualitas bahan
- Kekuatan bahan
- Cara pengoperasian.
- ukuran dengan Antropometri
- Pengaman Alat
- Model sesuai dengan pekerjaan



Untuk setiap *customer needs* akan dicari rekayasa teknisnya, yaitu dengan mencari hubungan antara kebutuhan pelanggan dengan *Substitute Quality Characteristic (SQC)*. Hasil dari matriks hubungan dapat dilihat pada rumah kualitas dengan simbol-simbol seperti berikut ini :

Tabel 9. Simbol yang digunakan dalam *Relationship Matrix*

Simbol	Nilai Numerik	Tingkat Hubungan
(blank)	0	Tidak ada hubungan
	1	Mungkin ada hubungan
	3	Ada hubungan (sedang)
	9	Sangat Kuat hubungannya

Matriks korelasi teknis menyatakan kekuatan hubungan antara respon teknis. Tahap ini memetakan *inter-relationship* dan *interdependencies* antara SQC. Tahap ini berguna dalam perancangan produk karena seringkali dalam operasinya, saat menjalankan satu fungsi akan mempengaruhi kemampuan atau fungsi lainnya. Simbol yang digunakan untuk menggambarkan derajat pengaruh teknis dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 10. Hubungan Korelasi Teknis

Simbol	Tingkat Hubungan
	Hubungan positif sangat kuat
	Hubungan positif cukup kuat
Kosong	Tidak ada hubungan
X	Hubungan negatif cukup kuat
xx	Hubungan negatif sangat kuat

Digunakan untuk mengetahui nilai kebutuhan atau kepentingan teknis masing-masing atribut sehingga dapat diketahui atribut mana yang mempunyai nilai kepentingan teknis tertinggi ataupun

yang terendah. Ada dua macam nilai kepentingan teknis, yaitu nilai kepentingan absolut (*Absolute Importance*) dan nilai kepentingan relatif (*Relative Importance*). Untuk menghitung nilai kebutuhan atau kepentingan teknis, menggunakan rumus:

$$Kt_i = \sum_i^n Bt \cdot H_i \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- Kti : Nilai kepentingan teknik untuk masing-masing atribut.
- Bti : Bobot untuk kepentingan konsumen yang mempunyai hubungan dengan atribut yang ada.
- Hi : Nilai hubungan untuk kepentingan konsumen yang mempunyai hubungan atribut yang ada.

Untuk perhitungan Kepentingan Relatif (*Relative Importance*), diperoleh dari hasil bagi masing-masing Kepentingan Absolut (*Absolute Importance*) dengan jumlah total kepentingan absolut dikalikan 100%. Rumusnya yaitu:

$$\text{Kepentingan Relatif} = \frac{Kti}{\sum Kt} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

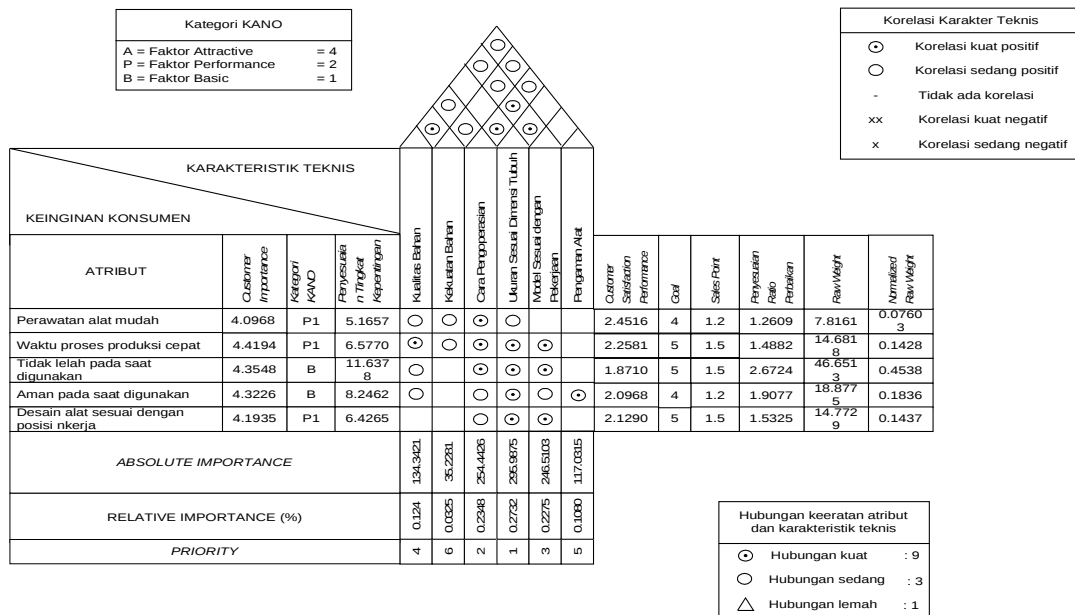
Sedangkan data Kepentingan Absolut dan Kepentingan Relatif serta Prioritas berdasarkan penyesuaian tingkat kepentingan perhitungannya sama tetapi nilai *Importance to Customer* menggunakan nilai hasil dari penyesuaian. Hasilnya dapat dilihat pada tabel. 11.

Tabel 11. Kepentingan Absolut Dan Kepentingan Relatif berdasarkan penyesuaian Kepentingan

No	Kebutuhan Teknis	Tingkat Kepentingan Absolut	Tingkat Kepentingan Relatif (%)	Prioritas
1	Kualitas bahan	134.3421	0.124	4
2	Kekuatan bahan	35.2281	0.0325	6
3	Cara pengoperasian.	25404426	0.2348	2
4	ukuran dengan Antropometri	295.9875	0.2732	1
5	Model sesuai dengan pekerjaan	246.5103	0.2275	3
6	Pengaman Alat	117.0315	0.1080	5

Keseluruhan hasil pengolahan data diatas akan dimasukkan ke HOQ pada QFD. Penggunaan QFD dengan mengaplikasikan model kano didalam pembuatan rumah kualitas rancangan gambar dapat dilihat pada gambar 3. Pada gambaran HOQ terlihat bahwa atribut tidak lelah pada saat menggunakan alat pemecah kedelai mempunyai nilai paling penting, sehingga dalam perancangan alat diprioritaskan untuk memenuhi atribut tersebut. Salah satu cara untuk me-

enuhi kebutuhan pengguna dalam perancangan alat dalam penentuan ukuran alat berdasarkan ukuran dimensi tubuh pengguna, karena untuk kriteria teknis tersebut memiliki nilai paling tinggi adalah ukuran dengan Antropometri, dan cara pengoperasian alat pemecah kedelai semula alat dioperasikan dengan cara diputar manual dengan tangan, sedangkan untuk rancangan baru dioperasikan dengan cara dikayuh dengan kaki. Gambar rancangan ada pada gambar 4.



Gambar 3. Hasil House of Quality Deployment



Gambar.4. Foto Hasil Rancangan alat pemecah kedelai sesuai karakteristik teknis

dan *Basic Factor* didapat 5 atribut yaitu; perawatan alat mudah, waktu proses produksi cepat, tidak lelah pada saat digunakan, aman pada saat digunakan dan desain alat sesuai dengan posisi kerja. Dalam perancangan alat dalam penentuan ukuran alat berdasarkan ukuran dimensi tubuh pengguna, karena untuk kriteria teknis tersebut memiliki nilai paling tinggi adalah ukuran dengan Antropometri, dan cara pengoperasian alat pemecah kedelai semula alat dioperasikan dengan cara diputar manual dengan tangan, sedangkan untuk rancangan baru dioperasikan dengan cara dikayuh dengan kaki.

KESIMPULAN

Hasil identifikasi kebutuhan pemakaian alat pemecah kedelai didapat 12 atribut. Dan dari 12 atribut, setelah dilakukan pengolahan dengan model KANO mengenai kepuasan operator yang akan dipetakan pada rumah kualitas adalah atribut yang berada di *Performance 1*

DAFTAR PUSTAKA

- Asih, EW., 2006, *Perancangan Meja Putar Alat Pembuat Gerabah yang Ergonomis Dengan Metode Quality Function Deployment*, Prose-
ding Seminar nasional, UTY.
- Chappin, D.B., 1995, *Occupational Biomechanics*, John Willey & Sons
- Cohen, L., 1995, *Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You*, Addition-Wesley Publishing Company, Massachu-
set.
- Goncalves., 2000, Attractive Quality and Must-be Quality, *The journal of Japanee Society for Quality Control*, Vol.14.no. 2. pp 39-48.
- Sanders, MS. & McCormick, EJ., 1993, *Human Factors in Engineering and Design*, Mcgraw-Hill Inc.
- Yuniati, A., 2005, *Pemetaan Preferensi Nasabah Bank dengan Model KANO Berdimensi Servqual*, Skripsi, IST Akprind.

EFEK PENAMBAHAN ASAM SITRAT DAN LAMA PEMANASAN TERHADAP MUTU MINYAK KACANG TANAH SELAMA PENYIMPANAN

Enny Karti Basuki Susiloningsih¹

¹ Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar Surabaya, 60294

Masuk: 6 April 2008, revisi masuk: 17 Oktober 2008, diterima: 7 Januari 2009

ABSTRACT

The research aims to analyze the effect of citric acid addition on the quality of peanut oil during storage. Before extracting the oil by steaming and dry heating to know the content and the peroxide value of oil 0 ppm or 200 ppm of citric acid is added to the oil produced from all treatments. The oil samples were stored for 12 weeks at 30°C. It is found that steaming at 90°C for 30 minutes, the oil content is 24,84% peroxide value 1.10 meq/kg oil, free fatty acid 0.017% and iodine value 89.955. Meanwhile, dry heating at 45°C without citric acid, the peroxide value 73.75 meq/kg oil, free fatty acid 0.017% and iodine value 89.995 and with citric acid 200 ppm, peroxide value 69.75 meq/kg oil, free fatty acid 0.664% and iodine value 83.685 and not rancid.

Keywords: Citric Acid, Heating, Storage, Peroxide, Flavor

INTISARI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat terhadap kualitas minyak kacang tanah selama penyimpanan. Sebelum minyak dikempa dengan menggunakan hidrolik pres secara manual, dilakukan dua macam pemanasan, yaitu pemanasan secara basah (kukus) dan pemanasan secara kering (oven), untuk mengetahui rendemen dan angka peroksida minyak yang diperoleh. Minyak hasil ekstraksi dari semua perlakuan pemanasan selanjutnya ditambahkan asam sitrat sebanyak 0 dan 200 ppm dan disimpan pada suhu 30°C selama 12 minggu. Pada pemanasan secara basah (kukus) selama 30 menit pada suhu 90°C, rendemen minyak sebesar 24,84%, angka peroksida 1,10 meq/kg minyak, asam lemak bebas 0,017% dan bilangan iodin 89,995, sedangkan pada minyak yang ditambah asam sitrat sebesar 200 ppm, angka peroksida 69,75 meq/kg minyak, asam lemak bebas 0,664% dan bilangan iodin 83,685 dan tidak beraroma tengik.

Kata Kunci : Asam Sitrat, Pemanasan, Penyimpanan, Peroksida, Aroma

PENDAHULUAN

Minyak kacang tanah tersusun dari campuran trigliserida, yang asam lemaknya terdiri atas asam lemak tidak jenuh sebanyak 76 – 82% dan asam lemak jenuh sebanyak 18 – 24%, sedangkan kandungan mono dan digliseridanya sangat kecil (Divino et al, 1996). Asam lemak tidak jenuh meliputi asam oleat 40 – 45% dan asam linoleat 30 – 35% terhadap asam lemak total, sedangkan asam linoleat 0,02 – 0,04% terhadap asam lemak total atau bahkan tidak terdeteksi. Besarnya kandungan asam linoleat pada minyak sangat mempengaruhi stabilitas minyak (Chiou et al., 1995).

Oksidasi adalah faktor yang sangat penting sebab dapat menghasilkan senyawa-senyawa yang menyumbang terjadinya *off flavour* dan kondisi ini lazim disebut tengik (rancid). Produk pangan olahan yang tengik dapat mengalami perubahan warna dan kehilangan nilai gizi karena desidasi vitamin dan asam lemak tak jenuh. Selanjutnya mutu produk akan menurun dan hasil oksidasi lipida seperti peroksida, aldehid dan keton dapat membahayakan kesehatan manusia (Fritsch, 1994, Giese, 1996, Byrd, 2001).

Minyak atau lemak yang memiliki asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) dan ganda (PUFA) dapat menjadi target

oksidasi. Hasilnya adalah produk oksidasi primer, sekunder dan tertier yang dapat menyebabkan kerusakan pada produk. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan oksidasi dapat disebutkan antara lain jumlah dan jenis oksigen yang ada, derajat ketidakjenuhan lipida, antioksidan, prodesidan (logam besi, sensitiser seperti klorofil, riboflavin, eritrosin dan cahaya), enzim lipolusigenase, suhu penyimpanan, dan sifat bahan pengemas (de Man, 1999, Min dan Baff, 2002).

Proses autoksidasi dimulai dengan pembentukan radikal bebas yang disebabkan oleh faktor-faktor yang dapat mempercepat reaksi. Reaksi oksidasi meliputi permulaan (inisiasi), penyebaran (propagasi) dan penghentian (terminasi) (de Man, 1999).

Radikal lipid yang diserang oleh molekul oksigen menghasilkan peroksi radikal yang tidak stabil, yang pada gilirannya mencopot (meng-abstract) atom hidrogen dari lipid lainnya dan membentuk suatu lipid hidroperoksida dan radikal lipid baru. Reaksi berantai peroksidasi lipid berlangsung dengan cara ini. Sebagai produk pemecahan sekunder seperti aldehid, keton, alkohol dan epoksida dihasilkan dari dekomposisi hidroperoksida (Nakayama et al, 1994).

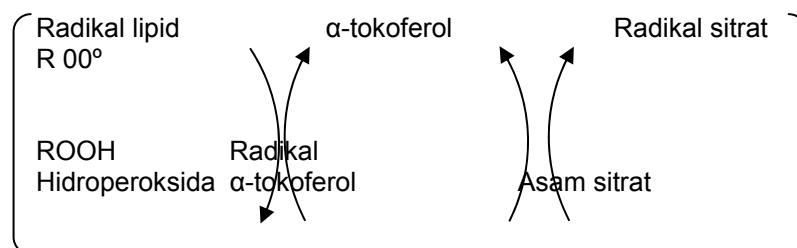
Antioksidan dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang dalam jumlah kecil akan mengganggu proses oksidasi normal dalam minyak dan lemak, sehingga dapat menunda waktu terjadinya oksidasi yang akan berlanjut lebih jauh untuk menghasilkan aroma dan bau yang tidak disenangi (Decker, 2002).

Antioksidan dapat berfungsi sebagai aseptor radikal bebas, sehingga a-

kan menghentikan reaksi oksidasi pada tahap permulaan. Dalam tidak ada antioksidan atau hidrogen pada asam lemak akan bebas, sehingga membentuk radikal asam lemak. Radikal asam lemak ini kemudian akan bereaksi dengan oksigen udara, sehingga akan berbentuk peroksida dan hidroperoksida. Adanya antioksidan berfungsi sebagai aseptor radikal bebas, akan terbentuk suatu senyawa yang bersifat stabil, sehingga tidak dapat melanjutkan oksidasi gliserida (Decker, 2002).

Tokoferol dikenal juga sebagai vitamin E, merupakan zat antioksidan alam yang terdapat pada biji-bijian berminyak (Hui, 1996). Tokoferol berfungsi sebagai donor elektron. Tokoferol sebagai antioksidan dalam reaksinya akan kehilangan atom H. Tokoferol yang telah kehilangan atom H ini akan membentuk polimer, tetapi apabila ada senyawa lain yang dapat bertindak sebagai donor H, maka tokoferol ini akan aktif kembali sebagai antioksidan. Donor atom H ataupun donor elektron sangat diperlukan agar antioksidan yang telah kehilangan atom H dapat aktif kembali (Hui, 1996).

Asam sitrat dapat berperan sebagai kelat dalam mengurangi pengaruh katalisis oleh ion-ion logam. Selain peranannya sebagai pengikat logam (*chelating agent*) asam sitrat dapat merupakan sinergis, karena dapat menaikkan kemampuan zat antioksidan dalam menghambat reaksi oksidasi. Asam sitrat mampu meregenerasi antioksidan yang telah kehilangan asam H, sehingga antioksidan tersebut dapat berfungsi kembali lihat gambar 1 (Hui, 1996).



Gambar 1. Mekanisme sinergistik α -tokoferol dengan asam sitrat

Tujuan mengkaji cara dan lama pemanasan sebelum biji kacang tanah dikempa serta penambahan asam sitrat

terhadap kestabilan minyak kacang tanah selama disimpan 12 minggu pada suhu 30°C, yang sebelumnya telah me-

ngalami proses pemanasan yang berbeda-beda.

Bahan yang digunakan kacang tanah varitas gajah dan asam sitrat serta reagen kimia untuk menganalisis angka peroksida. Alat yang digunakan meliputi pengepres hidrolis, spektrofotometer dan alat-alat gelas serta inkubator. Biji kacang tanah disortasi, dipisah dari biji yang berkerut dan busuk, kemudian ditimbang sebanyak 500 gram. Selanjutnya dipanaskan pada suhu 90°C selama 15, 30 dan 45 menit dengan cara dikukus (pemanasan basah) atau dioven (cara pemanasan kering) agar teksturnya lunak (Moego dan Resurreccion, 1993) dan mudah dikempa. Perbedaan cara dan waktu pemanasan dimaksudkan untuk memperoleh sifat dan rendemen minyak yang dihasilkan berbeda. Biji kacang tanah lalu dikempa dengan menggunakan hidrolis pres pada tekanan 150 kg/cm² selama 30 menit. Minyak yang dihasilkan ditimbang sebanyak 50 gram dan ditambahkan asam sitrat 0 dan 200 ppm, kemudian disimpan selama 12 minggu pada suhu 30°C. Minyak sebagai kontrol diperoleh dengan cara setelah biji kacang tanah ditimbang, langsung dikempa dan minyaknya ditimbang lalu disimpan.

Cara analisis angka peroksida (AP), asam lemak bebas (ALB) dan bilangan iodin (BI) menurut metode Sudarmadji, dkk. (1997), sedangkan analisis aroma (ketengikan) dilakukan dengan uji

inderawi pada akhir penyimpanan minyak menggunakan metoda *scoring difference test*, yang dilanjutkan dengan analisis variansi.

PEMBAHASAN

Pemanasan sebelum pengempaan terhadap biji-bijian sumber minyak dimaksudkan untuk memperbanyak keluarnya minyak dan untuk mempermudah keluarnya minyak dari bahan. Perubahan-perubahan yang terjadi sebagai akibat pemanasan adalah protein yang ada akan mengalami koagulasi sehingga dinding sel menjadi bersifat permeabel untuk dilewati minyak. Sebelum pemanasan, titik-titik minyak yang berukuran sangat kecil terdistribusi keseluruh biji dan ada dalam bentuk emulsi. Pemanasan menyebabkan terjadinya denaturasi oleh panas terhadap protein dan senyawa-senyawa yang serupa. Koagulasi atau denaturasi mengakibatkan emulsi pecah, sehingga titik-titik minyak akan mengalami kondensasi menjadi titik-titik minyak yang lebih besar sehingga dapat mengalir dari biji. Aliran minyak dari dalam sel keluar dibantu oleh viskositas minyak yang semakin turun pada suhu yang semakin naik (Hui, 1996). Semakin lama pemanasan, hal-hal yang terjadi sebagai akibat pemanasan semakin sempurna, sehingga minyak yang dihasilkan semakin banyak, lihat table 1.

Tabel 1. Pengaruh pemanasan sebelum pengempaan terhadap rendemen dan sifat minyak yang dihasilkan.

Hasil	Kontrol (tanpa pemanasan)	Pemanasan 90°C			
		Kukus 30 menit	Oven 15 menit	Oven 30 menit	Oven 45 menit
Rendemen, %	13,01	24,84	15,54	18,42	21,83
Angka peroksida, Meq/kg	0,90	1,10	1,45	1,80	2,40
Asam lemak bebas %	0,011	0,017	0,019	0,024	0,031
Bilangan Iodin	89,990	89,955	89,905	89,860	89,830

Pada pemanasan cara basah atau pengukusan, sebagai media pemanasan adalah uap air. Adanya uap air panas ini proses koagulasi atau denaturasi protein menjadi lebih mudah dari pemanasan kering (oven). Selain hal tersebut, penurunan afinitas minyak terhadap bahan padat pada kacang tanah menjadi lebih besar. Hal ini disebabkan karena pa-

da pengukusan, akan terbentuk lapisan dari air yang terserap pada permukaan biji. Lapisan air ini akan menggeser atau memindahkan minyak atau air berada dalam keadaan terikat pada biji, sehingga keadaan seperti ini membuat permukaan biji bersifat lipofobik, dengan demikian minyak lebih mudah dipisahkan dari biji. Biji yang sangat kering tidak dapat

membebaskan minyak secara efisien (Hui, 1996).

Pada pemanasan biji kacang tanah cara basah (kukus), sebagai media penghantar panas adalah uap air jenuh. Uap air jenuh ini akan mendesak biji kacang tanah dan masuk ke dalam jaringan atau sel-sel biji pada kacang tanah, akibatnya akan mendesak udara yang ada dalam sel keluar, sehingga akan mengurangi terjadinya oksidasi minyak dalam biji kacang tanah. Pada pemanasan biji kacang tanah cara kering (oven) hal tersebut tidak terjadi. Oksidasi minyak akan tetap terjadi dan lebih cepat terjadi karena adanya kenaikan suhu. Semakin lama cara pemanasan cara kering yang diberikan, oksidasi minyak yang terjadi semakin berlanjut, akibatnya nilai peroksida minyak semakin tinggi. Oksigen adalah pemicu oksidasi dan oksidasi tidak akan berlangsung tanpa tersedianya oksigen yang memadai (Lin, 1991).

Pada pemanasan biji kacang tanah cara basah (kukus), oksigen yang mengoksidasi lemak lebih sedikit dari pada pemanasan biji kacang tanah cara kering (oven), sehingga oksigen yang mengadisi ikatan rangkap kecil, maka bilangan iodin besar dan hidroperoksida yang terbentuk sedikit, maka asam lemak bebas kecil. Semakin lama waktu pemanasan biji kacang tanah sebelum dikem-

pa, oksidasi yang terjadi semakin besar, sehingga meningkatkan asam lemak bebas dan menurunkan bilangan iodin.. (Winarno, 1997).

Angka peroksida selama penyimpanan minyak mengalami kenaikan (lihat tabel 2). Adanya kenaikan angka peroksida menunjukkan adanya kenaikan tingkat kerusakan minyak. Semakin lama penyimpanan minyak, kenaikan angka peroksida semakin tinggi sampai pada suatu saat angka peroksida akan mengalami penurunan kembali atau konstan. Penurunan angka peroksida terjadi apabila peroksida yang bereaksi lebih lanjut atau hidroperoksida yang terdekomposisi lebih banyak daripada peroksida yang terbentuk. Semua minyak mengalami kenaikan angka peroksida selama penyimpanan 12 minggu pada suhu 30°C. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan peroksida masih berlangsung terus dan tidak seimbang dengan pemecahannya. Perbedaan angka peroksida antar minyak pada akhir penyimpanan cukup kecil. Perbedaan ini terjadi karena adanya perbedaan angka peroksida pada awal penyimpanan. Cara dan lama pemanasan sebelum pengempaan tidak berpengaruh terhadap angka peroksida minyak selama penyimpanan.

Tabel 2. Hasil analisis angka peroksida minyak kacang tanah dari berbagai perlakuan.

Perlakuan		Angka peroksida meq/kg pada penyimpanan minggu ke						
Pemanasan	Penambahan asam sitrat	0	2	4	6	8	10	12
Kukus 30 menit	0 ppm	1,10	11,75	21,40	28,15	34,75	42,05	54,15
	200 ppm	1,10	10,80	19,35	23,70	32,60	41,40	52,60
Oven 15 menit	0 ppm	1,45	16,10	25,15	35,65	41,40	48,00	61,20
	200 ppm	1,45	14,75	24,70	33,45	40,80	46,10	59,25
Oven 30 menit	0 ppm	1,80	18,15	30,15	39,50	45,10	54,50	65,25
	200 ppm	1,80	17,80	29,15	38,10	44,25	54,35	64,75
Oven 45 menit	0 ppm	2,40	21,55	36,60	43,15	50,55	58,20	73,75
	200 ppm	2,40	20,10	36,10	41,05	48,10	54,90	69,75
Kontrol (tanpa pemanasan)		0,90	8,40	16,55	23,10	29,05	35,75	43,90

Tokoferol sebagai antioksidan yang terdapat dalam minyak mudah teroksidasi, dipercepat oleh cahaya, panas dan adanya logam Cu dan Fe. Pemanasan alami secara langsung oleh sinar matahari mengakibatkan kerusakan tokoferol lebih cepat dibanding di tempat yang teduh (Lin, 1991). Bos et al. (1997) telah membuktikan bahwa kerusakan to-

koferol karena oksidasi dapat dipercepat dengan menaikkan suhu.

Penambahan asam sitrat dapat menekan angka peroksida selama penyimpanan. Asam sitrat berperan sebagai sinergi dalam memulihkan peran tokoferol sebagai antioksidan. Keadaan ini selain dikuatkan oleh rendahnya angka peroksida minyak yang ditambah asam

sitrat, juga turunnya angka peroksida minyak yang ditambah asam sitrat dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Adanya logam pada minyak hampir tidak ada, sehingga asam sitrat tidak berperan sebagai pengkelat, hanya berperan sebagai sinergis, karena dapat menaikkan kemampuan zat antioksidan dalam menghambat reaksi oksidasi.

Asam sitrat mempunyai peranan sebagai sinergis terhadap tokoferol, sehingga tokoferol dapat aktif kembali sebagai antioksidan, maka reaksi berantai propagasi dapat dihambat karena peroksida yang terbentuk akan bereaksi dengan tokoferol. Asam sitrat merupakan sinergis yang sangat efektif (Hui, 1996).

Tabel 3. Hasil analisis sidik ragam aroma minyak

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F anava	
					0,05	0,01
Sampel	8	25,965	3,1746	2,3132	2,34	3,06
Panelis	39	150,7679	3,8658	2,8168*	1,47	2,15
Galat	312	428,1750	1,3724			
Jumlah	359	604,3394				

* Beda nyata

Hasil analisis variansi (tabel 3) menunjukkan bahwa ada beda nyata mengenai aroma minyak yang telah diperlakukan dengan pemanasan cara basah, pemanasan cara kering dan penambahan asam sitrat, setelah penyimpanan selama 12 minggu.

Angka peroksida tertinggi 73,75 meq/kg minyak. Menurut Moego and R-surrccion (1993), aroma tengik minyak kacang karena autoksidasi baru dapat diterima secara inderawi apabila angka peroksidanya sebesar 250 meq/kg minyak kacang.

Hidroperoksida yang merupakan hasil reaksi utama pada autoksidasi minyak, tidak berpengaruh secara langsung

terhadap perubahan flavor dan aroma minyak yang tidak dikehendaki atau flavor dan aroma rancid. Flavor dan aroma rancid baru akan timbul setelah melalui berbagai reaksi dan oksidasi lebih lanjut dari peroksida serta hasil degradasi peroksida (Lin, 1991). Walaupun demikian, seringkali ditemui minyak kacang yang aromanya belum mengalami perubahan tetapi apabila dirasakan atau dipakai untuk menggoreng akan memberikan rasa getar. Ini berarti minyak kacang tersebut sudah mulai mengalami kerusakan. Jadi sebenarnya kerusakan minyak kacang dapat lebih awal diketahui dengan pengamatan terhadap rasa daripada pengamatan terhadap aroma minyak.

Tabel 4. Hasil analisis asam lemak bebas minyak kacang tanah dari berbagai perlakuan.

Perlakuan		Asam lemak bebas, % pada penyimpanan minggu ke						
Pemanasan	Penambahan asam sitrat	0	2	4	6	8	10	12
Kukus 30 menit	0 ppm	0,017	0,092	0,171	0,226	0,296	0,381	0,497
	200 ppm	0,017	0,085	0,154	0,188	0,269	0,375	0,473
Oven 15 menit	0 ppm	0,019	0,127	0,202	0,298	0,375	0,428	0,566
	200 ppm	0,019	0,116	0,198	0,283	0,363	0,402	0,554
Oven 30 menit	0 ppm	0,024	0,144	0,247	0,347	0,391	0,501	0,622
	200 ppm	0,024	0,145	0,237	0,338	0,392	0,499	0,612
Oven 45 menit	0 ppm	0,031	0,171	0,316	0,386	0,458	0,540	0,761
	200 ppm	0,031	0,160	0,306	0,370	0,431	0,506	0,664
Kontrol (tanpa pemanasan)		0,011	0,066	0,131	0,184	0,235	0,303	0,389

Makin lama penyimpanan berlangsung, makin banyak hidroperoksida yang dihasilkan dari oksidasi minyak, hidroperoksida bersifat labil sehingga mudah mengalami dekomposisi menjadi asam lemak bebas berantai pendek, se-

hingga asam lemak bebas minyak makin bertambah besar.

Oksidasi minyak dan dekomposisi hidroperoksida lebih cepat terjadi karena adanya peningkatan suhu pada waktu yang sama. Makin tinggi suhu biji

kacang tanah sebelum dikempa dan suhu 30°C, proses oksidasi minyak makin cepat, akibatnya hidroperoksida yang dihasilkan makin tinggi sehingga asam lemak bebas minyak bertambah besar. Oksidasi minyak akan tetap terjadi selama penyimpanan. Makin lama waktu penyimpanan, oksidasi minyak dan dekomposisi hidroperoksida sebagai produk oksidasi primer makin banyak, sehingga asam lemak bebas minyak meningkat.

Produk awal dari oksidasi minyak adalah hidroperoksida yang bersifat labil terhadap panas, sehingga mudah terdekomposisi lebih lanjut. Asam lemak bebas merupakan salah satu produk tersier dari proses oksidasi tersebut (de Man, 1999)

Suhu pemanasan sebelum biji kacang tanah dikempa, 90°C lebih tinggi dari suhu 30°C dan waktu penyimpanan yang makin lama, oksidasi minyak makin

tinggi. Hal ini disebabkan pertama karena adanya panas mempercepat terjadinya oksidasi minyak dan mengurangi tokoferol yang terkandung didalam minyak, kedua karena tokoferol dalam minyak makin mudah terdegradasi dengan bertambahnya panas dan waktu penyimpanan. Proses outooksidasi selama penyimpanan meningkatkan hasil hidroperoksida minyak, yang menunjukkan terikatnya oksigen pada ikatan rangkap semakin tinggi sehingga bilangan iodin semakin kecil (lihat tabel 5).

Winarno (1997) menyatakan bilangan iodine menunjukkan tingkat atau derajat ketidak jenuhan minyak, baik dalam bentuk asam lemak bebas atau dalam ikatan ester. Makin tinggi bilangan iodine, maka minyak semakin baik, karena ikatan rangkapnya belum teradisi oleh oksigen.

Tabel 5. Hasil analisis bilangan iodin minyak kacang tanah dari berbagai perlakuan

Perlakuan		Bilangan iodin minyak kacang tanah pada minggu ke						
Pemanasan	Penambahan asam sitrat	0	2	4	6	8	10	12
Kukus 30 menit	0 ppm	89,955	89,295	88,625	88,240	87,670	86,485	84,790
	200 ppm	89,955	89,420	88,730	88,470	87,925	86,620	85,000
Oven 15 menit	0 ppm	89,905	88,940	88,370	87,605	86,620	85,510	84,165
	200 ppm	89,905	89,015	88,410	87,810	86,720	86,010	84,280
Oven 30 menit	0 ppm	89,860	88,795	88,095	86,945	86,140	84,750	83,820
	200 ppm	89,860	88,810	88,160	87,060	86,215	84,765	83,845
Oven 45 menit	0 ppm	89,830	88,615	87,340	86,300	85,155	84,370	83,580
	200 ppm	89,830	88,685	87,485	86,655	85,500	84,675	83,685
Kontrol (tanpa pemanasan)		89,990	89,645	88,890	88,485	88,160	87,540	86,295

KESIMPULAN

Pada pemanasan secara basah (kukus) 90 °C selama 30 menit diperoleh rendemen 24,84%, angka peroksida 1,10 meq/kg minyak, 0,017% asam lemak bebas dan bilangan iodin 89,955.

Pada pemanasan secara kering (oven) 90 °C selama 45 menit diperoleh rendemen 21,83 %, angka peroksida 2,40 meq/kg minyak, asam lemak bebas 0,031 % dan bilangan iodin 89,830.

Pada pemanasan secara kering (oven) 90 °C selama 45 menit disimpan selama 12 minggu pada 30°C tanpa penambahan asam sitrat, angka peroksida 73,75 meq/kg minyak, asam lemak bebas 0,761 % dan bilangan iodin 83,580, sedangkan pada penambahan 200 ppm asam sitrat, angka peroksida 69,75 meq/kg minyak, 0,664 % asam lemak be-

bas dan bilangan iodin 83,685 dan tidak beraroma tengik.

Selama penyimpanan angka peroksida dan asam lemak bebas meningkat, sedangkan bilangan iodin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Bos, M., Nylander, T., Arnebrant, T. and Clark, D.C, 1997, *Protein Interaction in Food Emulsifier and Their Applications*, Chapman and Hall, New York
- Byrd, S.J., 2001, Using Antioxidants to Increase Shelflife of Food Products, *Cereal Food World*, 46 : 48-53.
- Chiou, R.Y.Y., Liu, C.P., Hou, C.J., and Liu, C.D, 1995, Comparison of Fatty Acid Composition and Oxidative Stability of Peanut Oils

- Prepared from Spring and Fall Crops of Peanut, *J. Agric. Food Chem.*, 43 : 676 – 679
- Decker, E.A., 2002, Antioxidant Mechanism, In: Akoh, C.C. and D.B. Min, Editor: *Food Lipids, Chemistry, Nutrition and Biotechnology*, Marcel Dekker, Inc. New York.
- de Man, J. M, 1999, *Principle of Food Chemistry*, 3rd Ed., Aspen Publication Inc. Gaithersbury, Maryland
- Divino, G.L., Koehler, P.E. and Akoh, C.C., 1996, Enzymatic and Autoxidation of Deffated Peanut, *J. Food Sci.*, 61 : 112 – 120
- Fritsch, C.W., 1994, Lipid Oxidation the Other Dimensions, *Infor*, 5 : 423-436.
- Giese, J., 1996, Antioxidant: Tools for Preventing Lipid Oxidation, *Food Tech.*, 50: 73-81.
- Hui, Y.H., 1996, *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 5th Ed., A Willey Interscience Publication John Willey & Sons Inc., New York
- Lin, S.S., 1991, Fat and Oils Oxidation in Introduction Co Fat and Oils Technology, *Am. Oil Chem. Soc. Champaign*, Illinois, 221 – 231
- Min, D.B. and Boff, J.M., 2002, Lipid Oxidation of Edible Oil, In : Akoh, C.C. and Min, D.B. Editor : *Food Lipids : Chemistry, Nutrition and Biotechnology*, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel.
- Moego, K.F and Resurreccion, A.V.A., 1993, Physicochemical and Sensory Characteristics of Peanut Paste an Affected by Processing Conditions, *J. Food Proc. Preserv.*, 17: 321 – 336
- Nakayama, T., Osawa, T., Mendoza, E.M.T., Laurana, A.C., and Kawakishi, S., 1994, Comparative Study of Antioxidative Assays of Plant Materials, Postharvest Biochemistry of Plant Food Materials in the Tropics, *Jpn. Sci. Soc. Press*, Tokyo.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., dan Suhardi, 1997, *Analisis Bahan Makanan dan Pertanian*, Liberty, Yogyakarta.
- Winarno, F.G., 1997, *Kimia Pangan*, Gramedia Pustaka, Jakarta.

ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS MELALUI EVALUASI DAN PERBAIKAN PROSES PRODUKSI DENGAN PENDEKATAN METODE CONTROL CHART DAN METODE TAGUCHI

Joko Susetyo¹, M. Yusuf², Ardi Saputro³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, FTI, IST AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 18 Juli 2008, revisi masuk: 7 Nopember 2008, diterima: 8 Januari 2009

ABSTRACT

Quality is the most important thing in business to get more consumers. Quality will be better if those kinds of processes produced with good constancy. Research was held in Coca Cola Bottling Company Indonesia, problems which were emerging are the sweet disposal (^oBrix) from the product is unstable. Control Chart Method is used to get the condition of production process which is moving, than improvement will be done through Taguchi Method approach. Improvement start from election of factors which influence for those quality's characteristic as well as level value, and than will be basic for the Orthogonal Array election. Result of analysis is processed through noise signal to ratio (SNR) and Analysis of Variance. Based on research, it was got result that is the best setting level for control factor which is influenced to stability sweet disposal value (^oBrix) are first setting of sweetness disposal simple syrup is 59 ^oBrix, addition of concentrate is 1.25 units, and water disposal is 80 %.

Keywords: *Sweetness Disposal, Control Chart, Taguchi*

INTISARI

Kualitas merupakan suatu hal terpenting dalam usaha untuk mendapatkan konsumen sebanyak-banyaknya. Kualitas akan menjadi baik apabila proses tersebut berjalan dengan konsisten dalam menghasilkan produk. Penelitian dilakukan di PT Coca-Cola Bottling Indonesia, permasalahan yang terjadi adalah kadar kemanisan (^oBrix) dari produk tidak stabil. Metode Peta Kendali (*Control Chart*) digunakan untuk melihat keadaan dari proses produksi yang berjalan, kemudian dilakukan perbaikan melalui pendekatan metode *Taguchi*. Perbaikan berawal dari pemilihan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas tersebut beserta nilai *level*, yang kemudian menjadi dasar dalam pemilihan *Orthogonal Array*. Hasil analisa diolah dengan menggunakan *noise signal to ratio* (SNR) dan *analysis of variance*. Berdasarkan penelitian tersebut didapat hasil bahwa *setting level* terbaik untuk faktor kendali yang berpengaruh terhadap kestabilan nilai kadar kemanisan (^oBrix) adalah pengaturan kadar kemanisan *simple syrup* awal 59 ^oBrix, penambahan *concentrate* sebanyak 1,25 unit, dan kadar air sebanyak 80 %.

Kata kunci : Kadar Kemanisan, Peta Kendali, *Taguchi*

PENDAHULUAN

Industri manufaktur dewasa ini mengalami perkembangan yang sangat pesat, hal ini disebabkan adanya perubahan yang dinamis sehingga kompetisi antar perusahaan manufaktur menjadi se-makin ketat. Tidak hanya harga yang dijadikan alat persaingan, kualitas produk juga menjadi suatu senjata perusahaan untuk mendapatkan konsumen sebanyak banyaknya. Bahkan saat ini kualitas produk menjadi suatu hal yang sangat

penting dan sangat dijaga. Melihat kenyataan ini, maka perusahaan harus berusaha menghasilkan produk yang benar-benar berkualitas, agar citra produk perusahaan yang melekat pada diri konsumen akan selalu ada dan kepercayaan konsumen akan produk selalu terjaga. Masalah mutu adalah tanggung jawab semua anggota perusahaan.

Produk yang dihasilkan perusahaan manufaktur dalam sebuah proses produksi seringkali tidak semuanya dapat

¹ Email: joko_susetyo@akprind.ac.id.
HP : 08154741216

mencapai standar kualitas yang sudah ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi produk cacat yang dapat menyebabkan tidak tercapainya target produksi sesuai jadwal yang sudah ditentukan. Salah satu cara mempertahankan dan meningkatkan mutu produk adalah dengan memperbaiki proses produksi tersebut. Adapun usaha perbaikan proses ini antara lain perbaikan tenaga kerja, perubahan sistem kerja, penggantian mesin yang rusak. Bahkan mencari faktor-faktor yang menimbulkan kerusakan atau kecacatan dari produk tersebut, baik itu faktor luar ataupun faktor dari dalam. Untuk mengetahui adanya suatu fasilitas yang kurang efektif maka evaluasi terhadap fasilitas produksi yang ada sangatlah diperlukan. Tindak lanjut dari evaluasi ini dapat berupa suatu perbaikan terhadap fasilitas tersebut agar nantinya produk yang dihasilkan mempunyai kualitas yang diharapkan oleh manajemen perusahaan.

Perusahaan yang memproduksi minuman *soft drink* dimana kepuasan konsumen menjadi tujuan utamanya. Kepuasan konsumen ini dapat dilihat dari kegemaran konsumen mengkonsumsi produk tersebut. Rasa yang ada pada produk membuat konsumen untuk selalu ingin mengkonsumsinya lagi. Kegemaran dari konsumen inilah yang harus dipertahankan dalam usaha memaksimalkan laba perusahaan. Semakin banyak konsumen yang mengkonsumsi maka semakin banyak pula keuntungan yang dapat diraih oleh perusahaan.

Salah satu cara dalam usaha untuk memuaskan konsumen adalah dengan menghasilkan produk yang berkualitas. Produk berkualitas ini dapat dikatakan sebagai produk yang memenuhi standar perusahaan, baik dari awal sampai akhir proses. Untuk itulah diperlukan suatu pengawasan kualitas di semua tahapan proses. Pengawasan kualitas di PT Co-ca-Cola dibedakan menjadi dua kategori umum yaitu pengawasan mutu isi dan pengawasan mutu kemasan dari produk yang dihasilkan. Pengawasan isi produk meliputi kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) dan kadar karbonasi (CO_2). Sedangkan pengawasan mutu kemasan produk meliputi segala hal yang berkaitan dengan

kemasan produk tersebut, dari penutupan sampai kebersihan botol. Pengawasan mutu terhadap kadar kemanisan menjadi hal yang sangat diutamakan karena menjadi sesuatu yang berpengaruh terhadap rasa dari produk. Kadar kemanisan di sini merupakan kadar gula yang terlarut dengan satuan derajat *brix* ($^{\circ}$ Brix). Semakin tinggi derajat *brix*-nya maka semakin manis pula rasa yang dihasilkan. (Anonim, 2005)

Untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) produk jadi secara statistik kemudian melakukan perbaikan pada proses pembuatan sirup dengan menentukan *setting level* terbaik dari faktor-faktor yang terkait agar nantinya kadar kemanisan dari sirup yang dihasilkan dapat menjadi lebih stabil.

Analisis ini dilakukan dengan tujuan memonitor untuk selanjutnya memperbaiki kinerja proses produksi terhadap karakteristik mutu yang terkandung dalam produk jadi, dalam hal ini karakteristik mutu yang dimaksud adalah kadar kemanisan minuman. Kemudian mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik mutu tersebut serta menentukan *setting level* terbaik dari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas produk.

Dalam suatu proses sering terjadi adanya penyimpangan yang disebabkan oleh adanya variasi-variasi sehingga produk yang diharapkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada dasarnya variasi-variasi tersebut terjadi karena sumber-sumber yang tidak diinginkan. *Control Chart* (Peta Kendali) adalah untuk menghilangkan variasi tak normal yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special cause variation*) dari variasi yang disebabkan oleh penyebab umum (*common cause variation*) (Ariani, 2004). Peta kendali merupakan teknik pengendalian suatu proses agar dapat berjalan dengan produktivitas yang tinggi dan memberikan output yang sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang diinginkan manajemen (Douglas, 1990).

Taguchi menekankan bahwa cara terbaik untuk meningkatkan kualitas adalah merancang kualitas kedalam produk yang dimulai sejak tahap desain pro-

duk. Kualitas yang rendah tidak dapat diperbaiki dengan proses inspeksi atau pemeriksaan (*inspection*) dan penyaringan (*screening*). Masalah pengendalian kualitas modern tidak lagi didominasi oleh aktifitas-aktifitas pengendalian proses dan inspeksi, tetapi sudah harus dimulai pada tahap yang lebih awal yaitu tahap desain produk (Ross, 1996).

1. Fungsi Kerugian Mutu (*Quality Loss Function*). Untuk mengetahui besarnya kerugian akibat dari produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan salah satu cara adalah dengan melakukan pengukuran fungsi kerugian kualitas (QLF). Fungsi kerugian kualitas dapat ditunjukkan dalam rumus kuadrat sederhana yaitu :

$$L(y) = k \cdot D^2 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- L(y) = kerugian
- k = konstanta
- D = deviasi kuadrat dari nilai target

Akan tetapi di dalam kenyataannya, bila mutu suatu produk semakin dekat dengan nilai target, maka mutu yang dihasilkan semakin baik dan kerugian yang dirasakan akan semakin kecil, semakin jauh dari nilai target maka kerugian akan semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan dengan kuadrat *Loss Function* yang dipelopori oleh Taguchi (Nurhastuti, 2004). Taguchi menggolongkan fungsi kerugian kuadrat menjadi tiga jenis yaitu (Balevandrum, 1995) :

a. *Nominal the Best*

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol dan kerugian mutunya simetrik pada kedua sisi target. Persamaan fungsi kerugian mutu kuadrat jenis ini dirumuskan sebagai berikut :

$$L(y) = k(y-m)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- y= nilai respon dari karakteristik mutu
- m= nilai target dari karakteristik mutu
- k= koefisien biaya

b. *Smaller the Better*

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol, dan dirumuskan sebagai berikut :

$$L(y) = ky^2 \dots\dots\dots (3)$$

c. *Larger the Better*

Fungsi ini digunakan bilamana karakteristik mutu yang dituju semakin besar nilainya semakin baik (misalnya keandalan, kekuatan) dan dirumuskan sebagai berikut :

$$L(y) = k \left(\frac{1}{y} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

Fungsi kerugian mutu ini dapat ditransformasikan menjadi nilai signal-to-noise-ratio (SNR). Mutu produk atau proses akan semakin baik jika nilai SNR semakin tinggi. Taguchi menggunakan SNR ini sebagai alat utama untuk menentukan rancangan parameter yang optimal.

2. *Signal Noise to Ratio (SNR)*

Taguchi memperkenalkan pendekatan *S/N ratio* untuk meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul. Jenis dari *S/N ratio* tergantung pada karakteristik yang diinginkan, yaitu :

a. *Small the better (STB)*

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai untuk jenis karakteristik STB :

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots (5)$$

Dengan : n = jumlah tes didalam percobaan (trial)
y_i = nilai percobaan ke-i

b. *Large the better (LBT)*

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{LBT} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i} \right)^2 \right] \dots\dots (6)$$

c. *Nominal the best (NTB)*

Karakteristik kualitas dimana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut maka kualitasnya semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik NTB :

$$S/N_{NTB} = 10 \log \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots (7)$$

$$\text{Dengan : } \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \dots\dots\dots (9)$$

3. Matrik Orthogonal (*Orthogonal Array*)
Orthogonal Array adalah suatu matrik yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom (Haryono, 20-00). Matrik standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Matrik ini sangat efisien untuk mencari informasi tentang perancangan parameter secara serentak. Dimana efek tiap faktor dapat dicari dengan rumus:

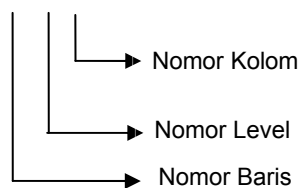
$$\text{Efek faktor} = \frac{1}{a} (\sum \eta_0) \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

- 0 = nomor eksperimen yang akan mempunyai *level* yang sama.
- a = jumlah munculnya tiap *level* faktor dalam suatu kolom matrik *orthogonal*.
- η = SNR yang digunakan.

Penentuan matrik *orthogonal* yang dipakai bergantung pada derajat bebas (*degree of freedom*), banyaknya faktor yang digunakan, *level* faktor yang digunakan, resolusi dan biaya. Derajat bebas dihitung dari banyaknya *level* dikurangi 1 pada masing-masing faktor. Resolusi menunjukkan banyaknya kolom yang berisi dari interaksi faktor. Tabel *Orthogonal Array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya. (Haryono, 2000).

$L_8 (2^7)$



Gambar 1. Notasi Matrik *Orthogonal Array*

- a. Notasi L, menyatakan informasi mengenai *Orthogonal Array*
- b. Nomor Baris, Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*
- c. Nomor *Level*, Menyatakan jumlah *level* faktor
- d. Nomor Kolom, Menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *Orthogonal Array*

4. *Analysis of Variance (ANOVA)*

Analysis of variance pada metode *Taguchi* digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. *Analysis of Variance* adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. *Analisis varians* yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi model dapat ditentukan (Supriyanto, 2004).

Pada analisis ANOVA, sifat taraf tiap faktor yang tetap, artinya taraf untuk masing-masing faktor tetap banyaknya dan seluruhnya digunakan dalam eksperimen. Sebagai contoh pada analisis variansi dengan eksperimen faktorial a x b (dwi faktorial), apabila hanya mempunyai a buah taraf faktor A dan hanya b buah taraf B dan semuanya digunakan dalam eksperimen yang dilakukan, maka model yang dipakai adalah model tetap. Model yang dipakai adalah :

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + E_m + F_n + \sum_{k(m)} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan :

- i = 1,2,...,a
- j = 1,2,...,b
- k = 1,2,...,n

Y_{ijklmn} = variabel respon hasil observasi ke-k yang terjadi karena pengaruh bersamaa taraf faktor A, taraf ke-jj faktor B, taraf ke-k faktor C, taraf ke-l faktor D, taraf ke-m faktor E, taraf ke-n faktor F.

μ = rata-rata yang sebenarnya (berharga konstan)

A = efek taraf ke-i faktor A

B = efek taraf ke-j faktor B

- C = efek taraf ke-k faktor C
- D = efek taraf ke-l faktor D
- E = efek taraf ke-m faktor E
- F = efek taraf ke-n faktor F
- $\sum_{k(in)}$ = efek setiap eksperimen ke-k dalam kombinasi perlakuan (in).

5. Uji F Pada *Analisis of Variance*

Untuk mengetahui ada atau tidaknya efek yang signifikan pada masing-masing faktor pada respon yang diamati, maka perlu dilakukan uji-F pada analisis variansi dengan langkah-langkah :

- a) Menyatakan hipotesis
- b) Menentukan taraf keberartian (α)
- c) Kriteria pengujian
 H_0 diterima apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$
 H_0 ditolak apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$
- d) Perhitungan F_{ratio}

$$F = \frac{\text{VarianceBetweenMean}}{\text{VarianceWithinGroup}}$$

- e) Kesimpulan
Menerima atau menolak H_0 dengan membandingkan F_{ratio} dengan F_{tabel} jika :
 $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka faktor tersebut tidak mempengaruhi proses
 $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka faktor tersebut mempengaruhi proses

PEMBAHASAN

Data yang diambil adalah data variabel, yaitu kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) dari produk minuman merk *Sprite* kemasan botol 295 ml dan standar parameter kadar kemanisan sesuai kebijaksanaan perusahaan. Pengukuran kadar kemanisan dilakukan dengan menggunakan alat *Density Meter (DMA 4500 Anton Paar)*.

Adapun parameter kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) dari produk *Sprite* kemasan botol 295 ml yang telah ditetapkan perusahaan adalah $12,50 \pm 0,1$.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kadar $^{\circ}$ Brix

No.	Kadar Kemanisan ($^{\circ}$ Brix)				x-bar	R
1	12,49	12,44	12,53	12,52	12,50	0,09
2	12,48	12,47	12,52	12,52	12,50	0,05
3	12,50	12,46	12,53	12,51	12,50	0,07
4	12,45	12,46	12,48	12,49	12,47	0,04
5	12,47	12,51	12,48	12,48	12,49	0,04
6	12,51	12,48	12,45	12,49	12,48	0,06
7	12,49	12,44	12,47	12,51	12,48	0,07
8	12,50	12,46	12,44	12,51	12,48	0,07
9	12,44	12,44	12,47	12,45	12,45	0,03
10	12,52	12,48	12,47	12,50	12,49	0,05
11	12,51	12,49	12,45	12,52	12,49	0,07
12	12,47	12,44	12,43	12,43	12,44	0,04
13	12,52	12,44	12,47	12,44	12,47	0,08
14	12,51	12,52	12,47	12,47	12,49	0,05
15	12,50	12,46	12,47	12,47	12,48	0,04
16	12,49	12,47	12,46	12,48	12,48	0,03
17	12,50	12,46	12,46	12,52	12,49	0,06
18	12,49	12,48	12,48	12,50	12,49	0,04
19	12,51	12,48	12,46	12,52	12,49	0,06
20	12,50	12,48	12,49	12,51	12,50	0,03
21	12,52	12,49	12,47	12,59	12,52	0,05
22	12,45	12,48	12,46	12,49	12,47	0,04
23	12,51	12,50	12,46	12,49	12,49	0,05
24	12,44	12,46	12,55	12,49	12,49	0,11
25	12,49	12,47	12,50	12,49	12,49	0,03
Total					312,10	1,35

Sumber : data perhitungan

Setelah dilakukan studi di lapangan dan studi literatur dengan tujuan untuk lebih memahami proses produksi dan mengenali faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas produk, kemudian dilakukan persiapan untuk melakukan eksperimen dengan terlebih dahulu merancang eksperimen yang akan dilakukan.

Proses perancangan eksperimen dengan metode *Taguchi* secara umum dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap perancangan eksperimen, tahap pelaksanaan eksperimen dan tahap analisis hasil eksperimen.

a. Tahap Perancangan Eksperimen

Merupakan tahap penyedia informasi yang dibutuhkan dalam eksperimen. Tahapan ini terdiri dari beberapa langkah yang harus dilakukan, yaitu :

- 1) Perumusan Masalah. Bagaimana melakukan perbaikan pada proses pembuatan sirup dengan menentukan *setting level* terbaik dari faktor-faktor yang terkait agar nantinya kadar kemanisan dari sirup yang dihasilkan dapat menjadi lebih stabil.
- 2) Pemilihan karakteristik mutu. Karakteristik mutu yang diukur pada pada penelitian ini adalah kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) dari produk merk *Sprite* kemasan botol 295 ml. Sedangkan fungsi objektif yang akan dituju adalah *Nominal the Best (NTB)*.
- 3) Mengidentifikasi faktor-faktor. Tahap ini merupakan tahap pengidentifikasian dan pemilihan faktor-faktor yang mungkin berpengaruh terhadap kualitas produk. Faktor-faktor ini merupakan variabel bebas dari eksperimen. Pada tahap ini dilakukan diskusi dengan pihak perusahaan, studi lapangan dan studi literatur untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik mutu kadar kemanisan pro-

duk dan selanjutnya memilih faktor-faktor tersebut untuk selanjutnya digunakan sebagai variabel bebas dari eksperimen.

Dalam penelitian ini faktor-faktor yang teridentifikasi mempengaruhi kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) adalah temperatur air, kadar kemanisan *simple syrup*, *concentrate*, kadar air.

- 4) Menentukan faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol merupakan faktor yang dapat diatur atau dikendalikan, sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang tidak dapat diatur atau dikendalikan. Pada penelitian ini semua faktor yang teridentifikasi adalah faktor kontrol.
- 5) Penentuan jumlah *level* dan nilai *level*. Penentuan jumlah *level* mempunyai peranan penting karena berkaitan dengan ketelitian hasil percobaan dan ongkos percobaan. *Level* faktor dapat dinyatakan secara kuantitatif seperti suhu awal 20 $^{\circ}$ C, 23 $^{\circ}$ C, dan 25 $^{\circ}$ C serta dapat juga dinyatakan secara kuantitatif seperti rendah dan tinggi. Pada penelitian ini semua faktor dinyatakan dengan tiga *level*, sedangkan nilai *level* ditentukan berdasarkan kebijakan perusahaan.
- 6) Pemilihan *Orthogonal Array*
Pada penelitian ini pemilihan matrik *orthogonal array* didasarkan pada identifikasi faktor-faktor, jumlah variabel atau faktor dan jumlah nilai *level* dari faktor tersebut. Karena jumlah perlakuan tiap faktor ada tiga nilai *level* maka rancangan *orthogonal array* yang digunakan adalah *orthogonal array* tiga *level* sehingga matrik rancangan yang dipilih dalam penelitian ini adalah $L_9(3)^4$ seperti tabel 3.

Tabel 2. Nilai *Level* Faktor

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Temperatur Air	20 $^{\circ}$ C	23 $^{\circ}$ C	25 $^{\circ}$ C
Kadar kemanisan <i>simple syrup</i>	58 $^{\circ}$ Brix	59 $^{\circ}$ Brix	60 $^{\circ}$ Brix
<i>Concentrate</i>	0.75 unit	1 unit	1.25 unit
Kadar Air	75 %	80 %	85 %

1 unit *concentrate* = 22 kg

Tabel 3. *Orthogonal Array* $L_9(3)^4$

Exp.	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sumber : (Ross, 1996)

- 7) Penentuan jumlah *replikasi*. Replikasi dilakukan untuk mengurangi tingkat kesalahan percobaan dan meningkat-

kan ketelitian data percobaan. Dalam penelitian ini, replikasi dilakukan sebanyak dua kali dengan pertimbangan keterbatasan waktu dan biaya.

- b. Tahap Pelaksanaan Eksperimen merupakan tahap pengumpulan data-data hasil eksperimen dari rancangan-rancangan parameter berdasarkan matrik *orthogonal array* yang telah dipilih.

Data hasil eksperimen terhadap karakteristik kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) dari rancangan-rancangan parameter berdasarkan matrik $L_9(3^4)$ (dua *replikasi*).

Tabel 4. Data Hasil Eksperimen

Exp.	A	B	C	D	R ₁	R ₂	\bar{R}
1	1	1	1	1	12.47	12.51	12.49
2	1	2	2	2	12.59	12.55	12.57
3	1	3	3	3	12.42	12.41	12.42
4	2	1	2	3	12.39	12.43	12.41
5	2	2	3	1	12.58	12.59	12.59
6	2	3	1	2	12.51	12.49	12.50
7	3	1	3	2	12.50	12.51	12.51
8	3	2	1	3	12.48	12.53	12.51
9	3	3	2	1	12.60	12.57	12.59

Sumber : data perhitungan

- c. Tahap Analisis Hasil Eksperimen.

- 1) Perhitungan *Signal To Noise Ratio* (SNR). Berdasarkan target kualitas yang ingin dicapai yaitu menuju suatu nilai tertentu sesuai dengan parameter yang diinginkan perusahaan, maka untuk perhitungan SNR digunakan rumus :

$$\eta = 10 \text{ Log } \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right]$$

$$\text{Dengan : } \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Keterangan :

n = jumlah eksperimen

y = data nilai kadar kemanisan pada percobaan

Hasil selengkapnya untuk perhitungan *signal to ratio* ke sembilan percobaan disajikan dalam tabel 5.

- 2) Perhitungan Efek Tiap Faktor. Perhitungan efek tiap faktor dapat dilakukan terhadap rerata maupun terhadap nilai SNR, dengan menggunakan rumus :

- a) Efek faktor terhadap nilai SNR

$$\text{Efek faktor} = \frac{1}{a} \left(\sum \eta_o \right)$$

Keterangan :

o = nomor eksperimen yang akan mempunyai level yang sama.

A = jumlah munculnya tiap *level* faktor dalam suatu kolom matrik *orthogonal*

η = SNR yang digunakan.

- b) Efek Faktor Terhadap Nilai Rerata

$$\text{Efek rerata faktor} = \frac{1}{a} \left(\sum X_o \right)$$

Keterangan :

0 = nomor eksperimen yang mempunyai level yang sama

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matrik ortho-

gonal
X = nilai rerata yang digunakan

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Signal Noise to Ratio*

No Eksp.	Faktor Kendali				SNR
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	55.9107
2	1	2	2	2	55.9661
3	1	3	3	3	64.8927
4	2	1	2	3	55.8548
5	2	2	3	1	65.0108
6	2	3	1	2	61.9382
7	3	1	3	2	64.9555
8	3	2	1	3	53.8160
9	3	3	2	1	58.0211

Sumber : data perhitungan

3) Perhitungan ANOVA (*Analysis of Variance*). Perhitungan ANOVA untuk SNR dilakukan dengan mengestimasi efek tiap faktor kendali dari karakteristik-karakteristik yang diamati.

Iterasi dihentikan pada iterasi 1, dan didapatkan bahwa semua faktor yang di-*pooling* menunjukkan tidak ada faktor yang signifikan dalam mempengaruhi variasi kadar kemanisan produk.

Tabel 6. Hasil perhitungan efek dari nilai tiap faktor

	Faktor Kendali			
	A	B	C	D
Level 1	58.9283	58.9070	57.2216	59.6475
Level 2	60.9346	58.2643	56.6140	60.9533
Level 3	58.9309	61.6173	64.9530	58.1878
Perbedaan	2.0063	3.3530	8.3390	2.7655
Ranking	4	2	1	3

Sumber : data perhitungan

d. Kesimpulan hipotesis

- 1) Faktor B (kadar kemanisan *simple syrup*). H_0 ditolak, berarti ada pengaruh yang signifikan antara pengaturan kadar kemanisan *simple syrup* awal terhadap kadar kemanisan produk jadi.
- 2) Faktor C (*concentrate*). H_0 ditolak, berarti ada pengaruh yang signifi-

kan antara jumlah *concentrate* yang ditambahkan terhadap kadar kemanisan produk jadi.

- 3) Faktor D (kadar air). H_0 ditolak, berarti pengaruh yang signifikan antara kadar air yang terkandung terhadap kadar kemanisan produk jadi.

Tabel 7. Hasil perhitungan efek dari rerata tiap faktor

	Faktor Kendali			
	A	B	C	D
Level 1	12.49	12.47	12.50	12.56
Level 2	12.50	12.56	12.52	12.53
Level 3	12.54	12.50	12.51	12.45
Perbedaan	0.05	0.09	0.02	0.11
Ranking	3	2	4	1

Sumber : data perhitungan

Tabel 8. Ringkasan Hasil Perhitungan ANOVA

Faktor	SS	df	Mq
A	8.0608	2	4.0304
B	19.0017	2	9.5009
C	129.6820	2	64.8410
D	11.4833	2	5.7417
error	0.0005	0	0
St	168.2282	8	
Mean	31965.3754	1	
SST	32133.6036	9	

Sumber : data perhitungan

Pemilihan faktor yang diperkirakan paling berpengaruh terhadap rataan dan variansi karakteristik kualitas dilakukan dengan melihat nilai dari *signal to noise ratio* (SNR). Metode lain yang juga dilakukan adalah dengan menggunakan analisis variansi yang digunakan untuk menganalisa eksperimen secara statistik yaitu :

a. Berdasarkan Analisis Variansi

Dari tabel 8 dapat diketahui bahwa secara statistik faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap nilai kadar kemanisan produk adalah faktor B, C, dan D. Dari ketiga faktor tersebut dapat dilihat bahwa nilai-nilai dari statistik hitungnya (F_{hitung}) adalah lebih kecil dari nilai statistik tabel (F_{tabel}). Sedangkan untuk faktor A yaitu temperatur air mempunyai pengaruh tetapi kurang signifikan terhadap nilai kadar kemanisan produk.

Analisis variansi dalam perhitungan yang dilakukan pada ukuran nilai SNR. Dari ukuran nilai ini dapat diketahui bahwa ketiga faktor tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap nilai variansi yang ditunjukkan oleh nilai SNR. Dari perhitungan ANOVA yang ditabelkan dalam tabel 8 dapat diperkuat statemen bahwa secara statistik ketiga faktor yang telah diidentifikasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon, sehingga dapat digunakan untuk menentukan level dari faktor mana yang akan digunakan sebagai usulan perbaikan.

b. Berdasarkan Nilai *Percent Contribution* (P). *Percent contribution* merupakan penilaian porsi masing-masing faktor yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. *Percent contri-*

bution merupakan fungsi dari *sum of square* (SS) faktor-faktor yang signifikan terhadap rata-rata karakteristik kualitas. Juga merupakan indikasi kekuatan relatif dalam mereduksi variasi, sebab jika faktor dapat dikontrol maka total variasi dapat dikurangi dengan melihat *percent contribution*.

Dari tabel 10 dapat di lihat bahwa :

- 1) *Percent contribution* untuk *error* sebesar 11,2946 % lebih kecil dari 15 % yang berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan selama eksperimen dilakukan.
- 2) *Percent contribution* untuk faktor yang terbesar adalah faktor C sebesar 77,0864 %, artinya faktor C adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai variasi kadar kemanisan produk minuman.
- 3) *Percent contribution* untuk faktor yang terkecil adalah faktor D sebesar 6,8254 %, artinya faktor D adalah faktor yang pengaruhnya paling kecil terhadap nilai variasi kadar kemanisan produk minuman diantara faktor yang lain.

Berdasarkan perhitungan data yang telah dilakukan diketahui bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kadar kemanisan minuman adalah kadar kemanisan *simple syrup* awal (B), *concentrate* (C), dan kadar air (D). Pemilihan *level* untuk setiap faktor yang berpengaruh tersebut yaitu dengan melihat efek faktor terbesar dari nilai SNR. Sedangkan untuk faktor yang tidak berpengaruh secara signifikan, pemilihan *level* dapat dilakukan dengan *setting level* dari standar perusahaan karena tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristik kualitas kadar kemanisan produk minuman jadi.

Tabel 9. Hasil *Pooled Parsial* 1 Iterasi 1

Faktor	Pooled	SS	df	Mq	F hitung
A	Y	8.0608	2	4.0304	-
B		19.0017	2	9.5009	2.3571
C		129.6820	2	64.8410	16.0868
D		11.4833	2	5.7417	1.4245
error	Y	0.0005	0	0	-
<i>Pooled e</i>		8.0613	2	4.0307	1
St		168.2282	8		
Mean		31965.3754	1		
SST		32133.6036	9		

Sumber : data perhitungan

Tabel 10. Hasil Perhitungan Anova Terhadap Nilai SNR

Faktor	SS	df	Mq	SS'	P %	F hitung	F Tabel
B	19.0017	2	9.5009	19.0017	11.2946%	2.3571	19.00
C	129.6820	2	64.8410	129.6820	77.0864%	16.0868	19.00
D	11.4833	2	5.7417	11.4833	6.8254%	1.4245	19.00
<i>Pooled e</i>	8.0613	2	4.0307	8.0613	4.7919%	1	19.00
St	168.2282	8	21.0285	168.2282	99.9983%	-	
Mean	31965.3754	1					
SST	32133.6036	9					

Sumber : data perhitungan

- Faktor B (Kadar Kemanisan *Simple Syrup Awal*). Pada faktor B, nilai SNR tertinggi didapatkan pada *level* 3 (60 °Brix). Nilai SNR ini konsisten terhadap variansi. Karena kasusnya *nominal the best* maka hasil yang lebih baik adalah respon kadar kemanisan yang mendekati nilai 12,50 °Brix. Faktor B ini mempengaruhi variansi (yang ditunjukkan oleh nilai SNR). Jadi untuk faktor B dipilih *setting level* untuk kadar kemanisan *simple syrup awal* sebesar 60 °Brix.
- Faktor C (*Concentrate*). Pada faktor C, nilai SNR tertinggi didapatkan pada *level* 3 (1,25 unit). Nilai SNR ini konsisten terhadap variansi. Karena kasusnya *nominal the best* maka hasil yang lebih baik adalah respon kadar kemanisan yang mendekati nilai 12,50 °Brix. Faktor C ini mempengaruhi variansi (yang ditunjukkan oleh nilai SNR). Jadi untuk faktor C dipilih *setting level* untuk *concentrate* sebesar 1,25 unit.
- Faktor D (Kadar Air). Pada faktor D, nilai SNR tertinggi didapatkan pada *level* 2 (80 %). Nilai SNR ini konsisten terhadap variansi. Karena kasusnya *nominal the best* maka hasil yang lebih baik adalah respon kadar kemanisan yang mendekati nilai 12,50 °Brix.

Faktor D ini mempengaruhi variansi (yang ditunjukkan oleh nilai SNR). Jadi untuk faktor D dipilih *setting level* untuk kadar air sebesar 80 %.

Pemilihan *level* pengaturan faktor didasarkan pada nilai efek SNR dari masing-masing faktor yang diteliti. Nilai efek SNR dari *level* faktor yang memaksimalkan *signal noise to ratio* yang dipilih untuk dijadikan *level* faktor usulan. Sehingga faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kadar kemanisan produk minuman jadi adalah kadar kemanisan *simple syrup awal*, *concentrate*, dan kadar air.

Adapun *setting level* terbaik dari faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan untuk menghasilkan kadar kemanisan produk minuman jadi yang mendekati target dengan variasi yang relatif kecil adalah

- Kadar kemanisan *simple syrup awal* pada *level* 3 yaitu 60 °Brix
- Concentrate* pada *level* 3 yaitu 1,25 unit
- Kadar air pada *level* 2 yaitu 80 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pelaksanaan eksperimen serta analisis dan pembahasan yang telah dilaksanakan, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa,

faktor–faktor yang dianggap berpengaruh terhadap karakteristik mutu yang memberikan pengaruh signifikan pada tingkat kestabilan nilai kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) produk jadi adalah kadar kemanisan *simple syrup* awal, *concentrate*, kadar air. Penentuan parameter yang optimal untuk proses produksi adalah dengan menentukan *setting level* dari faktor–faktor di atas, yaitu dengan pengaturan kadar kemanisan *simple syrup* awal pada *level* 3 (60° Brix), penambahan *concentrate* pada *level* 3 (1,25 unit), dan kadar air pada *level* 2 (80 %).

Dari hasil pelaksanaan eksperimen dapat diketahui bahwa penyebab utama terjadinya ketidakstabilan nilai kadar kemanisan yaitu tidak diaturnya kadar kemanisan *simple syrup* awal, penambahan *concentrate*, dan kadar air. Setelah didapat parameter optimal yang telah terpilih, maka diharapkan dapat menjadi penyelesaian permasalahan bagi perusahaan agar nilai kadar kemanisan ($^{\circ}$ Brix) produk jadi dapat lebih stabil dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2005, *Petunjuk Standart Mutu dan Dokumentasi Finish Syrup*, PT

Coca-Cola Bottling Indonesia Central Java.

Ariani, D. W., 2004, *Pendekatan Kualitas Dalam Manajemen Kualitas*, Andi, Yogyakarta.

Balevandrum, N., 1995, *Quality by Design: Taguchi Technics for Industrial Experimentation*, First Edition, Prentice Hall, London.

Douglas, C. M., 1990, *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Haryono, 2000, *Desain Eksperimen Untuk Peningkatan Mutu (Quality Engineering) Taguchi Method*, Modul Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

Nurhastuti, E., 2004, *Aplikasi Metode Taguchi Untuk Perbaikan Proses Produksi Gerabah*, Institut Sains & Teknologi Akprind, Yogyakarta (tidak dipublikasikan).

Ross, J. P., 1996, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Mc Graw Hill, New York.

Supriyanto, H., 2004, *Perbaikan Proses Pembuatan Tow Dengan Pendekatan Six Sigma*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

PENGUJIAN KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR EMULSI PADA BERBAGAI TEKANAN INJEKSI

Lukas Kano Mangalla¹ dan I Made Suardjaja²

¹ Fakultas Teknik Universitas Haluoleo, Kendari

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Masuk: 15 Mei 2008, revisi masuk: 20 Nopember 2008, diterima: 5 Januari 2009

ABSTRACT

The aim of this research is to examine the effect of increasing injection pressure on engine performance and exhaust emission of emulsified fueled diesel engine. The diesel exhaust emission such as Nitrogen Oxide (NO_x), Carbon Monoxide (CO), Unburned Hydrocarbon (HC) and Soot can be controlled through complete combustion and lower peak combustion temperature. This phenomenon occurred by utilizing fuel-water emulsion at high injection pressure to obtain a good atomization and perfect mixing of fuel-air in combustion chamber. The engine employed in this research was four stroke single cylinder diesel engine, with bore of 75 mm and stroke 80 mm. Engine was operated at vary throttle position from 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. At each throttle position rpm, load, fuel consumption, inlet pressure, exhaust temperature, carbon monoxide, unburned hydrocarbon and opacity were measured. CO-HC emissions are measured by Mexa 321E and opacity by LDR tester. The injection pressure of fuel was varied at 145, 170 and 195 kg/cm². The concentration of water in emulsion fuel was varied of 0%, 10%, 20% and 30%W/O. ABS (Alkyl benzene Sulfonate) was used as emulsifier of water and diesel fuel with 0,22% volume. The result of the research show that torque and power of diesel engine were relatively constant with increasing injection pressure but emission of CO, HC and opacity reduced significantly. Increasing of injection pressure from 145 to 195 kg/cm² resulted in reducing emission of CO, HC and opacity by 73 %, 60 % and 26.4 % respectively at wide-open-throttle.

Keywords: Emulsion Fuel, Exhaust Emission, Engine Performance, Injection Pressure.

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan injeksi bahan bakar terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang mesin diesel berbahan bakar emulsi. Emisi gas buang kendaraan bermesin diesel merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan terutama di kota-kota besar yang banyak menggunakan bus sebagai angkutan penumpang. Emisi gas buang mesin diesel seperti Nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar dan jelaga, dapat dikendalikan melalui pembakaran sempurna dan penurunan temperatur puncak pembakaran dalam silinder. Penelitian dilaksanakan pada alat uji motor bakar yang sudah dilengkapi dengan alat ukur yang dapat digunakan untuk memperoleh data kinerja mesin dan alat uji emisi. Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin diesel 4 langkah indirect injection satu silinder dengan diameter 75mm dan panjang langkah 80 mm. Mesin dioperasikan pada pembukaan katup throttle 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Pengujian emisi CO-HC menggunakan alat Mexa 321E, sedangkan kualitas kepekatan asap dideteksi dengan LDR tester. Tekanan injeksi bahan bakar divariasasi pada 145, 170 dan 195 kg/cm². Pengujian dilakukan untuk bahan bakar emulsi dengan 0%, 10%, 20% and 30%W/O. ABS (Alkyl benzene Sulfonate) sebagai zat pengemulsi dengan konsentrasi 0,22% volume digunakan pada penelitian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya dan torsi mesin tidak berubah secara signifikan pada berbagai tekanan injeksi, tetapi emisi CO, HC dan kepekatan asap berkurang cukup besar. Peningkatan tekanan injeksi dari

¹ Email: lukas_km@yahoo.com

145 sampai 195 kg/cm² menyebabkan penurunan emisi CO, HC dan kepekatan asap masing-masing sekitar 73 %, 60 % and 26,4 %.

Kata Kunci: Bahan Bakar Emulsi, Emisi Gas Buang, Prestasi Mesin, Tekanan Injeksi

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan suatu masalah utama di kota-kota besar. Ini disebabkan oleh pemakaian alat transportasi dan industri yang semakin meningkat. Motor Diesel merupakan salah satu sumber polusi berupa emisi gas buang yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Emisi gas buang hasil pembakaran diesel yaitu nitrogen oksida (NO_x), partikel-partikel emisi (jelaga), karbon monoksida (CO), hidrokarbon yang tidak terbakar (HC) dan jelaga.

Pengendalian emisi gas buang dari mesin diesel dapat dilakukan dengan berbagai cara yang memungkinkan pencampuran yang baik antara bahan bakar dengan udara sehingga dapat memperbaiki efisiensi pembakaran. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menurunkan emisi gas buang diesel adalah dengan pemakaian bahan bakar emulsi (Park dkk, 2001; Muchnik, 2002) dan dengan tekanan injeksi yang tinggi (Ichingur dan Altiparmak, 2003, Helmantel 2004). Bahan bakar emulsi telah dikenal dapat menurunkan emisi NO_x dan partikulat padat tanpa penurunan efisiensi mesin secara signifikan. Yoshimoto dkk, (1998) menyatakan keuntungan menggunakan bahan bakar emulsi diantaranya konsumsi bahan bakar spesifik menurun, konsentrasi NO_x menurun sekitar 40%, densitas asap juga menurun sedangkan karbon monoksida (CO) tidak ada perbedaan secara signifikan dibanding dengan menggunakan bahan bakar murni. Sandler, (2003) menyatakan setelah diujikan pada Bus-Bus di London Inggris, penggunaan bahan bakar emulsi dapat menurunkan emisi NO_x sebanyak 13% dan *Particulate Matter* (PM) sebesar 25%. Penurunan emisi NO_x dan partikulat hampir sebanding dengan konsentrasi air di dalam bahan bakar emulsi (Park dkk, 20-01). Bahan bakar emulsi dibuat dengan mencampurkan air-minyak diesel dengan menambahkan zat *additive* sebagai *agent* penstabil (*emulsifier*). Konsentrasi air yang digunakan dapat bervariasi dari 10% sampai 20%. Emulsifier yang digu-

nakan pada penelitian ini adalah Alkyl Benzene Sulfonate (ABS). Emulsifier dapat mengubah atau memecah tegangan permukaan air dan minyak sehingga keduanya dapat larut membentuk emulsi. Emulsifier ABS berwarna kecoklatan dan dikenal sebagai salah satu deterjen yang biasa digunakan pada minyak pelumas yang dapat mencegah karat, pemecah tegangan permukaan, dan lain-lain. Oleh karena itu emulsifier ini dapat mengontrol karat sehingga penggunaannya dalam bahan bakar tidak akan mengganggu komponen-komponen pada motor diesel.

Pengkabutan bahan bakar di dalam silinder sangat dipengaruhi oleh tekanan injeksi, viskositas dan tegangan muka bahan bakar serta densitas udara dalam ruang bakar. Pengabutan yang baik menghasilkan droplet bahan bakar yang lebih halus dan hal ini dapat mengurangi kelambatan penyalaan (*ignition delay*) dalam silinder sehingga mengurangi pembentukan NO_x dan jelaga. Ichingur dan Altiparmak (2003), melakukan percobaan pada *Direct Injection Diesel* empat langkah mengungkapkan kualitas pengabutan yang baik diperoleh dengan meningkatkan tekanan injeksi pada lubang nosel bahan bakar. Demikian pula Helmantel (2004) menyebutkan pengendalian emisi dari mesin diesel dapat dilakukan dengan meningkatkan tekanan injeksi untuk mengasilkan pengabutan yang baik sehingga mengurangi adanya campuran gemuk. Dalam proses pengabutan, bahan bakar cair dengan tekanan tinggi melewati satu atau beberapa lubang masuk ke dalam ruang bakar yang berisi udara yang tekanannya jauh lebih kecil. Akibatnya arus bahan bakar membangkitkan kecepatan tinggi dan menimbulkan gesekan besar antara udara dengan cairan bahan bakar. Karena gesekan ini maka butiran halus dari bahan bakar dipisahkan dari permukaan arus, kemudian butiran yang baru saja muncul ke permukaan dipisahkan lagi dan seterusnya sampai seluruh arus cairan dipisah-pisah menjadi butiran yang sangat kecil. Pada bahan bakar emulsi pengecilan ukuran butiran bahan bakar

dibantu oleh adanya peristiwa *micro-explosion* yang terjadi saat pembakaran bahan bakar emulsi. Fenomena *micro-explosion* yang biasa pula dikenal sebagai *secondary atomisation* merupakan suatu peristiwa pecahnya butiran menjadi lebih kecil (Elgowainy dan Ashgriz, 2004). Dengan butiran yang lebih halus maka penguapannya akan lebih cepat sehingga waktu penyelesaian pembakaran akan lebih singkat. Selain itu dengan kabut bahan bakar yang lebih halus maka kemungkinan terbentuknya jelaga jauh lebih kurang. Butiran air dalam ruang bakar akan menguap dan menyerap panas gas hasil pembakaran sehingga dapat menurunkan temperatur maksimum pembakaran. Dengan menurunnya temperatur gas hasil pembakaran maka emisi NO_x dapat dikurangi.

Proses pembakaran merupakan reaksi oksidasi yang berlangsung cepat dan membebaskan kalor dalam jumlah besar. Pada motor diesel pembakaran dimulai dengan penyemprotan bahan bakar ke dalam silinder sesaat sebelum langkah kompresi berakhir. Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi ke dalam silinder melalui lobang nosel lalu beratomisasi menjadi sejumlah tetesan yang halus. Bahan bakar dalam bentuk uap bertemu dengan oksigen yang sudah bertemperatur tinggi sehingga terjadi pembakaran. Setelah penyalaan terjadi pembakaran spontan yang terkontrol akan terjadi dalam ruang bakar, penyalaan dengan sendirinya akan bergerak ke bagian partikel-partikel lainnya sehingga kecepatan pembakaran selanjutnya akan dikendalikan oleh kecepatan injeksi bahan bakar. Jika terdapat partikel bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar menyatu membentuk suatu butiran yang lebih besar dan tidak terbakar maka akan menyebabkan gangguan pencampuran lalu keluar dalam bentuk karbon-karbon padat (jelaga) yang berwarna hitam dan mengotori udara (Heywood, 1989).

Nitrogen oksida (NO_x) merupakan senyawa kimia terdiri dari nitrida oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). Proses pembentukan senyawa oksida nitrogen (NO_x) dapat terjadi dari dua sumber utama (Borman dan Rag-

land, 1998) yaitu *thermal NO_x* dan *fuel NO_x*. *Thermal NO_x* berasal dari oksidasi gas nitrogen dalam udara yang mengalami disosiasi pada temperatur tinggi akibat pembakaran. *Fuel NO_x* yang berasal dari senyawa nitrogen dalam bahan bakar. Pembentukan emisi karbon monoksida (CO) dipengaruhi oleh proses pembakaran yang kurang sempurna di dalam ruang bakar. Emisi CO dari motor bakar ditentukan terutama oleh ekuivalen rasio bahan bakar udara. Namun karena mesin diesel selalu dioperasikan pada daerah miskin campuran udara bahan bakar maka konsentrasi CO relatif rendah. Gas CO merupakan hasil oksidasi karbon dan apabila jumlah udara mencukupi akan terjadi oksidasi lanjut menjadi CO_2 . Kehadiran uap air dalam pembakaran dapat pula mempengaruhi produksi *hidroxyl radicals (OH)* untuk meningkatkan laju reaksi karbon monoksida (CO) menjadi karbon dioksida (CO_2) untuk menghasilkan pembakaran sempurna (Sadler, 2003).

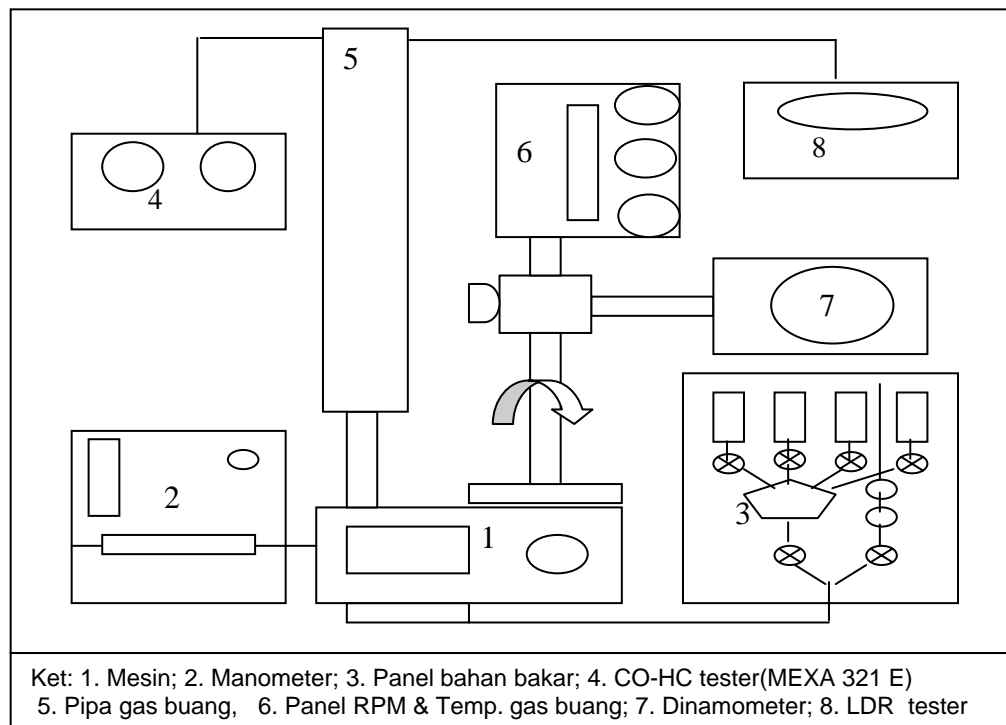
Emisi HC merupakan konsekuensi dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar hidrokarbon. Ada dua sumber utama emisi hidrokarbon yakni campuran bahan bakar-udara yang terlalu kurus untuk terbakar sendiri (*over leaning*) dan campuran bahan bakar-udara yang terlalu gemuk (*over rich*). Bahan bakar yang diinjeksikan selama periode *delay* bercampur dengan udara, sebagian bercampur secara cepat membentuk rasio ekuivalen lebih rendah dari batas kurus pembakaran, sebagian dalam batas mudah terbakar, dan sebagian lagi akan bercampur lebih lambat dan sangat gemuk untuk terbakar. Campuran yang terlalu kurus tidak akan terbakar sendiri. Pencampuran yang lambat dari bahan bakar udara yang dihasilkan dari campuran yang terlalu gemuk atau *quenching* dari reaksi pembakaran dapat menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna, produk *pyrolysis* dan bahan bakar yang tidak terbakar yang keluar dari gas buang. Salah satu sumber emisi HC yang tidak terbakar adalah bahan bakar yang meninggalkan nosel injektor dengan kecepatan rendah ketika injeksi sudah berakhir. Pendinginan dinding ruang bakar juga merupakan sumber emisi HC yang cukup signifikan, tergantung pada semprotan bahan bakar yang menimpa dinding ruang bakar.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu minyak diesel (solar), air dan zat *additive* untuk melarutkan air dalam solar yaitu *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS). Gambar 1 merupakan diagram skematik dari alat yang digunakan dalam pengujian ini.

Mesin mesin uji yang digunakan adalah mesin diesel satu silinder empat langkah, *indirect injection*, diameter 75 mm dan stroke 80mm. Pengujian dilakukan untuk bahan bakar emulsi dengan 0%, 10% 20% dan 30% W/O. Konsentrasi ABS yang digunakan dalam setiap bahan bakar emulsi adalah 0,22% volume.

Dalam penelitian ini beban mesin divariasikan untuk mendapatkan data pa-

da berbagai putaran mesin. Daya mesin diukur dengan dinamometer hidrolik merek Nissalco SF-15 Z. Tekanan injeksi divariasikan dengan cara merubah tekanan pagas pada injektor lalu diukur dengan injektor tester. Tekanan injeksi divariasikan pada tekanan 145kg/cm^2 , 170kg/cm^2 dan 195kg/cm^2 . Mesin dioperasikan pada pembukaan throttle mulai dari 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Emisi gas buang yang dihasilkan diukur dengan menggunakan alat uji emisi merek Horiba MEXA 321 E. Sedangkan kepekatan asap dideeteksi dengan menggunakan sinar laser dari laser pointer melewati saluran gas buang, sinar yang diteruskan kemudian ditangkap dengan *Light Dependence Resistor* (LDR).



Gambar 1. Skematik Pengujian Mesin Diesel

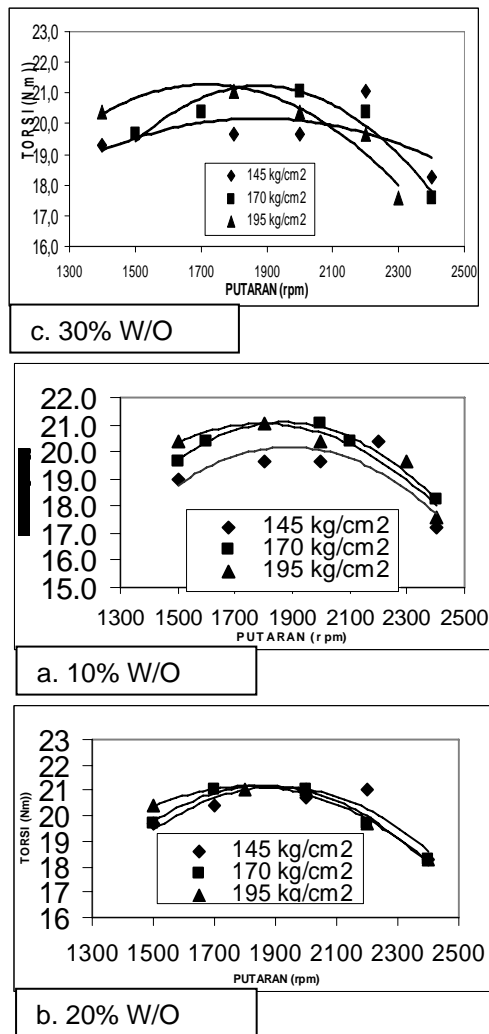
PEMBAHASAN

Karakteristik mesin dapat dilihat pada torsi, daya dan Konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) yang dihasilkan pada berbagai tekanan injeksi yang ditunjukkan pada masing-masing gambar 2, 3, dan 4 berikut ini.

Torsi yang dihasilkan menyatakan kemampuan mesin menerima beban yang dibebankan padanya. Tekanan injeksi yang

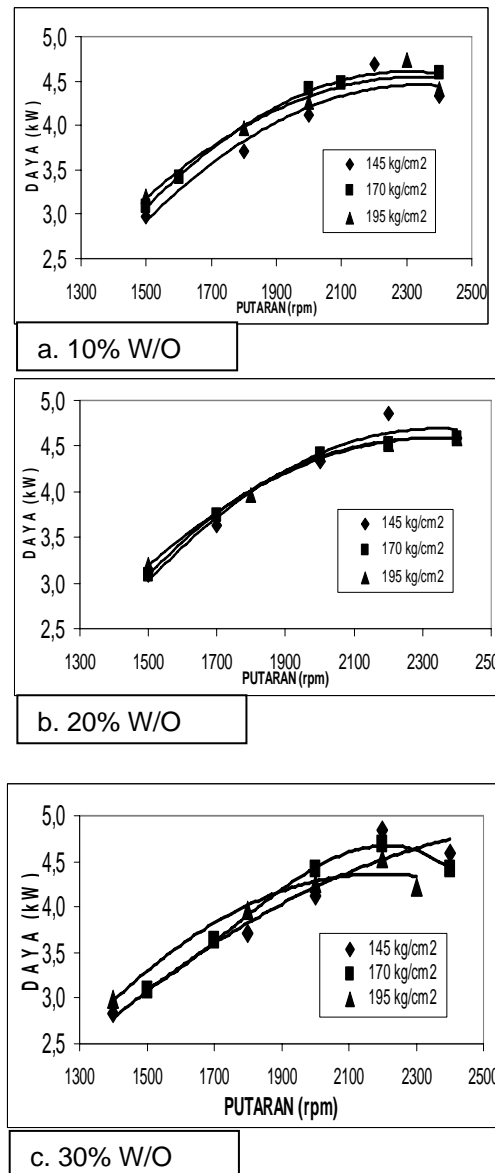
tinggi yang menghasilkan pengabutan yang baik serta bahan bakar emulsi berpengaruh terhadap pembakaran yang terjadi dalam silinder sehingga torsi dapat meningkat. Pada gambar 2 dapat dilihat karakteristik dari torsi yang dihasilkan untuk bahan bakar emulsi 10%, 20% dan 30%W/O. Terlihat adanya peningkatan torsi dengan meningkatnya tekanan injeksi terutama pada putaran rendah meskipun kurang signifikan,

tetapi pada putaran tinggi torsi yang dihasilkan cenderung tidak mengalami perubahan. Pada putaran 1500 rpm terjadi kenaikan torsi masing-masing sebesar 10 %, 6,6 %, dan 3,3% untuk bahan bakar emulsi 10%W/O, 20%W/O dan 30%W/O.



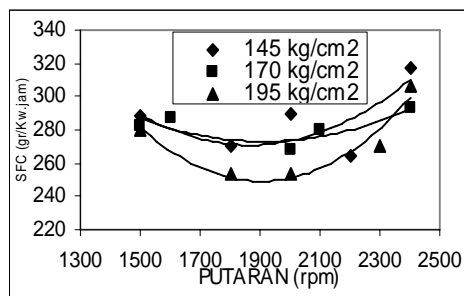
Gambar 2. Kurva Torsi Vs Putaran pada berbagai tekanan injeksi

Daya yang dihasilkan dari mesin merupakan suatu ukuran kemampuan mesin dalam melakukan kerja. Dengan semakin tingginya tekanan injeksi memberikan pengabutan bahan bakar yang lebih halus sehingga mempercepat penguapan bahan bakar (Heywood, 1989). Hal ini dapat menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga daya yang dihasilkan dapat lebih optimal.

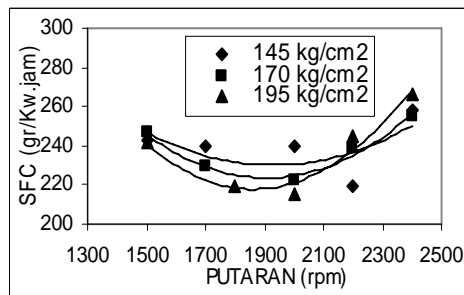


Gambar 3. Kurva daya Vs putaran pada berbagai tekanan injeksi

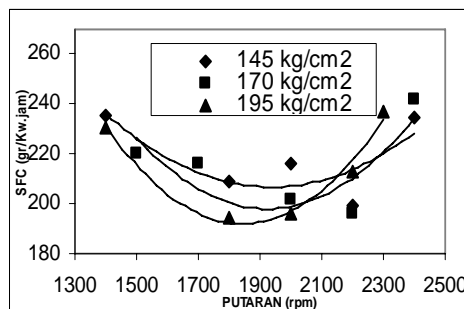
Pada putaran rendah terjadi peningkatan daya sebesar 10 %, 6,6% dan 3,3% masing-masing untuk emulsi 10%, 20% dan 30% W/O. Pada putaran tinggi terjadi penurunan daya untuk tekanan injeksi tertinggi (195kg/cm²). Hal ini dapat disebabkan oleh adanya rugi-rugi mekanis selama operasi. Jadi tidak seluruhnya daya yang dibangkitkan oleh pembakaran bahan bakar akan tersedia sebagai daya berguna untuk melakukan kerja luar tetapi sebagian diserap oleh mesin itu sendiri atau terbuang melalui gas buang.



a. 10% W/O



b. 20% W/O



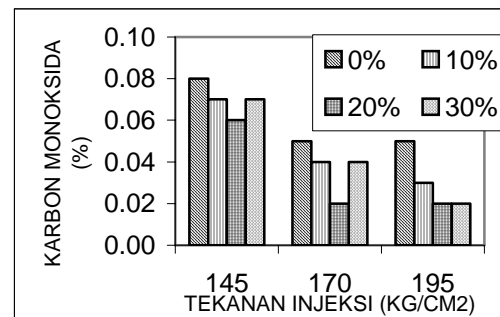
c. 30% W/O

Gambar 4. Kurva SFC Vs Putaran pada berbagai tekanan injeksi

SFC merupakan suatu ukuran efisiensi suatu mesin menggunakan bahan bakar untuk menghasilkan kerja. Pemakaian bahan bakar spesifik dalam mesin ditentukan dari perbandingan laju konsumsi bahan bakar dan daya yang dihasilkan. Tekanan injeksi yang tinggi menyebabkan peningkatan momentum dari semprotan sehingga proses *mixing* bahan bakar dan udara menjadi lebih baik. Hal ini dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna sehingga dapat menghemat bahan bakar. Proses penguapan dan *mixing* yang cepat juga disebabkan terjadinya *secondary atomization* dari droplet ba-

han bakar emulsi. Dengan meningkatnya tekanan injeksi dari 145 ke 195 kg/cm² terjadi penurunan SFC masing-masing sebesar 6,5%, 10,2%, dan 8,9% untuk bahan bakar emulsi 10%, 20% dan 30% W/O pada putaran 2000 rpm. Pada putaran 2000 rpm untuk tekanan injeksi 195 kg/cm², bahan bakar emulsi 30% W/O mempunyai SFC paling kecil sebesar 194,86 gr/kw.jam, atau terjadi penurunan 33 % dari solar murni.

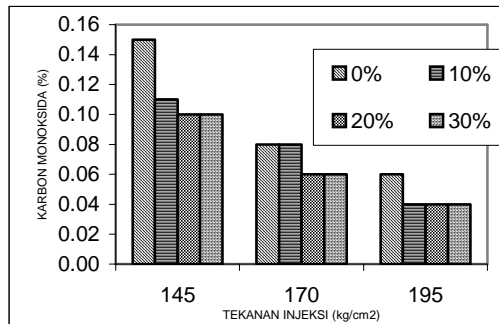
Emisi gas buang yang dihasilkan dari bahan bakar emulsi dapat dilihat pada gambar 5-10. Emisi gas buang mengalami penurunan secara signifikan dengan meningkatnya tekanan injeksi. Dengan tekanan injeksi tinggi dapat menghasilkan ukuran droplet bahan bakar yang lebih halus sehingga mempercepat penguapan bahan bakar dan pencampuran dengan udara. Demikian pula penggunaan bahan bakar emulsi yang dapat menghasilkan pengabutan yang lebih halus. Hal ini akibat adanya fenomena *microexplosion* pada bahan bakar emulsi yang sangat membantu penurunan emisi pada mesin diesel.



Gambar 5. Grafik CO pada kondisi *part-open throttle* putaran 1500 rpm

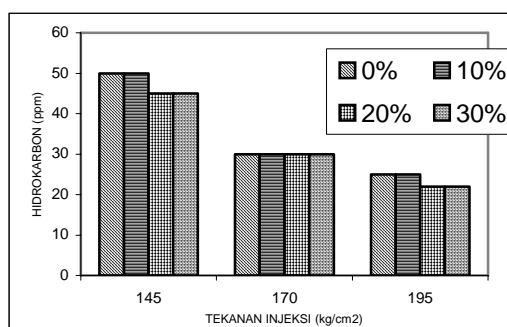
Pada Gambar 5 dan 6 terlihat dengan meningkatnya tekanan injeksi dari 145 ke 195 kg/cm² terjadi penurunan emisi CO yang signifikan sebesar 75% pada kondisi *part-open throttle* dan 73% pada kondisi *wide-open throttle*. Demikian pula pengaruh kandungan air dalam bahan bakar emulsi (W/O) cenderung mempengaruhi penurunan emisi CO. Hal ini disebabkan oleh hadirnya hidroksil radikal (OH[•]) yang dapat membantu menyempurnakan pembakaran dalam ruang bakar. Pada gambar dibawah terlihat

bahwa emisi CO yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar emulsi relatif kecil dibandingkan dengan solar murni. Pada kondisi throttle penuh untuk tekanan injeksi 195 kg/cm² emisi CO turun 43% pada bahan bakar emulsi 20%W/O dan 30% W/O.



Gambar 6. Grafik CO pada kondisi *wide-open throttle* putaran 2200 rpm

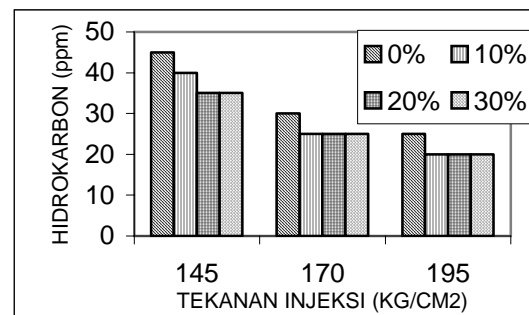
Pada kondisi part dan *wide-open throttle* dengan meningkatnya tekanan injeksi dari 145kg/cm² menjadi 195 kg/cm² terjadi penurunan emisi HC yang cukup signifikan masing-masing sebesar 55,5% dan 60%. Pemakaian bahan bakar emulsi dengan tekanan injeksi yang tinggi menyebabkan partikel-partikel bahan bakar terbakar secara sempurna dalam ruang bakar sehingga dihasilkan emisi HC yang cukup rendah pada gas buang.



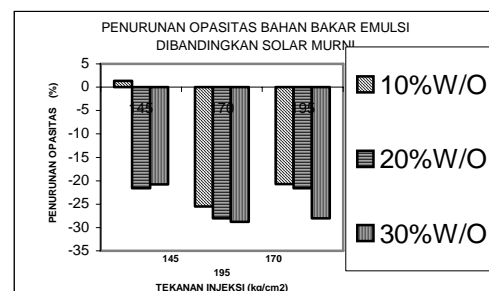
Gambar 7. Grafik HC pada kondisi *part-open -throttle* putaran 1500 rpm

Opasitas yang dihasilkan oleh bahan bakar emulsi menurun secara cukup signifikan dengan meningkatnya tekanan injeksi di bandingkan dengan bahan bakar solar murni. Asap yang

dihasilkan ini sangat dipengaruhi oleh campuran udara dengan bahan bakar saat terjadi pembakaran. Pembakaran yang sempurna menghasilkan partikel-partikel karbon dalam jumlah yang relatif kecil sehingga asap yang keluar dari gas buang cenderung kecil. Hal ini ditandai dengan tingkat kepekatan asap yang semakin turun yang dihasilkan dari gas buang mesin.

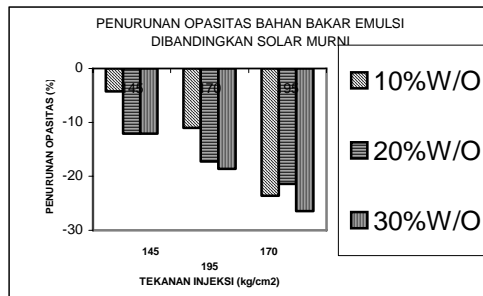


Gambar 8. Grafik HC pada kondisi *wide-open throttle* putaran 2200 rpm



Gambar 9. Grafik penurunan opasitas pada *part-open -throttle* putaran 1500 rpm

Penurunan opasitas juga disebabkan oleh kandungan air dalam bahan bakar emulsi yang menghasilkan efek *micro-explosion* yang berpengaruh terhadap proses penguapan dan pencampuran udara bahan bakar sehingga dapat menurunkan emisi gas buang mesin. Untuk tekanan injeksi 145kg/cm² terjadi penurunan terbesar 20,8% pada bahan bakar emulsi 20% W/O. Selanjutnya pada tekanan injeksi 170 dan 195kg/cm² terjadi penurunan sebesar 28,8% dan 28% pada bahan bakar emulsi 30% W/O.



Gambar 10. Grafik penurunan opasitas pada *wide-open throttle* putaran 2200 rpm

Pada kondisi *wide-open throttle* penurunan opasitas terbesar 26,4% terjadi pada bahan bakar emulsi 30% W/O pada tekanan injeksi 195 kg/cm². Jelaga yang dihasilkan dari pembakaran diesel dapat pula direduksi dengan mempercepat oksidasi partikel emisi pada temperature tinggi (Bedford, 2000). Percepatan oksidasi partikel jelaga ini dapat dicapai dengan terjadinya pembakaran cepat yang dihasilkan dari homogenitas campuran bahan bakar-udara dalam silinder.

KESIMPULAN

Dengan meningkatnya tekanan injeksi torsi dan daya mesin yang dihasilkan cenderung konstan tetapi emisi gas buang mengalami penurunan yang sangat signifikan. Pada kondisi *wide-open throttle* emisi CO dan HC turun masing-masing 73% dan 60% dengan meningkatnya tekanan injeksi dari 145kg/cm² menjadi 195kg/cm². Demikian pula opasitas turun sebesar 26,4% dibandingkan dengan pemakaian solar murni.

Konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) cenderung turun dengan meningkatnya tekanan injeksi. Peningkatan tekanan injeksi dari 145 ke 195 kg/cm² pada putaran 1800 rpm terjadi penurunan BSFC sebesar 10,3%, 6,5% dan 6,9% masing-masing untuk bahan bakar emulsi 10%, 20% dan 30%W/O. Pada tekanan injeksi 195 kg/cm² dengan meningkatnya kandungan air dalam bahan bakar emulsi memberikan penurunan SFC yang signifikan sebesar 33%.

Emisi gas buang seperti HC, CO dan opasitas mengalami penurunan seja-

lan dengan meningkatnya prosentase air dalam bahan bakar emulsi (W/O).

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W., dan Tsuda, K., 2002, *Motor Diesel Putaran Tinggi*, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Bartola, A.G., 2003, Technologies for Lowest NO_x and Particulate Emissions in DI-Diesel Engine Combustion-Influence of Injection Parameters, EGR and Fuel Composition, *Abstract of Dissertation for the degree of Doctor of Technical Science*, Diss.ETH No.15-373.
- Bedford, F., Rutland,C., Dittrich, P., Raab,A., and Wirbeleit,F., 2000, Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion, *SAE Paper* 2000-01-2938.
- Borman, G.L., dan Ragland, K.W., 1998, *Combustion Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Boston.
- Elgowainy, A., and Ashgriz, N., 2004, "microexplosion of Emulsified Fuel Drops" (Internet)
- Helmantel, A., 2004, Reducing Diesel Engine Emission - An Experimental Investigation, *Thesis*, Halmers University of Technology, Sweden.
- Heywood, J.B., 1989, "*Internal Combustion Engine Fundamentals*", Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Ichingur, Y., dan Altiparmak, D., 2003, "Experimental Analysis of the Effects of Fuel Injection Pressure and Fuel Cetane Number on Direct Injection Diesel Engine Emissions" *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 27(2003), pp 291-297.
- Maleev, V.L., and Priambodo, B., 1995, "*Operasi dan Pemeliharaan Mesin Diesel*", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Muchnik, D.A., 2002, "Water Improving Burning, The New Technologi of Water Fuel Emulsion", *Fuel Technologies LTD*, pp 1-5.
- Park, J.W., Huh, K.Y., and Park, K.H., 2001, Reduction of NO_x and Brake Specific Fuel Consumption with Optional Injection Timing and Emulsion Ratio of Water-Emulsified Diesel. *Proc*

- Instn Mech Engrs Part D*, Vol 214 pp 86-93
- Sadler, L., 2003, The Air Quality Impact of Water-Diesel Emulsion Fuel (WD-E) and Selective Catalytic Reduction (SCR) Technologies, *Mayor of London*. (?)
- Turn, S.R., 2000, *An introduction to Combustion*, Concept and Application, Second Edition, McGraw-HillBook Company, Boston.
- Yoshimoto, Y., Kuramoto, T., Li, Z., and Tsukahara, M., 1998, Influence of Water Content Ratio on Combustion Fluctuation of Diesel Engines Using Emulsified Fuels, *Journal of MESJ*, Vol. 32, No. 6 pp 16-23.

**ANALISIS PENENTUAN KONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI TERBAIK ANTARA
WAREHOUSE DAN DEMAND REGION DENGAN
MENGUNAKAN MODEL BI-CRITERIA**

Muhammad Yusuf¹, Imam Sodikin²

^{1,2} Jurusan Teknik Industri, IST AKPRIND, Jl. Kalisahak No. 28 Yogyakarta

Masuk: 21 Agustus 2008, revisi masuk: 13 Nopember 2008, diterima: 8 Januari 2009

ABSTRACT

Determining the best level of aggregation in a centralized supply chain is one of the most difficult problems because of the conflicting objectives and demand uncertainty. PT. Nampar Nos is one of leading drinking water company with various range market in some regions in Flores, even in some islands in East of Nusa Tenggara. It's wide service area and demand uncertainty. Causes the company has a good decision to decide where the warehouse should be located, and how much the optimal number of warehouses to satisfy the demand. This research uses bi-criteria model to determine the best distribution network between Warehouse and Demand Region. There are two steps in data processing that will be done. The first step is to determine the cost that relation with the old distribution network in Flores use Gaur and Ravindran model and the second step is to develop the new alternative use trial and error method and then calculate the total cost and also responsiveness. After the solver output, we get the best one configuration from 2 alternative configuration distribution network that is developed. Alternative 1 is the best configuration network amount warehouse and demand region which is yield in decreasing total cost per month about Rp 49.996.000 or 11% from level Rp 417.280.400 to Rp 367.284.400. And also decreasing product miles about 7.500 or 5% from 153.500 become 146.000.

Keywords: Supply Chain, Product Miles, Level Aggregation

INTISARI

Penentuan level agregasi yang paling baik di dalam *supply chain* adalah salah satu masalah yang paling sulit dikarenakan adanya tujuan yang saling bertentangan dan ketidakpastian permintaan. PT. Nampar Nos adalah salah satu perusahaan air minum dalam kemasan yang mempunyai wilayah pemasaran yang tersebar di beberapa kabupaten yang ada di pulau Flores bahkan beberapa pulau yang ada di propinsi NTT. Luasnya cakupan daerah yang harus dilayani dan ketidakpastian permintaan menyebabkan perusahaan harus memiliki pertimbangan yang cukup matang untuk memutuskan dimana seharusnya lokasi dari gudang mereka dan berapa banyak *warehouse* yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan pasar. Pada penelitian ini digunakan model *bi-criteria* untuk menentukan konfigurasi jaringan distribusi terbaik antara *Warehouse* dan *Demand Region*. Terdapat dua tahap dalam pengolahan data yang akan dilakukan. Tahap pertama untuk menentukan biaya yang terkait dengan jaringan distribusi yang sudah ada di pulau Flores dengan menggunakan model Gaur dan Ravindran dan tahap kedua membangun jaringan distribusi baru dengan metode *Triall and Error*, kemudian dilakukan perhitungan total biaya dan juga respon ke *customer*. Hasil dari penelitian ini didapatkan 1 alternatif terbaik dari 2 alternatif konfigurasi yang dibangun. Alternatif 1 merupakan konfigurasi jaringan distribusi terbaik antara *Warehouse* dan *Demand Region* yang menghasilkan penurunan total biaya perbulan sebesar Rp 49.996.000 atau 11% dari level Rp 417.280.400 turun hingga mencapai level Rp 367.284.400, dan penurunan *product miles* sebesar 7.500 atau 5% dari 153.500 menjadi 146.000.

Kata Kunci : Supply Chain, Product Miles, Level Agregasi

^{1,2} Email: industry.akprind@gmail.com

PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang dinamis saat ini membawa banyak perubahan yang drastic, hal ini karena esensi dan persaingan terletak pada bagaimana sebuah perusahaan dapat mengimplementasikan proses penciptaan produknya secara lebih murah, lebih baik, dan lebih cepat (*Cheaper, Better, Faster*). Untuk mendapatkan keuntungan maksimal dan memenuhi permintaan pasar diperlukan usaha penghematan biaya total yang meliputi biaya angkutan, biaya perawatan mesin, biaya operasional perusahaan serta memperhatikan pola distribusi produknya agar dapat menentukan jumlah yang optimal pada daerah tujuan yang tepat.

Menentukan level agregasi yang paling baik yaitu jumlah gudang atau *distribution centers* yang optimal untuk memenuhi permintaan sesuai dengan *service level* yang diinginkan didalam *supply Chain* adalah salah satu masalah yang paling sulit karena ini menyangkut tidak hanya praktek untuk meminimumkan ongkos total didalam *supply chain* namun juga menjaga dan mempertahankan respons yang bagus kepada *customer*, demikian juga yang dialami oleh PT. Nampar Nos yang merupakan salah satu perusahaan air minum dalam kemasan yang mempunyai wilayah pemasaran yang tersebar di beberapa kabupaten yang ada di Pulau Flores bahkan beberapa pulau yang ada di Propinsi NTT. Luasnya cakupan area yang harus dilayani dan ketidakpastian permintaan menyebabkan perusahaan harus memiliki pertimbangan yang cukup matang untuk memutuskan dimana seharusnya lokasi dari *Warehouse* (Gudang) mereka dan berapa banyak *Warehouse* yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan pasar (*Demand Region*).

Untuk itu perlu ditentukan konfigurasi jaringan distribusi terbaik antara *Warehouse* dan *Demand Region* yang ada pada PT. Nampar Nos Ruteng dengan menggunakan Model *Bi-Criteria* sehingga terjadi keseimbangan antara *Reduction In Cost* dan *Maximization of Responsiveness*. Konfigurasi jaringan distribusi terbaik antara *Warehouse* dan *Demand Region* yang diperoleh dapat diketahui total biaya yang minimal dan juga *responsiveness* yang maksimal kepada *Customer*, sehingga bisa dijadikan

bahan pertimbangan dalam keputusan perubahan alternatif konfigurasi jaringan distribusi antara *Warehouse* dan *Demand Region*.

Model *Bi-Criteria* pada prinsipnya, merupakan suatu model matematis yang digunakan dalam masalah penentuan level agregasi yang paling baik antara *Warehouse* dan *Demand Region* atau sering disebut permasalahan *Risk Pooling/inventory Agregation* (Gaur, dkk, 2006). Agregasi persediaan (*Inventory aggregation*) adalah salah satu cara yang paling efisien untuk mengurangi tingkat Stok pengaman (*safety stock*), dengan demikian dapat mengurangi persediaan dalam *Supply Chain*. Dalam *Supply Chain* penentuan level agregasi yang paling baik (jumlah gudang atau *Distribution centers* optimal untuk memenuhi permintaan sesuai dengan tingkat pelayanan yang diinginkan) adalah salah satu masalah yang paling sulit dikarenakan adanya tujuan yang berbeda dan ketidakpastian permintaan. hal ini tidak hanya menyangkut usaha untuk meminimumkan ongkos total di dalam *Supply Chain* namun juga menjaga dan mempertahankan *respon* yang bagus kepada *Customer*.

Safety stock merupakan hal perlu dipertimbangkan dalam suatu rantai pasok karena mempunyai pengaruh yang besar terhadap peningkatan biaya penyimpanan yang pada akhirnya dapat mengurangi efisiensi operasional *supply chain*. Dalam rantai pasok, *safety stock* digunakan sebagai stok pengaman untuk menghindari resiko kehabisan stok akibat ketidakpastian jumlah permintaan *customer* dan juga peningkatan waktu tunggu. Ada dua hal yang perlu dipertimbangkan untuk mengetahui kebutuhan dari *retailer* yang ada dalam *supply chain* adalah sebagai berikut (Indarajit, dkk, 2002) :

- Setiap *retailer* disuplai oleh gudangnya masing-masing.
- Semua *retailer* disuplai oleh satu gudang sentral.

Pada point pertama diatas, *safety stock* benar-benar harus dijaga atau diperhatikan pada gudang masing-masing, untuk memenuhi jumlah kebutuhan yang selalu berubah-ubah dari setiap *retailer*. Hal ini tentunya berakibat pada peningkatan jumlah *safety stock* dalam *supply chain*. Sedangkan pada point ke-

dua, dijelaskan bahwa kebutuhan *retailer* itu teragregasi oleh gudang sentral dengan melakukan peramalan kebutuhan untuk semua *retailer* sehingga dapat di ketahui jumlah kebutuhan masing-masing *retailer*. Hal ini tentunya dapat mengurangi dari tingkat stok pengaman yang ada dalam *supply chain*.

Demand dan *Lead time* pada kasus diatas adalah bersifat stokastik, ketidakpastian permintaan dan *lead time* serta hubungan antara *demand* untuk *region* yang berbeda, membuat masalah ini menjadi suatu "*bi-criteria nonlinear stokastik integer program*" yang akan sangat sulit diselesaikan untuk jumlah gudang dan *retailer* yang sangat banyak, oleh karena itu untuk mengatasi hal ini, ada 2 tahap algoritma yang digunakan untuk menemukan suatu solusi optimal. Pada *stage1*, alternatif yang berbeda dibangun dengan memperhatikan pembatas yang telah diberikan. Tujuan utama dari linear integer program adalah digunakan untuk membangun rancangan jaringan kerja yang *feasible*. Pada *stage2* akan dicari *total cost* dan *responsiveness*.

Masalah '*risk pooling*' meliputi – keputusan yang akan menentukan gudang (*Distribution centers*) menuju *retailers* dan kebijakan *inventory* pada gudang tersebut sehubungan dengan meminimalkan ongkos total dari sistem dan memaksimalkan *responsiveness* dari sistem (ketersediaan produk). Dalam penelitian ini, masalah *risk pooling* dimodelkan sebagai suatu *bi-criteria stochastic nonlinear integer program*.

Total cost diperoleh dari penjumlahan (Gaur, dkk, 2006):

- *Inventory Holding cost*, yang merupakan biaya pemeliharaan inventori pada gudang
- *Facility cost*, merupakan biaya setting up gudang (pengadaan gudang)
- *Operating cost*, merupakan biaya dalam menjalankan pergudangan.
- *Transportation cost*, merupakan biaya transportasi produk dari gudang ke daerah kebutuhan. (*demand region*).

Responsiveness diukur dari jarak produk, dalam arti ketersediaan produk terhadap daerah kebutuhan (Zulkifli, 2005), dimana semakin pendek jarak tempuh produk ke daerah kebutuhan, maka semakin cepat pula pelayanan

/respon terhadap kebutuhan daerah tersebut (*maximizes responsiveness*).

Solusi dari permasalahan *Risk pooling* yang diselesaikan dengan Model *Bi-criteria* ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- Dapat menentukan lokasi dari gudang
- Menentukan daerah kebutuhan yang dilayani oleh masing-masing gudang yang masih berada dibawah gudang sentral.
- Jumlah unit yang dikirim dari satu gudang ke satu daerah kebutuhan
- kebijakan *inventory order* (jumlah pesanan dan *reorder point*) untuk masing-masing gudang.

Data yang diberikan (Parameter)

- C_i : *Facility cost*, yang merupakan biaya pengadaan (*setting up*) suatu gudang pada suatu lokasi tertentu. (note : C_i dapat bernilai (-) dalam hal penutupan gudang.
- O_i : *Operating Cost*, biaya dalam menjalankan satu gudang (perunit produk)
- T : *Transportation Cost*, biaya transportasi 1unit/mil
- H_i : *Inventory Holding cost*, merupakan biaya simpan persediaan, (per Rupiah/thn) pada gudang "i"
- A_i : *Fixed ordering cost*, merupakan biaya pesan tetap pada gudang "i"
- M_i : Kapasitas dari gudang "i" yang menentukan level agregasi yang mungkin.
- D_j : Kebutuhan dari daerah konsumen/*retailer* "j" yang harus dipenuhi oleh rantai pasok (D_j adalah variable random dengan $f(x)$ sebagai fungsi tujuan)
- α_{i-j} : Matrik asosiasi (gabungan) antara gudang dan *retailer* (matriks bernilai '1' sebagai nilai sel (α_{i-j}) jika gudang 'i' mampu melayani *retailer* 'j' dan sebaliknya bernilai '0' jika gudang 'i' tidak mampu melayani *retailer* 'j'. kapasitas dari gudang untuk melayani *demand region* diketahui dalam system dan dipertimbangkan sebagai satu parameter.
- d_{i-j} : jarak antara gudang 'i' dan *retailer* 'j', yang menentukan biaya transportasi dan juga *responsiveness* dari system distribusi. (biaya transportasi didapatkan dari jumlah produk yang dikirim dari gudang 'i' menuju *retailer* 'j' x Jarak antara gudang-retailer. Sedangkan *Responsiveness* diukur dari jarak produk, semakin pendek jarak

tempuh produk ke daerah kebutuhan, maka semakin cepat pula pelayanan /respon terhadap kebutuhan daerah tersebut)

- ρ_{p-q} : Koefisien korelasi antara *demand* untuk *region* 'p' dan 'q'
- Sedangkan Variabel keputusan Berdasarkan data diatas, variabel keputusan harus ditentukan untuk menyelesaikan masalah '*Risk pooling*'.
- δ_i : ditentukan jika suatu gudang dilokasikan pada lokasi khusus. Ini merupakan suatu *binary Variable* dan bernilai '1' jika gudang berada pada lokasi 'i' atau sebaliknya bernilai '0' jika tidak berada pada lokasi 'i'.
- χ_{i-j} : merupakan jumlah unit yang harus dikirim dari gudang 'i' ke demand Region/retailer 'j'.
- Q_i : merupakan *economic order quantity* yaitu jumlah unit yang harus dipesan tiap waktu sebagai pesanan yang ditempatkan di gudang 'i'.
- S_i : merupakan reorder point untuk gudang 'i'

Pembatas kebutuhan "Pastikan bahwa kebutuhan dari satu *retailer* telah terpenuhi. Ini didapat dari penjumlahan unit yang dikirim dari semua gudang menuju retailer tertentu atau sama dengan jumlah kebutuhan dari retailer.

$$\sum \alpha_{i-j} * \chi_{i-j} = D_j \text{ untuk semua } j \quad (1)$$

Pembatas kapasitas, membatasi pengiriman dari satu gudang tidak boleh melebihi kapasitas yang dia punya.

$$\sum \alpha_{i-j} * \chi_{i-j} \leq M_i * \delta_i \text{ untuk semua } i \quad (2)$$

Jumlah *order* harus merupakan non-negatif Quantity kapanpun/selama suatu pesanan ditempatkan oleh satu gudang. Sehubungan dengan *safety stock* yang bernilai (+) *reorder point* harus >1 atau \geq rata-rata permintaan selama *lead time* $s_i \geq LTD_i$ untuk semua i.

Fungsi tujuan: (1). Minimasi *Total Annual cost = Facility Cost + O-perating cost+Transportation Cost+Ordering Cost +Inventory Cost*. (2). Maksimasi *Responsiveness*.

Bi-Criteria merupakan suatu model yang digunakan untuk menentukan konfigurasi jaringan distribusi terbaik da-

lam memenuhi permintaan *customer*, dimana dalam penyelesaiannya terdapat 2 tahap (*stage*) pengolahan data yang akan dilakukan. Tahap pertama untuk menentukan Jumlah *warehouse* yang optimal dengan kombinasi *demand region* yang fisibel di pulau flores, dan tahap kedua untuk melakukan perhitungan total biaya (*Total Annual cost*).

Stage 1 Min Z

$$\sum_i C_i * \delta_i + \sum_i \sum_j O_i \chi_{i-j} + \sum_i \sum_j t * d_{i-j} * \chi_{i-j}$$

Subject to :

$$\sum_i \alpha_{i-j} * \chi_{i-j} = D_j + 2 * \sigma_j \text{ untuk semua } j;$$

$$M_j * \delta_j \geq \sum_i \alpha_{i-j} * \chi_{i-j} \text{ untuk semua } i$$

Stage 2 Total Annual Cost =

$$\sum_i \left[\left\{ A_i * (36R_i / Q_i) + \left\{ Q_i / 2 + (S_i - \mu_{xi}) \right\} * h_i * v_i \right\} + \left(\sum_j 365 * D_j * t * d_{i-j} \right) + C_i + O_i * R_i \right]$$

Supply Chain Management atau (SCM) adalah konsep atau mekanisme untuk meningkatkan produktifitas total perusahaan dalam rantai *supply* melalui optimalisasi waktu, lokasi dan aliran kuantitas bahan. (Watanabe, 2001) atau menurut Zabidi, (2001), SCM adalah konsep yang digunakan untuk mengatur aliran produk, informasi dari seluruh aktifitas perusahaan sebagaimana diperlihatkan pada (Gambar 1)

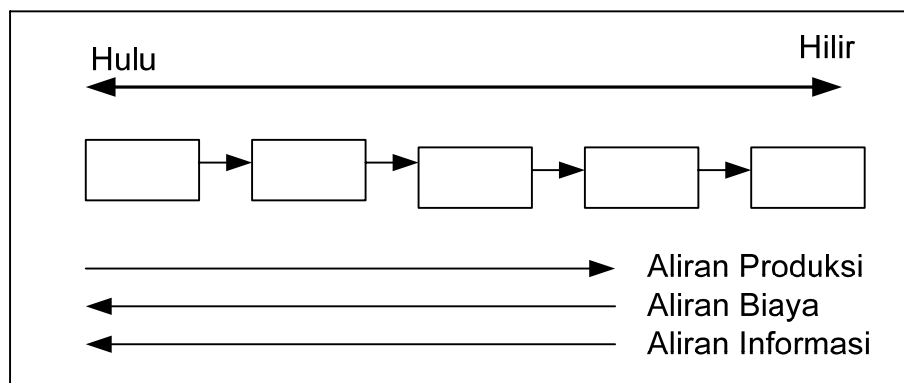
Sebuah *supply chain* (SC) yang sederhana memiliki komponen yang biasanya disebut *channel*. Misalnya *supplier*, *manufaktur*, *distribution center*, *wholesaler*, dan *retailer*. Semua *channel* tersebut bekerja untuk memenuhi kebutuhan konsumen akhir. Setiap *channel* dalam SC akan memiliki aktivitas-aktivitas yang saling mendukung. Secara keseluruhan aktivitas tersebut meliputi perancangan produk, peramalan kebutuhan, pengadaan material, produksi, pengendalian persediaan, distribusi atau transportasi, penyimpanan atau pergudangan, dukungan kepada pelanggan, proses pembayaran, dan sebagainya. Secara umum, semua aktivitas-aktivitas tersebut dilakukan tanpa atau dengan sedikit koordinasi.

Chain 1: *Suppliers* jaringan bermula dari sini, yang merupakan sumber yang menyediakan bahan pertama, dimana mata rantai penyaluran barang akan mulai. Bahan pertama ini bisa dalam bentuk bahan baku, bahan mentah, bahan penolong, bahan dagangan, suku cadang, dan sebagainya. Sumber pertama ini dinamakan *suppliers*. *Suppliers* ini biasanya banyak sekali.

Chain 1-2 : *Suppliers-Manufacturer* rantai pertama dihubungkan dengan rantai kedua, yaitu *manufacturer* atau *assembler* (perakit) atau *fabricator* (pembuat) atau bentuk lain yang melakukan pekerjaan membuat, memfabrikasi, mengassembling, merakit, mengkonversikan, ataupun menyelesaikan barang (*finishing*). Hubungan dengan mata rantai pertama ini sudah mempunyai potensi untuk melakukan penghematan. Tidak jarang

penghematan sebesar 40-60% bahkan lebih dapat diperoleh dari *inventory carry cost* dimata rantai ini. Dengan menggunakan konsep *supplier partnering* misalnya, penghematan dapat diperoleh.

Chain 1-2-3 : *Suppliers-Manufacturer-Distribution* barang yang sudah jadi dihasilkan oleh *manufacturer* sudah mulai harus disalurkan kepada pelanggan. Walaupun tersedia banyak cara, untuk penyaluran barang ke pelanggan, yang umumnya adalah melalui distribusi dan ini biasanya ditempuh oleh sebagian besar *supply chain* Barang dari pabrik melalui gudangnya disalurkan ke gudang *distributor* atau *whole-saler* (pedagang besar) dalam jumlah besar, dan pada waktunya nanti pedagang besar menyalurkan dalam jumlah yang lebih kecil kepada *retailers* (pengecer).



Gambar 1. *Supply Chain* Sederhana

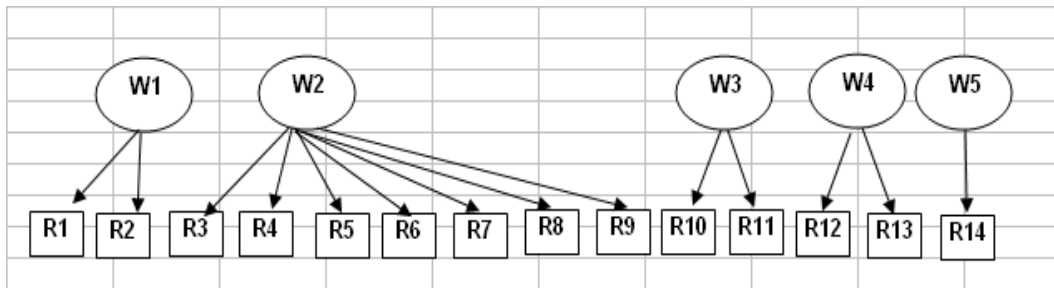
Chain 1-2-3-4 : *Suppliers-Manufacturer-Distribution-Retail outlets* pedagang besar biasanya mempunyai fasilitas gudang sendiri atau dapat juga menyewa dari pihak lain. Gudang ini digunakan untuk menimbun barang sebelum disalurkan lagi ke pihak pengecer. Sekali lagi disini ada kesempatan untuk memperoleh penghematan dalam bentuk jumlah *inventories* dan biaya gudang, dengan cara melakukan kembali pola-pola pengiriman barang baik dari gudang *manufacturer* maupun toko pengecer (*retail/outlets*)

Chain 1-2-3-4-5 : *Suppliers-Manufacturer Distribution-Retail outlets-Customer* dari rak-raknya, para pengecer atau *retailers* ini menawarkan barangnya langsung kepada para pelanggan atau pembeli atau pengguna barang tersebut. Yang termasuk *outlets* adalah

Toko, warung, Toko serba ada, pasar swalayan, toko koperasi, mal, *club stores*, dan sebagainya. Pokoknya dimana pembeli terakhir melakukan pembelian, walau secara fisik dapat dikatakan bahwa ini merupakan mata rantai terakhir. Sebetulnya masih ada satu mata rantai lagi yaitu dari pembeli, karena pembeli belum tentu pengguna sesungguhnya. Mata rantai suplai baru betul-betul berakhir setelah barang yang bersangkutan tiba di pemakai langsung.

PEMBAHASAN

Analisis Penentuan Konfigurasi Jaringan distribusi terbaik sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2 Jaringan Distribusi lama antara *Warehouse* dan *Demand Region* serta pada table 1 parameter *Retailer* dan table 2 *Warehouse*.



Gambar 2. Jaringan Distribusi lama antara Warehouse dan Demand Region

Tabel 1. Parameter Retailer

No	Retailer (Ri)	Mean Demand (unit/bln)	Standar Deviasi (unit)
1	Psr.Labuan	1800	95
2	Psr.Lembor	1000	95
3	Psr.Cancar	500	95
4	Psr.Ruteng	2000	95
5	Psr.Reo	500	95
6	Psr.Mano	500	95
7	PSr.Kisol	400	95
8	Psr.Borong	400	95
9	Psr.Waeran	500	95
10	Psr.Aimere	600	95
11	Psr.Bejawa	500	95
12	Psr.Mbay	500	95
13	Psr.Ende	1000	95
14	Psr.Maumere	1000	95

Tabel 2. Parameter Warehouse

Warehouse Gudang (Wi)	Capacity (Mi) Galon	Facility Cost (Ci) Pertahun	Operating Cost/Unit (Oi) Perbulan
Labuan	4000	Rp 30 juta	Rp 375
Ruteng	6500	Rp 10 juta	Rp 230
Bajawa	2500	Rp 8 juta	Rp 600
Ende	2000	Rp 20 juta	Rp 750
Maumere	1500	Rp 25 juta	Rp 1000

$$\begin{aligned}
 \text{Facility Cost} &= \sum_i C_i * \delta_i \\
 &= \text{Rp } 30 \text{ jt } \delta_1 + \text{Rp } 10 \text{ jt } \delta_2 + \text{Rp } 8 \text{ jt } \delta_3 + \text{Rp } 20 \text{ jt } \delta_4 + \text{Rp } 25 \text{ jt } \delta_5 \\
 &= 30 \text{ jt } (1) + 10 \text{ jt } (1) + 8 \text{ jt } (1) + 20 \text{ jt } (1) + 25 \text{ jt } (1) \\
 &\text{Operating Cost (Perbulan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_i \sum_j O_i * \chi_{i-j} = \\
 &375 \{X_{(1,1)} + X_{(1,2)}\} + 230 \left\{ X_{(2,3)} + X_{(2,4)} + X_{(2,5)} + \right. \\
 &\quad \left. X_{(2,6)} + X_{(2,7)} + X_{(2,8)} \right. \\
 &\quad \left. + X_{(2,9)} \right\} \\
 &+ 600 \{X_{(3,10)} + X_{(3,11)}\} + 750 \{X_{(4,12)} + X_{(4,13)}\} \\
 &+ 1000 \{X_{(4,14)}\}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Matriks jarak antara Warehouse dan Retailer (km)

Wi	Retailer						
	1	2	3	4	5	6	7
1	5	30	-	-	-	-	-
2	-	-	10	4	12	10	30
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-

Wi	Retailer						
	8	9	10	11	12	13	14
1	-	-	-	-	-	-	-
2	40	48	-	-	-	-	-
3	-	-	20	5	-	-	-
4	-	-	-	-	30	4	-
5	-	-	-	-	-	-	5

Tabel 4. Matriks Asosiasi antara Warehouse dan Retailer (km)

Wi	Retailer						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0

Wi	Retailer						
	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	0
4	0	0	0	0	1	1	0
5	0	0	0	0	0	0	1

$$\text{Transportation Cost (perbulan)} = \sum_i \sum_j t * d_{i-j} * \chi_{i-j}$$

$$\{2000 * 5 * X_{(1,1)}\} + \dots + \{2000 * 5 * X_{(5,14)}\}$$

Keterangan $\chi(i, j)$ adalah jumlah unit yang dikirim dari Warehouse i ke Retailer j perbulan Subject to : Pembatas Kebutuhan :

$$\sum_i \alpha_{i-j} * \chi_{i-j} = D_j + 2 * \sigma_j \text{ untuk}$$

semua j

- Region (1) : $X_{(1,1)} = 1800 + 2 (95) = 1990$
- Region (2) : $X_{(1,2)} = 1000 + 2 (95) = 1190$
- Region (3) : $X_{(2,3)} = 500 + 2 (95) = 690$
- Region (4) : $X_{(2,4)} = 2000 + 2 (95) = 690$
- Region (5) : $X_{(2,5)} = 500 + 2 (95) = 690$
- Region (6) : $X_{(2,6)} = 500 + 2 (95) = 690$
- Region (7) : $X_{(2,7)} = 400 + 2 (95) = 590$
- Region (8) : $X_{(2,8)} = 400 + 2 (95) = 590$
- Region (9) : $X_{(2,9)} = 500 + 2 (95) = 690$
- Region (10) : $X_{(3,10)} = 600 + 2 (95) = 790$
- Region (11) : $X_{(3,11)} = 500 + 2 (95) = 690$
- Region (12) : $X_{(4,12)} = 500 + 2 (95) = 690$
- Region (13) : $X_{(4,14)} = 1000 + 2 (95) = 1190$
- Region (14) : $X_{(5,15)} = 1000 + 2 (95) = 1190$

$$M_j * \delta_j \geq \sum_i \alpha_{i-j} * \chi_{i-j} \text{ untuk semua } i$$

$$\text{Gudang (1) : } 4000 \delta_{(1)} \geq X_{(1,1)} + X_{(1,2)}$$

$$\text{Gudang (2) : } 6500 \delta_{(2)} \geq X_{(2,3)} + X_{(2,4)} + X_{(2,5)} + X_{(2,6)} + X_{(2,7)} + X_{(2,8)} + X_{(2,9)}$$

$$\text{Gudang (3) : } 2500 \delta_{(3)} \geq X_{(3,10)} + X_{(3,11)}$$

$$\text{Gudang (4) : } 2000 \delta_{(4)} \geq X_{(4,12)} + X_{(4,13)}$$

$$\text{Gudang (5) : } 1500 \delta_{(5)} \geq X_{(5,14)}$$

Pembatas Integer : $\delta_i = 1$ jika gudang exist; dan $= 0$ sebaliknya; untuk semua i. $\alpha_{i-j} = 1$ jika gudang i mengirim ke region j; dan $= 0$ sebaliknya; untuk semua i,j;

Stage1 (Penentuan biaya yang terkait dengan jaringan distribusi) maka Min Z=

$$\sum_i C_i * \delta_i + \sum_i \sum_j O_i \chi_{i-j} + \sum_i \sum_j t * d_{i-j} * \chi_{i-j}$$

$$= \text{Rp } 7.750.000 + \text{Rp. } 6.390.400 + 403.140.000 = \text{Rp } 417.280.400,-$$

$$\text{Responsiveness Product Miles} = \sum_i \sum_j d_{i-j} * \chi_{i-j}$$

$$\{d_{(1,1)} * 1800\} + \dots + \{d_{(5,14)} * 1000\}$$

$$\{5 * 1800\} + \{30 * 1000\} + \dots + \{5 * 1000\}$$

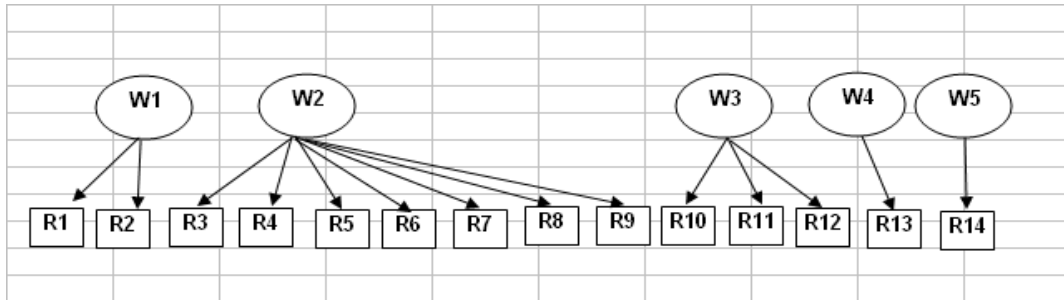
$$= 153.500$$

Stage 2 (Membangkitkan alternatif baru dengan Trial and Error.

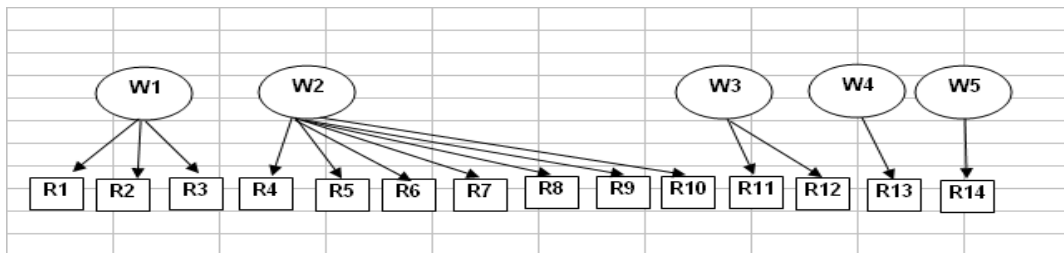
- Alternatif 1: dibangun dengan mempertimbangkan faktor jarak terdekat dengan gudang dan pembatas kapasitas gudang yang menyuplainya. Pada jaringan distribusi sebelumnya, Pasar Mbay disuplai oleh gudang Ende dengan jarak wilayah antara gudang dan Demand region tersebut adalah 30 km, tetapi pada alternatif 1 Pasar Mbay dimasukkan dalam Demand Region yang akan disuplai oleh Gudang Bajawa, karena dari parameter jarak, Pasar Mbay ternyata lebih dekat dengan Gudang Bejawa dengan jarak 15km.
- Alternatif 2 dibangun dengan mempertimbangkan faktor pembatas kapasitas gudang yang menyuplainya. Pada jaringan distribusi sebelumnya, Pasar Cancar disuplai oleh Gudang Ruteng dengan jarak wilayah antara Gudang dan Demand region tersebut adalah 10km, tetapi pada alternatif 2 Pasar Cancar dimasukkan dalam Demand Region yang akan disuplai oleh Gudang Labuan, karena dari parameter kapasitas, Gudang Labuan masih mampu untuk menyuplai 1 region lagi dari kapasitas yang dimiliki meskipun dari parameter jarak lebih jauh yaitu 50km. Sama halnya dengan pasar Aimere, sebelumnya disuplai oleh gudang bejawa dengan jarak antar wilayahnya adalah 20km, tapi karena kapasitas gudang ruteng masih mampu untuk menyuplai 1 region lagi maka pasar Aimere dimasukkan dalam demand region yang akan disuplai oleh gudang ruteng dengan jarak tempuh tidak kurang dari jarak 56km.
- Hasil dan evaluasi terhadap konfigurasi ini menunjukkan bahwa alternatif distribusi baru dibangun dengan (alternatif 1) merupakan Konfigurasi jarring-

an distribusi terbaik dimana didapatkan penghematan biaya Transportasi sebesar Rp.35.855.600,- dan biaya operasional gudang terjadi penghematan sebesar Rp 1.296.000,-sehingga menghasilkan penurunan biaya total perbulan sebesar Rp 49.996.000

atau 11% dari yang tadinya pada level Rp 417.280.400 turun hingga sampai menjadi level Rp 367.284.400 dan *Responsiveness*nya meningkat dimana terjadi penurunan *product miles* sebesar 7.500 atau 5% dari 153.500 menjadi 146.000.



Gambar 3. Alternatif 1 Jaringan Distribusi antara Warehouse dan Demand Region



Gambar 4. Alternatif 2 Jaringan Distribusi antara Warehouse dan Demand Region

Tabel 5. Perbandingan *Cost*, *Responsiveness* antara jaringan distribusi lama dan baru

	Jaringan Lama	Jaringan Baru	
		Alternatif 1	Alternatif 2
Facility Cost	Rp 7.750.000	Rp 7.750.000	Rp 7.750.000
Operating Cost	Rp. 6.390.400	Rp. 5.094.400	Rp 5.794.650
Transportation Cost	Rp 403.140.000	Rp 354.440.00	Rp 494.520.000
Total Cost	Rp 417.280.400	Rp 367.284.400	Rp 508.064.650
Responsiveness	153.500	146.000	178.600

Alternatif Strategi Distribusi Air Galon merupakan alternatif yang dapat dilakukan disini adalah melakukan aliansi atau kerja sama dengan Agen besar tiap daerah yang ada di pulau Flores, dalam arti mengajak mereka untuk mau menjadi kepanjangan tangan dari PT. Nampar Nos untuk mendistribusikan air galon di daerah tersebut. Dengan demikian persediaan, tidak hanya terakumulasi di gudang-gudang saja tetapi juga berada di masing-masing daerah, se-

hingga jumlah gudang dapat diminimalisasi. Kondisi ini akan memenuhi konsep strategi dimana produk akan mudah diperoleh dan tersedia di dekat pelanggan. Di lain pihak perusahaan tidak perlu melakukan penambahan investasi alat transportasi untuk mencegah pengurangan tingkat pelayanan, PT. Nampar Nos hanya perlu mendistribusikannya kepada Agen-agen besar yang sudah memiliki kontribusi cukup berarti bagi pemasaran air gallon.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diperoleh konfigurasi jaringan distribusi terbaik antara *Warehouse* dengan *Demand region* ditunjukkan oleh alternatif 1 dimana terjadi perubahan pada daerah *Demand region* (Pasar Mbay) yang semula dilayani oleh Gudang Ende, dengan jaringan baru berubah menjadi dilayani oleh gudang Bajawa.

Ongkos Total minimal yang diperlukan dalam pengadaan Warehouse yang terbentuk oleh jaringan distribusi baru adalah sebesar Rp 367.284.400,- dan responsiveness yang maksimal terhadap Demand Region adalah sebesar 146.000.

Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan memperhatikan segala hal yang mempengaruhi sistem pendistribusian dari gudang ke *demand region*, diantaranya memperhitungkan faktor *Lead time*, *safety stock*, *reorder point* agar diperoleh *total Annual cost* yang minimal. Faktor *Dummy* dipertimbangkan dalam pemilihan alternatif lokasi

sumber ataupun tujuan. kondisi jalan yang tidak baik dipertimbangkan dalam permasalahan sistem distribusi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Gaur, S., and Ravindran, R., 2006, *A Bi-Criteria Model for the inventory aggregation problem under risk pooling*.
- Indarajit, RE., dan Djokopranoto, 2002, *Konsep Manajemen Supply Chain*, Gramedia, Jakarta
- Watanabe, R., 2001, *Supply Chain Management Konsep dan Teknologi*, *Usahawan no.02 th XXX*, Indonesia
- Zabidi, Y., 2001, *Supply Chain Management Teknik terbaru dalam mengelola aliran material/produk dan informasi dalam memenangkan persaingan*, *Usahawan no. 02 th XXX*, Indonesia
- Zulkifli, 2005, *Analisis Perbandingan Jalur Distribusi produk dan Biaya Transportasi dengan teori Fuzzy*, Skripsi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta

REDUKSI DERAU DENGAN MENGGUNAKAN TAPIS ADAPTIF

Samuel Kristiyana¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, IST AKPRIND, Jl. Kalisahak No. 28 Yogyakarta

Masuk: 18 September 2008, revisi masuk: 14 Nopember 2008, diterima: 10 Januari 2009

ABSTRACT

In signal processing, often contaminated by other signal that has bad influence or called by noise. Noise will lose by using adaptive filter with predict method. This filter needs two inputs that are contaminated signal with delayed input as main input which use as training input and the other contaminated signal with input as reference input, so result of error is the success process of reduction noise. This filter use LMS filter of algorithm value variable with adapted process filter. Adaptive filter with predict method tested by noise signal. This filter tested by kind of variable value and μ . So, we will get a point of value, total of optimal value and also the μ optimal value.

Keywords: *Adaptif Filter, LMS Filter, Point Of Value, Total of Optimal Value, μ Value*

INTISARI

Pada pemrosesan sinyal seringkali terkontaminasi oleh sinyal lain yang sangat mengganggu atau sering disebut dengan derau. Derau ini akan dihilangkan dengan menggunakan tapis adaptif dengan metode prediksi. Tapis ini membutuhkan dua input, sinyal yang terkontaminasi derau dengan masukan tertunda sebagai masukan utama yang akan digunakan sebagai masukan yang akan dilatih dan sinyal yang terkontaminasi derau sebagai masukan referensi sehingga galat yang dihasilkan merupakan derau yang berhasil direduksi. Tapis ini menggunakan algoritma LMS yang merupakan algoritma peubah bobot tapis dalam proses penyesuaiannya. Tapis adaptif dengan metode prediksi diuji dengan menggunakan sinyal yang berderau. Tapis ini diuji dengan berbagai perubahan bobot dan nilai μ -nya, sehingga akan didapatkan nilai bobot, jumlah bobot optimal dan nilai μ yang optimal pula.

Kata Kunci : Tapis Adaptif, Tapis LMS, Nilai Bobot, Jumlah Bobot, Nilai μ

PENDAHULUAN

Sistem pemrosesan sinyal digital saat ini telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Pemrosesan sinyal seperti transmisi, perekaman, penapisan, kompresi dan ekspansi dapat dikerjakan dengan menghasilkan distorsi yang kecil dan dengan SNR (*signal to noise ratio*) yang lebih baik daripada pemrosesan sinyal analog.

Sinyal informasi yang akan diproses biasanya telah terkontaminasi dengan sinyal lain yang tidak dikehendaki. Sinyal kontaminan umumnya merupakan sinyal yang sangat kompleks, misalnya berupa sinyal derau yang memiliki sifat statistik tertentu, yang mempunyai sebaran spektrum frekuensi Gaussian atau sinyal-sinyal lain yang periodis stasioner maupun sinyal periodis yang non stasio-

ner yang bersifat acak (Haykin, dkk, 19-91).

Sinyal kontaminan ini harus dihapus dari sinyal yang diinginkan. Salah satu teknik penapisan derau adalah dengan cara adaptif. Dalam penapisan ini dibutuhkan dua masukan, masukan pertama merupakan sinyal yang terkontaminan yang ditunda yang akan dilatih dan masukan lainnya digunakan sebagai masukan referensi yaitu sinyal yang ditunda. (Bellanger, dkk., 1987).

Tapis adaptif sebagai penghilang atau pereduksi derau dapat dilakukan dengan dua cara, cara pertama digunakan metode prediksi dan kedua adalah dengan metode *noise canceling*. Dalam penelitian ini digunakan metode prediksi dikarenakan tidak adanya derau referensi

¹ Email: yana_ista@yahoo.com

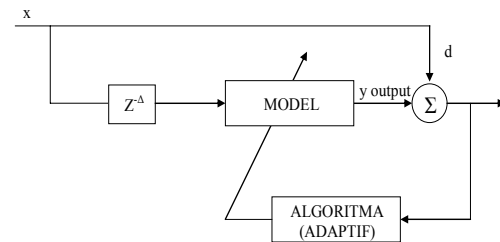
yang bisa digunakan sebagai syarat pada metode kedua.

Sistem adaptif adalah sistem yang wataknya dapat berubah sesuai dengan aturan yang diprogramkan, sehingga sistem tetap dapat bekerja baik ketika lingkungan berubah (Ishak, 1996). Sistem akan mengolah sinyal masukan dan akan menghasilkan sinyal keluaran sesuai dengan wataknya yang ditentukan oleh koefisien sistem yang selalu diperbaharui dengan menggunakan algoritma adaptif untuk dapat mengoptimalkan tanggapan sistem, sehingga keluaran sistem sesuai dengan yang dikehendaki. Pada umumnya sistem adaptif terdiri atas dua bagian, pertama, sistem yang model atau strukturnya dirancang agar melakukan proses seperti yang dikehendaki, dan yang kedua adalah algoritma untuk mengubah koefisien sistem tersebut untuk memperbaiki unjukkerja dari sistem tersebut sehingga menghasilkan keluaran yang diharapkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1, untuk meminimalkan galat $\epsilon(n)$ adalah algoritma LMS, dikarenakan galat merupakan derau. Algoritma adaptif yang mengatur perubahan bobot sistem. (Widrow, dkk, 19-85)

Sinyal masukan $x(n)$ dalam penelitian ini menggunakan sinyal EKG yang Gelombang P merupakan gelombang kecil yang terekam sewaktu atrium mengadakan depolarisasi atria. Kompleks QRS merupakan Kompleks yang memiliki arti klinis yang terpenting dari seluruh gambaran EKG, karena mewakili depolarisasi ventrikel atau penyebaran impuls diseluruh ventrikel. Ada tiga komponen yang membentuk kompleks ini: terkontaminasi derau (informasi derau tidak diketahui) dan $y(n)$ merupakan estimasi sinyal EKG dengan derau yang sudah tereduksi, sedangkan $d(n)$ sama dengan $x(n)$.

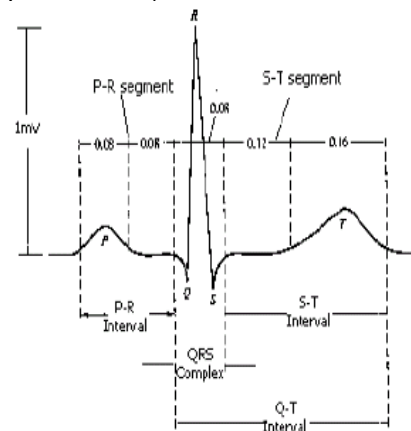
Selang waktu Δ ($Z^{-\Delta}$) digunakan untuk mengubah fase sinyal $x(n)$ sehingga fase dari sinyal yang terkontaminasi sinyal EKG (derau) akan berubah. Perubahan fase ini mengakibatkan derau pada masukan pertama tidak akan terkorelasi pada derau masukan kedua $d(n)$, sehingga y output merupakan esti-

masi sinyal EKG yang sudah bebas dari derau.



Gambar 1. Diagram kotak sistem adaptif sebagai pereduksi derau.

Oleh sebab itu ϵ (galat) minimum tidak akan tercapai. Parameter Sinyal EKG terdiri atas gelombang P, kompleks QRS, gelombang T, dan kadang-kadang disertai gelombang U. Parameter-parameter yang terdapat pada suatu sinyal EKG adalah amplitude P, amplitude QRS, amplitude T, interval R-R, interval P-R, interval QRS, interval QT, interval ST, segmen PR, segmen ST. Sinyal EKG normal dapat dilihat pada Gambar 2. (Cipto. P, 2005).



Gambar 2. Sinyal EKG normal

- Gelombang R, yaitu defleksi positif yang pertama muncul, disertai atau tidak disertai gelombang Q.
- Gelombang S, yaitu defleksi negatif setelah gelombang R.
- Gelombang Q, yaitu bagian dari defleksi negatif sebelum suatu defleksi positif.

Bentuk kompleks QRS ditentukan oleh arah dan besarnya arus depolarisasi ventrikel terhadap sadapan EKG dari waktu ke waktu, sehingga sadapan

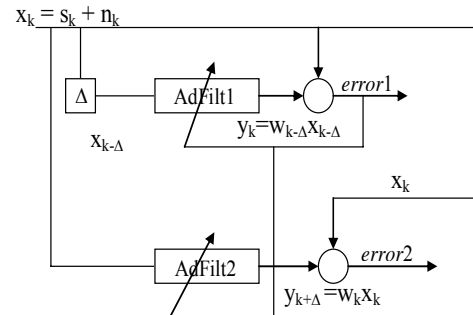
EKG akan merekam gambaran kompleks QRS yang berbeda.

- Interval QRS menggambarkan lamanya aktivitas depolarisasi ventrikel melalui berkas His dan anyaman purkinje. Interval QRS dihitung dari permulaan gelombang Q sampai akhir gelombang S.
- Amplitude QRS yang terukur oleh elektrode EKG mewakili besarnya tegangan arus depolarisasi ventrikel. Nilai ini diperoleh dengan cara menjumlahkan besarnya defleksi positif dan negatif pada kompleks QRS.
- Gelombang T merupakan gambaran fase repolarisasi ventrikel. Gelombang ini muncul sesaat sesudah berakhirnya segmen ST. Tinggi gelombang T minimum adalah 1mm dan bila kurang dari 1 mm dianggap tidak ada (datar). Sedangkan gelombang T maksimum tidak boleh lebih dari 10mm, diluar ketentuan ukuran-ukuran dianggap tidak normal. Gelombang ini dianalisis untuk menandakan adanya iskemik/infark atau adanya kelainan elektrolit.
- Gelombang U adalah gelombang kecil yang kadang-kadang terlihat setelah gelombang T. Gelombang ini merupakan bagian akhir dari fase depolarisasi yang sebenarnya masih termasuk bagian dari gelombang T. Gelombang ini bertegangan rendah sehingga sering diabaikan.
- Interval PR adalah jarak antara permulaan gelombang P sampai dengan permulaan kompleks QRS.
- Segmen PR adalah jarak antara akhir gelombang P sampai permulaan kompleks QRS, jadi merupakan bagian interval PR.
- Interval QT mewakili waktu yang dibutuhkan untuk depolarisasi dan depolarisasi ventrikel. Interval QT diukur dari permulaan gelombang Q sampai akhir gelombang T.
- Segmen ST merupakan garis horizontal yang kadang-kadang sedikit mencekung diantara akhir gelombang S dan permulaan gelombang T (*Junction Point*)

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Data sinyal EKG,

- Metode yang digunakan adalah tapis adaptif sebagai prediksi dengan algoritma LMS untuk mereduksi derau, dengan konfigurasi sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Konfigurasi sistem adaptif metode prediksi

Alat penelitian yang akan dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah:

- satu unit PC dengan spesifikasi Intel Pentium III Prosesor 933Hz dan RAM 256Mbdan
- MATLAB versi 6.5 sebagai perangkat lunak berguna untuk komputasi, grafis, analisis data matematis, statistika, simulasi, pemodelan, dan desain GUI.

Langkah-langkah perhitungan dalam algoritma LMS adalah sebagai berikut:

- Inialisasi koefisien filter(bobot) $w_k(i) = 0$
- Menentukan nilai μ .
- Untuk tiap periode pencuplikan:

Hitung keluaran sistem :

$$y_k = \sum_{i=0}^{N-1} w_k(i) \cdot x_{k-i}, \dots\dots(1)$$

Kalkulasi estimasi kesalahan :

$$e_k = d_k - y_k$$

dan perbaharui bobot tapis:

$$w_{k+1}(i) = w_k(i) + 2\mu e_k X_{k-i},$$

untuk $i = 0$ sampai $N-1$

Implementasi perangkat lunaknya adalah sebagai berikut :

```

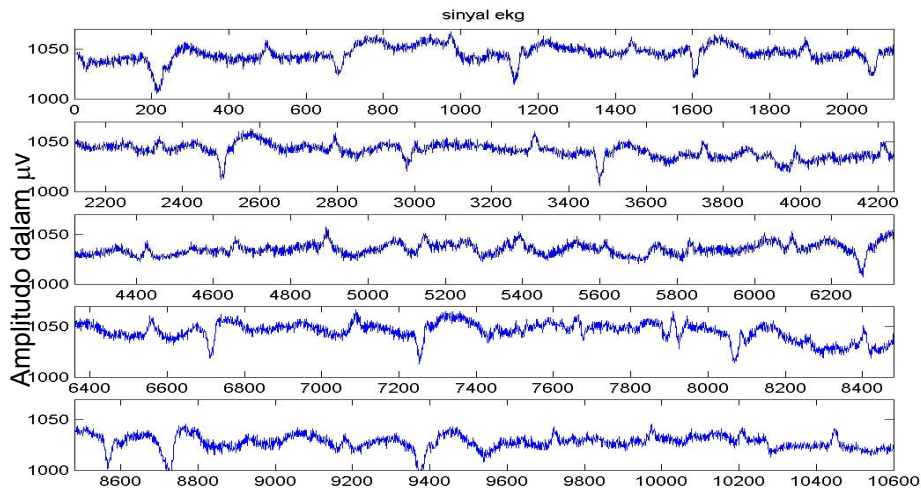
for n=1:N
    ytemp(n)=w(k,n)*X(n-k+1);
    y(n)=y(n) + ytemp(n);
    error(n)=data(n)-y(n);
    (k,n+1)=w(k,n)+2*u*error(n)*X(n-k+1);
end
    
```


PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, nilai μ yang dicobakan dimulai dari 0.9 sampai dengan nilai terkecil (mendekati nol). Pada proses ini juga diamati nilai galat kuadrat reratanya (MSE) untuk masing-masing nilai μ . Hasil proses pencarian nilai μ dapat dilihat pada (Tabel 1). Dari tabel tersebut ditunjukkan bahwa faktor konvergen akan mempengaruhi kecepatan langkah untuk menuju suatu titik minimum. Untuk nilai $\mu(\mu)$ 0.9, proses adaptasinya memerlukan waktu konvergensi yang lebih cepat sekitar 6 iterasi tetapi nilai bobot tidak stabil atau berfluktuasi dan nilai MSE yang diberikan relatif kecil. Hal ini tidak sesuai dengan tujuan utama yaitu mendapatkan nilai MSE yang besar

sebagai tanda bahwa sinyal utama telah tereduksi deraunya, terlihat pada hasil keluaran sistem (y_k) tidak sesuai yang diharapkan dikarenakan keluaran sistem hampir sa-ma dengan masukan sistem dan ber-tambah derau.

Dari Tabel 1 dapat dijadikan acuan bahwa dengan nilai $\mu(\mu)$ yang lebih kecil akan meng-hasilkan nilai MSE yang lebih besar, dan nilai $\mu(\mu)$ 0,1 menghasilkan keluaran sistem yang diinginkan yaitu sinyal EKG yang telah tereduksi deraunya, ditandai dengan menurunnya koefisien korelasi antara sinyal masukan 1 dengan keluaran sistem.



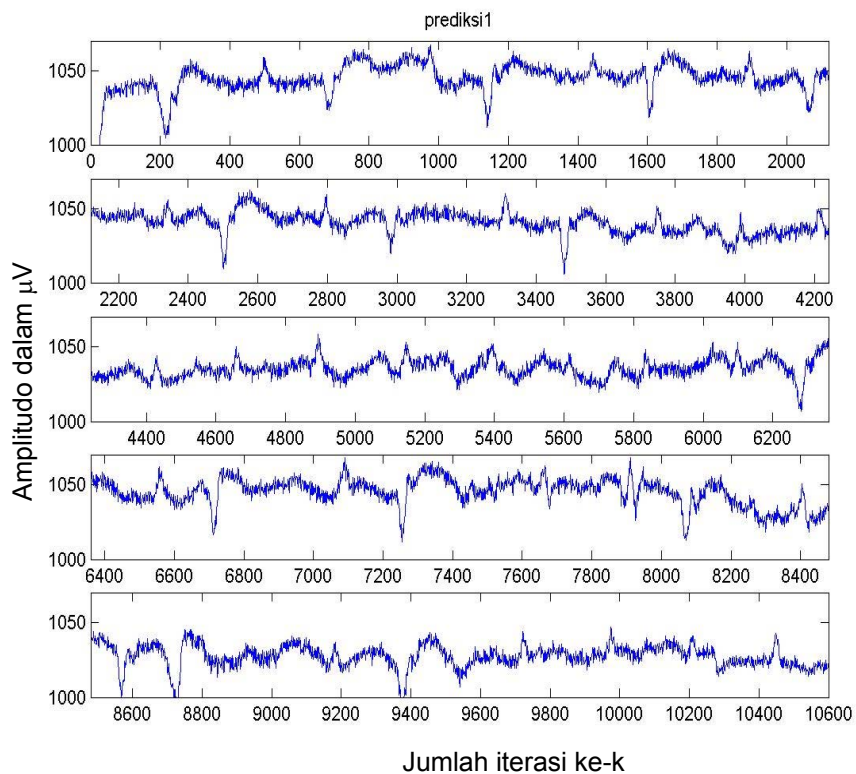
Gambar 5. Sinyal EKG tertapis

Tabel 1. Informasi data pada proses pencarian nilai faktor konvergen

μ	Var-sin	Va-ry1	Va-ry2	Cov-siny1	Cov-siny2	Covy-1y2	Coef-siny1	Coef-siny2	Coefy-1y2
0.9	106.26	350.45	358.51	105.79	112.1	350.23	0.548	0.574	0.988
0.8	106.26	353.3	359.29	104.47	110.8	352.23	0.539	0.567	0.988
0.7	106.26	357.31	361.29	102.98	109.4	355.40	0.528	0.558	0.989
0.6	106.26	363.18	365.39	101.40	107.8	360.53	0.516	0.547	0.989
0.5	106.26	372.36	373.18	99.839	106.3	369.14	0.501	0.533	0.990
0.4	106.26	387.72	387.61	98.378	104.8	384.14	0.484	0.516	0.990
0.3	106.26	415.7	415.14	97.044	103.5	411.98	0.461	0.493	0.991
0.2	106.26	475.23	474.67	95.738	102.3	471.58	0.426	0.455	0.992
0.1	106.26	660.75	660.6	94.104	100.7	657.34	0.355	0.380	0.994
0.09	106.26	702.49	702.4	93.928	100.5	699.11	0.343	0.368	0.995

Tabel 2. Proses adaptasi dengan nilai μ yang berubah

MU	μ	H0	H1	MSE1	MSE2	ITERASI
0.90	2.78E-07	0.80548	0.19838	245.19	240.54	6
0.80	2.47E-07	0.76994	0.23029	250.67	243.88	6
0.70	2.16E-07	0.73609	0.2639	257.68	248.82	7
0.60	1.85E-07	0.70197	0.29724	266.72	256.03	7
0.50	1.54E-07	0.66743	0.33015	279.04	266.9	8
0.40	1.24E-07	0.63383	0.36401	297.33	284.21	10
0.30	9.27E-08	0.60028	0.39792	328.03	314.39	15
0.20	6.18E-08	0.56667	0.43177	390.29	376.58	22
0.10	3.09E-08	0.53306	0.46567	579.59	566.22	50
0.09	2.78E-08	0.53029	0.46965	621.83	608.51	64
0.08	2.47E-08	0.5268	0.47291	674.66	661.41	71
0.07	2.16E-08	0.52328	0.47615	742.63	729.45	74
0.06	1.85E-08	0.52002	0.47964	833.31	820.2	96
0.05	1.54E-08	0.51665	0.48301	960.33	947.29	112
0.04	1.24E-08	0.51312	0.48622	1151	1138	131
0.03	9.27E-09	0.50975	0.48959	1468.8	1455.9	180
0.02	6.18E-09	0.50443	0.491	2104.9	2091.8	209
0.01	3.09E-09	0.50301	0.49628	4013.5	4000.4	502



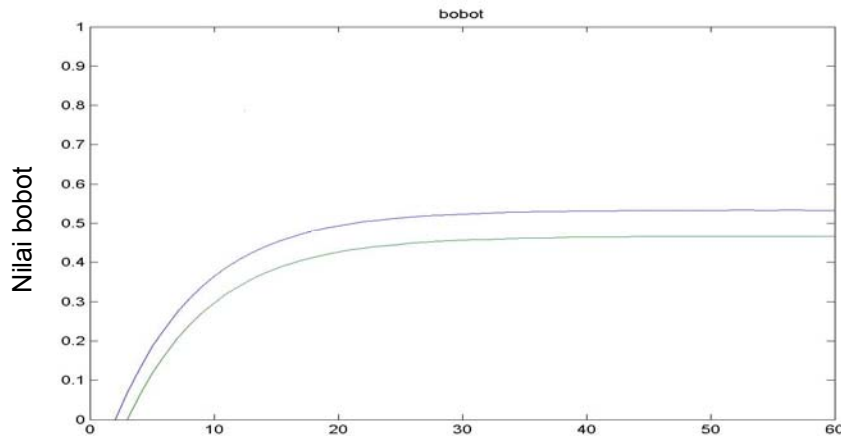
Gambar 6 Prediksi 1 (yk)

Pencarian Jumlah Bobot Optimum pada artikel dilakukan pencarian

jumlah bobot optimum yang dibutuhkan sistem untuk mendapatkan -

keluaran yang diinginkan. Percobaan pertama diberikan dengan jumlah bobot adalah 2, hasil keluaran sistem sesuai yang diharapkan. Semakin banyak jumlah bobot maka keluaran sistem menghasilkan tampilan yang lebih

bagus hal ini disebabkan komponen tunda pada sistem mengakibatkan perubahan fase pada sinyal sehingga derau yang mengkontaminasi sinyal tak terkorelasi (korelasi semakin kecil, lihat pada (Tabel 1).



Jumlah iterasi ke-k
Gambar 7 Nilai Bobot

Tabel 3 Informasi data pada proses pencarian jumlah bobot optimum

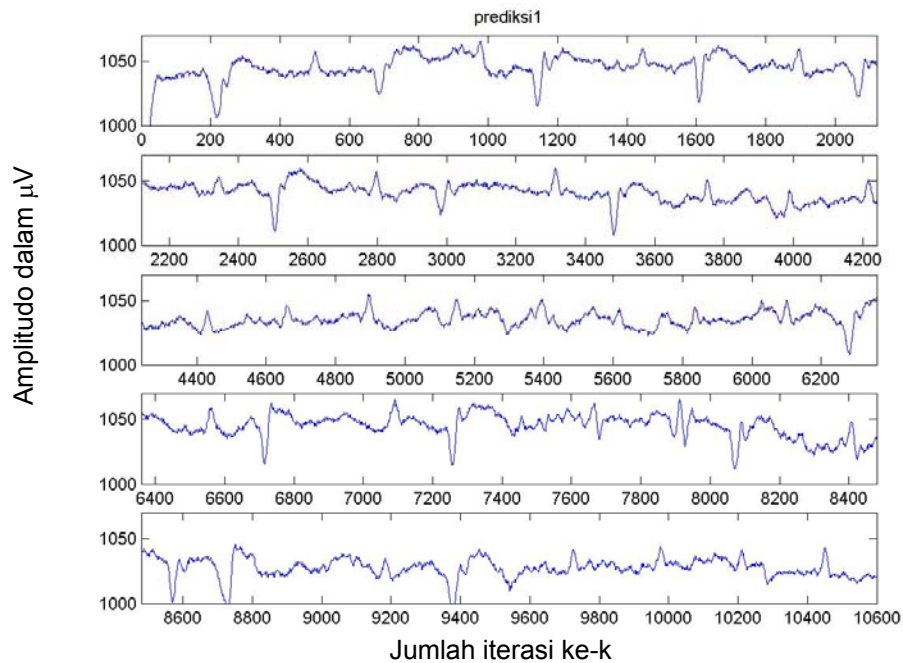
Bobot	Var-sin	Var-ry1	Var-ry2	Cov-siny1	Cov-siny2	Covy-1y2	Coef-siny1	Coef-siny2	Coefy-1y2
2	106.26	660.75	660.60	94.10	100.71	657.34	0.355	0.380	0.995
3	106.26	701.89	702.59	93.09	97.522	700.78	0.340	0.356	0.998
4	106.26	773.37	774.49	93.74	95.993	773.41	0.327	0.334	0.999
5	106.26	857.81	858.90	94.24	96.06	858.02	0.312	0.317	0.999
6	106.26	948.61	949.72	93.93	96.153	948.81	0.295	0.302	0.999
7	106.26	1042.6	1044.0	93.47	95.662	1043	0.280	0.287	0.999
8	106.26	1138.6	1140.1	93.40	95.168	1139.1	0.268	0.273	0.999
9	106.26	1236.0	1237.7	93.35	95.056	1236.7	0.257	0.262	0.999
10	106.26	1334.7	1336.4	93.05	94.986	1335.4	0.247	0.252	0.999

Dari Tabel 3 terlihat bahwa semakin banyak jumlah bobot maka nilai MSE bertambah besar, hal ini sesuai dengan tujuan utama yaitu meningkatkan nilai MSE. Pada Tabel 3 juga diperlihatkan adanya perubahan nilai μ dikarenakan nilai tersebut tergantung pada jumlah bobot dan pada nilai $\mu = 9,27 \times 10^{-7}$ (nilai $\mu(\mu) = 0.1$) dengan jumlah bobot= 9 mempunyai kesamaan pada saat nilai $\mu(\mu)=0,03$ dengan jumlah bobot = 2, tetapi nilai bobot, MSE dan kecepatan menuju konvergen berbeda seperti diperlihatkan pada (Tabel 2 dan Tabel 3).

Pencarian jumlah tundaan Waktu optimum, pada Tabel 4 menunjukkan, dengan bertambahnya jumlah tundaan waktu maka nilai MSE akan meningkat. Berdasar hasil pengamatan kecepatan menuju konvergen pada percobaan ini tampak lebih lama. Mengenai hal tersebut juga memperlihatkan bahwa sebaran nilai bobot sesuai dengan jumlah tundaan waktu +1. Penelitian ini, derau akan tereduksi sampai pada jumlah tundaan waktu= 4, lebih dari jumlah tersebut maka akan timbul derau.

Tabel 4 Informasi data pada proses pencarian waktu tundaan optimum

Tun- da	Varsin	Va- ry1	Va- ry2	Cov- siny1	Cov- siny2	Covy- 1y2	Coef- siny1	Coef- siny2	Coefy- 1y2
1	106.26	1236	1237	93.35	95.06	1236	0.257	0.262	0.999
2	106.26	1255	1259	93.00	96.17	1256	0.254	0.262	0.999
3	106.26	1280	1287	93.42	97.37	1283	0.253	0.263	0.999
4	106.26	1313	1324	93.93	98.61	1317	0.251	0.262	0.998
5	106.26	1355	1369	93.67	99.77	1359	0.246	0.262	0.997
6	106.26	1406	1424	93.04	100.9	1411	0.240	0.259	0.997
7	106.26	1470	1491	92.79	102.1	1475	0.234	0.256	0.996
8	106.26	1550	1576	92.65	103.3	1556	0.228	0.252	0.996
20	106.26	2767	2847	91.31	115.7	2786	0.168	0.210	0.992



Gambar 8 Prediksi1 (yk)

KESIMPULAN

Berdasar hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa derau pada suatu sinyal dapat direduksi dengan menggunakan sistem adaptif menggunakan metode prediksi dengan algoritma LMS sebagai algoritma pencarian nilai bobotnya, dengan detail sebagai berikut :

Berdasarkan konfigurasi sistem maka keluaran sistem akan dihasilkan nilai optimal ketika nilai MSE bertambah besar sampai titik yang optimal.

Penggunaan nilai mu yang semakin kecil akan memperlambat ke-arrah konvergen, tetapi keluaran akan dida-

patkan hasil yang optimal ditandai dengan meningkatnya nilai MSE.

Jumlah bobot yang optimal adalah 9, lebih dari jumlah tersebut peningkatan MSE tidak signifikan lagi dikarenakan derau akan muncul kembali.

Jumlah tundaan waktu optimal adalah 4, lebih dari jumlah tersebut peningkatan MSE tidak signifikan lagi dikarenakan derau akan muncul kembali.

DAFTAR PUSTAKA

Bellanger, Maurice G., 1987, *Adaptive Digital Filters and Signal Analysis*, Marcel Dekker, Inc.

- Cipto. P, 2005, *Reduksi Derau dengan Menggunakan Tapis Adaptif dengan metode Prediksi.*
- Haykin, Simon, 1991, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall.
- Ishak M., 1996, *Sistem Adaptif untuk pengolahan sinyal seismik gunung Merapi.*
- Widrow, Bernard & Stearns, 1985, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall.

BIOSTRATIGRAFI DAN BIODATUM FORAMINIFERA PLANKTONIK SUMUR-95 DI DAERAH CEPU KABUPATEN BLORA JAWA TENGAH

Siwi Sanyoto¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 15 September 2008, revisi: 17 Nopember 2008, diterima: 11 Januari 2009

ABSTRACT

Planktonic foraminiferals are used to identify locally, regionally and inter-regionally stratigraphic correlation. Due to stratigraphic correlation, using fossil is further applied in base on a number of biodatums. Based on planktonic foraminiferal analyses, within sixty-eight rock samples which were taken each 10 m for the interval, can be compiled within three biodatums and one partially zone, i.e Globorotalia tosaensis tenuetheca biodatum, Glorotalia truncatulinoides truncatulinoides biodatum, and Globigerina calida calida biodatum; also partially zona of Globigerina calida-calida.

Keywords: *Planktonic, Foraminiferal, Correlation, Stratigraphy, Biodatum*

INTISARI

Foraminifera planktonik telah banyak dimanfaatkan untuk kepentingan korelasi stratigrafi local, regional ataupun inter-regional. Metode korelasi dengan fosil, akhir-akhir ini, cenderung lebih memanfaatkan sejumlah biodatum, yang dapat berfungsi di dalam urutan-urutan batuan. Berdasarkan hasil analisa fosil foraminifera planktonik, terhadap 68 contoh batuan, yang diambil dengan interval 10m, dapat disusun tiga buah biodatum, yaitu biodatum *Globorotalia tosaensis tenuetheca*, *Glorotalia truncatulinoides truncatulinoides*, dan *Globigerina calida calida*; dua buah Zona Selang (ZS *Globorotalia tosaensis tenuetheca truncatulinoides truncatulinoides*, dan ZS *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides-Globigerina calida-calida*; dan satu Zone Parsial dari *Globigerina calida-calida*.

Kata Kunci: Planktonik, Foraminifera, Korelasi, Stratigrafi, Biodatum

PENDAHULUAN

Dalam melakukan korelasi stratigrafi, terutama yang bersifat inter-regional dengan menggunakan zona-zona foraminifera planktonik, sering mengalami banyak kesulitan. Beberapa penulis berpendapat bahwa, kesulitan tersebut dapat diatasi dengan membuat sejumlah biohorizon korelasi atau "datum planes" atau "biodatum", yang dapat berfungsi sebagai penunjuk umur. Untuk itu perlu dilakukan penyusunan biodatum dengan menggunakan pendekatan foraminifera planktonik.

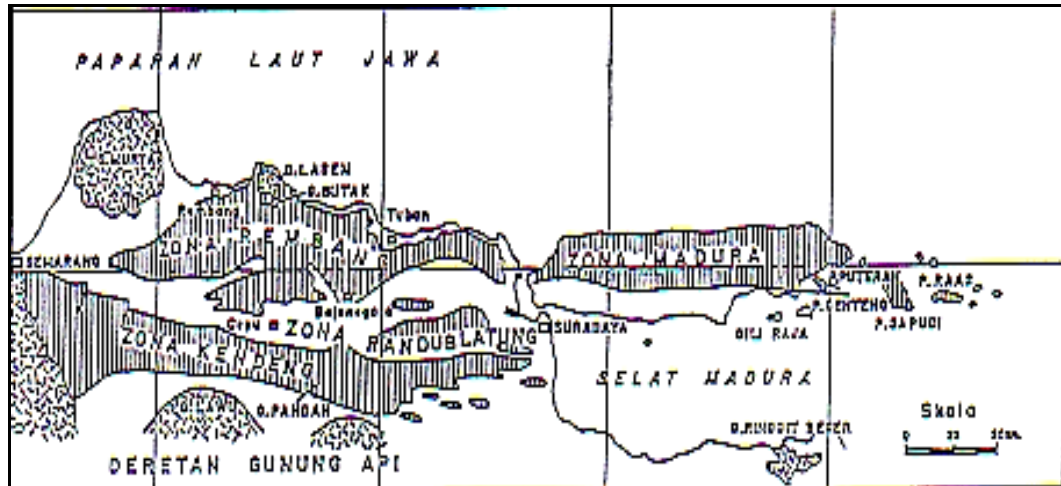
Analisis tersebut dilakukan dengan penyebaran fosil melalui contoh yang diambil dari data log bor. Dengan demikian, data ini akan dipakai sebagai dasar dalam menyusun zonasi korelasi stratigrafi.

Data yang digunakan untuk penentuan korelasi stratigrafi diambil dari Sumur-95, yang terletak di Desa Cepu, Kecamatan Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Secara topografi, daerah ini tercakup dalam peta topografi lembar Cepu, nomor 5321 IV, skala 1:50.000, dan merupakan bagian dari Cekungan Jawa Timur sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.

Dalam penentuan biodatum ini, ada dua tahapan pekerjaan yang harus dilakukan, yaitu pengumpulan data sumur dan analisis laboratorium. Data sumur yang dikumpulkan, meliputi lokasi, litologi dan satuan litostratigrafi yang ditembus bor serta contoh-contoh batuan yang diambil secara sistematis dengan interval 10 meter. Sedangkan pekerjaan laboratorium yang dilakukan meliputi preparasi, determinasi dan pemotretan

de-ngan system SEM (*Scanning Electron Microscope*), sehingga dapat ditentukan

nama spesies atau subspe-cies dari fosil yang dianalisis.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

Penelitian geologi di daerah Cepu dan sekitarnya, telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Lemigas dan Biicip (1969), melakukan penelitian geologi di seluruh Cekungan Jawa Timur Utara. Pringgoprawiro dan Baharudin (1980), melakukan studi biostratigrafi foraminifera planktonik dan beberapa bidang pengenal Kenozoikum Akhir dari beberapa sumur Tobo, di Jawa Timur. Pringgoprawiro (1983), dalam disertasinya membahas litostratigrafi, biostratigrafi foraminifera planktonik dan paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara. Kapid (1991), dalam disertasinya membahas biostratigrafi foraminifera planktonik dan nannoplanktonik gampingan secara kualitatif dan kuantitatif, dari endapan Mio-Pliosen Zona Rembang.

Menurut Genevraye dan Samuel (1972) dan Pringgoprawiro (1983); cekungan Jawa Timur Utara dapat dibagi menjadi empat satuan tektono-fisiografi. Berturut-turut dari selatan ke utara adalah: Zona Kendeng, Zona Rembang, Zona Randublatung, dan Paparan Laut Jawa (Gambar 1). Berdasarkan pembagian tersebut, daerah telitian termasuk dalam zona Randublatung.

Startigrafi Mandala Rembang, menurut Pringgoprawiro. dkk., (1992), berturut-turut dari tua ke muda tersusun atas Formasi Ngimbang, Formasi Kujung, Formasi Prupuh, Formasi Tuban, Formasi Tawun, Formasi Ngrayong, For-

masi Bulu, Formasi Wonocolo, Formasi Ledok, Formasi Mundu, Formasi Selorejo, dan Formasi Lidah seperti diperlihatkan pada (Tabel 1). Formasi Ngimbang tersusun atas perselingan antara batupasir, batulempung, napal dan batuan karbonat. Formasi Ngimbang adalah berumur Paleosen-Oligosen Awal. Di atasnya secara selaras adalah Formasi Kujung. Beberapa peneliti membagi Formasi Kujung ini ke dalam 3 kelompok yaitu Kujung I, Kujung II dan Kujung III. Formasi Kujung tersusun atas napal-lanau, dan batulempung dengan sisipan batuan karbonat. Umur formasi ini adalah Oligosen Bawah sampai Atas.

Menurut Lemigas dan Beicip (1969) dan Pringgo-prawiro dan Sukido (1992) membagi Formasi Kujung menjadi dua anggota Kujung dan Prupuh. Anggota Kujung tersusun atas perselingan napal (batugamping) dan batulempung yang berumur Oligosen Bawah sampai Oligosen Tengah akhir; sedangkan anggota Prupuh terdiri atas batugamping klastik berumur Oligosen Atas. Formasi Tuban menumpang secara selaras di atas Formasi Kujung. Litologi yang menyusunnya terdiri atas perselingan batulempung dan batugamping berumur Miosen Bawah sampai akhir Miosen Atas. Menurut Pringgoprawiro, dkk (1992) dalam Formasi Tuban terdiri atas tiga anggota ya-itu Anggota Tuban, Tawun dan Ngrayong; namun menurut

Lemigas dan Beicip (1969) Formasi Tuban hanya tersusun atas dua anggota yaitu Tawun yang tersusun atas barlempung pasiran dan Anggota Ngrayong yang tersusun atas batupasir lempungan dan batupasir dengan sisipan batugamping. Di atas Formasi Tuban adalah Formasi Kawengan, yang tersusun atas Anggota Bulu, Anggota Wonocolo, Anggota Ledok, dan Anggota Mundu. Formasi Kawengan berumur Miosen Te-

ngah awal hingga Pliosen. Menurut Pringgopawiro dan Sukido (1992) Anggota Mundu berhubungan menjari dengan anggota Paciran; serta tersusun atas lanau pasiran (Mundu) dan batugamping non-klastik (Paciran). Formasi Lidah menyusun paling atas dari Mandala Rembang. Tersusun atas tiga anggota; berumur Pliosen Atas sampai Pliosen.

Tabel 1. Stratigrafi Mandala Rembang

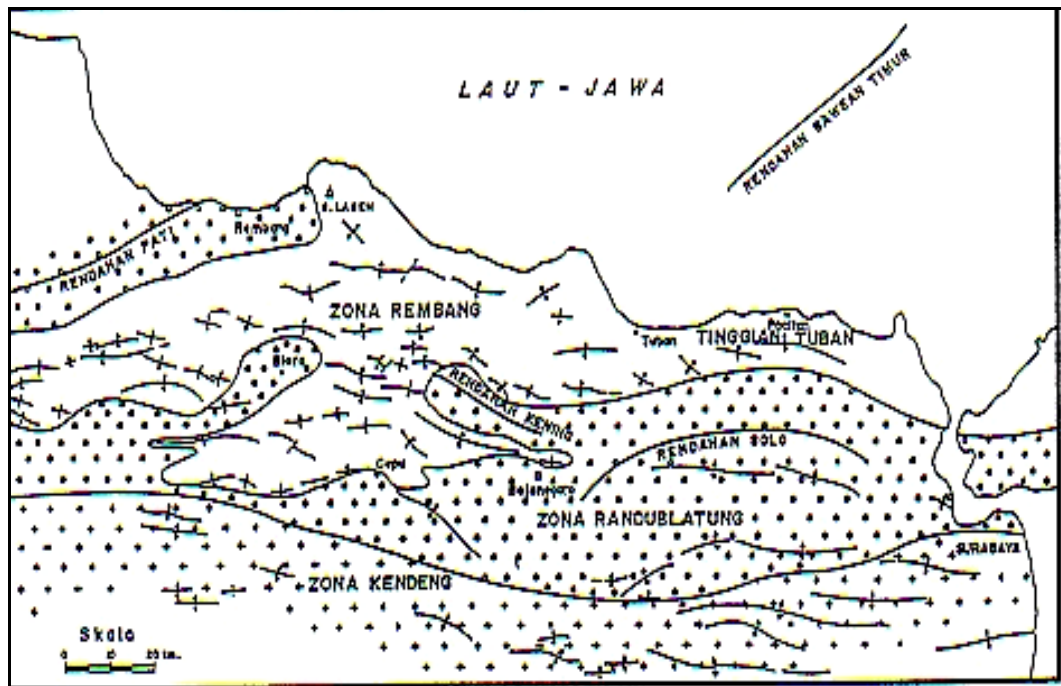
WAKTU DLM. JUTAAN TAHUN	KLAS HURUF Kompp. Van Gortel 1988	ZONASI BLOW [1969]	SATUAN KRONO-STRATIGRAFI	LEMIGAS & BEICIP (1969)			PRINGGOPAWIRO & SUKIDO (1992)		
				FORMASI	ANGGOTA	SIMBOL LITOLOGI	FORMASI	ANGGOTA	SIMBOL LITOLOGI
1,65		N. 23 K. 22	PLISTOSEN	LIDAH	TURI		LIDAH	BAH-DER	
5,2	Tgh	N. 21 N. 20 N. 19	PLIOSEN	KAWENGAN	MAJOU		MUNDU	PACIRAN	
		N. 18 N. 17 N. 16			LEDOK		LEDOK		
10,2	Tf	H. 15 K. 14 N. 13	MIOSEN	TUBAN	P. WOHOCOLO		WONO-COLO		
		H. 12 K. 11 K. 10			NGRATONG		NGR.		
16,2	Tf 1-2	H. 9	NEOGEN	TUBAN	NGRATONG		TAWUN		
		H. 7 N. 6 H. 5			TAWUN		TUBAN		
25,2	Te	H. 4 H. 3	OLIGOSEN	KUJUNG	PRUPUH		PRUPUH		
		P. 21 P. 20 H. 1			ATAS		KUJUNG		
36	Td	P. 19	PALEOGEN	NGIMBANG	ATAS		KUJUNG		
		P. 18 P. 17 P. 16			BAWAH		NGIMBANG		
39,4	Tb	P. 15 P. 14	Eosen	NGIMBANG	BAWAH		NGIMBANG		
		P. 13 P. 12			TENGAH		NGIMBANG		
49	Ta	P. 10 P. 9 P. 8	PALEOGEN	NGIMBANG	BAWAH		NGIMBANG		
		P. 7 P. 6 P. 4			BAWAH		NGIMBANG		
60,2	Ta	P. 3 P. 2	PALEOGEN	NGIMBANG	ATAS		NGIMBANG		
		P. 1			BAWAH		NGIMBANG		
66,5			PRATERSIER	BASEMENT			BASEMENT		

Struktur Geologi Cekungan Jawa Timur Utara, menurut Sutarso & Sujitno (1976), dapat dibedakan menjadi

beberapa zona, yakni: Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Rembang (Gambar 2).

Zona Kendeng, mempunyai pola struktur yang kompleks, karena mengalami deformasi yang kuat. Pola lipatan umumnya mempunyai arah kurang lebih timur barat (E-W), dan beberapa diantaranya ada yang berarah barat laut-timur tenggara (WNWESE), (Sutarso dan Suyitno, 1976).

Zona Randublatung, tidak begitu kuat mengalami deformasi. Beberapa antiklin yang memanjang dan sempit. Pola umum lipatan, mempunyai arah kurang lebih timur-barat (E-W), dan sebagian diantaranya ada yang berarah timurlaut-barat daya (ENEW-SW), dan barat laut-timur tenggara (WNW-ESE).



Gambar 2. Peta struktur cekungan Jawa tengah

PEMBAHASAN

Litostratigrafi Litologi yang ditembus sumur-95, dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan litostratigrafi, berturut-turut dari tua ke muda adalah: Formasi Mundu, Formasi Selorejo dan Formasi Lidah.

Formasi Mundu pada sumur ini, dijumpai pada kedalaman 340-337m, merupakan bagian paling atas dari formasi. Litologi penyusunnya, terdiri dari napal yang kaya akan fosil foraminifera.

- Umur formasi dan kedalaman lingkungan pengendapan.
- Hasil analisis mikropaleontologi terhadap batuan No. 3.68, menjumpai kandungan fosil foraminifera planktonik *Pulleniatina obliquiloculata-obliquiloculata*, *Globorotalia acostaensis pseudopima* dan *Sphaeroidinella dehiscentes*. Sedangkan *Globorotalia tosa-*

ensis tenuitheca baru muncul pada contoh batuan 3.67, yang terletak di atas contoh batuan ini. Jadi, umur formasi ini adalah Pliosen Tengah atau N20 (Blow, 1969). Dalam batuan ini juga mengandung foraminifera bentik kecil *Baggina inflata*, *Cassidulina oblonga*, *Cassidulina auriculus*, *Cassidulina laevigata*, dan *Siphonina pulchra*, menunjukkan bahwa satuan ini didapatkan pada lingkungan neritik tengah (*middle neritic*) pada kedalaman 50-100m.

- Hubungan Stratigrafi Batas bawah formasi ini tidak ditembus bor, sehingga tidak diketemukan kontakannya dengan satuan batuan yang lebih tua, sedangkan hubungannya dengan Formasi Selorejo yang terletak di atasnya diperkirakan tidak selaras.

Formasi Selorejo dijumpai pada kedalaman 337 hingga 322m. Litologinya terdiri dari batupasir gampingan dan batugamping pasiran, mengandung mineral glaukonit dan kaya akan foraminifera planktonik.

- Umur dan kedalaman lingkungan pengendapan:
- Analisis mikropaleontologi terhadap contoh batuan No. 3.67, menjumpai fosil foraminifera planktonik yaitu *Globorotalia tosaensis tenuithea* yang muncul untuk pertama kalinya (Gambar 3). Fosil ini juga berasosiasi dengan fosil foraminifera planktonik lain yang sebelumnya telah muncul, yaitu *Globorotalia acostaensis pseudopima* dan *Globagerina pachyderma*. Dida-

sarkan atas kandungan fosil tersebut, diketahui bahwa Formasi Selorejo berumur Pliosen Akhir atau N. 21 (Blow, 1969). Hasil analisis contoh batuan 3.67 dan 3.65, dengan hadirnya spesies-spesies foraminifera bentuk kecil seperti: *Bulimina pupoides*, *Bolivina schwagerina*, *Cancris indicus* dan *Siphonina tubulosa*, menunjukkan bahwa satuan batuan ini terbentuk pada kedalaman 20-100m atau neritik tengah (*middle neritic*).

- Hubungan Stratigrafi, hubungan antara Formasi Selorejo dan Formasi Mundu yang berada di bawahnya, diperkirakan tidak selaras, sedangkan dengan Formasi Lidah yang terletak di atasnya adalah selaras.



Gambar 3. Kenampakan dorsal (kiri), samping (tengah) dan ventral (kanan) *Globorotalia tosaensis tenuithea* difoto dengan menggunakan *Scanning Electron Microprobe* (SEM) dengan perbesaran 100x

Formasi Lidah dijumpai pada kedalaman 322 hingga 3 meter. Litologi penyusunnya, terdiri dari perselingan batulempung, batulempung pasiran dan batulempung napalan, napal, napal pasiran dan batupasir gampingan, dengan sisipan napal lempungan dan batupasir. Umur dan kedalaman lingkungan pengendapan:

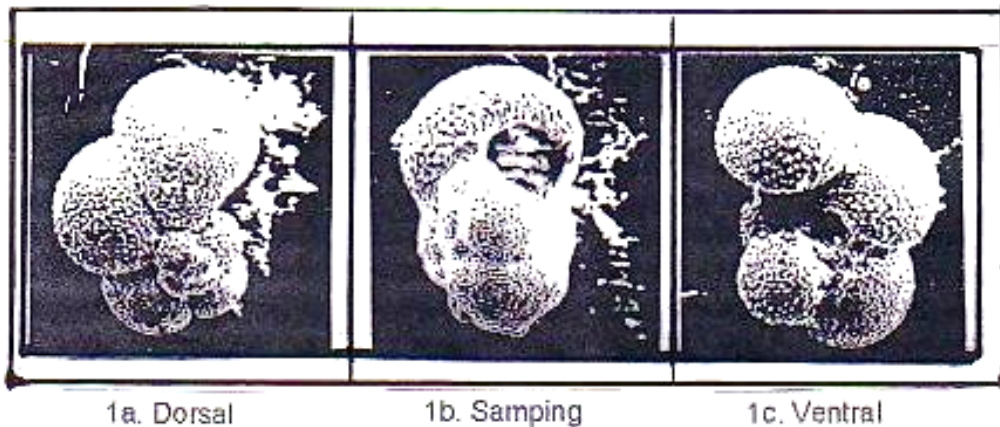
- Analisis mikropaleontologi telah dilakukan pada contoh batuan No. 3.62 yang di ambil pada bagian bawah formasi; dan No. contoh 3.43 diambil pada bagian atas formasi. Hasil analisis contoh No. 3.62 menjumpai adanya kandungan fosil foraminifera planktonik *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides* yang muncul untuk pertama kalinya (Gambar 4). Sedangkan ana-

lisis contoh batuan No. 3.43, menjumpai fosil foraminifera planktonik *Globigerina calida calida* untuk pertama kalinya (Gambar 5). Hal itu menunjukkan bahwa, secara keseluruhan, formasi ini berumur N.22-N.23. Berdasarkan hasil analisis foraminifera bentuk kecil dari contoh batuan N.64, menjumpai fosil *Bolivina schwagerina*, *Cibicides pseudongerianus*, *Pyrgo denticulata* dan *Siphonina tubulosa*. Hal itu menunjukkan bahwa bagian bawah formasi ini diendapkan pada lingkungan pengendapan pada kedalaman 20-100m (neritik tengah). Sedangkan hasil analisis contoh No. 3.43 atau bagian atas dari formasi, menjumpai kehadiran fosil bentuk kecil *Bulimina inflata*, *Eponides umbonatus*, *Gyroidina sol-*

- danii* dan *Pullonia quinqueloba*. Jadi, pada bagian atas formasi ini diketahui, batuan ini diendapkan pada lingkungan dengan kedalaman 100-200m (neritik luar).
- Hubungan Stratigrafi: antara Formasi
 - Lidah dengan Formasi Selorejo yang berada di bawahnya adalah selaras, sedangkan dengan satuan batuan yang terletak di atasnya tidak dapat ditentukan karena tidak ada data.



Gambar 4. Kenampakan dorsal (kiri), samping (tengah) dan ventral (kanan) *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides* difoto dengan menggunakan *Scanning Electron Microprobe* (SEM) dengan perbesaran 100x



Gambar 5. Kenampakan dorsal (belakang), samping dan ventral (depan) *Globigerina calida calida* difoto dengan menggunakan *Scanning Electron Microprobe* (SEM) dengan perbesaran 100x

Biodatum foraminifera planktonik disusun berdasarkan pemunculan awal dari spesies penciri, yang dijumpai pada sumur telitian. Hasil analisis paleontologi pada Sumur-95, dapat disusun tiga biodatum (Tabel 2), yaitu:

- Biodatum *Gt.tosaensis tenuitheca* ini dicirikan oleh pemunculan awal *Globorotalia tosaensis tenuitheca*. Blow (1969), menempatkan pemunculan awal subspecies ini pada biohorizon alas dari zonanya N.21. Pringgopa-

wiro (1983) mengemukakan bahwa pemunculan awal subspecies ini penting dan dapat dipakai sebagai bidang penunjuk umur. Didasarkan atas biozonasi (Blow, 1969), maka fosil tersebut jatuh pada biohorizon alas zona N.21. Didasarkan atas zonasi umur (Ikebe dan Chiji, 1978), diketahui bahwa datum ini setara dengan fosil yang ditemukan di daerah Pasifik Barat, yaitu seputar 3,1-3,5 juta tahun. Didasarkan data kalibrasi umur dalam Ce-

- nozoic Global Cycle Chart (Hag dkk., 1987), datum ini diketahui kurang lebih berumur 3 juta tahun. Di daerah telitian datum pada umur ini dijumpai pada kedalaman 335m. Jadi, pada sekitar 3-3,5 juta tahun daerah ini pernah berada pada lingkungan laut neritik tengah, yang kemudian pada periode berikutnya mengalami transgresi hingga mengendapkan material setebal lebih dari 335m total ketebalan.
- Biodatum ini dicirikan oleh pemunculan awal *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides*. Didasarkan hasil analisis umur dengan menggunakan zonasi Blow (1969), subspecies ini penting dan dapat disetarakan pemunculan awalnya sebagai alas pada zona N. 22. Didasarkan atas korelasi yang mengacu pada Ikebe dan Chiji (1978), datum ini sebanding dengan wilayah Pasifik Barat, yang umurnya 1,8-2 juta tahun. Sedangkan jika dikorelasikan dengan kalibrasi umur dalam *Cenozoic Global Cycle Chart* (Haq dkk., 1987), datum ini diketahui berumur 1,8 juta tahun. Dalam sumur penelitian, biodatum ini dapat dijumpai pada kedalaman 310m. Jadi, dapat diinterpretasi bahwa pada sekitar 1,8 juta tahun yang lalu, daerah ini pernah berada pada lingkungan neritik tengah-luar. Proses transgresi dalam waktu yang lama telah menimbun formasi ini hingga kedalaman lebih dari 310 m total ketebalan
 - *Biodatum Ga. calida* ini dicirikan oleh pemunculan *Globigerina calida calida* untuk pertama kalinya. Blow (1969), menggunakan pemunculan awal subspecies ini sebagai batas bawah dari zona N.23. Berdasarkan kalibrasi dengan umur dalam *Cenozoic Global Cycle Chart* (Haq dkk., 1987), datum ini diketahui berumur 0,7 juta tahun. Pada sumur telitian, biodatum ini dijumpai pada kedalaman 215m. Jadi, pada waktu berkisar 0,7 juta tahun yang lalu, daerah ini pernah berada pada lingkungan neritik luar. Proses transgresi yang berlangsung setelahnya telah mengendapkan material sedimen di wilayah ini hingga lebih dari 215m total ketebalan.

Tabel 2. Biodatum foraminifera planktonik sumur-95

UMUR (10 ⁶ Tahun)	K A L A	BIODATUM FORAMINIFERA PLANKTONIK	ZONASI FORAMINIFERA PLANKTONIK
0,7	PLISTOSEN	<i>Ga. calida calida</i>	N.23
1,85 1,8		<i>Gr. (G.) truncatulinoides truncatulinoides</i>	N.22
3,0	PLIOSEN	<i>Gr. (T.) tosaensis tenui-theca</i>	N.21
3,5			N.20
			N.19

Bizonasi foraminifera planktonik, disusun didasarkan atas pemunculan terawal spesies-spesies pencari. Dalam penyusunannya menggunakan dasar biozonasi Blow (1969).

Hasil analisis paleontologi contoh batuan yang diambil pada Sumur-95, dapat disusun dua Zona Selang (ZS) dan 1 (satu) Zona Parsial (ZP), yaitu (Tabel 3): (1). Zona Selang (ZS) *Gr. Tosaensis tosaensis -Gt.(G) truncatulinoides-truncatulinoides*;(2) Zona Selang (ZS) *Gt. (G) truncatulinoides - Ga. Calida- calida*;(3) Zona Parsial (ZP) *Ga. calida calida*

Tabel 3. Zonasi foraminifera Sumur -95

KALA	ZONASI BLOW (1969)	BIOZONASI	BIODATUM
PLEISTOSEN	N 23	ZONA PARSIAL <i>Ga.calida calida</i>	↑ <i>Ga.calida calida</i>
	N 22	ZONA SELANG <i>Gt.(G) truncatulinoi- des-truncatulinoi- des</i> <i>Ga.calida calida</i>	↑ <i>Gt.(G) truncatulinoi- des-truncatulinoi- des</i>
PLIOSEN	N 21	ZONA SELANG <i>Gr.tosaensis tenuitheca</i> <i>Gt.(G) truncatulinoi- des-truncatulinoi- des</i>	↑ <i>Gr.tosaensis tenuitheca</i>

Zona Selang *Globorotalia tosaensis tenuicheta-Globorotalia truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des*

- Bagian bawah zona dibatasi oleh pemunculan terawal *Gr. tosaensis tenuitheca*, sedangkan batas atasnya dicirikan oleh kehadiran *Gr. Truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des* pertama kalinya.
- Fosil-fosil lain yang dijumpai pada zona ini adalah *Pull. obliquiloculata obliquiloculata*, *Gr. acostaensis pseudopima*, *Gr. Tosaensis* dan *Sphaeroidinella dehiscentes dehiscentes*.
- Zona ini dapat dikorelasikan dengan zona N.21. Dari Blow (1969), atau Zona *Gs. fistulosus* dari Jenkins & Orr (1972), Zona *Gr. tosaensis tenuitheca* dari Srinivasan (1977), atau Zona Selang *Gr. tosaensis-Gr. truncatulinoi-
des* dari Pringgopawiro (1983).

Zona Selang *Globorotalia truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des-Globigerina calida calida*

- Bagian bawah zona dibatasi oleh pemunculan terawal dari *Gr. Truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des*, sedangkan batas atasnya dicirikan oleh hadirnya *Ga. calida calida* untuk pertama kalinya.
- Fosil lain yang khas pada zona ini adalah *Gr. tosaensis tenuitheca*, *Gr. hirsute hirsute*, *Ga. pachyderma*, *Gr. acostaensis pseudopima* dan *Pull. Obliquiloculata obliquiloculata*.
- Zona ini dapat dikorelasikan dengan Zona N.22 dari Blow (1969), atau Zona *Gr. Truncatulinoi-
des* dari Srinivasan (1977), Zona *Pull. Obliquilo-*

culata dari Jenkins & Orr (1972) atau Zona Selang *Gr. truncatulinoi-
des-Ga. calida* dari Pringgopawiro (1983).

Pada sumur penelitian dijumpai Zona Parsial *Globigerina calida calida*

- Ciri batas: batas bawah zona dicirikan oleh pemunculan terawal *Ga. calida calida*, sedangkan batas atasnya tidak dapat ditentukan.
- Fosil yang khas: fosil-fosil lain yang menyertai fosil penciri adalah: *Gr. truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des*, *Ga. Pachyderma*, *Gr. acostaensis pseudopima* *Pull. obliquiloculata finalis*.
- Korelasi: Zona Selang dapat dikorelasikan dengan Zona N.23 dari Blow (1969), atau Zona Parsial *Ga. calida calida* dari Pringgopawiro (1983).

KESIMPULAN

Berdasarkan penyebaran fosil-fosil penciri, dapat disusun tiga buah biodatum, yaitu daum *Gr. tosaensis tenuitheca*, datum *Gr. truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des*, dan datum *Ga. calida calida*. Berdasarkan biodatum yang dijumpai, dapat dibuat dua buah Zona Selang dan satu Zona Parsial, yaitu ZG *Gr. tosaensis tenuicheta – Gr. Truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des*, ZS *Gr. Truncatulinoi-
des truncatulinoi-
des – Ga. calida calida*, dan ZP *Ga. Calida calida*.

Hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa daerah Cepu, pada Sumur-95 telah mengalami proses transgresi secara menerus yang dimulai dari Pliosen Akhir (pada 3,5-3 juta tahun yang lalu) hingga Pleistosen Tengah (pada 0,7 juta tahun lalu). Kemudian se-

cara bertahap pula, wilayah ini mengalami regresi hingga kini berubah menjadi daratan sepenuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Blow, W.H., 1969, Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminifera Biostratigraphy. *Proc. 1st. Internat. Conf. Planktonic Microfossils*, Geneva, 1967, v. 1, h. 199-411, 43 gbr., 54 pl.
- Haq. B.U., Handerbol, J., & Vail, P.R. , 1987, Chronology of Fluctuation Sea Levels since the Triassic. *Science*, v. 235, h. 1156-1167.
- Kapid, R., 1991, Le Mio-Pliocene marin du Nord-est de Java, Indonesia, Biostratigraphie qualitative et quantitative des Foraminiferes et du Nannoplancton. These de Doctorat, Univ. de Reims, France, 163h., 10 pl.
- LEMIGAS & BEICIP, 1969, North East Java Basin, Evaluation of Petroleum Possibilities, tidak diterbitkan.
- Pringgopawiro, H., 1983, Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru. Disertasi Doktor, ITB, Bandung.
- Pringgopawiro, H., & Baharudin, 1980, Biostratigrafi Foraminifera Plankton dan Beberapa Bidang Pengenal Kenozoikum Akhir dari Sumur Tobo, Cepu Jawa Timur. *Geologi Indonesia*, v.7, n. 1, h.21-31.
- Pringgopawiro, H., Sukido, 1992, *Geologi Lembar Bojonegoro*, Jawa, skala 1 : 100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 23 h.
- Srinivasan, M.S., Kennett, J.P., & Rodda, P., 1981, Late Neogene Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy, Suva, Fiji. *Journ. Paleontology*, v.55, n.4, h. 858-867, 1 pl.
- Sutarso, B., & Suyitno, P., 1976, The Diaphiric Structure and Their Relation to Occurrence of Hydrocarbon in North East Java Basin. *Bull. Geol. Indo.*, j.5, n.1, h. 27-43.

APLIKASI CENTRIFUGE TURNTABLE BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51 DENGAN PENAMPIL LCD GM2004

Slamet Hani¹

¹Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro IST Akprind Yogyakarta

Masuk: 11 Juli 2008, revisi: 8 Nopember 2008, diterima: 10 Januari 2009

ABSTRACT

A Centrifuge is one very important medical apparatus for separating some medical subtracts such as blood, urine, drugs for producing vaccines and antitoxins. Basically this apparatus is centrifugal turntable equipped with a study turning mechanism and a set of tube holders to accommodate 4 up to 20 subtract sample tubes. The needed rotation controlling system was designed and constructed in steps. First, for the entire mechanical as well as electronic subsystem. Second, on the details of the electronic hardware and the connected mechanism. Third, the software needed to run the electronic hardware. Fourth, to load the controlling program into the AT89C51 microcontroller and finally the run test of the entire system. The result shows that this centrifuge regulator works sufficiently well to replace the original failing system.

Keywords: Centrifuge, Microcontroller AT89C51, LCD

INTISARI

Sentrifuge merupakan peralatan laboratorium medis yang paling penting dalam proses pemisahan subtract medis seperti darah, air seni, obat, pembuatan vaksin dan anti toksin. Secara prinsip alat ini merupakan meja putar sentrifugal yang dilengkapi dengan tiang putar serta kait dan dapat menampung 4 sampai dengan 20 tabung uji subtract. Sistem kontrol sentrifuge diperlukan beberapa tahapan. Pertama, membuat rencana desain sistem elektronis dan mekanis turntable. Kedua, desain perangkat-keras dan diteruskan memasang komponen elektronik. Ketiga desain perangkat-lunak program dengan menggunakan algoritma sistem. Keempat, isikan program perancangan ke dalam IC AT89C51 dan letakkan ke perangkat-keras Sistem akhir dan dicek. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler AT89C51 ini telah dapat digunakan dalam pengaturan sentrifuge sebagai pengganti sistem kontrol sentrifuge asli pabrikan, meskipun masih terdapat kekurangan yang masih harus disempurnakan.

Kata Kunci: Sentrifuge, Mikrokontroler AT89C51, LCD

PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan teknologi sekarang, khususnya teknologi elektronika, telah dicapai kemajuan sangat pesat. Berbagai teknologi dalam bidang apapun baik industri, rumah sakit maupun rumah tangga hampir semua menggunakan peralatan elektronis.

Kesehatan merupakan masalah yang amat penting karena dengan tubuh yang sehat maka dapat melakukan rutinitas kegiatan kita sehari-hari dengan lancar dan baik.

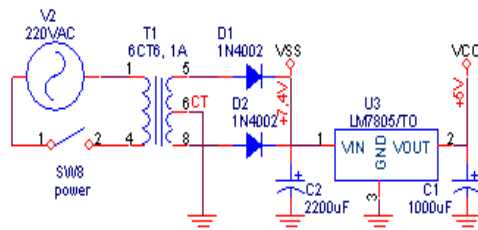
Salah satu diantaranya adalah peralatan medis yang mengaplikasikan komponen-komponen elektronika yang

dapat membantu mengkodekan sistem kontrol sentrifuge. Kode-kode akan dibaca oleh mikrokontroler dan diartikan fungsinya sebagai bentuk sinyal kendali ke mikrokontroler.

Berdasarkan alasan yang telah dikemukakan diatas, maka peneliti telah merancang bangun suatu sistem aplikasi sentrifuge yang terintegrasi dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali atau otak sistem, dan LCD sebagai penampil data informasinya.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari alat yang direncanakan serta analisisnya, dengan menekuni kerja dua komponen utama, yaitu mikrokontroler

AT89C51 dan LCD. Tampak bahwa desain alat dibagi menjadi beberapa bagian meliputi rangkaian *Driver*, *Interface*, *Motor PSC 3 Speed*, *Keypad*, *LCD 20x4*, *Buzzer*, Mikrokontroler AT89C51 dan Mekanis *Sentryfuge turntable*.

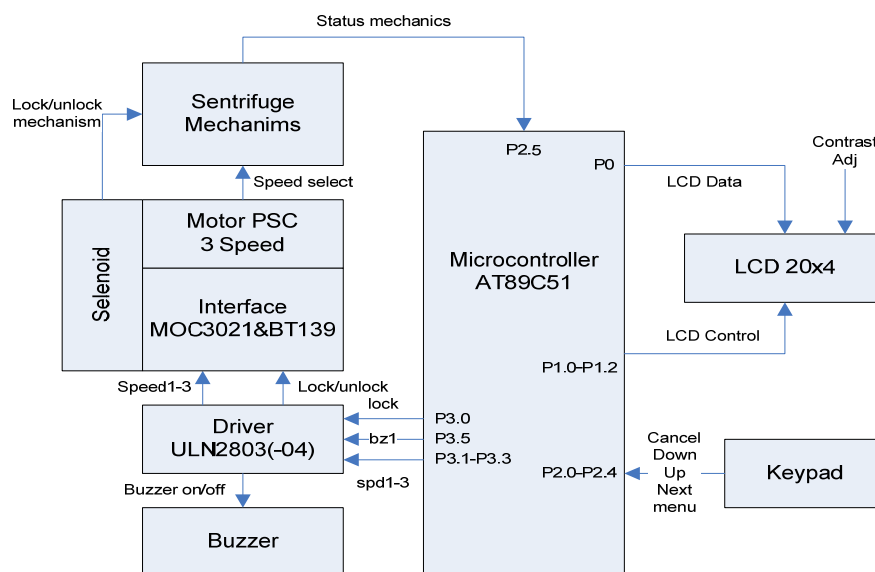


Gambar 1. Unit Catu Daya

Rangkaian catu daya terdiri atas penurunan tegangan, penyearah, perata *ripple*, dan *regulator*, seperti tampak pada Gambar 1. Bagian mikrokontroler disusun menggunakan U₁ AT89C51 yang dicatu menggunakan tegangan +5Vdc. Dalam rangkaian mikrokontroler U₁ dapat dilihat bahwa *pin* EA dihubungkan secara

langsung dengan +5Vdc. Hal ini berarti rangkaian mikrokontroler U₁ dikonfigurasi untuk bekerja dalam *mode single chip* dan tidak memerlukan pemasangan memori eksternal. Skematik ini dapat dilihat pada Gambar 2. Unit Mikrokontroler, LCD, dan *Keypad*

Untuk dapat bekerja dengan benar, rangkaian mikrokontroler U₁ memerlukan 2 rangkaian pendukung eksternal harus dipasang secara tepat. Rangkaian pertama merupakan pembangkitan frekuensi clock yang dibentuk menggunakan kristal Y₁, kapasitor C₆ dan C₅. Sedangkan rangkaian kedua berupa rangkaian reset dibentuk dengan menggunakan kondensator SW₁ C₄ dan R₁. Bagian dari mikrokontroler U₁ merupakan bagian penting dari sistem rangkaian alat karena semua data input dan output harus diproses dan dikontrol melalui U₁ termasuk proses menerima data dari *keypad*, proses kalkulasi dan proses penampilan informasi ke LCD.



Gambar 2. Diagram blok sistem perangkat keras yang dirancang

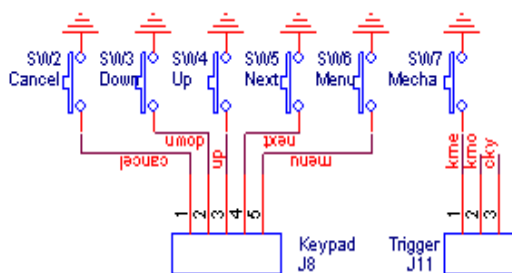
Bagian *display* LCD disusun menggunakan modul LCD ADT2004 yang dikoneksikan melalui soket J₄ dan dilengkapi dengan pengatur kecerahan layar atau *Contrast Adj* yang dibentuk menggunakan RV₁. Karena panel LCD ini digunakan untuk penampilan data dengan menu statis (proses tunggu peng-

hitungan *timer*), maka saluran kontrol R/W tetap dihubungkan dengan *port* mikrokontroler U₁, tidak semua kaki pada U₁ AT89C51 digunakan untuk proses transfer data, seperti dapat dilihat pada (Tabel 1).

Tabel 1. Inisialisasi Pemakaian Port

No	Port	Keterangan	No	Port	Keterangan
1	P0.0	LCD D0	17	P2.0	SW ₂ Cancel
2	P0.1	LCD D1	18	P2.1	SW ₃ Down
3	P0.2	LCD D2	19	P2.2	SW ₄ Up
4	P0.3	LCD D3	20	P2.3	SW ₅ Next
5	P0.4	LCD D4	21	P2.4	SW ₆ Menu
6	P0.5	LCD D5	22	P2.5	SW ₇ Kme
7	P0.6	LCD D6	23	P2.6	SW ₇ Kmo
8	P0.7	LCD D7	24	P2.7	SW ₇ Cky
9	P1.0	LCD RS	25	P3.0	Lock
10	P1.1	LCD RW	26	P3.1	Spd 1
11	P1.2	LCD CS	27	P3.2	Spd 2
12	P1.3	Not Used	28	P3.3	Spd 3
13	P1.4	Not Used	29	P3.4	Bz0
14	P1.5	Not Used	30	P3.5	Bz1
15	P1.6	Not Used	31	P3.6	Bz2
16	P1.7	Not Used	32	P3.7	Bz3

Bagian *keypad* atau papan kunci disusun menggunakan 5 buah saklar mikro tipe 4 *pin* SW₂-SW₆ yang berfungsi sebagai saluran pengatur *mode* kerja alat dan 1 buah saklar mekanis SW₇ yang terpasang bersama tutup mekanis *sentryfuge*. Karena saklar SW₂-SW₇ terhubung dengan saluran pentanahan, maka penekanan saklar-saklar ini akan mengakibatkan *pin* yang terhubung dengan saluran U₁ AT89C51 berada dalam status logika 0 dan pada saat saklar-saklar tersebut dilepas *pin* yang terhubung dengan saluran U₁ AT89C51 berada dalam status logika 1.

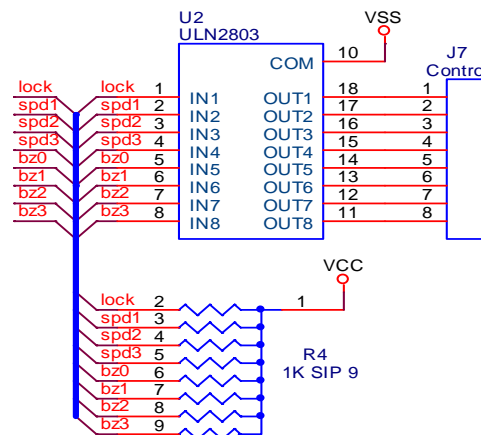


Gambar 3 Skematik Bagian Keypad

Skematik *keypad* dapat dilihat pada Gambar 3. Saklar SW₂ berfungsi sebagai saklar pengatur status sistem cancel, SW₃ berfungsi sebagai saklar pengatur setting data *timer down*, SW₄ berfungsi sebagai saklar pengatur setting

data *timer up*, SW₅ berfungsi sebagai saklar pengatur next menu, SW₆ berfungsi sebagai saklar pemanggil menu utama setting dan SW₇ berfungsi sebagai saklar pembaca status tutup mekanis *sentryfuge*.

Driver ULN2803, merupakan bagian *driver* yang disusun menggunakan komponen inti U₂ ULN2803 dan dicatu menggunakan tegangan +6Vdc. Bagian ini juga dilengkapi dengan resistor *pull up* R₄ dan berfungsi mengendalikan proses pengendalian *interface* motor PSC, *sele-noid* dan *buzzer*. Skematik dapat dilihat pada Gambar 4. (Malvino AP, 2003)



Gambar 4 Skematik Bagian Driver ULN2803

Dalam gambar skematik ini dapat dilihat bahwa saluran IN1-IN8 basis transistor internal U₂ dikemudikan oleh P3.0-P3.7 U₁. Karena prinsip pengaturan pin IN1-IN8 identik, proses kerjanya cukup menggunakan 1 bagian saja.

Pada saat P3.0 berstatus logika 1, maka saluran IN1 akan mendapat tegangan sumber basis. Proses ini mengakibatkan transistor *internal* yang relevan bekerja dalam keadaan saturasi, sehingga tegangan tembus LED internal MOC3021 dibagian *interface* dapat dihubungkan ke ground (dibodikan). Prinsip pengaturan inilah yang menyebabkan LED internal MOC dapat menyala.

Pada saat P3.0 berstatus logika 0, maka saluran IN1 akan kehilangan tegangan sumber basis. Proses ini mengakibatkan transistor *internal* yang relevan berada dalam keadaan cutoff dan mengakibatkan tegangan tembus LED internal MOC3021 dibagian *inter-face*

tidak dapat dihubungkan ke bodi. Prinsip pengaturan inilah menyebabkan LED internal MOC mati.

Dalam Gambar 5 dapat dilihat bahwa saluran keluaran U2 dihubungkan melalui konektor J7 ke rangkaian *interface* lainnya. Karena konektor ini terhubung dengan 3 saluran MOC U4-U7 dibagian *interface*, maka kedua prinsip proses pengaturan penyalakan LED indikator tersebut diatas berlaku untuk proses pengendalian kecepatan motor PSC dan selenoid.

Unit Interface Motor, bagian interface motor dan selenoid merupakan rangkaian pengendali beban yang bekerja seperti saklar. Rangkaian ini diperlukan untuk mengendalikan beban berupa motor PSC dan mekanis tutup sentrifuge dengan catuan listrik jaringan 220VAC. Hal penting yang harus diperhatikan dalam otomatisasi sistem ini terletak pada metode penyekatan antara sistem rangkaian alat dengan rangkaian beban. Persyaratan mutlak ini mengharuskan transmisi data yang terjadi harus dapat bekerja meskipun disekat secara listrik dan tidak terdapat koneksi atau pengkawatan yang bersifat langsung dari rangkaian kontrol ke rangkaian pengendali beban. Skematik bagian interface motor dapat dilihat pada Gambar 6. Rangkaian interface motor dapat bekerja memanfaatkan komponen optodiode U4-U7 MOC3021 dan triac Q1-Q3. Dengan menggunakan komponen-komponen tersebut, proses pensaklaran triac Q1-Q3 hanya dapat terjadi apabila Led internal MOC3021 U4-U6 saat dimatikan atau dinyalakan. Karena komponen pada rangkaian dari masing-masing *driver* identik, untuk mempermudah pemahaman kerja keseluruhan rangkaian *driver lamp* cukup hanya digunakan 1 bagian *driver* saja.

Pada saat status logika P3.0 = 1, led internal U4 akan mati karena kedua kutubnya memiliki nilai positif yang sama. Pengaturan yang demikian tersebut akan menyebabkan diac internal U4 tersumbat dan tidak dapat menyalurkan tegangan panjar *gate* (yang dibentuk menggunakan R5 dan R6) di saluran U4 pin 6 ke U4 Pin 4 yang terhubung dengan *gate* triac Q1. Kondisi demikian ini mengakibatkan triac Q1 tidak bekerja atau berada

dalam kondisi seperti saklar terbuka. Proses pengaturan inilah menyebabkan *speed 1* tidak mendapat tegangan jaringan 220VAC.

Pada saat status logika P3.0 = 0, led internal U4 akan menyala karena kedua kutubnya berbeda potensial. Pengaturan ini akan menyebabkan diac internal U4 terbuka dan menyalurkan tegangan dari R5 dan R6 yang terdapat di U4 pin 6 ke *gate* triac Q1 melalui U4 pin 4. Kondisi ini mengakibatkan triac Q1 mendapat tegangan panjar *gate* dan bekerja seperti saklar tertutup. Proses pengaturan tersebut yang menyebabkan *speed 1* mendapat tegangan catuan jaringan 220VAC.

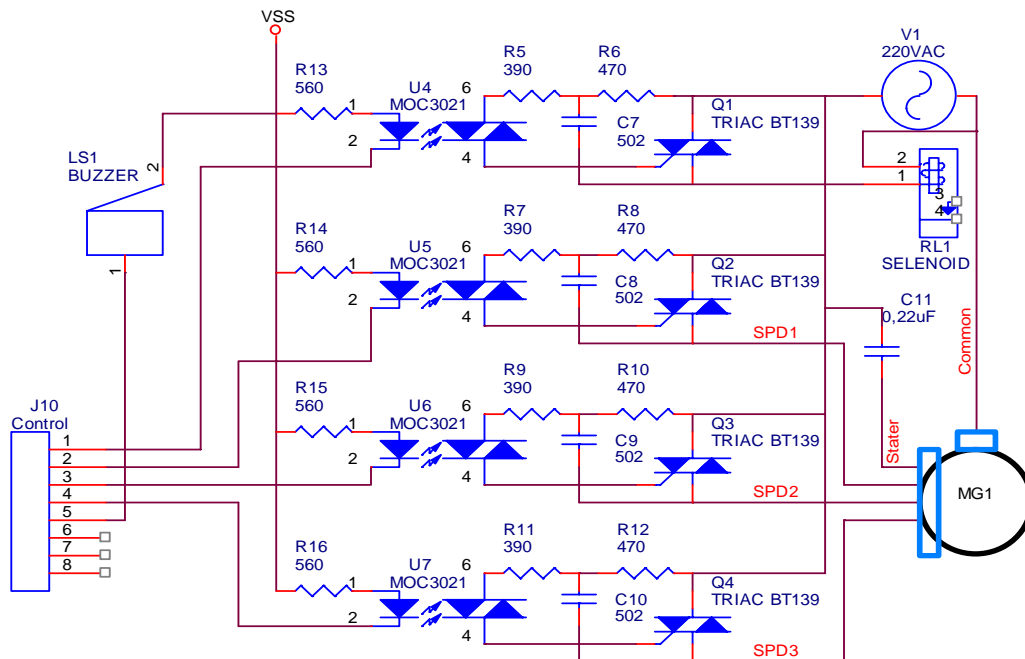
Untuk mencegah/menghindari dan mengurangi efek induksi balik dari lampu beban, di saluran keluaran triac Q1 harus dipasang rangkaian filter yang disusun menggunakan kapasitor C7. Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa lebar pulsa keluaran P3.0 mikrokontroler U1 sangat menentukan status lama waktu pensaklaran Q1 dalam menyalakan beban.

Cara kerja dari alat menyeluruh, rangkaian *sentrifuge turntable* berbasis aplikasi mikrokontroler bekerja menggunakan tegangan catuan +5Vdc, +6Vdc dan 220Vac. Pada saat alat dihidupkan pertama kali, mikrokontroler akan segera menonaktifkan rangkaian beban (motor, selenoid dan buzzer). Kondisi ini menyebabkan tegangan catuan 220Vac bagian *hot wire* akan disalurkan ke motor AC, selenoid dan *interface* motor, sedangkan bagian *cold wire* hanya dihubungkan secara langsung ke bagian *interface* motor. Mode pengaturan ini tidak akan menjalankan motor AC penggerak mekanis *sentrifuge turntable*, kecuali pengguna telah selesai memasukkan data *entry* pilihan pengaturan yang diinformasikan ke layar LCD sebagai bentuk perintah pengaturan motor penggerak mekanis *sentrifuge turntable*.

Untuk mengatur kecepatan dan lama putar mekanis *sentrifuge turntable*, pengguna harus memasukkan data pengaturan waktu eksekusi dan mode kecepatan melalui *keypad* yang tersambung secara langsung dengan P2.0-P2.4. Data hasil *entry* pilihan pengaturan

tersebut kemudian dieksekusi oleh mikrokontroler AT89C51 sesuai dengan konsep dan alur data pemrograman file

sentry hex yang terdapat didalam mikrokontroler tersebut.



Gambar 5 Skematik Bagian Interface Motor

Pilihan mode speed 1 akan menyebabkan motor AC penggerak mekanis *sentrifuge turntable* dijalankan dengan mode 1 untuk menghasilkan putaran sekitar 1400 rpm. Mode tersebut diinformasikan ke layar LCD dan dieksekusi menggunakan saluran bit port p3.0 yang terhubung dengan driver motor khusus saluran spd1. Pilihan mode speed 2 digunakan untuk menghasilkan putaran sekitar 1430 rpm dan dieksekusi menggunakan saluran bit port p3.1 yang terhubung dengan driver motor khusus saluran spd2. Pilihan mode speed 3 digunakan untuk menghasilkan putaran lebih dari 1460 rpm dan dieksekusi menggunakan saluran bit port p3.2 yang terhubung dengan driver motor khusus saluran spd3 (Malcom, 1985)

Untuk menjalankan dan mematikan alat secara otomatis sesuai *setting*, pengguna dapat melakukan *setting* terhadap *timer* internal mikrokontroler secara berurutan dengan memasukkan nilai *setting* menit (maks 59) dan detik (max 59). Setelah itu, pengguna hanya perlu

memasukkan *subtract* uji ke dalam *sentrifuge* dan menutup mekanisnya. Pada akhir proses eksekusi timer, sistem akan menginformasikan kondisi tersebut dengan bentuk visual *buzzer* yang berbunyi panjang. Hal penting yang harus diperhatikan dalam perancangan sistem *sentrifuge* turntable berbasis mikrokontroler terletak pada ketepatan pengaturan waktu interval program yang diatur berdasarkan kalkulasi *step cycle* subrutin *delay*. Untuk mendapatkan nilai yang tepat, struktur program timer bekerja menggunakan mode *timer* 16 bit yang diatur melalui *remod*. Oleh karena itu, waktu eksekusinya akan memiliki selisih 2-3 detik dibandingkan dengan penggunaan timer analog. (Wasito S., 2004).

Penentuan diagram alir beserta algoritma program *sentry.asm* ditentukan berdasarkan inialisasi LCD dan inialisasi database. Diagram alir program *sentry.asm* dapat dilihat pada Gambar 2.

PEMBAHASAN

Artikel ini membahas, beberapa pengujian hasil rancangan, catu daya diuji dengan hasil baik, dilanjutkan dengan bagian-bagian lain berikut:

Pengujian Bagian *Keypad* dan Saklar *Trigger*, pengujian digunakan untuk mengetahui status logika saluran *port 2* mikrokontroler pada saat masing-masing *keypad* dan saklar *trigger* dikondisikan aktif maupun pasif.

Pengujian *Driver* ULN2803, pengujian *driver* motor digunakan untuk mengetahui status logika saluran *port 3* mikrokontroler pada saat saluran pengendali lilitan motor untuk *speed 1*, *speed 2* dan *speed 3* dikondisikan aktif maupun pasif. Hasil pengujian ini dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Bagian *Driver*

No	Test Point	Tegangan Logika High	Tegangan Logika Low	Keterangan
1	Pin1 U ₂	+2,4V	+0,45V	Kontrol Keylock
	Pin2 U ₂	+2,4V	+0,45V	Kontrol Speed1
2	Pin3 U ₂	+2,4V	+0,45V	Kontrol Speed2
3	Pin4 U ₂	+2,4V	+0,45V	Kontrol Speed3
4	Pin5 U ₂	+2,4V	+0,45V	Kontrol Buzzer

Rangkaian *driver* menggunakan komponen aktif berupa ULN2803 yang memiliki karakteristik $V_{IN(ON)} = 2,4V$ dengan arus $I_C = 200mA$. Ketentuan ini nilai V_{IH} U₁ akan mengalami pembebanan yang cukup besar. Untuk mengantisipasi agar *port* kontrol P2 tidak kekurangan arus, pemasangan R *pull-up* R₄ disalurkan input U₂ bersifat wajib. Dengan menggunakan ULN2803, beban yang terpasang berupa *buzzer* BZ₁, *optocoupler* U₄-U₆ akan dikendalikan dengan menggunakan arus maksimal sebesar 200mA.

Pengujian Mikrokontroler Dan LCD, bagian sistem reset dan osilator mikrokontroler digunakan untuk mengetahui tundaan waktu yang terjadi pada saat saklar reset serta kinerja sistem reset dan gelombang osilasi rangkaian kristal. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 3. Dapat diketahui bahwa kondisi *reset* mikrokontroler U₁ terjadi pada saat *power on* dan pada saat saklar *reset* dite-

kan. Nilai nominal tegangan pada saat status *reset* bekerja ditentukan 0,7V_{cc} atau sebesar 3,5V. Ketentuan tegangan ini sesuai dengan spesifikasi pin reset yang dicantumkan dalam datasheet. Kondisi reset mikrokontroler U₁ setelah *power on* memiliki nilai nominal tegangan sebesar 0,9V. Nilai tegangan dipengaruhi oleh R_{RST} atau R₁.

Tabel 3. Pengujian Bagian Mikrokontroler dan LCD

No	Test Point	Tegangan	Keterangan
1	Pin 9 U ₁	3,5 V	Reset Otomatis
2	Pin 18 U ₁	0,9 V	Output Osc Internal
	Pin 19 U ₁	3,5 V	Input Osc Internal
4	Pin 32-39 U ₁	H=2,4 V L=0,45 V	D0-D7 Lcd databit out
5	Pin 1-8 U ₁	H=2,4 V L=0,45 V	RS Lcd control
		H=2,4 V L=0,45 V	RW Lcd control
		H=2,4 V L=0,45 V	CS Lcd control

Tegangan masukan pada pin mikrokontroler telah mencukupi yang dibutuhkan oleh LCD untuk pembacaan logika *high* dan *low*. Sesuai dengan *datasheet* dari LCD ADT2040 tegangan akan terbaca *high* oleh pin 8 bit dan *driver* kontrol LCD bila bernilai $\geq +2,4$ volt, dan terbaca *low* bila $\leq +0,45$ volt. Jadi sistem keluaran dari mikrokontroler telah mencukupi tegangan dari pembacaan LCD.

Tabel 4. Hasil Pengujian Bagian *Interface* Motor

	Status Motor	Pin Kontrol	Status Logika	Keterangan
1	Speed 1	P3.1	Low	Motor berputar 1400 Rpm
2	Speed 2	P3.2	Low	Motor berputar 1430 Rpm
3	Speed 3	P3.3	Low	Motor berputar 1460 Rpm
4	Mati	P3.1 - P3.3	High	Motor berhenti berputar

Kondisi pengaturan pin RS, RW dan CS (EN) memiliki prasyarat tegangan $V_{IH}=2,4V$, $V_{IL}=0,45V$, $V_{OH}= 2,4V$, $V_{OL}=0,45V$. Dengan ketentuan ini, saluran I/O mikrokontroler U₂ dapat diguna-

kan untuk pengemudian secara langsung (*Direct point*).

Pengujian *Interface Motor*, digunakan untuk mengetahui status logika saluran *port 3* mikrokontroler pada saat saluran pengendali lilitan motor untuk *speed 1*, *speed 2*, dan *speed 3* dikondisikan aktif maupun pasif. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

KESIMPULAN

Sistem kontrol berbasis mikrokontroler AT89C51 dapat digunakan untuk pengaturan *senytrifuge turntable* sebagai pengganti sistem kontrol *senytrifuge* asli pabrikan, meskipun masih terdapat kekurangan yang masih harus disempurnakan.

Perlu adanya penyesuaian desain mekanis penggerak dan kemampuan motor yang digunakan.

Hasil pengujian *subtract* darah menggunakan *senytrifuge* hasil perancangan dijalankan dengan *setting* waktu ± 30 menit dengan kecepatan ± 1400 rpm, belum dapat menghasilkan *subtract* darah dalam kondisi jadi karena seharusnya dengan kecepatan ± 3000 rpm telah dilakukan pengujian ulang dengan *setting* waktu ± 59 menit dengan kecepatan tetap ± 1400 rpm, *subtract* darah dihasilkan dalam kondisi jadi (Sempurna).

Jadi kelemahan alat, dalam hal putaran yang kurang cepat dapat diatasi dengan waktu kerja yang \pm dua kali lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afianto EP, 2006, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (Teori dan Aplikasi)*, Edisi Kedua, Gava Media Yogyakarta.
- Brink, O.G, 1983, *Dasar-dasar Instrumentasi*, Binacipta, Jakarta.
- Malik M, 1997, *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8051*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Malvino, A.P dan Barmawi, M., 1987, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Malvino AP, 2003, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Salemba Teknika, Jakarta.
- Nalwan PA, 2003. *Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Edisi Pertama, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Malcom, 1985, *Pengantar Ilmu Teknik Instrumentasi*, Edisi Pertama. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wasito S., 2004, *Vademekum Elektronika*, Edisi Kedua, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

ANALISIS DISTRIBUSI KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI 27 MEI 2006 MELALUI PENDEKATAN KEGUNUNGAPIAN DI DAERAH WONOLELO DAN SEKITARNYA, KABUPATEN BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

S. Mulyaningsih¹, Y.T. Husadani², L.R.Devi³, S.N. Irawan⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 14 September 2008, revisi: 16 Nopember 2008 , diterima: 15 Januari 2009

ABSTRACT

Northern Wonolelo area till Berbah was the areas with the most damaged generated by an earthquake of 27 May 2006. On the other hand, volcanic rocks within circular features characterize the areas. Palaeovolcanism had intensively deformed their lithology, generated normal faults and shear joints, in radial pattern with the axis of the vent. The earthquake force reactivated the existing faults and shears. Area with past central eruptions easier to deformed than the others. Volcanic-stratigraphy analyses found three periods of explosively volcanisms intersecting with composite volcanisms, created three escarpments separating each others. There fore, there were three zones of the most damaged areas according to the distributions of central eruptions; i.e Wonolelo and it vicinities, Sudimoro (Segoroyoso) and its vicinities, and Watuadeg-Senthong and its vicinities. Further subsurface research is necessary to verify the central of old volcano that caused the damages

Keyword: Rocks, Volcano, Central Vent, Activity, Destruction, Construction, Escarpments.

INTISARI

Daerah Wonolelo ke utara hingga Berbah merupakan daerah dengan tingkat kerusakan terparah akibat gempabumi tanggal 27 Mei 2006. Di lain sisi, batuan gunung api dengan geomorfologi melingkar mencirikan daerah ini. Adanya aktivitas gunung api purba menyebabkan litologi penyusunnya terdeformasi intensif menghasilkan sesar-sesar turun dan kekar-kekar gerus, dengan pola radial berpusat pada kawah gunung api. Gaya gempa yang kemudian terjadi mengaktifkan kembali sesar dan kekar yang telah ada. Daerah dengan bekas kawah dan kaldera gunung api lebih mudah terdeformasi, karena distribusi deformasinya lebih banyak, dibandingkan daerah yang bukan bekas gunung api. Analisis stratigrafi menjumpai di wilayah ini setidaknya telah berlangsung tiga periode eksplosif gunung api yang berselingan dengan tiga periode pembangunan kerucut gunung api, menghasilkan tiga gawir yang membatasinya. Jadi, ada tiga zona daerah dengan tingkat kerusakan tertinggi, yaitu Wonolelo dan sekitarnya, Sudimoro (Segoroyoso) dan sekitarnya dan Watuadeg-Senthong dan sekitarnya. Penelitian bawah permukaan lebih lanjut dibutuhkan untuk membuktikan bahwa daerah dengan tingkat kerusakan terparah adalah pusat gunung api purba.

Kata Kunci : Batuan, Gunung Api, Kawah Pusat, Kegiatan, Destruksi, Konstruksi, Gawir

PENDAHULUAN

Daerah Wonolelo dan sekitarnya, di Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul pada awalnya dikenal sebagai daerah dengan tingkat kerusakan tertinggi pada saat gempabumi 27 Mei 2006. Berangkat dari data tersebut, penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat mengetahui penyebab kerusakan. Analisis citra landsat

dilakukan untuk memahami geomorfologi dan evolusi tektoniknya. Hipotesisnya adalah jika tingkat kerusakan oleh gempa tersebut hanya berhubungan dengan kegiatan tektonik masa kini, seharusnya daerah dengan kerusakan terparah berada di sepanjang Sungai Opak-Progo.

Distribusi rona pada citra landsat menjumpai bentuk melingkar di dae-

¹ Email: sri_mulyaningsih@yahoo.com
HP: 08156059093

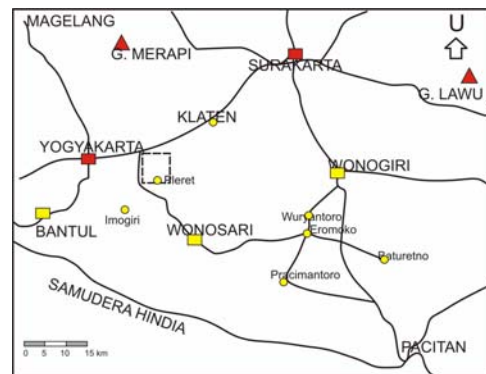
rah Wonolelo, yang selanjutnya diinterpretasi sebagai bekas gunung api. Penelitian di lapangan menjumpai batuan penyusun daerah ini adalah breksi dan lava andesit-basaltik, breksi pumis dan tuf abu-abu gelap, tuf coklat, dan breksi pumis dan tuf putih (sangat terang). Kesemua batuan tersebut adalah batuan asal gunung api. Diduga, intensitas kerusakan gempabumi tanggal 27 Mei 2006 lebih dikontrol oleh paleo-vulkanisme dibanding tektonisme. Aktivitas vulkanisme menyebabkan inflasi dan deflasi, yang menghasilkan sesar-sesar turun dan kekar gerus di sekitar kawah, dengan pola struktur yang dihasilkan adalah radial. Sesar-sesar tersebut lebih mudah terreaktivasi bila terkena gaya dibandingkan dengan daerah tanpa deformasi. Tektonik memang telah berkembang di daerah ini, yaitu pengangkatan pada Plio-Plistosen dan pasca pengangkatan tersebut. Akibatnya, di samping batuan terdeformasi lanjut, juga terbentuk geomorfologi tinggian di bagian selatan dan rendahan di bagian utara.

Makalah ini disusun dari hasil penelitian, yang dilakukan di daerah Wonolelo hingga Watuadeg (Gambar 1). Pemahaman kegunungapian digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis deduksi-induksi, baik dari data pengamatan dan pengukuran di lapangan serta interpretasi data sekunder.

Pada umumnya, adanya batuan beku luar atau aliran lava oleh para ahli geologi sedimenter dipandang sebagai sisipan di antara batuan sedimen atau batuan gunung api. Sumber asal, proses aliran dan petrogenesa lava tersebut kurang mendapatkan perhatian (Bronto dkk., 2004). Berdasarkan pengamatan gunung api masa kini, aliran lava yang berkomposisi menengah (andesit-dasit) sampai asam (riolit), yang relatif kental, umumnya mengalir dan langsung membeku tidak jauh dari sumbernya. Jadi, tanpa dislokasi dalam jarak yang sangat jauh, baik akibat sesar atau longsoran besar; keterdapatannya tersebut adalah pencerminan dari kegiatan gunung api yang terjadi secara lokal.

Volkanisme yang terjadi pada Zaman Tersier, dengan tingkat erosi dan pelapukan yang lanjut, bentuk tubuh

gunung-apinya tentu sudah tidak jelas. Keberadaan gunung api tersebut dicirikan oleh adanya singkapan batuan. Menurut Bronto (2008), batuan gunung api seperti lava andesit, dasit dan riolit dapat diinterpretasi sebagai gunung api purba atau fosil gunung api.



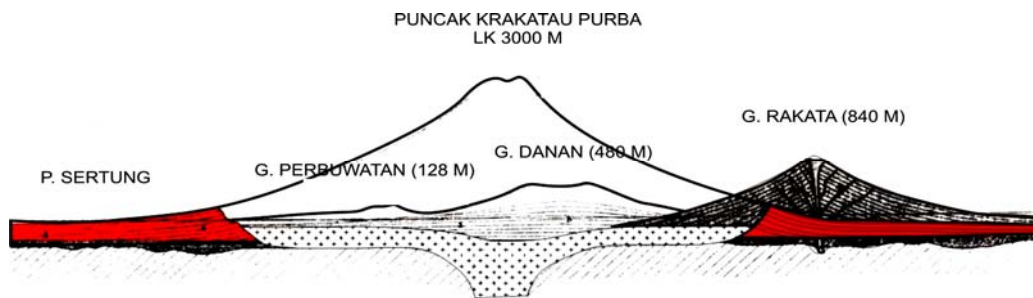
Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (sekala 1:500.000). Lokasi daerah penelitian dalam kotak putus-putus.

Dalam pemahaman kegunungapian, tahap awal vulkanisme yang muncul di dasar laut ditandai dengan aliran lava basalt, yang dapat berstruktur bantal, dan kadang-kadang terdapat sisipan tuf gelas (Bronto, 2006). Selanjutnya, berupa pembangunan kerucut komposit gunung api (tahap konstruksi). Pada tahap ini litologinya tersusun atas perlapisan breksi dan lava andesit.

Ketika gunung api tersebut telah mencapai pertumbuhan maksimal, aktivitasnya akan berhenti dalam waktu yang cukup lama (beberapa ratus tahun), sehingga sering diinterpretasi telah mati. Namun, justru pada periode ini, gunung api tersebut mengumpulkan energi letusan yang lebih besar. Pada tahap berikutnya terjadi erupsi yang bersifat merusak (destruksi), yang membentuk kaldera besar dengan menghancurkan kerucut kompositnya. Kegiatan ini secara khas menghasilkan bahan piroklastika dalam berbagai ukuran dan komponen, dapat berasal dari batuan dinding, batuan hasil pembekuan magma dan batuan aksidental yang ikut terlontarkan saat erupsi. Batuan hasil erupsi tipe ini kaya pumis, berkomposisi andesit silika tinggi, dasit ataupun riolit (Williams dan McBirney, 1979). Siklus tahap pempa-

ngunan dan penghancuran komposit gunung api dapat terjadi secara berulang-ulang. Sebagai contoh adalah letusan eksplosif Gunung Krakatau di Selat Sunda (Gambar 2; van Bemmelen, 1949; Bronto, 1983; dan Sutawidjaja, 2006), Kaldera Tengger di Jawa Timur (Bemmelen, 1949;

Neumann van Padang, 1951; Kusumadinata, 1979), dan Kaldera Batur di Bali (Sutawidjaja, 1990; Sutawidjaja dkk., 1992; Wheller dan Varne, 1986).



Gambar 2. Rekonstruksi aktivitas G. Krakatau; diawali dengan pembangunan kerucut gunung api pada Krakatau Purba, penghancuran Krakatau Purba (LK 9000 tahun lalu), pembangunan G. Rakata (Pre-Kaldera 1883) dan penghancuran kerucut II G. Krakatau pada 1883 dan pembangunan kerucut III membentuk G. Anak Krakatau (Sutawidjaja, 2006)

Penelitian Sebelumnya, pernah dilakukan, antara lain oleh Bothe (1929); van Bemmelen (1949); Rahardjo dkk. (1977; 1995), Surono dkk. (1992) dan Bronto dkk. (2007).

Van Bemmelen (1949) membagi fisiografi Pegunungan Selatan Lajur Jawa Timur bagian barat dalam lima kelompok tinggian, yaitu tinggian Parangtritis-Patuk, Prambanan-Baturagung, Gajahmungkur-Panggung, Gunung Sewu dan dataran Wonosari. Tinggian Parangtritis-Patuk terletak di paling barat lajur, membentuk gugusan pegunungan berarah baratdaya-timurlaut. Daerah penelitian terletak dalam lajur ini. Puncak tertinggi lajur ini adalah Gunung Sudimoro (+507m) di wilayah Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul. Di sebelah utaranya adalah tinggian Baturagung-Prambanan, yang membentang dari Perbukitan Prambanan (Boko) di sebelah barat hingga ke timur di G. Baturagung-Semilir. Sebagian daerah penelitian di bagian utara, berada pada lajur ini. Pegunungan Baturagung di bagian tengah puncak tertinggi berada di G. Baturagung (+831m), yang di sebelah utaranya adalah Perbukitan Jiwo dan Dataran Fluvium G. Merapi, di wilayah Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten. Kelompok lajur ke dua dan ke tiga, yaitu

lajur Gajahmungkur-Panggung terletak di bagian timur sisi utara, sedangkan tinggian Gunung Sewu-Wonosari terletak di bagian selatan, membentang dari Tepus (Wonosari) hingga Pracimantoro.

Sebagian besar peneliti terdahulu menyebutkan bahwa urutan batuan di Pegunungan Selatan Jawa Timur dari tua ke muda adalah batuan metamorf (PraTersier); F. Gamping-Wungkal (Eosen); F. Kebo-Butak (Oligosen); F. Semilir (Miosen Awal-Atas); F. Nglanggeran (Miosen Tengah-Atas); F. Sambipitu (Miosen Tengah-Atas); F. Oyo (Miosen Atas-Pliosen) dan F. Wonosari (Miosen Tengah-Pliosen) (Tabel 1).

Litologi penyusun Formasi Kebo-Butak di bagian bawah berupa batupasir berlapis, batulanau, batulempung, serpih, tuf dan aglomerat, sedang di bagian atas terdiri atas perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan tuf asam. Ketebalan total formasi ini lebih dari 650 m (Surono dkk., 1992). Berdasarkan kandungan fosil foraminifera kecil, umur Formasi Kebo-Butak adalah N2-N5 (Oligosen Akhir-Miosen Awal), dan lingkungan pengendapannya laut terbuka yang terpengaruh arus turbid (Sumarso dan Ismoyowati, 1975).

Tabel 1. Kompilasi data stratigrafi daerah Pegunungan Selatan menurut Bothe (1929), van Bemmelen (1949), Sumarso dan Ismoyowati (1975), Surono (1989), Samodro (1990) dan Suyoto (1992)

		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	Sumarso-Tuti Ismoyowati (1975)	SURONO (1989)	SAMODRO (1990)	SUYOTO (1992)		
Eocene	Pliocene	NN.20 N.23		Young Volcanics and Alluviums		Kalipucung	F. Kepek		
		NN.19 N.22							
	Middle	Late	NN.18						
			NN.16-17 N.21						
		Early	NN.15 N.20						
			NN.14 N.19						
			NN.12 N.18						
			NN.11 N.17						
			NN.10 N.16	Kepek	Wonosari	Wonosari Beds	Kepek	Wonosari	
			NN.9 N.15				Wonosari	Oyo	
NN.8 N.14					Nampol				
NN.7 N.13					Wuni				
Oligocene	Middle	NN.6 N.10	Wonosari	Wonosari Beds	Oyo	Jaten	F. Wonosari		
		NN.5 N.9	Oyo	Sambipitu Beds	Sambipitu				
	Early	NN.4 N.8							
		NN.3 N.6	Sambipitu	Semilir Beds	Semilir	Sambipitu			
		NN.2 N.5	Nglanggran	Kebo-Butak Beds	Kebo Butak	Nglanggran			
		NN.1 N.4	Semilir						
		NP.25 P.22	Kebo Butak						
		NP.24 P.21							
		NP. P.20							
		NP.22-23 P.19							
NP.21 P.18									
Eocene	Middle-Late	NP. P.18 P.17	Gamping Wungkal	Gamping Beds	Gamping Wungkal				
		NP.18-20 P.15		Wungkal Beds					
	NP.17 P.14								
	NP.16 P.13								

Batuan penyusun Formasi Semilir adalah tuf, tuf lapili, batulapili dan breksi pumis warna putih terang. Sebaran lateral Formasi Semilir ini sangat luas dan memanjang dari ujung barat Pegunungan Selatan, yaitu dari Pleret-Imogiri Kab. Bantul, Pegunungan Baturagung, dan ke arah timur hingga Gunung Pangung dan Gajahmungkur di Kab. Wonogiri (Surono, dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; dan Suyoto, 2007). Komposisi tuf dan pumis Formasi Semilir bervariasi dari andesit hingga dasit, dengan total ketebalan lebih dari 460 m (Surono dkk., 1992). Formasi Semilir menindih secara selaras di atas Formasi Kebo-Butak (Rahardjo dkk., 1995), namun secara lokal tidak selaras (van Bemmelen, 1949), dan menjari dengan Formasi Nglanggeran dan Sambipitu (Surono dkk., 1992). Pada umumnya Formasi Semilir tidak bersifat kar-bonatan dan miskin fosil. Berdasarkan penemuan fosil foraminifera kecil, Sumarso dan Ismoyowati (1975) menentukan umur Formasi Semilir adalah awal Miosen Ba-

wah sampai awal Miosen Tengah (N5-N9), dengan lingkungan pengendapan laut dangkal di bagian bawah-tengah dan laut dalam di bagian atas. Dengan melimpahnya tuf dan batuapung, secara vulkanologi Formasi Semilir dihasilkan oleh letusan gunung api yang sangat besar dan merusak, biasanya berasosiasi dengan pembentukan kaldera (Cas dan Wright, 1987).

Di atas Formasi Semilir adalah Formasi Nglanggeran. Batuan penyusun Formasi Nglanggeran adalah breksi, aglomerat dan lava andesit basalt-andesit, masif. Seperti halnya Formasi Semilir, Formasi Nglanggeran juga tersebar luas dan memanjang dari Parangtritis di sebelah barat hingga tinggian G. Pangung di sebelah timur (Surono, dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; dan Suyoto, 2007). Ketebalan formasi ini di dekat Kecamatan Nglipar 530m (Surono dkk., 1992 dan Rahardjo dkk., 1995). Secara stratigrafi, Formasi Nglanggeran menjemari dengan Formasi Semilir dan Sam-

bipitu (Rahardjo dkk., 1995). Meskipun jarang, di beberapa tempat sering dijumpai fragmen koral dalam breksi. Secara lokal dan tidak menerus, breksi ini disisipi oleh tuf kasar dan tuf halus yang berlapis baik dan lava. Di beberapa lokasi yang lain terdapat perlapisan lava, breksi gunung api, lapili tuf dan tuf, serta batuan beku intrusi dangkal berupa sill dan retas andesit, seperti di K. Ngalang. Umumnya, Formasi Nglanggeran juga miskin fosil. Penemuan fosil foraminifera pada sisipan batupasir dan batulempung memberikan petunjuk bahwa Formasi Nglanggeran ini berumur N5-N9 atau Miosen Awal sampai Miosen Tengah bagian bawah (Surono dkk., 1992). Analisis umur dengan metoda K/Ar terhadap batuan beku di Parangtritis memberikan umur $26,55 \pm 1,07$ jt (retas) dan $26,40 \pm 0,83$ jt (retas) atau Oligosen Akhir (Soeria-Atmadja dkk., 1994). Semetara itu Hartono (2000) melakukan analisis K/Ar terhadap lava di Kali Ngalang dan memperoleh umur $58,58 \pm 3,24$ jt atau Paleosen Akhir. Dengan banyaknya fragmen andesit dan lava berlabang yang teroksidasi kuat berwarna merah bata, Bronto dkk. (1999), menentukan lingkungan asal batuan gunungapi tersebut adalah darat-laut dangkal. Sementara itu, dengan ditemukannya fragmen koral insitu dalam breksi, menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan Formasi Nglanggeran adalah laut dangkal. Banyaknya fragmen bom dan blok gunung api dalam breksi yang berselingan dengan lava dan diterobos oleh batuan beku andesit, menandakan bahwa batuan tersebut merupakan hasil dari kegiatan vulkanisme tahap konstruksi tipe komposit; pasca kaldera letusan yang membentuk Formasi Semilir (Bronto dkk., 2008). Menurut Bronto dkk. (1999), daerah Kali Ngalang merupakan bagian dari tubuh gunungapi purba; namun sebelumnya Bronto dkk. (1998) beranggapan bahwa material tersebut adalah longSORan batuan gunung api Tersier Baturagung.

Di atas Formasi Nglanggeran adalah Formasi Sambipitu. Sebaran lateral Formasi Sambipitu sejajar di sebelah selatan Formasi Nglanggeran, di kaki selatan Gunung Baturagung, yang menyempit dan kemudian menghilang di sebelah timur. Ketebalan Formasi Sam-

bipitu mencapai 230 m di utara Nglipar dan menipis ke timur (Surono dkk., 1992). Litologi penyusunnya di bagian bawah adalah batupasir kasar yang makin ke atas berangsur menjadi batupasir halus berselingan dengan serpih, lanau dan batulempung; sedangkan di bagian bawah tidak bersifat karbonatan. Formasi Sambipitu berkedudukan menjari dan selaras di atas Formasi Nglanggeran. Hubungan langsung secara berangsur dari Formasi Nglanggeran ke Formasi Sambipitu sangat baik tersingkap di Kali Putat dan Kali Ngalang. Selain itu urutan stratigrafi Formasi Sambipitu juga sangat baik teramati di sepanjang Kali Widodo. Pada posisi transisi tersebut, breksi gunungapi dan batulapili makin menghilang, sebaliknya batupasir gunungapi atau tuf semakin dominan dan ukuran butirnya semakin menghalus. Secara lokal dalam Formasi Sambipitu terdapat lensa-lensa breksi andesit, batulempung dan fragmen karbon. Struktur sedimen berupa perlapisan sangat baik dengan tebal bervariasi dari 5-30 cm. Struktur sedimen perlapisan bersusun, ukuran butir lempung sampai pasir, diendapkan dalam arus laminar dan gelembur gelombang dengan fosil jejak ditemukan di bagian atas. Dari kandungan fosil foraminifera kecil, Formasi Sambipitu berumur Miosen Bawah sampai awal Miosen Tengah (N7-N9); dan dari fosil bentuk diketahui adanya percampuran antara endapan laut dangkal dan laut dalam. Sisipan batupasir tuf dan bahan karbonatan dalam Formasi Sambipitu, menunjukkan telah terjadi fase penurunan kegiatan gunung api pada periode ini.

Struktur geologi di Pegunungan Selatan berupa lipatan dan sesar. Lipatan terdiri atas antiklin dan sinklin dengan arah umum timurlaut-baratdaya dan beberapa baratlaut-tenggara, dan berasosiasi dengan sesar naik, sebagaimana yang tersingkap di daerah Ngelosari (Piyungan). Sayap lipatan bersudut kecil ($3-15^\circ$), umumnya berbentuk agak setangkup. Sesar pada umumnya berupa sesar turun dengan arah utama timurlaut-baratdaya dan baratlaut-tenggara: Sesar Opak yang memotong G. Gajhukungur.

PEMBAHASAN

Pengumpulan data Interpretasi citra satelit menjumpai adanya bentukan me-lingkar tinggian yang tersusun atas ba-tuan gunung api. Tinggian tersebut keli-hatan terpisah dari tinggian Sudimoro yang berada di sebelah timurnya. Pengamatan fisiografi di lapangan menjumpai bahwa daerah penelitian tersusun atas bukit-bukit yang agak terpisah satu sama lain. Litologi indikasi gunung api ditunjukkan oleh ada-nya singkapan lava basalt berstruktur bantal, lava dan intrusi andesit yang berasosiasi dengan breksi auto-klastik dan breksi andesit kaya bom dan blok, aglomerat, breksi koignimbrit yang berasosiasi dengan breksi pumis dan tuf pumis. Secara genetis, batuan-batuan tersebut dihasilkan dari aktivitas gunung api.

Perselingan lava basalt berstruktur bantal, lava andesit basaltik, dan breksi andesit-basalt tersingkap di Parang-tritis, Candisari (Prambanan), Wonolelo, Bawuran, Sudimoro, Cegokan-Terong dan Piyungan. Batuan gunung api beru-

pa breksi pumis, tuf pumis dan breksi koignimbrit tersingkap di Ngelosari, Pager-gunung, Nyamplung dan Senthong. Di Bawuran, tersingkap kontak antara breksi pumis abu-abu gelap dengan breksi andesit. Di Dusun Nyamplung-Senthong berbatasan langsung dengan breksi an-desit-basaltis dan menumpang langsung di atas perselingan batupasir coklat dan basalt. Di daerah Plencing-Dengkeng di atas tuf pumis tersebut berupa batupasir coklat. Kebanyakan lava dan intrusi andesit-basalt berasosiasi dengan batuan asal gunung api, yaitu breksi vulkanik, aglomerat dan batuan teralterasi.

Singkapan perlapisan breksi dan lava andesit dengan sisipan tuf dijumpai di Dn. Bojong, Desa Wonolelo, Kec. Ple-ret, Kab. Bantul, pada koordinat $7^{\circ} 52' 58,0''$ LS dan $110^{\circ} 25' 58,4''$ BT. Secara stratigrafi kelompok batuan ini ditum-pangi oleh tuf dan batulapili Formasi Semilir (Gambar 3).

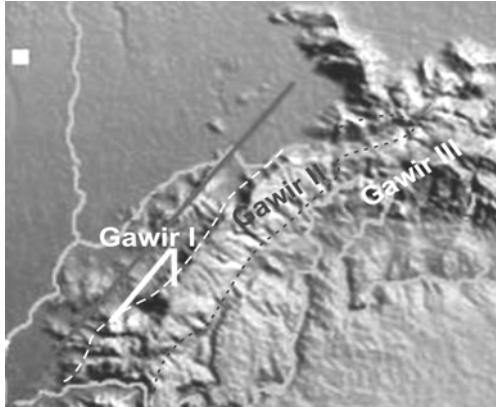


Gambar 3. Posisi batuan gunung api Wonolelo terhadap batuan gunung api Formasi Semilir dan Nglanggeran diamati dari arah baratdaya (di Dn. Bojong)

Didasarkan atas ciri fisiknya, ada dua jenis breksi pumis dan tuf; yaitu yang berwarna abu-abu gelap dengan berat jenis $2,3\text{gr/cm}^3$ dan breksi pumis yang berwarna putih dengan berat jenis $1,8\text{gr/cm}^3$. Secara stratigrafi, breksi pumis tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tiga satuan. Singkapan breksi pumis tua yang paling ideal dijumpai di Sindet-Plencing-Srumbung atau terletak di ba-

gian barat daerah penelitian; selanjutnya disebut sebagai breksi pumis Sindet. Kelompok kedua tersingkap di daerah Ngelosari, Senthong, Watuadeg, dan G. Bangkel; yang selanjutnya disebut breksi pumis Senthong-Ngelosari. Breksi pumis yang paling atas (muda) dijumpai di daerah Cegokan, Terong, Oro-oro dan Semilir; dan disebut breksi pumis Semilir. Secara geomorfologi, breksi pumis

Sindet tersebar di bawah gawir I, breksi pumis Senthong-Ngelosari di bawah gawir II dan breksi pumis Semilir di bawah gawir III (Gambar 4).



Gambar 4. Posisi batuan gunung api breksi pumis I di gawir I; breksi pumis II di gawir II dan breksi pumis III di gawir III

Breksi pumis Sindet dicirikan oleh warna abu-abu gelap, lebih kompak dan lebih berat dari breksi pumis Semilir, kaya litik dan gelas basalt. Di beberapa tempat, breksi pumis ini berasosiasi dengan breksi koignimbrit, seperti di Dn. Plencing, Dahromo dan Tlukan. Breksi koignimbrit dicirikan oleh struktur masif, kemas terbuka, komposisi fragmen terdiri atas bom dan blok andesit berdiameter beberapa cm hingga beberapa meter, serta pumis yang tertanam dalam matriks tuf. Breksi koignimbrit juga berasosiasi dengan intrusi andesit di G. Guwo. Dari hasil analisis fosil foraminifera kecil, Husadani (in press.) dan Irawan (in press.) menentukan umur batupasir coklat yang menumpang di atas breksi pumis N 5-9 (Miosen Awal). Jadi, umur breksi pumis adalah sebelum N 5-9.

Breksi pumis Sindet secara stratigrafi berada di bawah perlapisan breksi andesit-basaltis dan lava andesit piroksen. Secara detail disusun atas breksi koignimbrit, yang berhubungan menjeri dengan breksi pumis di daerah Jetis-Sindet; sedangkan breksi pumis sendiri pada sisi yang lain berhubungan menjeri dengan perselingan breksi pumis dan tuf di Tlukan dan Srumbung (Gambar 5).

Di atas breksi pumis Sindet adalah perselingan breksi andesit dan lava andesit. Singkapan yang paling ideal di-

jumpai di daerah Bojong-Wonolelo, yang selanjutnya disebut sebagai breksi andesit Wonolelo (Gambar 6). Di dalam satuan batuan ini juga terdapat intrusi dangkal andesit yang tersingkap di Dn. Dengkeng-Pucung. Batuan beku ini juga berasosiasi dengan breksi autoklastik dan breksi andesit, dengan komposisi mine-ralogi yang sama dengan breksi andesit yang tersingkap di Wonolelo.



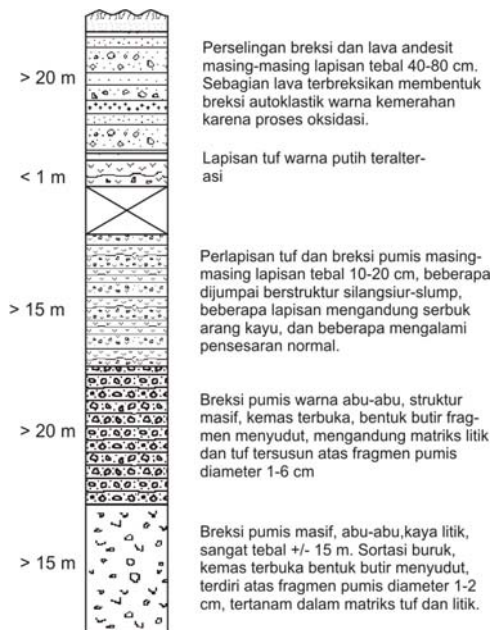
Gambar 5. Singkapan breksi pumis Sindet dengan warna abu-abu gelap, mengandung fragmen lempung warna coklat di Kedungpring



Gambar 6. Singkapan breksi andesit di Dn. Wonolelo

Hubungan breksi pumis Sindet dan breksi andesit Wonolelo di beberapa tempat gradasi dan di beberapa tempat yang lain tidak selaras. Hubungan gradasional tersingkap di Dengkeng dan Srumbung, ditunjukkan oleh singkapan berangsur perselingan breksi pumis dan tuf abu-abu dengan batupasir coklat (Gambar 7). Hubungan tidak selaras ditunjukkan oleh adanya singkapan perselingan lava dan breksi andesit, secara langsung di atas Sindet dengan dibatasi

bidang erosi, tersingkap di Sindet barat dan Plencing. Pada perselingan breksi dan lava andesit, juga dijumpai warna kemerahan akibat oksidasi yang mencirikan lingkungan pengendapannya laut dangkal.



Gambar 7. Komposisi stratigrafi satuan breksi pumis Sindet dan breksi andesit Wonolelo.

Di bagian utara daerah penelitian, yaitu di G. Kelir, Pilang dan Nyamplung, breksi andesit Wonolelo mengalami perubahan komposisi menjadi lebih basaltik, menghasilkan perselingan basalt dengan tuf coklat dan breksi dengan fragmen basalt. Lava basalt berstruktur bantal juga tersingkap di Sungai Opak, Sumber Kidul-Watuadeg (Gambar 8). Di daerah ini, basalt langsung ditumpangi oleh perlapisan tuf dan breksi pumis warna abu-abu. Makin ke selatan, singkapan breksi pumis abu-abu ini makin menebal dengan fragmen pumis yang juga makin besar. Singkapan paling ideal dijumpai di G. Bangkel dan G. Curu, 1-2km ke selatan dari Watuadeg.

Di atas perselingan lava dan breksi andesit Wonolelo adalah breksi pumis dan tuf warna abu-abu (Gambar 9), yang disebut breksi pumis Senthong-Ngelosari. Secara fisik, breksi pumis ini memiliki ciri yang hampir sama dengan breksi pumis Sindet, hanya saja lebih miskin fragmen arang. Tebal satuan ini

lebih dari 100m, tersingkap di Senthong, Ngelosari, Kali-gathuk, Watuadeg, dan perbukitan kecil di G. Bangkel dan sekitarnya hingga gawir kedua bagian barat Pegunungan Selatan. Hubungan breksi pumis dan lava basalt adalah tidak selaras. Di Sumber Kidul, kontak breksi pumis dan lava basalt berupa breksi alas, yang dicirikan oleh mengandung fragmen basalt dan pumis yang mengambang dalam matriks tuf. Tebal keseluruhan satuan ini mencapai 200 m. Secara umum terdiri atas breksi pumis masif, perselingan breksi pumis dan tuf abu-abu gelap.



Gambar 8. Singkapan basalt berstruktur bantal di Sungai Opak Dn. Sumber Kidul



Gambar 9. Singkapan breksi pumis Senthong-Ngelosari yang tersingkap di G. Bangkel

Di atas breksi pumis Senthong-Ngelosari berupa perlapisan batupasir coklat, breksi dan lava basalt (Gambar 10). Batupasir coklat dicirikan oleh warna coklat, berlapis sampai masif, pada

bagian atas berselingan dengan tuf warna putih Semilir. Secara berangsur makin ke atas makin menghilang dan berubah menjadi tuf pumis warna putih (Gambar 11). Di bagian selatan, satuan ini dijumpai di daerah Kaligathuk hingga Cegokan, sedangkan di bagian utara tersingkap di Senthong- Nyamplung.

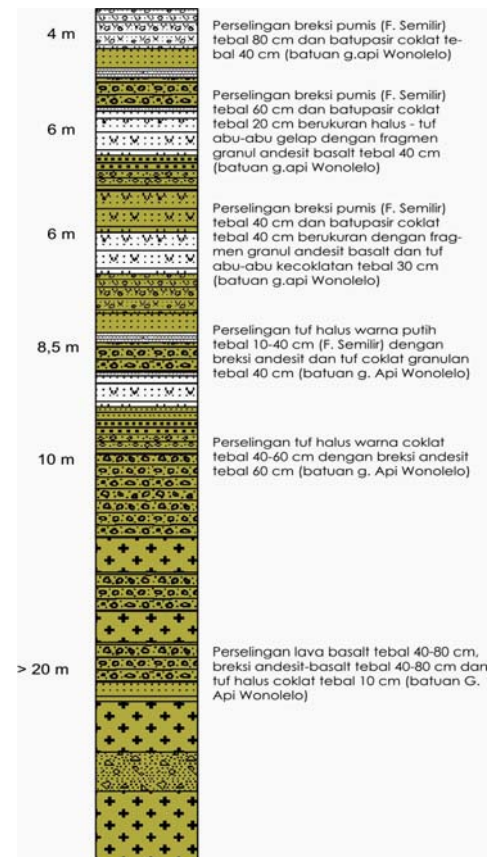


Gambar 10. Singkapan perselingan basalt dan batupasir warna coklat di Dn. Senthong

Secara berangsur, di atas batupasir warna coklat adalah tuf dan breksi pumis putih yang disebut sebagai breksi pumis Semilir. Bersama-sama dengan breksi pumis Semilir, peneliti terdahulu (Surono dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995; Suyoto, 2007) memasukkan breksi pumis Sindet dan breksi pumis Senthong-Ngelosari ke dalam Formasi Semilir. Sementara itu ketiganya secara stratigrafi dan secara fisik di lapangan berbeda. Di lain sisi, peneliti-peneliti terdahulu juga menentukan hubungan Formasi Semilir dengan breksi andesit Formasi Nglanggeran menjari. Hal itu di-landasi oleh kenampakan perselingan antara breksi pumis dan breksi andesit di lapangan.

Di lapangan, breksi pumis Semilir dicirikan oleh warna putih sangat terang, berlapis sejajar-silangsiur (Gambar 12), warna lapuk kekuningan, lebih ringan ($B_j 1,8\text{gr/cm}^3$), lebih cerah dan lebih rapuh dari breksi pumis Sindet dan breksi pumis Senthong-Ngelosari. Di dalam satuan batuan ini juga dijumpai fragmen arang kayu berdiameter 10-20cm yang memipih akibat pembebanan. Secara nyata, breksi pumis Semilir menumpang di atas breksi andesit Wonolelo dan batupasir coklat Cegokan. Tapi, pada periode lain, satuan ini juga menumpang secara selaras di atas batupasir coklat

dan basalt Formasi Kebo-Butak di Terong. Di daerah penelitian, tebal satuan ini mencapai sekitar 150m.



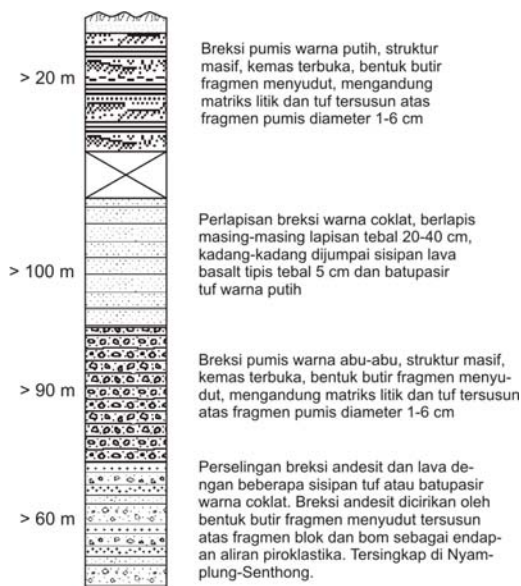
Gambar 11. Stratigrafi batuan gunung api di Cegokan-Terong



Gambar 12. Singkapan tuf-pumis Semilir di Terong-Cegokan

Sintesis dan Analisis aktivitas gunung api dapat terjadi secara eksplosif yang bersifat merusak menghasilkan abu dan pumis; dan bersifat membangun dengan perselingan lava dan

breksi andesit-basaltik. Pertumbuhan awal gunung api biasanya dicirikan oleh aliran lava basalt, yang berkembang menjadi andesitis, hingga lebih bersifat asam dan kental, menghasilkan letusan bertekanan tinggi dan bersifat merusak. Dari uraian di atas dapat dijelaskan bahwa urutan stratigrafi di daerah penelitian dari tua ke muda dapat dilihat dalam Gambar 13.



Gambar 13. Kompilasi stratigrafi batuan gunung api daerah penelitian

Dari tua ke muda, litologi di daerah telitian tersusun atas: (1) breksi pumis Sindet (abu-abu gelap) bersifat andesitis, (2) breksi dan lava basalt dan andesit Pilang-Nyamplung dan Watu-adeq, (3) breksi dan tuf pumis Senthong-Ngelosari (abu-abu kaya litik), (4) perselingan breksi dan lava andesit Wonolelo yang menjari dengan batupasir coklat Cegokan dan perselingan batupasir coklat dan basalt Formasi Kebo-Butak, (5) tuf dan breksi pumis Semilir (putih) dan (6) breksi andesit Nglanggeran. Dari komposisi litologinya tersebut dapat diinterpretasi telah berlangsung tiga kali fasa letusan eksplosif yang bersifat destruksi dan tiga periode konstruksi komposit gunung api.

Sebelum letusan eksplosif Sindet, secara vulkanologi seharusnya diawali dengan fasa konstruksi pertama, yang menghasilkan perselingan breksi dan lava andesit-basalt. Batuan itu posisi stratigrafinya berada di bawah pumis Sindet.

Pemetaan bawah permukaan diperlukan untuk mengetahui bagian dasar Sindet.

Pasca letusan kaldera Sindet, terjadi pertumbuhan kerucut gunung api menghasilkan komposit Watuadeg dan Pilang-Nyamplung yang bersifat basaltis dan Dengkeng yang bersifat andesitis. Dalam konsep vulkanologi, suatu evolusi gunung api selalu diawali dengan magma yang lebih basaltik, yang kemudian dari waktu ke waktu terdifferensiasi menjadi lebih asam. Ada dua kemungkinan berkaitan dengan pertumbuhan komposit gunung api pada periode ini. Kemungkinan pertama; ketiga daerah merupakan satu tubuh gunung api yang sama. Dari waktu ke waktu, kawah gunung api bergeser dari utara ke selatan; diawali di Watuadeg. Lalu kawah gunung api tersebut bergeser ke Pilang-Nyamplung dan Banyakan-G. Kelir dan terakhir di Sudimoro-Dengkeng. Yang kedua, pada masa itu, terdapat tiga zona aktivitas gunung api, yang satu sama lain tidak saling berhubungan. Di bagian selatan terdapat gunung api Dengkeng-Sudimoro dan di bagian utara terdapat gunung api Watuadeg. Gunung api Watuadeg berkembang menjadi lebih besar dan meletus eksplosif menghasilkan breksi pumis Senthong-Pilang, serta membentuk morfologi sirkular di sebelah utara gawir kedua (tengah; Gambar 4), dan di bagian selatan tidak berkembang.

Data lapangan dijumpai selang-seling lava dan breksi andesit Wonolelo yang ditumpangi oleh breksi pumis Semilir di bagian selatan, dan di bagian utara menjari dengan batupasir coklat yang menumpang breksi pumis abu-abu Senthong dan ditumpangi oleh breksi pumis Semilir. Jadi, setelah aktivitas eksplosif kedua, berlangsung aktivitas konstruksi kerucut Wonolelo dengan aktivitas epiklastika tuf coklat di bagian utara (Cegokan). Sedangkan di bagian timur berkembang batuan Formasi Kebo-Butak. Pada puncak aktivitasnya, berlangsung letusan eksplosif ketiga menghasilkan breksi pumis putih Semilir dan pembangunan kerucut gunung api ketiga menghasilkan aglomerat, breksi dan lava andesit Formasi Nglanggeran.

Lava basalt berstruktur bantal terbentuk di lingkungan laut dalam, se-

dangkan breksi autoklastik terbentuk di dalam lingkungan perairan. Ada dua kemungkinan proses oksidasi dalam batuan beku dan batuan gunung api, yaitu oleh proses pelapukan dan akibat pembekuan. Oksidasi selama proses pembekuan dalam udara bebas menghasilkan warna kemerahan pada permukaan batuan dan batuan masih keras, tetapi oksidasi akibat pelapukan menghasilkan batuan lapuk dan rapuh. Jadi, lava dan breksi andesit Wonolelo, terbentuk pada perairan laut dangkal.

Ada dua kemungkinan berkaitan dengan lingkungan geologi selama aktivitas gunung api di daerah penelitian. Kemungkinan pertama: aktivitas gunung api berlangsung dengan pusat erupsi lebih dari satu secara bersamaan. Kemungkinan kedua, pusat erupsi lebih dari satu dengan waktu erupsi secara berkesinambungan. Kemungkinan kedua lebih masuk akal, karena terdapat perubahan lingkungan pengendapan yang signifikan antara Watuadeg (laut dalam), Dengkeng-Sudimoro dan Wonolelo (laut dangkal) dan Cegokan-Semilir (darat). Untuk wilayah yang sempit tersebut, jika tanpa adanya perubahan muka airlaut secara signifikan maka tidak akan membentuk perubahan lingkungan pengendapan yang signifikan. Pembentukan keenam satuan batuan gunung api tersebut, memerlukan waktu yang sangat panjang; tidak hanya selama Miosen Bawah hingga Tengah, namun lebih panjang lagi.

Didasarkan atas kondisi fisiografi /geomorfologinya; tiga gawir yang dari bawah tersusun oleh breksi pumis Sindet pada gawir I, breksi pumis Senthong pada gawir II dan breksi pumis Semilir pada gawir III, mengindikasikan adanya proses penghancuran akibat aktivitas eksplosif gunung api. Geomorfologi bagian utara dan barat, yang kini berada lebih rendah adalah bagian yang hancur, sementara dinding gawir membatasi dinding kaldera. Deformasi yang dihasilkannya cukup signifikan, mengingat kegiatannya berlangsung secara berulang-ulang. Kegiatan gunung api yang berulang-ulang antara pembangunan dan penghancuran juga memberikan kontribusi terhadap meningkatnya alterasi, menghasilkan material rapuh yang mudah terdeformasi.

Gempabumi dengan kekuatan 6 SR atau lebih, yang diduga berlangsung secara berulang-ulang, yaitu pada waktu pengangkatan Plio-Pleistosen pasca aktivitas gunung api, serta gempabumi-gempabumi yang lain yang berlangsung secara periodik setelahnya, juga cukup menambah wilayah ini makin rapuh, sehingga tingkat kerusakan yang ditimbulkannya semakin besar.

KESIMPULAN

Aktivitas gunung api telah mempengaruhi tingkat kerusakan yang diakibatkan gempabumi di daerah Wonolelo-Watuadeg. Tiga fasa aktivitas gunung api dengan adanya inflasi dan deflasi, cukup berakibat pada lebih mudahnya reaktifasi sesar saat gempabumi berlangsung. Batuan yang telah rapuh tersebut, jauh lebih mudah terreaktivasi oleh kegiatan tektonik yang berulang pada kegiatan gempabumi. Sesar Opak, yang selama ini disebut-sebut sebagai sesar utama Yogyakarta, mungkin bukan lagi sesar yang paling mudah terreaktivasi lagi, sehingga perlu peninjauan kembali mengenai tingkat deformasinya. Daerah yang paling rawan deformasi berada di sebelah timur dan tenggara, yaitu pada ketiga gawir Sindet, gawir Senthong dan gawir Semilir.

DAFTAR PUSTAKA

- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, Martinus Nijhoff, the Hague, 732 p.
- Bothe, A. Ch. D., 1929, *Djiwo Hills and Southern Ranges, Excursion Guide, IVth Pacific Sci.Cong.*, Bandung, 23 p.
- Bronto, S., 1983, *The Nature of the Krakatau Ash Flow Deposits, Symp. 100th Krakatau 1883-1983*, Jakarta, 23-27 August, 1983.
- Bronto, S., Hartono, G., dan Astuti, B., 2004, Hubungan genesis antara batuan beku intrusi dan batuan beku eks-trusi di Perbukitan Jiwo, Kec. Bayat, Klaten Jawa Tengah, *Majalah Geologi Indonesia*, v. 19, no. 3, Des. 2004, 147-163.

- Bronto, S., 2006, Fasies gunung api dan aplikasinya, *Jurnal Geologi Indonesia*, v.2, n. 1, 59-71.
- Bronto, S., Astuti, B., Hartono, G., dan Mulyaningsih, S., 2008, Formasi Wonolelo: usulan nama satuan litostratigrafi baru batuan gunung api Tersier di Daerah Bantul, Yogyakarta, *Proseding Seminar Nasional "Tantangan dan Strategi Pendidikan Geologi dalam Pembangunan Nasional" 15 Feb. 2008 – Jur. T. Geologi FT UGM Yogyakarta*.
- Cas, R.A.F. dan J.V. Wright, 1987, *Volcanic Successions. Modern and Ancient*, Allen & Unwin, London, 528.
- Hamilton, W., 1979, *Tectonics of The Indonesian Region*, Geological Survey Professional paper 1078, in corporation with the Geological Survey of Indonesia, The Australia Bureau of Mineral Resources, 345.
- Kusumadinata, K., 1979, *Data Dasar Gunungapi Indonesia*, Direktorat Vulkanologi, Bandung, 820.
- Samodra, H. dan Sutisna, 1997, Peta geologi lembar Klaten, Jawa Tengah, skala 1 : 50.000, *Puslitbang Geologi*, Bandung.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C. Bellon, H., Pringgoprawiro, H., dan Priadi, B., 1994, Tertiary magmatic belts in Java, *Journ. SE Asian Earth Sci.*, 9.
- Sutawidjaja, I.S., 2006, Proses terjadinya Gunung api Krakatau dan rencana mitigasinya, PVMBG, Bandung, 11 h, laporan tidak dipublikasikan.
- Suyoto, 2007, Status Cekungan Wonosari dalam kerangka tektonik Indonesia Barat, abstrak, *Seminar dan Workshop "Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah"*, Yogyakarta, 27-29 Nov. 2007.
- Wheller G E, Varne R, 1986. Genesis of Dacitic Magmatism at Batur Volcano, Bali, Indonesia: Implications for The Origins of Stratovolcano Calderas. *J Volc Geotherm Res*, 28: 363-378
- Williams, H. and McBirney, A.R., 1979, *Volcanology*, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 398.

SISTEM KUNCI ELEKTRONIS DENGAN PEREKAM WAKTU AKSES BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51

Subandi¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri IST AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 15 Juni 2008 , revisi masuk: 17 Desember 2008, diterima: 20 Januari 2009

ABSTRACT

The technology development nowadays, especially electronic technology has been reaching great strides. Every technology in almost any sector needs electronic device. As a door lock, now, can used electronic technology as its controller system. To make electronic key system has few steps. First, make planning to design electronic and mechanic system of the door lock. Second, design the hardware and drill PCB followed by assembly the electronic component. Third, design software by using algorithm from system. Fourth, flash the assembler program into the IC AT89C51 and set it to hardware, next test the completed system. Microcontroller system on that application connected to another interface like as ADC, DAC, LCD etc. The finishing from the system is checked. The result, this system can be applied to door lock system with time recording access. It uses Real Time Clock (RTC), Line Port Terminal (LPT), IC AT89C51 and hand phone Siemens M35i as the interface system.

Keywords: PCB, IC AT89C51, Real Time Clock, Line Port Terminal.

INTISARI

Perkembangan teknologi sekarang, khususnya teknologi elektronik mengalami peningkatan yang sangat pesat. Setiap teknologi di bidang apapun hampir seluruhnya membutuhkan peralatan elektronik. Seperti kunci pintu sekarang bisa menggunakan teknologi elektronik sebagai pengontrol sistemnya. Untuk membuat sistem kunci elektronik terdapat beberapa tahapan. Pertama, membuat rencana desain sistem elektronis dan mekanis kunci pintu. Kedua, desain perangkat-keras dan melakukan pengeboran PCB, diteruskan memasang komponen elektronik. Ketiga desain perangkat-lunak program dengan menggunakan algoritma sistem. Keempat, isikan program perancangan ke dalam IC AT89C51 dan letakkan ke perangkat keras, selanjutnya coba sistem lengkapnya. Sistem mikrokontroler pada aplikasinya terhubung ke antar muka lain seperti ADC, DAC, LCD, keypad, dan lain-lain. Sistem akhir dicek. Hasilnya, sistem dapat diaplikasikan untuk sistem kunci pintu dengan perekam waktu akses. Sistem ini menggunakan RTC, LPT, IC AT89C51 dan telpon genggam Siemens M35i sebagai sistem antarmukanya.

Kata kunci: PCB, IC AT89C51, Real Time Clock, Line Port Terminal

PENDAHULUAN

Sejalan dengan pesatnya pembangunan dan perkembangan teknologi sekarang khususnya teknologi elektronik telah mencapai kemajuan yang sangat pesat, berbagai teknologi dalam bidang apapun hampir semua memerlukan peralatan-peralatan elektronik. Masalah keamanan merupakan masalah yang sangat riskan, karena berhubungan dengan privasi dan *safety*. Tanpa adanya sistem pengamanan yang memadai privasi dan *safety* akan suatu kegiatan akan menjadi

gangguan. Seperti bila suatu individu maupun instansi ingin menjaga keamanan di dalam rumah, kantor, ruang pribadi atau laboratorium agar tidak bisa diakses oleh pengguna yang tidak mempunyai akses keamanan. Kadang kita menyimpan suatu dokumen atau barang berharga di ruang pribadi yang hanya kita atau orang yang kita beri kepercayaan yang mempunyai akses membuka ruangan itu, maka kita membutuhkan sistem keamanan yang handal, dinamis dan sesuai ke-

butuhan untuk mengamankan ruangan (Malvino, Leach, 1994).

Dalam kehidupan sehari-hari peralatan-peralatan elektronik sangat membantu. Seperti halnya peralatan-peralatan pengaman pada rumah dan perkantoran yang mengaplikasikan komponen-komponen elektronika yang dapat membantu mengkodekan sistem pengamanan kunci elektronik. Di mana sistem akan mengidentifikasi kode dari *misscall list* bentuk data serial. Data serial tersebut akan dibaca oleh mikrokontroler dan diartikan fungsinya sebagai sinyal kendali pengalamanan ke mikrokontroler (Malik, Aristradi., 1997).

Berdasarkan alasan yang telah dikemukakan, maka perlu rancang bangun suatu sistem pengaman elektronik yang terintegrasi dengan teknologi mikrokontroler sebagai pengendali atau otak dari sistem, dan menggunakan kartu sebagai akses pengganti kunci manual guna dapat mengatasi kekurangan-kekurangan yang ada pada sistem kunci biasa, dalam mengamankan ruangan atau bangunan. Masalah dalam perancangan alat adalah:

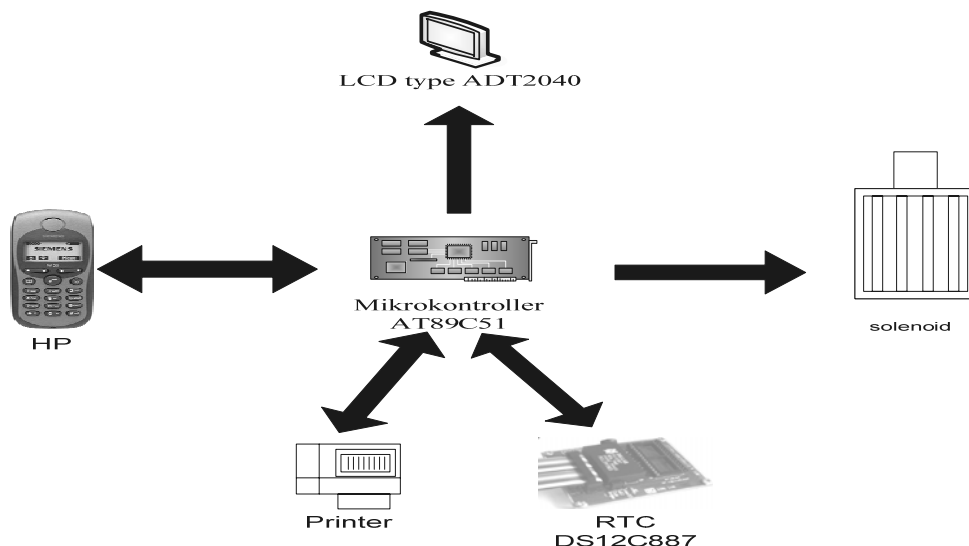
- Bagaimanakah inialisasi kode logika "high" dan "low" didalam lingkup peng-

kodean kunci elektronik dapat dibaca oleh mikrokontroler AT89C51, antar muka printer, LCD dan RTC

- Bagaimanakah proses identifikasi kode kunci elektronik dan visual-nya.
- Bagaimana pencatatan data *user* membuka dan menutup pintu dilengkapi sistem pencatat waktu
- Bagaimana sistem RTC digunakan sebagai sistem penghitungan waktu.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari alat yang direncanakan serta analisisnya, penulis menggunakan pendekatan baik itu melalui literatur maupun analisis rangkaian alat secara langsung. Intinya mewujudkan suatu penulisan yang konseptual sehingga mudah untuk dipahami dan dimengerti. Perancangan alat berdasar referensi tabloid bulanan Caltron Mikrokontroler 12 Desember, 2003 yang diterbitkan oleh CALTRON INDONESIA.

AT89C51 merupakan IC mikrokontroler 8 bit, jenis CMOS dengan kapasitas 4Kbyte *flash PEROM (Programmable and Erasable Read Only memory)* yang dapat diprogram secara *In-System Programming (ISP)* serta kompatibel dengan MSC51. (*Data sheet AT89C51*, <http://www.atmel.com>).



Gambar 1. Deskripsi perancangan sistem

Sistem mikrokontroler pada aplikasinya seringkali tidak berdiri sendiri, melainkan dapat terhubung ke antar muka lain seperti ADC, DAC, LCD, keypad

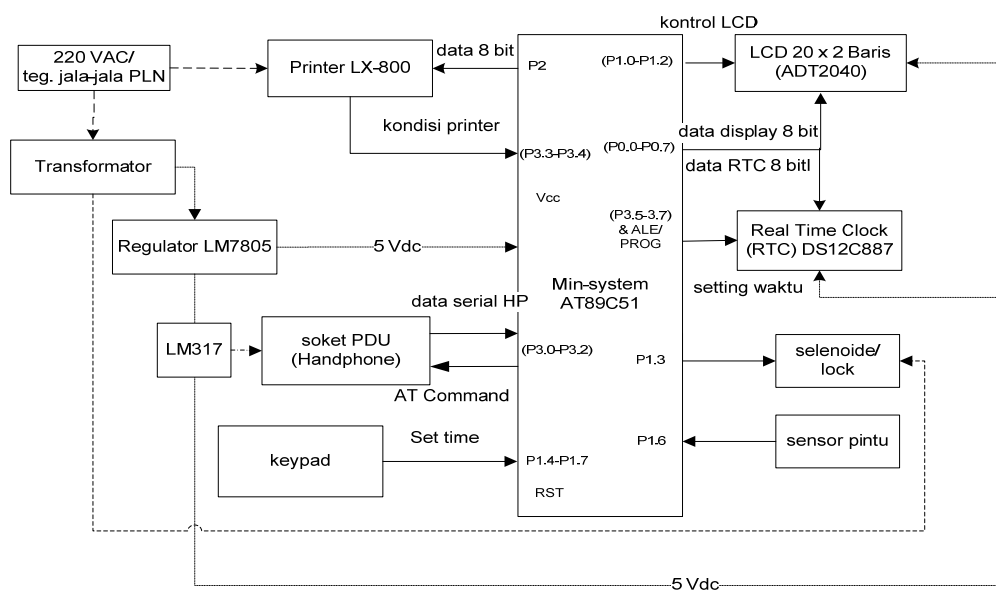
seperti terlihat pada gambar 1 (Nawlan, 2003). Penggunaan mikrokontroler AT89C51 sebagai pengendali pengalamanan dan akses kontrol LCD ditentukan berda-

sar faktor kompakitas rangkaian minimum sistem mikrokontroler AT89-C51. Chip AT89C2051 memiliki teknologi *Atmel Flash bases microcontroller* yang sebanding dengan AT-89C51 meskipun besar kapasitas Flash PEROM dan jumlah *port*-nya lebih terbatas. Dalam literatur disebutkan bahwa AT89-C51 dapat dipergunakan dalam sistem komunikasi bus serial, dengan fasilitas tambahan berupa 2 sistem timer, saluran serial interface, sistem *interrupt*, saluran reset dan hanya

memerlukan arus kerja yang cukup kecil. (Atmel Head-quarter, 1997).

PEMBAHASAN

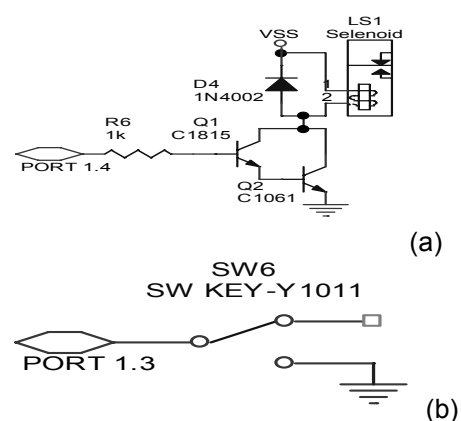
Solenoid digunakan sebagai kontrol mekanis kunci, pada selenoide diberi tegangan maka kumparan pada tubuh selenoid akan membentuk medan magnet di dalam sehingga posisi mekanik as selenoid akan tertarik ke dalam. Untuk mengetahui kondisi pintu dalam keadaan tertutup atau tidak maka diberi sensor.



Gambar 2. Diagram blok perancangan perangkat keras

Sebelum tegangan pada *port* 1.4 diberi tegangan *pull-up*, maka di *port* 1.4 mikro terbaca "1" atau kondisi *high*. Saat sensor aktif tegangan *port* 1.4 yang jenuh akan mengarah aliran langsung ke *ground* dan akan menyebabkan terbaca logika "0" (*low*) pada *port* 1.4 yang kemudian memberitahu ke program untuk melakukan *jump* ke program kondisi pintu tertutup sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.

Fungsi transistor pada Gambar 3a adalah sebagai saklar, dimana saat tegangan basis Q1 mendapat logika "1" dari mikro. Maka kaki kolektor dan emitor Q1 terhubung, tegangan dari emitor Q1 akan merelay basis Q2 untuk berfungsi sebagai saklar tertutup dan tegangan dari VSS dapat mengalir melewati lilitan selenoid.

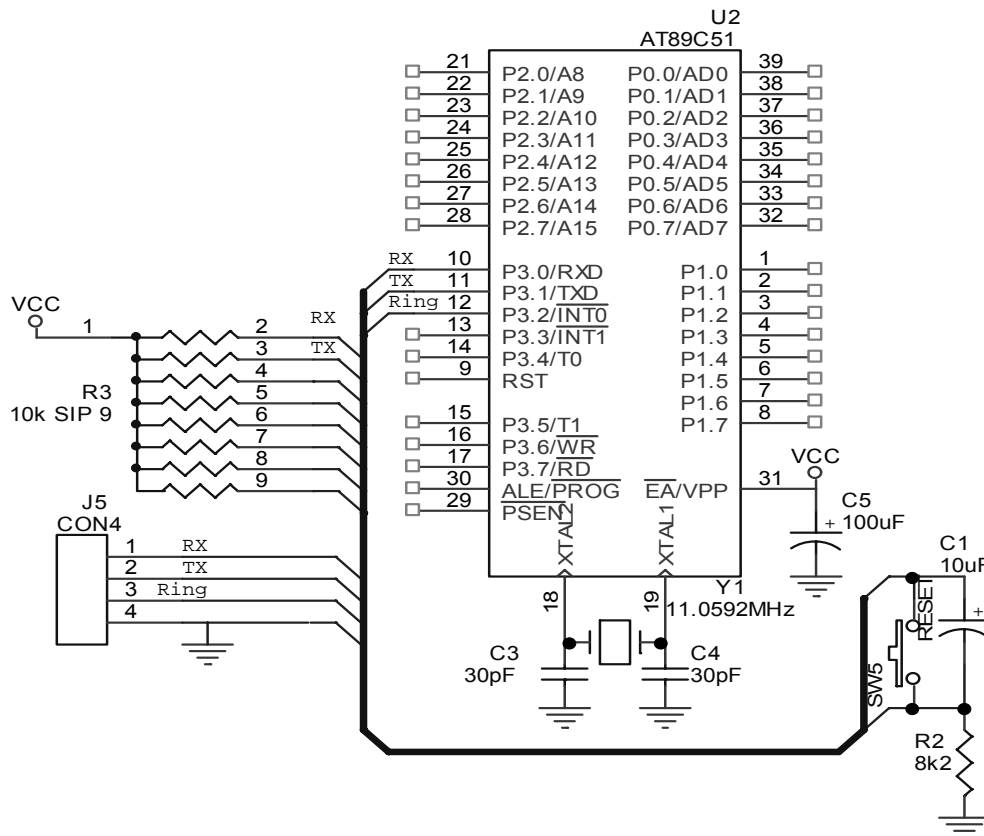


Gambar 3. Skematik (a).Unit Kontrol Selenoid (b).Sensor

Sistem antar muka berfungsi mengambil data pada Handphone (HP) yang nanti akan digunakan sebagai data *user*. Data yang diambil berupa data

serial yang akan dikirim melalui *port* RX dari mikrokontroler. Di sini digunakan socket PDU untuk antar muka ke HP jenis Siemens M35i, pemilihan jenis Siemens

karena penggunaan *AT-Command*-nya lebih mudah dipelajari. Rangkaian sistem antar muka dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik antar muka handphone (socket PDU)

Saat program *running* maka proses ketika handphone mendapatkan *misscall*, maka sistem handphone akan mengumpukan tegangan ke pin *ring* pada socket PDU yang akan terbaca sebagai logika "1" di mikrokontroler, selanjutnya program akan memanggil data dari handphone dengan menggunakan nama panggilan data yang dituju berupa nama *AT-Command*-nya. Data yang dikirim melalui *port* TX berupa data serial yaitu berupa pulsa-pulsa dengan frekuensi yang sangat tinggi. Sebagai penerima adalah *port* RX, yang seperti TX juga menerima data dalam bentuk data serial. Dengan menggunakan *baudrate* mode 1 maka kecepatan *baudrat*nya adalah

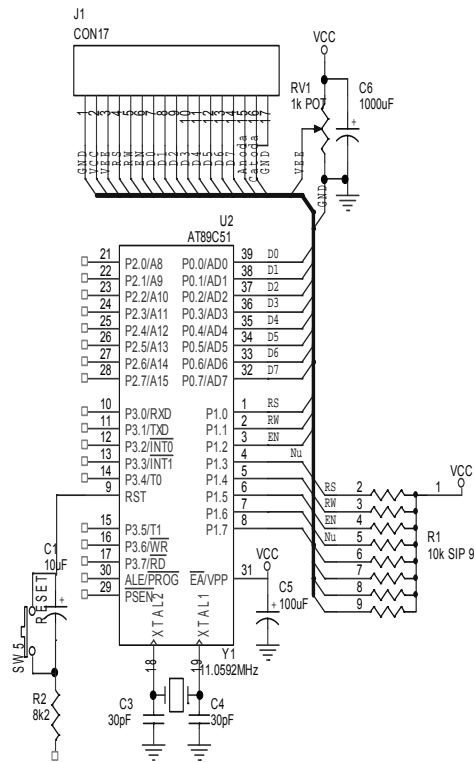
$$\text{Baudrate Mode 1} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times (\text{laju}$$

limpahan *Timer* 1). Dengan $SMOD=1$, diinginkan *baudrate* 19200, maka

$$19200 = \frac{2^1}{32} \times \text{Laju limpahan } Timer1$$

$$\text{Laju limpahan } Time 1 = 16 \times 19200 = 307.200 \text{ kali/detik.}$$

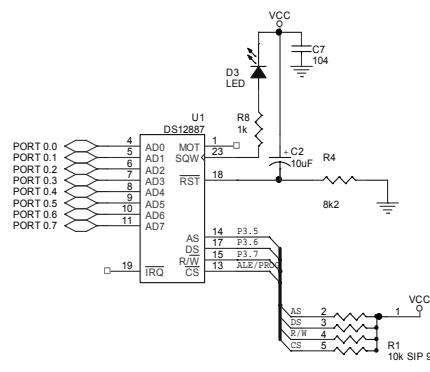
Sebelum proses percetakan harus dilihat dulu kondisi printer, sinyal *busy* harus dideteksi terlebih dahulu sampai nilainya setara dengan logika 0. Setelah itu sinyal *strobe* dengan pulsa negatif digunakan untuk menandai di-mulainya proses print karakter. Penggunaan *pull-up* pada sistem transfer data 8 bit adalah untuk memperkuat tegangan yang lewat sehingga sesuai dengan tegangan data bit mikro. Gambar 5 memperlihatkan gambar rangkaian unit penampil.



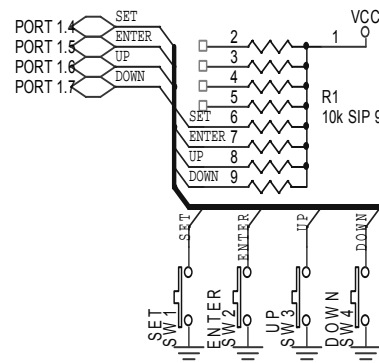
Gambar 5. Rangkaian antar muka ADT2040 ke AT89C51

Pada sistem penampil yang digunakan adalah penampil dalam bentuk LCD matriks. Modul LCD dapat dihubungkan langsung ke pin mikrokontroler tanpa membutuhkan IC perantara lainnya sehingga antar muka komponen menjadi lebih sederhana. Proses transfer data tampilan diatur oleh Mikrokontroler AT89C51. LCD pada perancangan alat digunakan sebagai penampil, dalam bentuk tulisan: pemilihan beban maksimal, daya yang terpasang, serta jenis gangguan yang terjadi (*overload current* dan *short current*).

- Pin R/W berfungsi sebagai pengendali data yang menyatakan apakah data tersebut akan ditulis atau dibaca.
- Pin RS berfungsi sebagai penentu jenis data yang dikirim ke Modul LCD.
- Pin LCD EN berfungsi sebagai pin yang mengaktifkan pulsa kendali pada kontroler LCD agar menerima data yang dikirim.



(a)



(b)

Gambar 6. Rangkaian (a) Unit Sistem Perhitungan Waktu dan (b) Set-time Keypad

Rangkaian unit sistem perhitungan waktu berfungsi sebagai penunjuk waktu real yang dipakai pada sistem yang dapat menunjukkan detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun. RTC didesain memiliki 128 lokasi RAM yang terdiri dari 15 byte untuk data waktu serta kontrol, dan 113 byte sebagai RAM yang dapat digunakan sebagai RAM pada umumnya. RTC DS 12C887 menggunakan bus yang termultiplex untuk menghemat pin. Pewaktuan yang digunakan untuk mengakses RTC dapat menggunakan pewaktuan intel atau pewaktuan motorola. RTC juga dilengkapi dengan pin IRQ untuk kemudahan dalam proses. Berikut skematik unit sistem perhitungan waktu dengan kontrol setting waktu yang menggunakan keypad seperti pada gambar 6 (b).

Bus yang ter-multiplex menghemat penggunaan pin karena informasi address dan data waktu menggunakan jalur sinyal yang sama. Alamat muncul pada bagian pertama dari bus cycle dan

dengan pin yang sama pula digunakan untuk data pada bagian kedua dari *bus cycle*. Multiplexing antara data dan *address* tidak memperlambat waktu akses dari RTC karena perubahan dari *address* menuju data dilakukan pada akses RAM internal pada RTC. *Address* harus *valid* saat terjadi *falling edge* pada AS/ALE, yang kemudian RTC akan *latch address* dari AD0 sampai AD6. Data *valid* yang akan dituliskan ke RTC harus *valid* dan dijaga stabil pada pin DS dan WR diberi pulsa. Pada proses pembacaan, RTC menghasilkan *output* 8 bit data pada pin DS dan RD diberi pulsa. *Bus* akan menjadi *high impedance* saat pulsa *low* diberikan pada pin DS (motorola) atau pulsa *high* diberikan pada pin RD (intel). Sistem *reset* RTC tidak berpengaruh terhadap jam, kalender atau RAM. Pada penyalan RTC, pin *reset* dapat dijaga *low* untuk beberapa saat untuk menstabilkan catu daya. Lamanya waktu pin *reset* diberikan *low* tergantung dari aplikasi yang digunakan. Akan tetapi jika *reset* digunakan saat *power up* (penyalan), waktu *reset* dijaga *low* harus melebihi 200 ms untuk meyakinkan bahwa *timer* internal dari RTC untuk penyalan telah cukup.

Proses setting waktu RTC diatur menggunakan *keypad* dengan mengambil status data bit *port* 1.4, *port* 1.5, *port* 1.6 dan *port* 1.5. Sebagai contoh: pada *keypad* SET ditekan maka arus jenuh yang ada pada *port* 1.4 akan mengalir sehingga akan menimbulkan detak pulsa yang kemudian akan diartikan oleh program pada mikrokontroler AT89C51 sebagai logika *high* atau 1, kemudian akan terjadi runtun *run* program. Pada *display* akan ditampilkan menu pengaturan waktu.

Pengaturan *keypad* hanya digunakan pada setting awal atau untuk perubahan waktu, karena di dalam RTC DS12C887 telah terintegrasi dengan internal baterai. Ketika sistem utama *power* alat diputus, perhitungan waktu RTC tidak perlu disetting ulang. Pin kendali yang terdapat pada rangkaian RTC adalah sebagai berikut :

- Pin R/W berfungsi sebagai pengendali data yang menyatakan apakah data tersebut akan ditulis atau dibaca.

- Pin AS berfungsi sebagai penentu alamat data.
- Pin DS berfungsi pada proses penulisan, pulsa positif pada DS akan *latch* data yang ditulis.
- Pin CS berfungsi sebagai pin untuk mengakses *bus cycle* RTC. Saat VCC dibawah 4,25 volt, RTC secara internal menghalangi akses dengan cara secara internal tidak mengaktifkan *input* CS. Proses ini akan melindungi baik data RTC maupun data pada RAM saat tidak ada catu daya.

Perangkat lunak atau program ditulis dalam bahasa *assembler* MCS 51 yang merupakan bahasa standar untuk mikrokontroler produksi Atmel. Kemudian dari bahasa *assembler* tersebut harus diubah ke dalam bentuk eks-tensi HEX. Hal ini karena IC hanya dapat menerima data dalam bentuk HEX. Proses dan tahap-tahap perancangan perangkat lunak (*software*) dijelaskan menggunakan algoritma sebagai berikut:

Sistem merupakan aplikasi pengamanan pintu berbasis mikrokontroler dengan kunci pengamanan terkode. Sistem ini bekerja atas dasar pemanfaatan data internal handphone yang telah ditentukan oleh pabrikan atau dari *miss-call*. Kode-kode asli seperti nomor imey, dan nomor pemanggil dapat digunakan sebagai nomor anak kunci dalam sistem ini. Tegangan dari masukan dari pin mikrokontroler telah mencukupi tegangan yang dibutuhkan oleh LCD untuk pembacaan logika *high* dan *low*. Sesuai dengan *datasheet* dari LCD ADT2040 tegangan akan terbaca *high* oleh pin 8 bit dan driver kontrol LCD bila bernilai +2,2 volt, dan terbaca *low* bila +0,6 volt. Jadi sistem keluaran dari mikrokontroler telah mencukupi tegangan dari pembacaan LCD.

Kondisi pengaturan pin RS dan EN(CS) memiliki prasyarat tegangan $V_{IH}=2,2V-5V$, $V_{IL}=0,6V$, $V_{OH}=2,4V$, $V_{OL}=0,4V$. Dengan ketentuan ini, saluran I/O mikrokontroler U2 dapat digunakan untuk pengemudian secara langsung (*Direct point*). Hasil pengujian tegangan pada pin keypad sebagaimana diperlihatkan pada (Tabel 1).

Di dalam sistem rangkaian alat, saluran I/O untuk SW *up* & SW *down*

telah dilengkapi dengan R *pull-up* sebesar 1 K Ω .

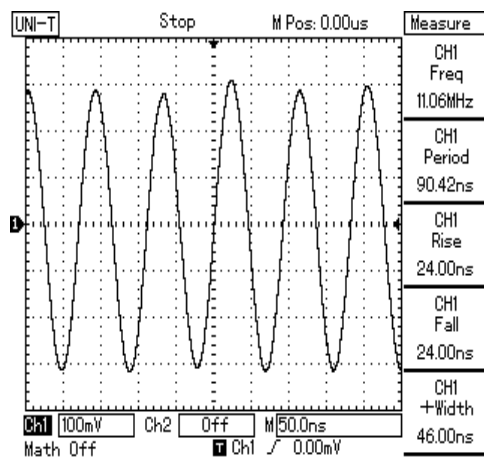
Tabel 1. Hasil Pengujian Tegangan Key-pad

Pin Mikro kontroler	Teg. Logika High	Teg. Logika Low	Ket
P1.4	+5V	+0,6V	SET
P1.5	+5V	+0,6V	ENTER
P1.6	+5V	+0,6V	UP
P1.7	+5V	+0,6V	DOWN

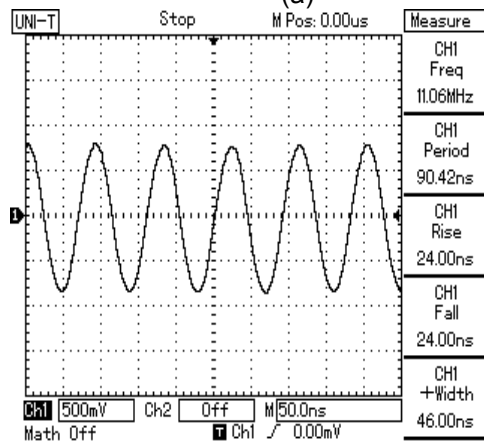
Pemasangan R *pull-up* ini akan mengubah nilai nominal V_{IH} menjadi sebesar:

$$V_{IL} = 0.2 VCC - 0.1; V_{IH} = 0.2VCC + 0.9$$

$$I_{IL} = -50 \mu A; I_{TL} = -750 \mu A \text{ (transisi dari logika 0 ke logika 1). } I_{LI} = -10 \mu A \text{ untuk } 0 < V_{IN} < VCC; I = V/R = 5V/1K = 0,005A = 5mA$$



(a)



(b)

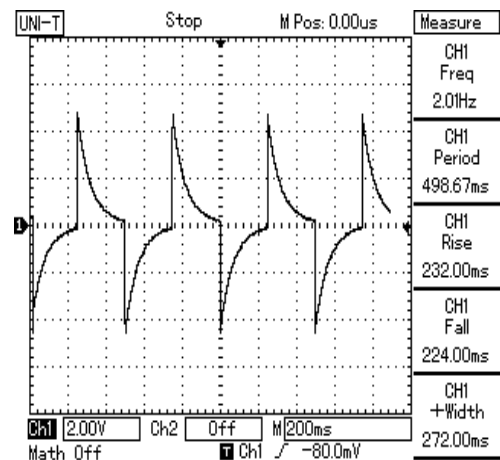
Gambar 7. Pengujian (a) XTAL2 (Keluaran), (b) XTAL1(Masukan).

Kondisi logika H & L standar masukan mikrokontroler hanya mempunyai rentang sebesar 1V. Kondisi ini mengakibatkan saluran masukan mikrokontroler sangat rentan terhadap sinyal atau picu luar yang tidak dikehendaki.

Pada gambar 7. terlihat bahwa frekuensi yang digunakan adalah sebesar 11,06 MHz. Gelombang keluaran XTAL2 lebih besar daripada XTAL1 yang menunjukkan bahwa sistem *clock* dari mikrokontroler telah bekerja dengan baik.

Jenis komponen RTC yang digunakan adalah RTC produksi Dallas DS12C887. RTC tersebut berfungsi melakukan perhitungan waktu. Berdasarkan Gambar 7.a, gelombang pada titik keluaran SQW terlihat pada gambar 8.

Berdasarkan Gambar 7.b, gelombang pembacaan pada pin SQW mempunyai frekuensi 2 Hertz dengan periode 498,67ms. Khusus pengaturan pin SQW hanya digunakan sebagai bentuk indikasi sistem rangkaian RTC telah berjalan sesuai register perintah yang dikirim oleh mikrokontroler. Dalam perancangan alat pin ini akan menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi 2Hz (led indikator akan dihidup dan mati dengan frekuensi sebesar 2Hz). Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8 gelombang SQW merupakan berbentuk gelombang kotak yang tidak sempurna. Bila gelombang pada SQW tidak ada maka perhitungan waktu pada RTC pasti tidak berjalan.



Gambar 8. Gelombang pada SQW (pengamatan menggunakan Oscilloscope UT2025B)

KESIMPULAN

Mode port paralel printer tidak berpengaruh pada kemampuan transfer data *bidirectional* secara software. Mode EPP dapat melakukan transfer data *bi-directional* secara langsung dengan mikrokontroler tanpa ada antar muka apapun, dengan menggunakan resistor *pull-up*.

Sistem RTC adalah sistem untuk perhitungan waktu nyata. Jika dihubungkan dengan mikrokontroler AT89C51 menggunakan sistem *bus* Intel, maka pin pengatur MOT (pin 1) harus dikondisikan dalam keadaan *Floating* (tidak boleh dihubungkan ke VCC secara langsung).

Kendali mikrokontroler dapat beroperasi pada pengontrolan LCD dan RTC tanpa menggunakan resistor *pull-up*. Hal tersebut karena adanya kecukupan tegangan yang dibutuhkan oleh LCD dan RTC untuk melakukan pembacaan tegangan keluaran dari mikrokontroler, baik kondisi logika "*high*" atau pun "*low*".

Parameter kendali LCD optimal adalah logika *high* = 2,2 volt dan logika *low* = 0,6 volt. Tanggapan langkah sistem RTC untuk logika *high* = 0,8 volt dan logika *low* = 0,8 volt.

Penggunaan resistor *pull-up* dapat memperbaiki kekurangan tegangan pada pembacaan logika "*high*" dan "*low*" dari antar muka dan driver pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Agfianto P.E., 2002, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*, Gava Media, Yogyakarta.
- Application Note 95, 1998, DS12C887 Real Time Clock Datasheet, Dallas Semiconductor. [Http://:-www.dalsemi.com](http://www.dalsemi.com).
- Malvino A.P, and Leach DP, 1994, *Prinsip-prinsip dan Penerapan Digital*, Erlangga, Jakarta.
- Malvino AP, 2003, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Salemba Teknika, Jakarta.
- Malik, M.I., dan Aristradi. 1997. *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8051*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Setiawan, S, 2007, *Mudah dan Menyenangkan Belajar Mikrokontroler*, Andi, Yogyakarta.
- Nawan, P.A, 2003, *Teknik Antar Muka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Plant, M and Stuart J, 2005, *Ilmu Teknik Instrumentasi*, Edisi Ketujuh, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Siemens AG ICMobile Mobile Devices, 2001, AT Command Set Reference Manual GSM 07.07, GSM 07.05 for The Siemens Mobile Phone M35i, SW Development Data Services, Grillparzerstrasse 12a, D-81675 Munich.

ANALISIS PERAWATAN ROBOT SPOT UNTUK MENGETAHUI KEANDALAN MESIN PRODUKSI DAN KETERSEDIAAN SPARE PART PADA DEPARTEMEN MAINTENANCE PT. ASTRA DAIHATSU MOTOR JAKARTA

Suhartono¹

¹Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik
Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa (UST) Yogyakarta.

Masuk: 15 Juli 2008, revisi : 21 Desember 2008 , diterima: 8 Januari 2009

ABSTRACT

Robot Spot is one of an important machine in production activities of vehicle assembly, for example PT. Astra Daihatsu Motor, Jakarta. During production activity, relying on machine is the most significant thing that should be preserved, such as Robot Spot under Body four and Robot Spot Main Body seven. That is suggested; in order continually maintenance could be performed effectively. Relying on of production machines and the willingness spare parts must be accounted to calculate their values of reliability factors, maintainability factors, availability factors and the spare part stocks. Those are approached by goodness of fit test analyses, to predict time and the damaged distributions, life times and the costs of maintenance within the machines. Based on those analyses, both robot spot under body four and robot spot main body seven are having medium reliability with good condition, low rate of damage, and still accurate to be operated. However, it is still necessary to overhaul those machines, so that new machines are not required.

Keywords: Maintenance, Reliability, Cost, Availability, Machine.

INTISARI

Robot Spot merupakan salah satu mesin produksi yang digunakan dalam industri perakitan mobil, seperti yang digunakan di PT. Astra Daihatsu Motor, Jakarta. Dalam kegiatan proses produksi, keandalan mesin merupakan bagian yang sangat penting dalam perawatan. Salah satu contohnya adalah dalam perawatan *Robot Spot Under Body 4* dan *Robot Spot Main Body 7*. Perawatan secara berkesinambungan diperlukan dengan harapan dapat meminimalkan tingkat kerusakan dan efektifitas sistem produksi. Untuk itu, perlu adanya perhitungan untuk memprediksi nilai keandalan mesin, sehingga dapat diprediksi penyediaan suku cadangnya jika sewaktu-waktu mengalami kerusakan. Dalam artikel telah diprediksi nilai faktor ketahanan alat, nilai faktor kemampuannya untuk dapat dipelihara, nilai faktor ketersediaan suku cadang dan prediksi jumlah persediaan suku cadang. Analisis menggunakan pendekatan *goodness of fit test*, untuk memprediksi waktu kerusakan, distribusi kerusakan, masa beroperasinya mesin dan biaya perawatan mesin. Dari hasil analisis, diketahui bahwa kedua *robot spot under body 4* dan *robot spot main body 7* memiliki keandalan tingkat menengah dengan rata-rata laju kerusakan rendah, serta kondisi pengoperasian masih memuaskan. Namun, perlu dipertimbangkan untuk melakukan *overhaul*, sehingga tidak perlu adanya penggantian *robot spot* baru.

Kata Kunci : Perawatan, Keandalan, Biaya, Ketersediaan, Mesin

PENDAHULUAN

Umumnya, hampir semua perusahaan industri selalu memiliki departemen perawatan (*maintenance*). Departemen ini bertugas mengurus segala sesuatu yang berkaitan dengan masalah perawatan dan komponen-komponen,

dari departemen tersebut adalah bahwa setiap mesin/peralatan kerja dan lain-lain pasti akan mengalami kerusakan (*break down*).

Keandalan suatu mesin merupakan kunci sukses dari berjalannya suatu sistem dalam perusahaan. Dengan sis-

¹ Email: sharjosaputro@yahoo.co.id,
HP: 08164261596

tem yang handal, maka produk perusahaan tersebut akan mampu berkompetisi dengan produk lainnya. Menjelang perdagangan bebas dan era teknologi global, setiap perusahaan dituntut untuk mampu beradaptasi dengan lingkungannya (Supandi, 1993).

Masalah perawatan mempunyai dampak besar dalam menjamin kelancaran proses produksi, kelancaran proses produksi sering terganggu karena mesin mengalami kerusakan (*break down*). Kerusakan mesin yang timbul biasanya disebabkan oleh faktor keausan. Untuk itu, dalam menjaga produksi, diperlukan adanya penggantian *spare part* atau komponen dari mesin yang dioperasikan.

Ada beberapa faktor penyebab kerusakan mesin, yaitu: keausan (*wear out*), korosi (*corrosion*) dan kelelahan (*fatigue*). Oleh (Suharto, 1991). Untuk menghindari terjadinya kerusakan permanen perlu diadakan perawatan secara efektif, ekonomis dan memadai.

Dari uraian diatas dapat dirumuskan bahwa, dalam proses produksi, setiap mesin perlu dilakukan analisis prediksi terhadap waktu terjadinya kerusakan dan biaya perawatan, serta menentukan kebutuhan *spare part* mesin.

Menurut Grag (1994), perawatan merupakan salah satu fungsi kegiatan logistik yang paling penting mendukung kesiapan pengoperasian alat. Perawatan didefinisikan sebagai salah satu kegiatan merawat fasilitas sehingga fasilitas tersebut berada pada kondisi siap pakai sesuai kebutuhan. Kata lain perawatan adalah kegiatan dalam rangka mengupayakan fasilitas produksi agar berada pada kemampuan produksi yang dikehendaki (Mustofa, 2002). Yaitu dengan menyiapkan personil, fasilitas dan metode perawatan untuk menghasilkan produk yang handal dan aman dengan menggunakan sumber daya yang efektif dan efisien sehingga dapat mempertahankan tingkat kesiapan dan keandalan sistem sesuai kebutuhan operasi (Mustofa, 2002).

Keandalan (*reliability*) merupakan probabilitas sistem atau produk untuk dapat beroperasi secara memuaskan, untuk periode/waktu tertentu dan dalam kondisi

tertentu pula (Alain, dkk, 1992). Keandalan $R(t)$ adalah :

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots(1)$$

$F(t)$ =kemungkinan sistem akan rusak/ tidak berfungsi pada waktu (t). $F(t)$ merupakan fungsi distribusi kerusakan atau fungsi ketidakhandalan.

Maintainability adalah kemampuan suatu sistem sehingga dapat dipelihara. Pemeliharaan merupakan serangkaian tindakan yang harus diambil untuk memperbaiki atau mempertahankan sistem agar tetap berada dalam keadaan siap dioperasikan. *Maintainability* juga dapat didefinisikan sebagai karakteristik dalam rekayasa yang diekspresikan sebagai hal yang berkenaan dengan faktor frekuensi dan waktu pemeliharaan, dalam lintas waktu tertentu. *Maintainability* memerlukan pertimbangan dari banyak faktor meliputi aspek-aspek yang berasal dari sistemnya sendiri, serta dari hasil pengukuran *maintainability* tersebut. *Maintainability* melibatkan kombinasi (Balbir, dkk., 1985):

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ct}}{n} \dots\dots\dots (2)$$

\bar{M}_{ct} adalah (waktu rata-rata perawatan korektif)

$$\bar{M}_{pt} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{pt}}{n} \dots\dots\dots (3)$$

\bar{M}_{pt} adalah (waktu rata-rata perawatan preventif)

$$MTBM = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Perawatan}} \dots\dots(4)$$

MTBM adalah (waktu pemeliharaan antar rata-rata)

$$f_{pt} = \frac{[1 - \lambda MTBM]}{MTBM} \dots\dots (5)$$

Frekuensi pemeliharaan individu terjadwal (f_{pt})

$$\bar{M} = \frac{\lambda \bar{M}_{ct} + f_{pt} \bar{M}_{pt}}{\lambda + f_{pt}} \dots(6)$$

Waktu pemeliharaan aktif rata-rata (\bar{M})

Rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT)

$$MDT = ADT + LDT + \bar{M} \dots\dots (7)$$

ADT = *Administration Delay Time*
LDT = *Logistics Delay Time*

Ketersediaan adalah kemungkinan suatu komponen/sistem dapat berfungsi seperti yang dikehendaki, berdasarkan waktu yang diberikan, ketika komponen/sistem tersebut digunakan di bawah kondisi operasi tertentu. Ketersediaan merupakan ukuran keberhasilan suatu sistem atau produk untuk mulai melaksanakan misi operasi tertentu dimana waktu pemanggilan sistem/produk tidak ditentukan. *Availability* dapat didefinisikan oleh (Mustofa, 2002):

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \dots\dots(8)$$

MTBF = *Mean Time Between Failure*
MDT= rata-rata *down time* pemeliharaan

Persediaan adalah sejumlah bahan-bahan yang disediakan dan bahan-bahan proses yang tersedia dalam perusahaan. Bahan dan barang-barang tersebut ditujukan untuk memenuhi kebutuhan proses produksi.

$$P(l, t, \lambda) = e^{-\lambda t} \left[\sum_{I=0}^{I=n} \frac{(\lambda t)^I}{I!} \right] \dots\dots(9)$$

l = jumlah yang dicadangkan, l = 1,2,3.n
t = periode waktu persediaan l > 0
λ=laju kerusakan pada periode waktu (t)

Pembeayaan perawatan terdiri atas dua hal yaitu :

- Biaya Tetap (*Fixed Cost*) yaitu biaya dimana biaya total relatif tetap sampai dengan tingkat output tertentu, sedangkan biaya/unit berubah-ubah me nurut outputnya.
- Biaya tak tetap (*Variabel Cost*) yaitu biaya dimana total biaya cenderung berubah sesuai dengan perubahan volume/hasil, sedangkan biaya per-unit tidak berubah (konstan).

Biaya perawatan total terdiri dari biaya perawatan pencegahan, biaya perawatan korektif dan biaya *over haul*. Biaya-beaya perawatan korektif yang selain dari pada penggantian elemen-elemen pembantu dari pada elemen mesin yang perlu diperhitungkan adalah biaya perawatan mesin, pengadaan dan penyimpanan *spare part* (Suharto, 1991). Biaya Perawatan Mesin terdiri:

Biaya Pelumasan =

$$\left(\frac{0,75.N}{195,9} + \frac{c}{t} \right) X_1 \text{ (Rp/jam)} \dots\dots(10)$$

X₁ = harga minyak pelumas (Rp/jam)
N = daya *out put engine* (Hp)
C = kapasitas *carter olie* = 0,15 .N (liter)
t = periode penggantian olie
Biaya pelumas ini untuk mesin-mesin yang perlu pelumasan sistim celup yang memiliki *carter* (penampung olie).

Biaya Minyak Hidrolis =

$$1,2 \times \frac{C}{t} \times X_2 \text{ (Rp/liter)} \dots\dots(11)$$

C=kapasitas minyak hidrolis(2,8 .N(liter)
t = 2000 jam
X₂ = harga minyak hidrolis (Rp/liter)
N = daya hidrolis mesin (Hp).
Minyak hidrolis dipergunakan untuk mesin-mesin yang menghasilkan daya hidrolis. Biaya Pemberian *Grease (Vaseline)* adalah jenis pelumas kering untuk megurangi timbulnya keausan.

Biaya Pemberian *Grease (Vaseline)* =

$$3 \times 10^{-4} N \cdot X_3 \text{ (Rp/jam)} \dots\dots(12)$$

N = daya mesin (Hp)
X₃ = harga *grease* (Rp/kg)
t = 3x10⁻⁴.

Total Biaya *Preventive Maintenance* dihitung berdasarkan persamaan empirik (Garg H.P, 1994).

Total Biaya Material *Preventive Maintenance* = (Biaya Pelumasan + Biaya Pemberian *Grease*) x jam produksi(13)

Biaya *Preventive* =

$$[(TK \cdot 2,5\%) + (\text{Material} \cdot 1\%)] \dots\dots(14)$$

Beaya *Over haul* =
 $[(TK \cdot 100\%) + (MAT \cdot 60\%)] \dots\dots\dots (15)$
 TK = beaya tenaga kerja (rupiah)
 MAT = biaya material (rupiah).

Total Beaya Perawatan =
 Beaya *Preventive* + Beaya *Over haul* ..(16)

Perhitungan *Persediaan Spare Part*: *Persediaan Spare Part* diperhitungkan didasarkan pada elemen mesin yang sering mengalami kerusakan, yaitu elemen mesin yang bergerak baik berputar (rotasi) maupun translasi, mendapatkan beban berat sehingga mengalami keausan dan usakan, dan juga elemen mesin yang dalam bekerjanya memiliki umur tertentu. Sehingga *persediaan maksimum dan minimum spare part* dihitung dengan persamaan berikut: (Suwandi, 1999).

Persediaan spare part maksimum.
 $(N_1) = (n \cdot t \cdot a) / (k \cdot s) \dots\dots\dots (17.a)$

Persediaan spare part minimum
 $(N_2) = N_1 / 4 \dots\dots\dots(17.b)$

n = Jumlah bagian mesin yang sama
 t=Waktu/umur bagian mesin (*spare part*)
 s = Waktu perbaikan dalam bulan
 a = Faktor koreksi
 k = Jumlah mesin yang sama

Batas pemesanan kembali suku cadang (Supandi, 1993):
 $Q_0 = a \times t_0 \dots\dots\dots (18)$

Q_0 =Batas stok untuk titik pemesanan
 A = Jumlah barang dibutuhkan/tahun
 t_0 = Waktu pengadaan

Penelitian dalam rangka penyusunan makalah ini telah dilakukan di PT. Astra Daihatsu Motor Cabang Jakarta. Data spesifikasi mesin, perawatan dan pengoperasian mesin telah diperoleh. Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan pendekatan *goodness of fit test*. Hasil analisis selanjutnya dilakukan pembahasan/sintesis untuk menentukan besaran tingkat laju kerusakan, jumlah suku cadang yang diperlukan untuk pemeliharaan dan beaya pemeliharaan.

Metode Analisis Pengujian Bentuk Distribusi, data hasil pengamatan selanjutnya dilakukan pengujian distribusi kerusakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Menentukan distribusi kerusakan mesin, menentukan waktu perawatan korekif rata-rata:

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ct}}{n} \dots\dots\dots(19)$$

- Menghitung nilai sebaran data Kisaran = nilai data tertinggi dikurangi nilai data terendah
- Menghitung jumlah kelas interval, yaitu dengan menggunakan rumus *struges* (Dimitri K, 1991)
- Kelas interval = $1 + 3,3 \log n$
- Menentukan lebar kelas interval

$$i = \frac{\text{nilai kisaran}}{\text{Jumlah kelas interval}} \dots\dots\dots (20)$$

Bentuk distribusi kerusakan diketahui melalui pengujian kesesuaian bentuk distribusi, dengan menggunakan uji statistik "*goodness of fit test*" (Walpole, 1986), yaitu: Menentukan hipotesis (H); meliputi hipotesis awal (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1)

- Hipotesis awal (H_0): pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) terhadap distribusi kerusakan yang nilainya dihitung berdasarkan analisis distribusi weibull.
- Hipotesis alternatif (H_1) adalah Distribusi kerusakan *corrective maintenance* tidak mengikuti distribusi weibull.
- Nilai taraf nyata (α) = 0,05
- Pengujian statistik χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (O_i - H_i)^2}{H_i} \dots\dots\dots (21)$$

Derajat bebas (V) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = k - P - 1 \dots\dots\dots(22)$$

k = jumlah interval
 O_i = frekuensi hasil pengamatan ke-i
 H_i = frekuensi harapan kelas ke-i = $n \cdot p_i$ & $H_i \geq 5$
 n = jumlah sampel
 V = derajat bebas

P = jumlah parameter yang ditaksir.

Nilai daerah penerimaan (H_0) adalah:

$$H_0 = X^2_{hitung} \leq X^2(\alpha, v)_{tabel} \dots\dots (23)$$

Analisis penolakan untuk nilai X^2 , H_0 : ditolak/diterima, sedangkan Nilai $r(t)$ dan MTBF dihitung sesuai dengan parameter distribusi yang digunakan.

PEMBAHASAN

Pengumpulan Data, dalam artikel ini adalah: data spesifikasi mesin, *preventif/corrective maintenance time*, ketersediaan dan jenis suku cadang, persediaan & harga suku cadang yang telah ada untuk perawatan mesin, waktu total pengoperasian mesin, jumlah kerusakan yang terjadi, dan biaya perawatan. Pada makalah ini dibahas dua jenis mesin robot yaitu *robot spot under body 4* dan *robot spot main body 7* mengapa dipilih 2 jenis robot ini karena paling banyak dioperasikan dan paling banyak mengalami perawatan dan kerusakan. Robot spot adalah sejenis robot yang digunakan sebagai pengelasan. Robot *spot under body 4* digunakan untuk pengelasan bagian bawah (lantai mobil), sedangkan *robot spot main body 7* digunakan untuk proses pengelasan bagian bodi utama mobil. Karena jenisnya berbeda, maka tentunya perawatannya pun berbeda.

Tabel 1. Data Waktu *Preventive Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)	Tanggal	Waktu (jam)
10 Jan 04	0,17	29 Mei 04	0,37
22 Feb 04	0,58	1 Jun 04	0,13
8 Apr 04	0,42	13 Jul 04	0,67
15 Apr 04	1,28	9 Aug 04	0,67
20 Apr 04	1,75	10 Aug 04	0,50
21 Apr 04	0,25	15 Aug 04	0,15
26 Apr 04	0,75	6 Okt 04	0,33
6 Mei 04	0,27	24 Okt 04	0,15
11 Mei 04	0,17	3 Des 04	0,33
23 Mei 04	0,52	15 Des 04	0,17

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Hasil pengamatan pada *robot spot under body 4* berhasil mengetahui bahwa alat ini telah dioperasikan dalam

waktu yang bervariasi, dengan waktu pemeliharaan yang tertentu juga, yaitu antara 0,13 hingga 1,75 jam untuk hari-hari yang tertentu. Hasil selengkapnya dapat dilihat dari (Tabel 1). Hal itu tentunya diatur berdasarkan penggunaan alatnya per hari. Data pengamatan menunjukkan bahwa makin lama alat beroperasi, makin lama pula alat tersebut memerlukan perawatan. Tabel 2 adalah data waktu perawatan korektif yang ditujukan untuk menjaga dan memastikan bahwa mesin tersebut mampu beroperasi dengan baik. Data waktu korektif tersebut mengindikasikan bahwa rata-rata mesin selalu dilakukan kalibrasi dua kali dalam seminggu.

Tabel 2. Data Waktu *Corrective Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)
6 Juli 04	0,58
9 Juli 04	2,33
14 Juli 04	0,52
17 Juli 04	1,40
22 Juli 04	0,50
28 Juli 04	0,42
29 Juli 04	0,53
1 Nov 04	1,30
3 Nov 04	1,33
25 Nov 04	0,15

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Tabel 3. Biaya Perawatan dan Penggantian Suku Cadang

No	Suku Cadang	Jum	Harga (Rp)
1	Tip gun GKDT 13	4	34.600
2	Limits switch	1	185.000
3	Eltip spesial	2	357.800
4	Kabel solenoid	1	4.100
5	Tip base holder	2	1.022.297
6	Kabel kikles	1	26.900
7	Shank KS 1645	2	103.500
8	Obara		
9	Flow switch	1	829.500
10	Adaptor GNA 2490	4	715.000
11	Fitting	4	10.500
Total			3.289.197

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Biaya yang diperlukan untuk perawatan *robot spot under body 4* juga bervariasi tergantung dari jenis penggantian suku cadang seperti tampak pada (Tabel 3). Dari sini dapat diprediksi berapa masa aktif alat mampu ber-

operasi dengan baik, dan karena harga suku cadang telah diketahui, maka biaya perawatan tersebut dapat dihitung dengan lebih mudah.

Robot *Spot Main Body 7* telah dilakukan perawatan untuk pencegahan kerusakan satu-dua kali per minggu dengan waktu perawatan antara 0,10 sampai 1,58 jam tergantung dari tingkat pemakaiannya seperti ditunjukkan pada (Tabel 4).

Tabel 4. Data Waktu *Preventive Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)	Tanggal	Waktu (jam)
3 Jan 04	0,25	28 Mei 04	0,33
6 Jan 04	0,67	1 Jun 04	1,00
17 Jan 04	0,75	10 Jun 04	0,15
5 Mar 04	0,41	22 Jun 04	0,88
10 Mar 04	0,15	9 Jul 04	0,47
11 Mar 04	0,55	2 Aug 04	0,25
19 Apr 04	1,58	6 Aug 04	0,42
21 Apr 04	0,23	7 Aug 04	0,15
26 Apr 04	0,22	15 Aug 04	1,50
6 Mei 04	0,32	18 Aug 04	0,10
11 Mei 04	0,17	15 Des 04	0,17
23 Mei 04	0,52		

Mesin juga telah dilakukan perawatan korektif dengan tujuan untuk menjaga agar alat tetap dapat dioperasikan sesuai dengan yang dikehendaki oleh operator. Perawatan ini dilakukan secara tidak terjadwal sesuai dengan waktu istirahat alat. Perawatan korektif memerlukan waktu antara 0,08-1,83 jam, sesuai dengan kebutuhan diperlihatkan pada (Tabel 5).

Biaya yang diperlukan untuk perawatan mesin tersebut terdiri dari biaya pengadaan suku cadang untuk sebanyak 17 jenis alat, sehingga membutuhkan biaya sekitar dua juta rupiah sebagaimana diperlihatkan pada (Tabel 6). Tidak semua suku cadang disediakan dalam perawatan ini, namun suku cadang-suku cadang dengan masa aktif tertentu membutuhkan persediaan yang cukup.

Pengolahan Data Menentukan nilai faktor keandalan, *maintainability* dan *availability*. Didasarkan atas data hasil pengamatan faktor pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif, maka kedua robot, *spot under body 4* dan *spot main body 7* memiliki faktor-faktor reliabi-

litas sebagaimana yang ditunjukkan pada (Tabel 7).

Tabel 5. Data Waktu *Corrective Maintenance*

Tanggal	Waktu (jam)
2 Feb 04	0,33
12 Feb 04	0,08
15 Feb 04	0,67
2 Sept 04	0,53
3 Sept 04	0,25
5 Sept 04	0,55
8 Sept 04	0,75
18 Sept 04	0,33
22 Sept 04	0,33
23 Sept 04	1,83
28 Sept 04	0,75
30 Sept 04	0,62

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Tabel 6. Biaya Perawatan Penggantian Suku Cadang

No	Material/Suku Cadang	Jum	Beaya (Rp)
1	Valve ½ inc kitz	2	70.000
2	Kabel power current	1	7.476
3	Pen tip	2	31.620
4	Pin cotterl	2	30.600
5	Bearing	4	160.000
6	Nepel	2	400.500
7	Kabel primary	1	50.161
8	Tip gun GKDT 16	4	157.600
9	Pipa kapiler	1	40.000
10	Shank KS 1670	2	300.800
	Obara		
11	Kabel extrac	1	4.000
12	Kabel kikles	1	27.100
13	Grease	1	593.909
14	Adaptor GNA 1410	2	324.800
15	O-ring	4	10.000
Total			2.208.566

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Analisis didasarkan perhitungan menggunakan persamaan (1) sampai (4). Hasil analisis menjumpai bahwa: *Robot Spot Under Body 4*, memiliki nilai keandalan $R(t)$ sebesar 68,38% yang berarti robot memiliki probabilitas tidak mengalami kerusakan sebesar 68,38%, dan tingkat probabilitas kerusakannya 31,62%.

Robot akan mengalami kerusakan sedang dengan probabilitas laju kerusakan $r(t)$ sebesar 29,49%/100 jam dan

rata-rata masa kerusakan (MTBF) sebesar 2,42 jam sebagaimana diperlihatkan pada (Tabel 7).

Tabel 7. Nilai Parameter Keandalan Faktor

No	Parameter	Nilai Parameter	
		Robot Spot Under Body 4	Robot Spot Main Body 7
1	MTBF	2,42 jam	1,98 jam
2	f(t)	20,48 %	33,04%
3	F(t)	31,62%	32,34%
4	R(t)	68,38%	67,66%
5	r(t)	29,49 %	47,79 %

Untuk *Robot Spot Main Body 7*, memiliki nilai keandalan R(t) sebesar 67,66% yang berarti robot memiliki probabilitas tidak mengalami kerusakan sebesar 67,66% dan 32,34%. Robot akan mengalami kerusakan sedang dengan laju r(t) sebesar 47,79% dan rata-rata masa kerusakan (MTBF) sebesar 1,98 jam diperlihatkan dalam (Tabel 7).

Didasarkan atas hasil analisis nilai Keandalan tersebut, maka kedua robot memiliki nilai keandalan rata-rata R(t) sebesar 68,02% yang berarti kedua robot memiliki probabilitas tidak mengalami kerusakan sebesar 68,02% dengan probabilitas mengalami kerusakan sebesar 31,98%. Robot akan mengalami kerusakan dengan rata-rata laju kerusakannya r(t) sebesar 38,64%/100 jam, dengan rata-rata waktu kerusakan (MTBF) sebesar 2,20 jam. Jadi, kedua robot tersebut masih handal dalam melakukan proses produksi tanpa harus melakukan *over haul*.

Nilai parameter maintainabilitas ditunjukkan pada (Tabel 8). Nilai ini dianalisis dengan menggunakan persamaan (5)-(8). Didasarkan atas nilai hasil analisis *maintainability*, *Robot Spot Under Body 4*, mempunyai rata-rata waktu pemeliharaan (MTBM) sebesar 0,61 jam, waktu pemeliharaan aktif (\bar{M}) 0,5 jam, frekuensi individu perawatan terjadwal (fpt) 1,64 jam dan rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT) 0,983 jam, yang berarti setiap 0,61 jam mesin akan mengalami perbaikan. Jadi, setiap 0,61 jam membutuhkan waktu 0,5 jam.

Robot Spot Main Body 7, mempunyai rata-rata waktu pemeliharaan (MTBM) 0,61 jam, waktu pemeliharaan aktif (\bar{M}) = 0,5 jam, frekuensi individu perawatan terjadwal (fpt) 1,64 jam dan rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT) 0,983 jam. Hal itu dapat diterjemahkan, bahwa dalam waktu pemeliharaan yang disediakan adalah 0,61 jam, mesin secara efektif diperbaiki selama 0,5 jam.

Tabel 8. Nilai Parameter *Maintainability* Faktor

No	Parameter	Nilai Parameter	
		Robot Spot Under Body 4	Robot Spot Main Body 7
1	\bar{M}_{ct}	0,819 jam	0,585 jam
2	\bar{M}_{pt}	0,481 jam	0,489 jam
3	MTBM	0,6081 jam	0,522 jam
4	fpt	1,637193 jam	1,910 jam
5	\bar{M}_{MDT}	0,48249 jam	0,489 jam
6	MDT	0,98249 jam	0,989 jam

Didasarkan atas nilai hasil analisis *Maintainability* diketahui bahwa kedua robot tersebut mempunyai rata-rata waktu pemeliharaan (MTBF) sebesar 0,57 jam, rata-rata waktu pemeliharaan aktif (\bar{M}) sebesar 0,5 jam, frekuensi individu perawatan terjadwal (fpt) sebesar 2 jam dan rata-rata *down time* pemeliharaan (MDT) sebesar 0,99. Pada dasarnya, kedua robot tersebut memerlukan waktu pemeliharaan rata-rata selama 0,6 jam, namun pemeliharaan efektif membutuhkan waktu selama 0,5 jam.

Nilai parameter faktor *availability* ditunjukkan pada Tabel 9. Nilai ini diperoleh menggunakan persamaan (8).

Didasarkan atas hasil analisis faktor *availability* (Tabel 9), probabilitas kesiapan sistem dari kegunaan masing-masing komponen secara keseluruhan per periode adalah 74,71-77,19%. Tingkat kesuksesan sistem tersebut berada pada kisaran kira-kira 99,99% (sangat tinggi), dengan nilai probabilitas kesuksesannya 1,49-1,74%. Jadi, jika alat dioperasikan dalam waktu 100 jam, maka 99,99 jam tidak mengalami kerusakan, atau alat mengalami kerusakan selama 0,01 jam.

Tabel 9. Nilai Parameter Faktor *Availability*

No	Parameter	Nilai Parameter	
		<i>Robot Spot Under Body 4</i>	<i>Robot Spot Main Body 7</i>
1	A ₁	0,7471	0,7719
2	A _a	0,5576	0,5184
3	A ₀	0,3823	0,3452

Dalam memprediksi besar biaya perawatan mesin, menggunakan persamaan (9) sampai (12). Hasil analisis memprediksi biaya perawatan sebagaimana ditunjukkan pada (Tabel 10-12).

Biaya keseluruhan untuk perawatan kesemua peralatan yang harus disediakan oleh departemen pemeliharaan di PT. Astra Daihatsu Motor Jakarta selama tahun 2004 adalah :

- *Robot Spot Under Body 4* Rp 1.072.152,8 lebih kecil dari Rp 3.989.197,00
- Untuk *Robot Spot Main Body 7* Rp 993.276,95 lebih kecil dari Rp 2.908.566,00.

Tabel 10. Hasil Analisis Biaya Perawatan untuk *Robot Spot Under Body 4* dan *Robot Spot Main Body 7* selama setahun

Tahun	<i>Robot Spot Under Body 4</i>	<i>Robot Spot Main Body 7</i>
2004	Rp 3.289.197	Rp 2.208.566

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Tabel 11. Daftar Gaji Teknisi yang Mengoperasikan alat selama setahun

Tahun	Jumlah Teknisi	Gaji/ bulan (Rp.juta)	Gaji/ tahun (Rp. juta)	Total Gaji (Rp. juta)
2004	3 orang	0,7	8,4	25,2

Sumber : Dept Maintenance PT. ADM

Total biaya pemeliharaan tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan biaya perawatan sesungguhnya. Kondisi tersebut terjadi karena dalam menentukan biaya perawatan sesungguhnya, menggunakan hitungan yang didasarkan pada hasil perhitungan untuk be-

ya pencegahan tanpa adanya biaya *overhaul*.

Tabel 12. Biaya Perawatan sesungguhnya yang disediakan oleh departemen maintenance selama setahun

Tahun	<i>Robot Spot Under Body 4</i>	<i>Robot Spot Main Body 7</i>
2004	Rp 3.989.197	Rp 2.908.566

Tabel 13. Biaya Perawatan Hasil Perhitungan

Mesin	Preventive		Biaya Pelumas & Grease (Rp. Juta)	Total (Rp. Juta)
	Gaji Operator (2,5 %; Rp. ribu)	Material (1%; Rp. ribu)		
<i>Robot Spot Under Body 4</i>	0,63	32,9	0,41	1,072
<i>Robot Spot Main Body 7</i>		22,1	0,342	0,994

Tabel 14. Biaya Perawatan Total dan Biaya Perawatan Sesungguhnya

Tahun	<i>Robot Spot Under Body 4</i>		<i>Robot Spot Main Body 7</i>	
	Biaya perawatan total (Rp. juta)	Biaya perawatan sesungguhnya (Rp. juta)	Biaya perawatan total (Rp. juta)	Biaya perawatan sesungguhnya (Rp. juta)
2004	1,072	3,99	0,994	2.908.566

Dalam hal ini, parameter yang digunakan adalah kedua robot tersebut belum pernah mengalami *overhaul* sejak mulai pengoperasiannya.

Analisis Perhitungan persediaan suku cadang setiap komponen dalam robot tentu akan mengalami masa inaktif. Pada kondisi ini, waktu inaktif tersebut perlu diprediksi. Dalam satu tahun, komponen robot yang harus dilakukan penggantian diperlihatkan pada (Tabel 15-16). Analisis perhitungan persediaan suku cadang menggunakan persamaan(9), persamaan(17.a) dan (17.b)

Tabel 15. Persediaan *Spare Part Robot Spot Under Body 4*

No	Jenis Spare Part	Jumlah persediaan / Bulan	
		Min	Max
1	Eltip spesial	8	31
2	Tip base holder	2	9
3	Flow switch	2	6
4	Limit switch	3	14
5	Tool changer	2	9
6	Adaptor GNA 2490	4	17

Tabel 16. Persediaan Spare Part Robot Spot Main Body 7

No.	Jenis spare part	Jumlah persediaan / bulan	
		Min	Max
1	Pin cotterl	6	26
2	Bearing	8	33
3	Adaptor GNA 1410	4	15
4	Pen tip	12	49

Tabel 17. Pemesanan Kembali Suku Cadang (reorder point)

No	Nama Mesin	Nama Komponen	Re-order dalam unit
1	Robot Spot Under Body 4	Eltip spesial	16
		Tip base holder	4
		Flow switch	4
		Limit switch	6
		Tool changer	4
		Adaptor GNA 2490	8
2	Robot Spot Mainr Body 7	Pin cotterl	12
		Bearing	16
		Adaptor GNA 1410	8
		Pen tip	24

Menentukan Batas Waktu Pemesanan Kembali (reorder point) Suku Cadang, analisis batas waktu pemesanan kembali suku cadang ditujukan untuk memperlancar proses pemeliharaan, jika sewaktu-waktu alat mengalami kerusakan, dengan didasarkan pada hasil perhitungan probabilitas distribusi kerusakan, maka produksi tidak akan terhenti

dalam waktu yang lama, karena *down-time* perbaikan yang terjadi akan berkurang. Analisis ini menggunakan pendekatan persamaan (9) dan (18). Prediksi penyediaan suku cadang yang harus dipersiapkan didalam operasi dapat dilihat pada (Tabel 17).

Jadi, jumlah persediaan *spare part* yang harus dipersiapkan agar proses produksi tidak terhenti terlalu lama dapat dilihat pada (Tabel 15 dan 16) dengan batas pemesanan kembali (reorder point). Tabel 17 serta rata-rata batas pemesanan kembali suku cadang untuk kedua mesin *robot spot* tersebut sebesar 10 unit.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis kelayakan operasional kedua robot spot tersebut dapat disimpulkan bahwa keduanya masih layak beroperasi dengan hasil yang memuaskan. Keduanya juga masih memiliki nilai fungsi keandalan yang baik.

Sebagai tindak lanjut, diperlukan penggunaan acuan/koreksi dalam hal penganalisisan dan pendataan waktu kerusakan/kegagalan yang menyeluruh secara terjadwal. Namun, perlu dipikirkan untuk segera menyediakan komponen-komponen sebagaimana dimaksud dengan suku cadang yang asli. *Over-haul* juga tetap diperlukan untuk memastikan robot spot tersebut dapat dioperasikan dengan baik, mengingat sebelumnya belum pernah dilakukan *overhaul*. Dalam tindakan yang lebih jauh, peningkatan kualitas dan kuantitas operator maintenance juga sangat diperlukan, seperti dengan mengikutkan pada kegiatan-kegiatan pelatihan mengenai konsep dasar pengoperasian mesin, sehingga mesin dapat beroperasi secara maksimal, awet dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Alain V, 1992, *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assesment*, by Jhon wiley & Son Ltd, England.
- Balbir S D and Hans R, 1985, *Reliability and Maintainability Management*, Wan Nestrland Reinhold Co, Inc.

- Dimitri K, 1991, *Reliability Engineering Hand Book*, by PTR Prentice Hall, Inc
- Grag H.P, 1994, *Industrial Maintenance*, Chand & Company Ltd.
- Mustofa, A, 2002, *Diktat Manajemen Perawatan*, Edisi I, Institut Sains & Teknologi Akprind Jogjakarta.
- Suharto, 1991, *Manajemen Perawatan Mesin*, Penerbit PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Supandi, 1993, *Manajemen Perawatan Industri*, Penerbit PT. Ganeca Eact Bandung.
- Suwandi, S., 1999, *Perawatan Mesin*, ITB. Bandung.
- Walpole, E R & Raymond, H M, 1986, *Ilmu Peluang & Statistik Untuk Insinyur & Ilmiah*, Edisi II, ITB Bandung.