

# Jurnal Teknologi

# TECHNOSCIENTIA

Vol. 5 No. 1 Agustus 2012



## DAFTAR ISI

Sistem Pendukung Keputusan Berbasis AHP ( <i>Analytical Hierarchy Process</i> ) Untuk Penentuan Kesesuaian Penggunaan Lahan (Studi Kasus : Kabupaten Semarang) <i>Sri Hartati, Adi Nugroho</i>	001 - 011
Effect Of Operating Parameter On Thermal Conversion Of Gasification Of <i>Pongamia Pinnata</i> Shells <i>A. A. Putu Susastriawan</i>	012 - 018
Tinjauan Dampak Banjir Lahar Kali Putih, Kabupaten Magelang Pasca Erupsi Merapi 2010 <i>Nur Aisyah , Dwi Indah Purnamawati</i>	019 - 030
Replikasi Untuk Meningkatkan Kinerja dan Ketersediaan Data (Study Kasus Sistem Informasi Akademik) <i>Joko Triyono</i>	031 - 040
Penerapan Penempatan Nilai Eigen Infinite Sistem Singular Pada Penyelesaian Persamaan Polinomial Matriks Berbentuk $[E_s - A] X + B Y = U(s)$ <i>Kris Suryowati, Yudi Setyawan</i>	041 - 049
Peningkatan Daya pada Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMh) di Daerah Imogiri Bantul Jogjakarta <i>Muhammad Suyanto</i>	050 - 059
Kondisi Keairan Sumber Air Panas Parangwedang di Daerah Parangtritis Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul dan Arahan Pengembangan untuk Pariwisata <i>Miftahussalam</i>	060 - 067
Fanalisa Kebutuhan Kalsium Karbid Pada Proses De-Sulfurisasi Pemurnian Nikel Feni II pada PT. Aneka Tambang, Tbk UBPN Sultra Provinsi Sulawesi Tenggara <i>Rina Rembah</i>	068 - 079
Pengaruh Sistem Kerja Terhadap Stress Kerja Dengan Penilaian <i>Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey</i> <i>Risma Adelina Simanjuntak , Rusdianto</i>	080 - 088
Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Dan Penentuan Jenis Obat Tradisional Sebagai Alternatif Penyembuhan <i>Suraya</i>	089 - 096
Kajian Eksperimental Terhadap Konduktivitas Dan Difusivitas Termal Buah Semangka <i>Susanto Johannes</i>	097 - 103
Pengujian Berat Jenis Dan Penyusutan Berat Bahan Uji Kabel Jenis N2XSRY dan NA2XSEYBY <i>Syafriyudin</i>	104 - 108

Analisa Daya Saing Perusahaan Ditinjau Dari Assesmen Teknologi <i>Yuliasuti Ramadhani</i>	109 - 115
Aplikasi Sistem Informasi Geografis Pemetaan Digital Loop Carrier (DLC) <i>Uning Lestari, Marwoto</i>	116 - 124

## **SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN BERBASIS AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS) UNTUK PENENTUAN KESESUAIAN PENGGUNAAN LAHAN(STUDI KASUS : KABUPATEN SEMARANG)**

Sri Hartati<sup>1</sup>, Adi Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Informasi Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga

Masuk: 13 Mei 2012, revisi masuk : 16 Juli 2012, diterima: 21 Juli 2012

### **ABSTRACT**

*The determination of landsuitability (residential, industrial, forestry, recreation, and waste disposal sites) in a given area need the attention of decision makers at both the central and local levels. Various parameters (roads, slope, water availability, etc.) should be considered carefully so that decision makers can make a qualified decision-making. In this paper, we chose AHP (Analytical Hierarchy Process) as a method to be used as a basis for decision making. In this case, GIS (Geographical Information System) which is able to visualize a particular geographic area can be used show the AHP's calculation results to a computer screen or in the printed maps.*

**Keyword :** Land suitability, AHP GIS

### **INTISARI**

Penentuan kesesuaian lahan (pemukiman, industri, kehutanan, rekreasi, serta tempat pembuangan limbah) di suatu daerah tertentu merupakan hal yang sangat memerlukan perhatian para pengambil keputusan baik di tingkat pusat maupun daerah. Berbagai parameter (misalnya jaringan jalan, kemiringan lereng, ketersediaan air, dan sebagainya) perlu dipertimbangkan secara seksama sehingga para pengambil keputusan bisa melakukan pengambilan keputusan yang berkualitas berkaitan dengan kesesuaian lahan. Dalam tulisan ini, kami memilih metoda AHP (Analytical Hierarchy Process) sebagai metoda yang akan digunakan sebagai basis pengambilan keputusan. Berkaitan dengan hal ini, SIG (Sistem Informasi Geografis) yang mampu melakukan visualisasi area geografis tertentu dapat digunakan sebagai sarana untuk menampilkan hasil perhitungan AHP ke layar monitor komputer atau ke dalam bentuk peta tercetak.

**Kata kunci :** Kesesuaian lahan, AHP GIS.

### **PENDAHULUAN**

Penentuan kesesuaian lahan (pemukiman, industri, kehutanan, rekreasi, serta tempat pembuangan limbah) merupakan hal yang sangat krusial bagi para pengambil keputusan yang terkait dengan hal ini (Pemerintah Daerah [Pemda], Departemen Pekerjaan Umum [DPU], dan sebagainya) (Muller, 2010; Suroso, 2010). Jika tidak dilakukan secara semestinya dan secara benar, alokasi lahan yang keliru seringkali akan mengakibatkan berbagai perma-

salahan, baikekonomi, sosial, budaya, kesehatan, transportasi, keamanan, maupun permasalahan-permasalahan lainnya (Suroso, 2010). Penentuan kesesuaian lahan ini pada umumnya bersifat semi terstruktur sehingga, jika kita menggunakan sistem berbasis komputer, SPK (Sistem Pengambilan Keputusan)/ DSS (*Decision Support System*) merupakan sistem yang paling sesuai untuk mengimplementasi-kannya (Ergott; Forman, 2011). Dalam hal ini, berbagai metoda pengambilan keputusan dapat

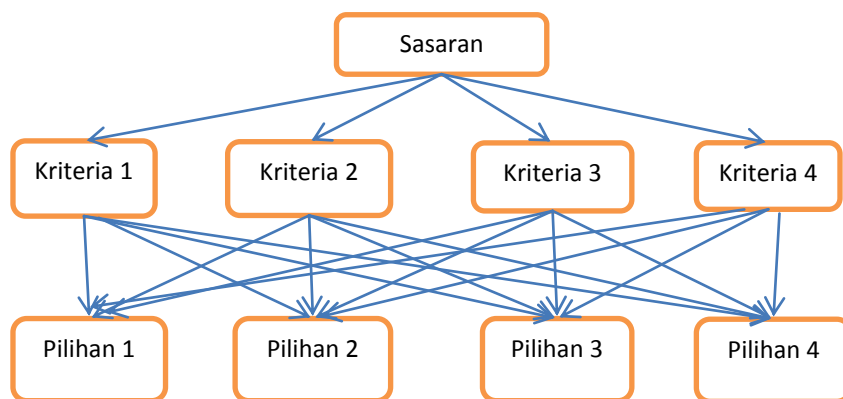
<sup>1</sup>[shartati@ugm.ac.id](mailto:shartati@ugm.ac.id);

<sup>2</sup>[adi.nugroho@staff.uksw.edu](mailto:adi.nugroho@staff.uksw.edu)

digunakan. Meski demikian, dalam tulisan ini, kami akan menggunakan metoda AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dengan bantuan perangkat lunak **Expert Choice 11**, dengan pertimbangan bahwa kami tidak perlu melakukan langkah-langkah pemrograman secara rinci sehingga kami bisa lebih berfokus pada pembuatan model keputusan dan langkah-langkah pengambilan keputusan secara konseptual. Pendekatan AHP, yang dikembangkan oleh **Thomas Saaty** dari Wharton School – University of Pennsylvania pada tahun 1980 (Saaty, 1980) merupakan salah satu metoda MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*) (pengambilan keputusan dengan kriteria majemuk) yang paling sering digunakan. Metoda AHP dapat diterapkan pada sejumlah besar proses pengambilan keputusan. Dalam tulisan ini, pendekatan yang diambil adalah dengan membentuk model evaluasi dan memberikan bobot-bobot terhadap kriteria-kriteria yang ada. Selanjutnya, AHP akan mengintegrasikan pengukuran-pengukuran yang berbeda itu ke dalam suatu bentuk nilai tunggal keseluruhan yang berkaitan dengan peringkat alternatif keputusan

[Joerin, 2000]. Penerapan AHP seringkali menghasilkan solusi untuk kriteria permasalahan majemuk dengan terlebih dulu mendekomposisinya ke dalam struktur hierarki yang berperingkat majemuk (Ergott; Forman, 2011).

Tekanan pada tulisan ini adalah penerapan metoda AHP untuk penentuan kesesuaian lahan. Dalam hal ini, metoda AHP (juga perangkat lunak **Expert Choice 11** yang digunakan) tidak serta merta menyediakan modul-modul penggambaran hasil di SIG (Sistem Informasi Geografis) (Lotfi, 2009; Lotfi, 2008; Weerakon). Oleh sebab itu, sebagai batasan permasalahan, dalam tulisan ini kami tidak membahas bagaimana hasil dari penerapan metoda AHP ditampilkan dalam perangkat lunak SIG. Kami hanya akan memperlihatkan bagaimana metoda AHP dapat diterapkan untuk data spasial dan non-spasial. Penggambarannya melalui perangkat lunak SIG berada di luar lingkup tulisan ini. Meski demikian, dalam tulisan ini kami juga menyertakan prosedur-prosedur yang semestinya dilaksanakan untuk mencapai hasil yang diharapkan.



Gambar 1 : Dekomposisi Masalah (Susila, 2007; Supriyono, 2007)

## METODE

Pada bagian ini, kita akan membahas teknik pengambilan keputusan menggunakan metoda AHP. Pada tahap pertama penerapan model AHP para pengambil keputusan perlu memecah permasalahan kriteria majemuk yang akan diambil keputusannya menjadi bagian-bagiannya, dimana masing-masing atribut yang dapat dirancang dalam

bentuk peringkat-peringkat hierarki majemuk (Gambar 2) (Susila, 2007; Supriyono, 2007). Selanjutnya, masing-masing kriteria dan sub-subkriteria di bawahnya seringkali tidak memiliki tingkat kepentingan yang sama dan masing-masing kriteria dan sub-subkriteria itu seringkali juga memiliki bobot-bobot yang berbeda. Dalam kasus kita, kriteria-kriteria dan sub-subkriteria adalah seperti yang di-

sebutkan dalam Bagian I, dan pilihan-pilihannya adalah penentuan kesesuaian lahan (pemukiman, industri, kehutanan, rekreasi, serta tempat pembuangan limbah)(Joerin,2000; Kingham,2002; Temiz, 2009; Weerakon). Setelah masalah terdekomposisi, maka ada dua tahap penilaian atau membandingkan antar-elemen yaitu perbandingan antarkriteria dan perbandingan antarpilihan untuk setiap kriteria. Metoda AHP pada dasarnya mampu menyediakan proses analitis secara semi-terstruktur yang pada gilirannya mampu digunakan untuk mengkombinasikan penilaian-penilaian dari berbagai alternatif dan kriteria yang

ada(Ergott.,Forman,2011). Suatu hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa pemberian bobot-bobot pada dua elemen yang akan dibandingkan secara dramatis akan mengurangi kerumitan konseptual pada analisis yang akan dilakukan dan, setelah kita mampu melakukannya dengan seksama, analisis akan dilakukan menggunakan tiga tahap utama, yaitu: 1) Mengembangkan matriks perbandingan pada masing-masing peringkat hierarki, 2) Menghitung bobot relatif dan prioritas untuk masing-masing elemen pada hierarki, dan 3) Menghitung rasio konsistensi untuk menilai konsistensi penilaian(Lotfi,2009;Lotfi,2008).

Tabel 1 : Skala Kepentingan Aktivitas-aktivitas Secara Relatif (Saaty, 1980)

Skala	Makna
1	Sama pentingnya. Dua aktivitas memiliki kontribusi yang sama pada sasaran.
3	Suatu aktivitas memiliki kepentingan yang sedikit lebih kuat dibandingkan aktivitas yang lainnya dalam kerangka pencapaian sasaran.
5	Suatu aktivitas memiliki kepentingan yang lebih kuat dibandingkan aktivitas yang lainnya dalam kerangka pencapaian sasaran.
7	Suatu aktivitas memiliki kepentingan yang sangat lebih kuat dibandingkan aktivitas yang lainnya dalam kerangka pencapaian sasaran.
9	Suatu aktivitas memiliki kepentingan yang dominan dibandingkan aktivitas yang lainnya dalam kerangka pencapaian sasaran.
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai yang berada di antara nilai-nilai yang telah disebutkan sebelumnya.

Dalam kerangka untuk mengembangkan matriks perbandingan, Thomas L. Saaty mengusulkan skala sembilan peringkat seperti yang diperlihatkan melalui Tabel 1 (Saaty, 1980). Selanjutnya, elemen-elemen pada masing-masing peringkat, secara berpasangan, dibandingkan berdasarkan kepentingannya masing-masing dan kemudian digambarkan dalam bentuk matriks bujursangkar  $A$  sebagai berikut (Jika ukuran matriks  $A$  adalah  $n$  maka tentunya elemen pada sudut kanan-bawah akan memiliki indeks sebagai  $a_{nn}$ ) [1, 2]. Dimana terjadi kondisi yang berbalikan dimana  $a_{ij} = 1/a_{ji}$

Sebagai contoh, kita bisa melihat kasus untuk peringkat pertama penilaian kesesuaian lahan secara umum seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2. Nilai-nilai pada masing-masing perpotongan baris-kolom tentunya harus ditentukan

berdasarkan patokan yang valid. Dalam hal ini, kami kembali mengacu pada skala prioritas implisit yang tertuang pada Pedoman Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Badan Koordinasi Penataan Ruang Nasional Republik Indonesia (UU No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang) (www. bkprn.org, 2011).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, untuk masing-masing grid, kami melakukan konversi-konversi data (spasial dan non-spasial) yang kami miliki menjadi memiliki bobot-bobot tertentu sehingga bisa dihitung menggunakan metoda AHP (khususnya menggunakan perangkat lunak Expert Choice 11).

Tabel 2 : Penilaian Terhadap Kriteria

Kriteria	Air	Oksigen	Morfologi	Vegetasi	Tanah	Jalan	Suhu
Air	1	1	4	2	3	2	4
Oksigen	1	1	3	3	3	3	3
Morfologi	1/4	1/3	1	3	3	2	3
Vegetasi	1/2	1/3	1/3	1	3	2	3
Tanah	1/3	1/3	1/3	1/3	1	2	4
Jalan	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1	5
Suhu	1/4	1/3	1/3	1/3	1/4	1/5	1

Tabel 3 : Contoh Perhitungan Bobot Untuk Perhitungan AHP Untuk Parameter Air (Jarak Akuifer Di Bawah Permukaan)

Jarak Titik Pusat Grid dari Akuifer air (km)	Bobot
0-1	0.00
1-3	0.25
3-5	0.5
5-7	5-7
>7	1

Tabel 4 : Contoh Perhitungan Bobot Untuk Perhitungan AHP Untuk Parameter Jalan (Jarak Jaringan Jalan)

Jarak Titik Pusat Grid dari Jalan Arteri Primer (km)	Bobot
> 2	0.00
1-1.5	0.5
0.5-1	0.75
0-0.5	1

Berdasarkan data yang kami miliki, dengan prinsip seperti yang telah dijelaskan di atas, kami kemudian melakukan penghalusan-penghalusan lagi lebih jauh berdasarkan data yang kami miliki dan hasilnya kami rata-ratakan (Lotfi, 2009; Lotfi, 2008)

Dengan skala prioritas implisit yang tertuang pada Pedoman Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Badan Kordinasi Penataan Ruang Nasional – Republik Indonesia (UU No.

26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang) ([www.bkprn.org](http://www.bkprn.org), 2011) yang telah dibahas di atas.

Untuk menjelaskan konsep di atas, perhatikan Tabel 3 dan Tabel 4 sebagai contoh perhitungan. Perhatikan juga bahwa (menurut Tabel 2) perbandingan berpasangan untuk Air : Jalan = 2 : 1. Sementara itu, misalkan untuk suatu grid, jarak akuifernya 2,5 km dan jarak jalannya 1,25 km dari pusat grid, maka berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4, kita bisa mendapatkan bobotnya 0,25 (Air) dan 0,5 (Jalan). Selanjutnya, kita bisa melakukan pembagian nilai dengan bobot Air, sehingga kita bisa mendapatkan nilai-nilai bobot satu (Air) dan dua (Jalan). Dengan demikian, nilai perbandingan berpasangan untuk Air : Jalan = (2 + 2)/2:1, atau sebesar 2:1 (tetap). Berdasarkan prinsip yang serupa, kita selanjutnya bisa melakukan perhitungan AHP (dengan penghalusan) dengan terlebih dahulu mengkonversi semua data yang diperoleh di lapangan menggunakan tabel-tabel yang serupa dengan Tabel 3 dan Tabel 4 (seluruhnya ada 24 buah tabel). Konversi-konversi itu sebagian bisa dilakukan menggunakan perangkat lunak lembar kerja (*spreadsheet*) seperti Microsoft Excel, tetapi sebagian lagi tentunya hanya bisa dilakukan dengan pengukuran-pengukuran langsung terhadap peta dasar yang tersedia.

Tabel 5 : Perbandingan Antarkriteria

Kriteria	a1	a2	a3	a4	Jumlah	Bobot
a1	-	a <sub>12</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>14</sub>	a <sub>1</sub>	ba <sub>1</sub> = a <sub>1</sub> /a <sub>t</sub>
a2	a <sub>21</sub>	-	a <sub>23</sub>	a <sub>24</sub>	a <sub>2</sub>	ba <sub>2</sub> = a <sub>2</sub> /a <sub>t</sub>
a3	a <sub>31</sub>	a <sub>32</sub>	-	a <sub>34</sub>	a <sub>3</sub>	ba <sub>3</sub> = a <sub>3</sub> /a <sub>t</sub>
a4	a <sub>41</sub>	a <sub>42</sub>	a <sub>43</sub>	-	a <sub>4</sub>	ba <sub>4</sub> = a <sub>4</sub> /a <sub>t</sub>

Jumlah	$a_t$					
Tabel 5 : Perbandingan Antarpilihan Untuk Kriteria $a_t$						
Kriteria	OP1	OP2	OP3	OP4	Jumlah	Bobot
OP1	-	$O_{12}$	$O_{13}$	$O_{14}$	$O_1$	$bO_1 = O_1/O$
OP2	$O_{21}$	-	$O_{23}$	$O_{24}$	$O_2$	$bO_2 = O_2/O$
OP3	$O_{31}$	$O_{32}$	-	$O_{34}$	$O_3$	$bO_3 = O_3/O$
OP4	$O_{41}$	$O_{42}$	$O_{43}$	-	$O_4$	$bO_4 = O_4/O$
Jumlah					$O$	

Setelah kita berhasil melakukan penghalusan nilai-nilai pada Tabel 2, metoda AHP mengharuskan kita melakukan langkah-langkah lanjutan seperti berikut ini (Saaty,1980.,Susila,2007.,Supriyono,2007).(Perhatikan Tabel 5 di atas yang dibuat menggunakan asumsi bahwa kriteria yang ada hanya ada empat kriteria. Tabel 5 di atas merupakan ringkasan dari Tabel 2, yang digunakan hanya untuk menjelaskan proses perhitungan AHP serta untuk menjelaskan algoritma yang digunakan oleh perangkat lunak Expert Choice 11 yang digunakan sebagai alat bantu [tool] dalam penelitian yang ditulis melalui tulisan ini.) Menghitung nilai  $a_i$  yang merupakan penjumlahan nilai yang dimiliki kriteria ke- $i$ . Menghitung nilai  $a_i$  yang merupakan penjumlahan semua nilai  $a_i$ . Bobot untuk kriteria ke- $i$  ( $ba_i$ ) dapat di-peroleh dengan membagi nilai  $a_i$  dengan  $a_t$ .

Dengan menggunakan prosedur yang sama, selanjutnya harus melakukan perbandingan antarpilihan (OP) untuk masing-masing criteria (Saaty,1980, Susila, 2007, Supriyono,2007). Tabel 6 memperlihatkan perbandingan antar pilihan (empat pilihan) untuk kriteria satu ( $a_t$ ) dengan penjelasan sebagai berikut.  $O_{ij}$  merupakan hasil penilaian/pembandingan antara pilihan  $i$  dengan  $k$  (jumlah kolom) untuk kriteria ke- $j$ ,  $O_i$  merupakan penjumlahan nilai yang dimiliki oleh pilihan ke- $i$ .  $O$  merupakan penjumlahan semua nilai  $O_i$ .  $bO_{ij}$  merupakan nilai pilihan ke- $i$  untuk kriteria ke- $j$ . Selanjutnya, kita masuk pada pada tahap akhir dari metoda AHP. Pada dasarnya, tahap ini, yang sering dinamakan sebagai tahap sintesis, dilakukan dengan cara melakukan penjumlahan

pada bobot-bobot yang diperoleh dari suatu kriteria untuk memperoleh prioritas untuk masing-masing pilihan (Saaty,1980; Susila, 2007; Supriyono, 2007). Secara umum, nilai prioritas suatu pilihan dapat dihitung menggunakan persamaan/rumus sebagai berikut.

$$bOp_i = \sum_{j=1}^n bO_{ij} * ba_j \dots\dots\dots [1]$$

dimana  $bOp_i$  adalah nilai/bobot untuk pilihan ke- $i$ .

Persamaan 1 dapat juga ditampilkan dalam bentuk tabel. Demi kemudahan, seperti sebelumnya, kita mengasumsikan ada empat kriteria dengan empat pilihan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6 di atas. Sebagai contoh, nilai prioritas pilihan satu (OP1) bisa diperoleh dengan cara mengalikan nilai yang terkait dengan kriteria tersebut untuk pilihan satu.

$$bOp_1 = bO_{11} * ba_1 + bO_{12} * ba_2 + bO_{13} * ba_3 + \dots \dots\dots [2]$$

Perhitungan/persamaan 2 dilakukan untuk semua pilihan (pilihan dua, tiga, dan empat). Dengan membandingkan nilai yang diperoleh masing-masing pilihan, prioritas dapat disusun berdasarkan besarnya nilainya (Saaty,1980; Susila,2007;Supriyono,2007). Semakin tinggi nilai hasil perhitungan suatu pilihan, akan semakin tinggi prioritasnya. Demikian, perhitungan menggunakan metoda AHP telah kita selesaikan. Kenyataannya, perhitungan secara manual akan sangat menghabiskan waktu, sebab itu dalam penelitian yang kami lakukan, kami menggunakan bantuan perangkat lunak Expert Choice 11.

Dalam hal di atas, pada pembentukan matriks perbandingan berpasangan, seringkali dijumpai ketidak konsistenan dalam hal penentuan nilai-nilai per-



bandingan berpasangan. Ketidakkonsistenan itu (jika tidak dikelola dengan baik) seringkali akan mengakibatkan validitas perhitungan metoda AHP menjadi berkurang (bahkan mungkin menjadi tidak valid lagi)(Lotfi, 2009; Lotfi,2008; Saaty, 1980). Sebab itu, pada pembahasan

selanjutnya kita akan melihat bagaimana caranya kita bisa menghilangkan (paling tidak mengurangi) ketidakkonsistenan yang mungkin kita buat saat mengembangkan matriks berpasangan (seperti yang terlihat pada Tabel 2).

Tabel 6 : Sintesis Penilaian

	a1	a2	a3	a4	Prioritas
	ba <sub>1</sub>	ba <sub>2</sub>	ba <sub>3</sub>	ba <sub>4</sub>	bOp <sub>i</sub>
OP <sub>1</sub>	bO <sub>11</sub>	bO <sub>12</sub>	bO <sub>13</sub>	bO <sub>14</sub>	bOp <sub>1</sub>
OP <sub>2</sub>	bO <sub>21</sub>	bO <sub>22</sub>	bO <sub>23</sub>	bO <sub>24</sub>	bOp <sub>2</sub>
OP <sub>3</sub>	bO <sub>31</sub>	bO <sub>32</sub>	bO <sub>33</sub>	bO <sub>34</sub>	bOp <sub>3</sub>
OP <sub>4</sub>	bO <sub>41</sub>	bO <sub>42</sub>	bO <sub>43</sub>	bO <sub>44</sub>	bOp <sub>4</sub>

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \text{ untuk semua } j=1, 2, \dots, n \quad [3]$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} \text{ untuk semua } i = 1, 2, \dots, n \quad [4]$$

Setelah matriks bujursangkar A (Tabel 2) padanya dilakukan penghalusan-penghalusan, dapat terbentuk dengan baik, selanjutnya untuk menentukan konsistensi penilaian kriteria, perlu dihitung 'vektor bobot' (*vector of weights*)  $w=[w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ , yang pada dasarnya bisa dihitung setelah *eigenvektornya* dihitung(Lotfi,2009;Lotfi,2008;Saaty,1980 ). Kedua persamaan untuk menghitung 'vektor bobot' (*vector of weights*) dan *eigenvektor* diperlihatkan dalam persamaan 1 dan persamaan 2. Dalam hal ini,Saaty memperlihatkan bahwa sesungguhnya ada hubungan di antara 'vektor bobot' ( $w$ ) dengan matriks A seperti pada persamaan 5(Saaty,1980).

$$Aw = \lambda_{max} \cdot w \quad \dots\dots\dots [5]$$

Dimana nilai  $\lambda_{max}$  adalah suatu parameter AHP yang sangat penting dan digunakan sebagai indeks rujukan untuk menghitung 'rasio konsistensi' (CR-*Consistency Ratio*). Untuk menghitung CR, 'indeks konsistensi' (CI-*Consistency Index*) untuk matriks yang berukuran  $n$  dapat dihitung dengan mudah menggunakan persamaan 4 (Saaty, 1980).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \dots\dots\dots [6]$$

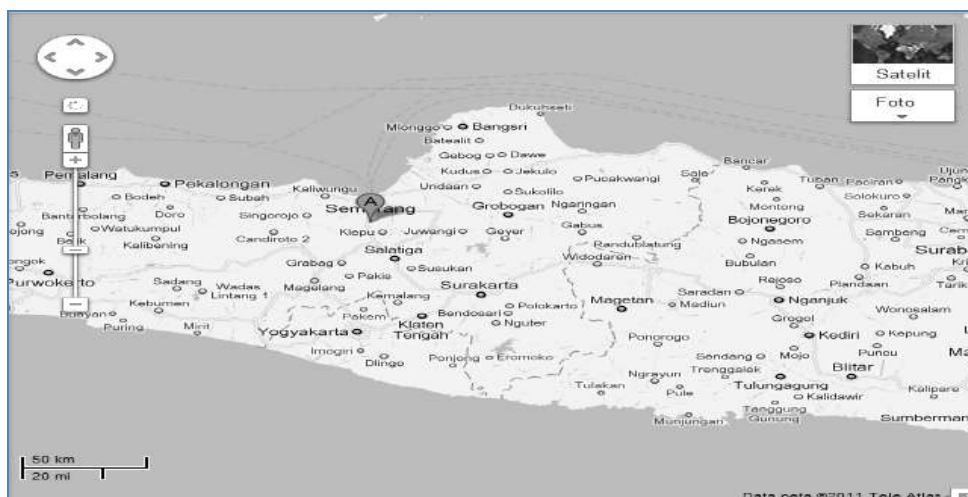
Kemudian, CR sendiri dapat dihitung menggunakan persamaan 5 [11].

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \dots\dots\dots [7]$$

dimana RI sesungguhnya merupakan 'indeks konsistensi acak' (*random consistency index*) yang pada dasarnya diperoleh dari suatu matriks perbandingan yang dibentuk secara acak. Pada Tabel 2 di atas, kita bisa melihat nilai RI dari matriks-matriks yang berukuran satu hingga 10 seperti yang disarankan oleh Saaty. Kembali pada perhitungan nilai CR di atas, menurut ketentuan yang disarankan oleh Saaty, jika nilai  $CR < 0.1$ , maka perbandingan-perbandingan berpasangan yang dibentuk sebelumnya (yang tercantum pada matriks A) pada prinsipnya dapat diterima(Saaty,1980). Meski demikian, jika nilai  $CR \geq 0.1$  maka rasio CR itu mengindikasikan bahwa telah terjadi penilaian-penilaian berpasangan yang tidak konsisten(Saaty,1980). Dalam kasus yang terakhir ini, para pengambil keputusan harus memperbaiki nilai-nilai yang ada di matriks A yang terbentuk sebelumnya hingga nilai  $CR < 0.1$  tercapai.Penilaian konsistensi di atas sesungguhnya dapat diotomatisasi menggunakan perangkat lunak Expert Choice 11 yang digunakan sebagai alat bantu, dapat menyelesaikan permasalahan penilaian konsistensi di atas dengan baik(Expert Choice 11 Tutorial). Jika konsistensi belum tercapai, tentunya kita harus memperbaiki matriks perbandingan

berpasangan seperti yang telah kita susun sebelumnya (Tabel 2 yang telah

diperhalus)(Lotfi,2009;Lotfi,2008;Expert Choice 11 Tutorial).



Gambar 2 : Peta Daerah Penelitian (Kabupaten Semarang)

Tabel 7 : Nilai RI Untuk Ukuran Matriks ( $n = 1-10$ ) (Saaty, 1980) [19]

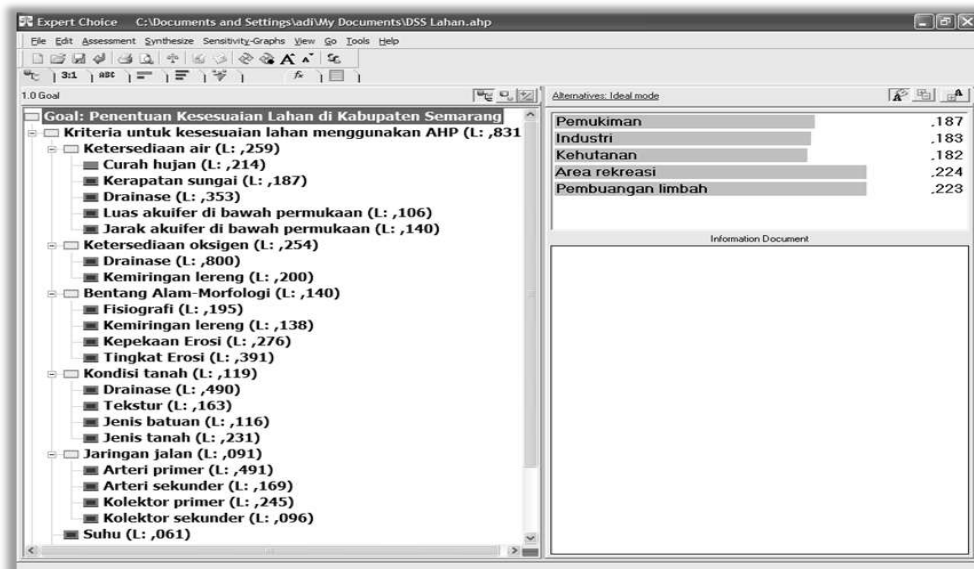
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1.49	1.46	1.41	1.32	1.24	1.12	0.9	0.58	0.00	0.00

Penerapan metoda ahp untuk penentuan kesesuaian lahan menggunakan expert choice 11, Secara konsep, apa yang akan kita lakukan (penentuan kesesuaian lahan) sudah kita bahas sebelumnya Meski demikian, alih-alih melakukan perhitungan secara manual, kita (seperti yang telah kita singgung sebelumnya) akan melakukannya menggunakan perangkat lunak Expert Choice 11 yang akan melakukan perhitungan-perhitungan metoda AHP secara otomatis(Expert Choice 11 Tutorial). Dalam hal ini, karena Expert Choice 11 akan melakukan perhitungan-perhitungan AHP secara otomatis, yang perlu kita lakukan saat ini adalah memberikan padanya asupan-asupan (*input*) yang berkaitan dengan kriteria-kriteria (serta sub-subkriteria) yang mendasari perhitungan AHP serta sasaran-sasaran yang akan dicapai.

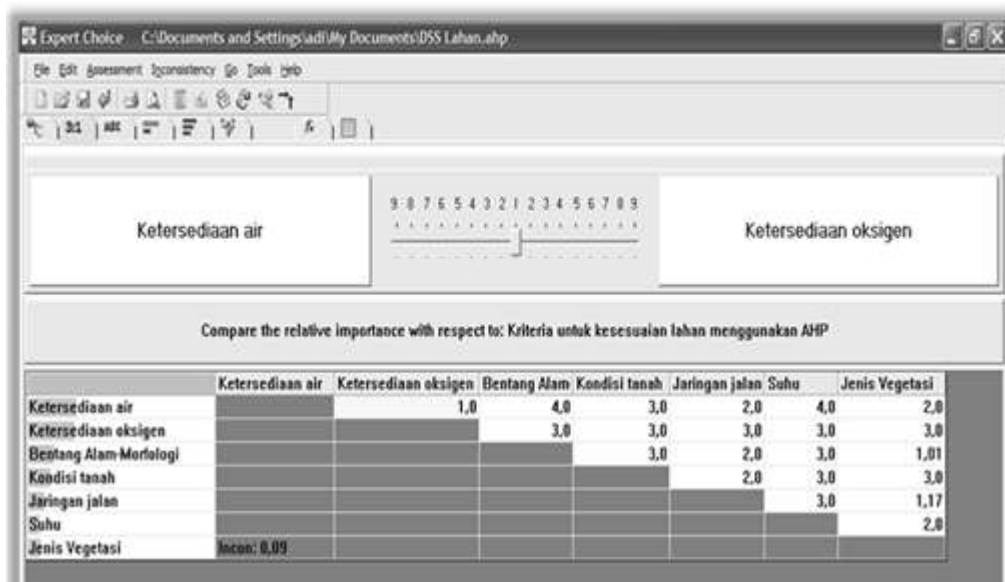
Perhitungan Nilai AHP Menggunakan Perangkat Lunak Expert Choice 11, Penentuan kriteria-kriteria (serta sub-subkriteria) perhitungan AHP tentunya tidak bisa dilakukan secara sembarang-

an. Dalam hal ini, untuk melakukan penentuan kriteria-kriteria (serta sub-subkriteria) perhitungan AHP, kami merujuk pada Pedoman Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten (UU No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang) yang dikeluarkan oleh Badan Kordinasi Penataan Ruang Nasional–Republik Indonesia(www.bkprn.org, 2011). Dalam hal ini, kriteria-kriteria (dan sub-subkriteria) penentuan kesesuaian lahan, sesuai dengan data yang dimiliki adalah ketersediaan air (curah hujan, kelembaban udara, drainase, jarak akuifer di bawah permukaan, serta luasnya). Jenis vegetasi (hutan, sawah, ladang). Kondisi tanah (drainase, tekstur, jenis batuan, jenis tanah, ketebalan tanah). Jaringan jalan (jarak arteri primer, sekunder, kolektor primer, sekunder) dan suhu

Sementara itu, sasaran penentuan lahan yang akan dicapai adalah peta kesesuaian lahan berdasarkan data yang ada. Kriteria-kriteria untuk perhitungan AHP terlihat di atas, sementara



Gambar 3 : Penstrukturan Keputusan dan Pengambilan Keputusan Expert Choice 11



Gambar 4 : Melakukan Perbandingan Berpasangan Menggunakan Expert Choice 11

yang di dalam kurung adalah sub-subkriterianya. Selanjutnya, untuk melakukan perhitungan 'vector bobot' (*vector of weights*), kami menggunakan perangkat lunak Expert Choice 11. Dalam penggunaan perangkat lunak Expert Choice 11 ini ada beberapa tahap utama yang perlu dilakukan, yaitu:

Melakukan penstrukturan keputusan dalam bentuk model hierarki (Gambar 2 sebelah kiri).

Melakukan pengaturan-pengaturan yang diperlukan untuk perbandingan berpasangan.

Melakukan impor data untuk Expert Choice 11 dari basis data eksternal (jika ada). Melakukan perbandingan berpasangan untuk kriteria-kriteria (dan sub-subkriteria) yang penting untuk pengambilan keputusan (Gambar 3).

Melakukan sintesis untuk menentukan alternatif keputusan yang terbaik (Gambar 2 sebelah kanan-atas).

Melakukan analisis kepekaan (*sensitivity analysis*). (Analisis ini dilakukan dengan cara merubah-ubah nilai-nilai bobot dan membandingkan hasilnya dengan hasil sebelumnya.) Melakukan ekspor data ke basis data eksternal (jika diperlukan).

Salah satu keunggulan utama dari perhitungan AHP menggunakan Expert Choice 11 adalah penggunaan perbandingan berpasangan untuk mendapatkan rasio skala prioritas yang relatif akurat (dan dengan cara yang relatif mudah) (Expert Choice 11 Tutorial). Saat model telah selesai dikembangkan (Gambar 3 sebelah kiri), langkah selanjutnya adalah mengevaluasi tingkat kepentingan sasaran secara relatif dengan memperhatikan sasaran lain yang ada pada peringkat di atasnya. Dalam hal ini, kita bisa membuat perbandingan berpasangan di seluruh bagian model untuk menetapkan prioritas-prioritas keputusan secara keseluruhan (Gambar 3). Menggunakan perangkat lunak Expert Choice 11, kita bisa menggunakan tiga metoda penilaian untuk perbandingan berpasangan (Expert Choice 11 Tutorial), yaitu secara verbal (*Verbal Judgments*) (*Equal, Moderate, Strong, Very Strong, Extreme*), secara grafis (*Graphical Judgments*) dengan melakukan pengaturan panjang relatif duabar, dan secara numerik (*Numerical Judgements*) dengan penggunaan skala numerik sembilan angka (lihat Gambar 3), yang menggambarkan seberapa penting suatu elemen/kriteria dibandingkan dengan elemen/kriteria yang lainnya.

Jika kita melakukan segala sesuatunya dengan benar, terutama saat melakukan perbandingan berpasangan dimana 'indeks konsistensi acak' (*random consistency index*)-nya bernilai lebih kecil dari 0,1 (dalam contoh Gambar 4, nilainya 0,09 yang berarti perbandingan berpasangan bisa diterima) maka hal itu berarti bahwa kita telah melakukan perbandingan berpasangan secara relatif konsisten (Expert Choice 11 Tutorial., [www.bkprn.org](http://www.bkprn.org), 2011). Selanjutnya kita

bisa melihat hasil perhitungan yang dilakukan oleh Expert Choice 11 dalam bentuk grafik prioritas seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 (sebelah kanan-atas) yang bisa digunakan sebagai basis pengambilan keputusan. (Dalam contoh yang diperlihatkan dalam Gambar 3, kita bisa melihat bahwa area yang diambil, menurut perhitungan kesesuaian lahan menggunakan metoda AHP, sesuai untuk area rekreasi [nilai prioritas sebesar 0,224] atau area pembuangan limbah [nilai prioritas sebesar 0,223]).

Teknik Perhitungan Kesesuaian Lahan Menggunakan Metoda AHP dan Perangkat Lunak Expert Choice 11, adalah kakas (*tool*) yang sangat membantu kita melakukan pengambilan keputusan saat metoda AHP yang digunakan sebagai basis untuk pengambilan keputusan. Meski demikian Expert Choice 11 hanya bisa bekerja dengan data teks dan numerik, sementara itu data yang kami dapatkan sebagian adalah data yang berjenis spasial [Hartati, 2010., Kingham, 2002., Pavloudakisa, 2009., Temiz, 2009] oleh karena itu, untuk bisa memanfaatkan Expert Choice 11 dengan baik, mengikuti langkah pertama Peta Kabupaten Semarang (Gambar 2) kami bagi-bagi menjadi grid-grid berukuran  $1 \times 1 \text{ km}^2$ .

Untuk masing-masing grid, kami melakukan konversi-konversi data (spesial dan non-spasial) yang kami miliki menjadi bobot-bobot tertentu sehingga bisa dihitung menggunakan metoda AHP (khususnya menggunakan Expert Choice 11). (Contoh konversi data menjadi bobot-bobot dalam AHP diperlihatkan melalui Bagian II sebelumnya, khususnya Tabel 3 dan Tabel 4.) Dalam hal ini, sesuai dengan data yang kami miliki (perhatikan Gambar 2 sebelah kiri), untuk setiap grid kami memiliki 24 tabel serupa dengan yang diperlihatkan melalui Tabel 3 dan Tabel 4.

Untuk setiap grid, kami memasukkan data yang diperoleh melalui poin dua ke dalam perangkat lunak Expert Choice 11 dan melakukan perhitungan-perhitungan menggunakan metoda

AHP dengan langkah-langkah yang secara garis besar telah diperlihatkan melalui subbagian 3.1 di atas.

Nilai-nilai prioritas untuk masing-masing hasil perhitungan digambarkan pada masing-masing grid yang ada pada peta Kabupaten Semarang.

Berdasarkan Pedoman Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten (UU No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang) yang dikeluarkan oleh Badan Koordinasi Penataan Ruang Nasional-Republik Indonesia [19], kami bisa memilih area-area (berdasarkan nilai-nilai prioritas) yang menunjukkan area-area kesesuaian lahan untuk pemukiman, industri, kehutanan, rekreasi, serta tempat pembuangan limbah.

Menggunakan perangkat-perangkat lunak SIG (Sistem Informasi Geografis) (misalnya ArcGIS), pada peta Kabupaten Semarang dibuat peta yang menggambarkan area-area yang memiliki nilai-nilai prioritas yang sama akan diberi warna-warna yang sama pula (Muller, 2010., Puntodewo, 2003; Suroso, 2010).

Demikianlah, secara garis besar telah kami sampaikan apa yang kami lakukan saat kami melakukan penelitian kami. Tulisan ini memang tidak menekankan pada hasil, alih-alih lebih menekankan pada model serta prosedur yang kami gunakan/lakukan untuk mendapatkan hasil berupa gambaran pada SIG yang menunjukkan area-area kesesuaian lahan untuk pemukiman, industri, kehutanan, rekreasi, serta tempat pembuangan limbah. Kami berharap pembaca bisa mendapat gambaran meluas tentang pekerjaan penentuan area kesesuaian lahan menggunakan metoda AHP yang difasilitasi dengan penggunaan perangkat lunak Expert Choice 11.

#### KESIMPULAN

Kombinasi penggunaan metoda AHP (yang difasilitasi perangkat lunak **Expert Choice 11**) dengan perangkat-perangkat lunak SIG seperti ArcGIS, ArcView, dan sebagainya, sesungguhnya memungkinkan para pengambil keputusan dapat melakukan pengambilan keputusan dengan baik dan berkualitas (meskipun data yang dimilikinya bersifat deskriptif dan kualitatif). Perhitungan

metoda AHP dengan teknik untuk menampilkannya dalam bentuk SIG belum terintegrasi dengan baik. Perangkat lunak perhitungan AHP belum terintegrasi dengan perangkat lunak SIG. Riset selanjutnya mungkin bisa dilakukan dengan membuat modul-modul AHP yang terintegrasi di dalam perangkat-perangkat lunak SIG yang ada saat ini. Dengan cara seperti ini, pengolahan data yang serupa dengan penentuan kesesuaian lahan bisa dilakukan dengan mudah dan terintegrasi dari dalam perangkat lunak SIG.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ergott, Mathias., Jose Rui Figuera., Salvatore Greco (Editor). *Trends in Multiple-Criteria Decision Analysis*. @Springer Science+Business Media, New York.
- Forman, Ernest. *Decision by Objectives*. George Washington University. www.mdm.gwu.edu. Diakses 11 Mei 2011.
- Hartati, Sri., Imas S. Sitanggang, 2010. *A Fuzzy-based Decision Support System for Evaluating Land Suitability and Selecting Crops*. Journal of Computer Science 6 (4): 417-424, 2010, ISSN 1549-3636, ©2010 Science Publications.
- Joerin, Florent., Marius Thelieurt., Andre Mussy, 2000. *Using GIS and Outranking Multicriteria Analysis for Land-Use Suitability*. Int. J. Geographical Information Science, 2001, vol. 15, no. 2, 15-174, ISSN 1365-8816 print/ISSN 1362-3087 online © 2001 Taylor & Francis Ltd.
- Kingham, R.A., Chartres C.J., Ivkovic K.M., Mullen I.C., Johnstom R.M., Sims J., Kirby J.M. 2002. *Integrating Biophysical and Economic Data Using GIS/DSS to Assess Irrigation Suitability for Specific Crops*. Bureau of Rural Science, Australia.

- Lotfi, Sedigheh., Kiumars Habibi., Mohammad Javad Koohsari, 2009. *Integrating Multi-Criteria Models and Geographic Information System for Cemetery Site Selection (A Case Study of the Sanandaj City, Iran)*. *Acta Geographica Slovenica*, 49-1, 2009, 179–198.
- Lotfi, Sedigheh., Kiumars Habibi., Mohammad Javad Koohsari, 2008. *Spatial Analysis of Urban Fire Stations by Integrating AHP Model and IO Logic Using GIS (A Case Study of Zone 6 Tehran)*. *Journal of Applied Science* 8 (19): 3302-33015, 2008, ISSN 1812-5654, ©2010 Science Publications.
- Muller, Markus., 2010. *Modul-modul Sistem Informasi Geografis*. GIS Service Center (GSC) Dishut Provinsi Kalimantan Barat.
- Pavloudakisa, F., M. Galetakis, Ch. Roumpos, 2009. *A Spatial Decision Support System for the Optimal Environmental Reclamation of Open-pit Coal Mines in Greece*. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* Vol. 23, No. 4, December 2009, 291–303.
- Puntodewo, Atie., Sonya Dewi., Josupta Tarigan, 2003. *Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Center for International Forestry Research (CIFOR), Jakarta.
- Saaty, Thomas L., 1980. *Decision Making with the Analytical Hierarchy Process*. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1.
- Susila, Wayan R., Ernawati Muladi, 2007. *Prosedur dan Aplikasi Proses* *Process Untuk Penyusunan Prioritas Proposal Penelitian*. *Informatika Pertanian* Vol. 16, Institut Pertanian Bogor.
- Supriyono, Wisnu Arya Wardhana., Sudaryo, 2007. *Sistem Pemilihan Pejabat Struktural Dengan Metoda AHP*. Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 21-22 November 2007, ISSN 1978-0176.
- Suroso, Djoko., Santoso Abi, 2010. *Perencanaan Pedesaan : Metoda Penentuan Kemampuan Lahan Untuk Alokasi Pemanfaatan Ruang*. <http://www.scribd.com/doc/54585932/11/Evaluasi-Kesesuaian-Penggunaan-Lahan>. Diakses 7 Mei 2011.
- Temiz, Nurcan., Vahap Tecim, 2009. *Geographic Information System as a Decision Support System in Forest Management*. *SDU JOURNAL OF SCIENCE (E-JOURNAL)*. Vol 4(2), 213-223.
- Weerakon, K.G.P.K. *Integration of GIS Suitability Analysis and Multi-Criteria Evaluation for Urban Land Use Planning : Contribution from Analytical Hierarchy Process*. University of Sri Jayawardenepura, Nugegoda, Srilanka.
- \_\_\_\_\_. *Expert Choice 11 Tutorial*.
- \_\_\_\_\_. *Kabupaten Semarang Dalam Rangka Tahun 2010*. Kerjasama Bappeda Kabupaten Semarang dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Semarang.
- \_\_\_\_\_, 2007. *Pedoman Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten*. Badan Kordinasi Pencanaan Ruang Nasional – Republik Indonesia. [www.bkprn.org](http://www.bkprn.org) (Diakses 22 April 2011).

## EFFECT OF OPERATING PARAMETER ON THERMAL CONVERSION OF GASIFICATION OF *PONGAMIA PINNATA* SHELLS

A. A. Putu Susastriawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Institute of Science & Technology AKPRIND  
Yogyakarta

Masuk: 5 Maret 2012, revisi masuk: 17 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

### ABSTRACT

*Typically, composition of producer gas from biomass gasification are combustible gas (CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub>), and noncombustible gas (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>). A composition of combustible gas affects a calorific value of producer gas from biomass gasification. Composition of CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> in producer gas is affected by producer gas flow rate and equivalence ratio. This experimental work aims to study an effect of producer gas flow rate and equivalence ratio on composition and calorific value of producer gas from gasification of *Pongamia pinnata* shells. Gasification of these shells is carried out in a 20 kWe downdraft wood gasifier. Original conical grate of gasifier reactor has been replaced with smaller diameter to encounter a blocking problem in grate section of reactor. Air flow rate into a gasifier reactor is controlled using different number of air nozzle opening. Globe valve is used to control producer gas flow rate. Sample of producer gas is measured using Gas Chromatograph for different flow rate and air nozzle opening. Calorific value of producer gas is calculated from percentage of combustible gas present in producer gas. Equivalence ratio is a ratio of air/biomass theoretical to ratio of air/biomass actual. Optimum calorific value of producer gas from *Pongamia pinnata* shells gasification is obtained at producer gas flow rate of 9.9 g/s and at equivalence ratio of 0.5.*

**Keywords:** *producer gas, gasification, biomass, *Pongamia pinnata*, equivalence ratio*

### INTISARI

Producer gas hasil dari gasifikasi biomassa umumnya terdiri dari gas mampu bakar CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>, serta gas yang tidak mampu bakar CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Besar kecilnya kandungan gas mampu bakar mempengaruhi nilai kalor dari producer gas hasil gasifikasi. Komposisi gas pada producer gas dipengaruhi antara lain oleh laju aliran producer gas dan equivalence rasionya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran dan equivalence ratio terhadap komposisi gas dan nilai kalor dari producer gas hasil gasifikasi kulit kering buah *Pongamia pinnata*. Dalam penelitian ini dilakukan gasifikasi kulit *Pongamia pinnata* didalam tungku gasifikasi tipe downdraft dengan kapasitas 20 kWe. Conical grate yang asli diganti dengan conical grate berdiameter lebih kecil untuk mengatasi penyumbatan yang terjadi di daerah grate dari tungku gasifikasi. Laju udara ke dalam tungku gasifikasi diatur dengan penggunaan jumlah nozzle udara, serta laju producer gas diatur dengan globe valve. Sample dari producer gas diukur dengan menggunakan Gas Chromatograph untuk mengetahui komposisi gasnya untuk masing-masing penggunaan jumlah nozzle udara dan laju aliran producer gas. Dari komposisi producer gas dapat ditentukan nilai kalornya. Sedangkan equivalence ratio didapatkan dari perbandingan antara rasio udara/biomassa teoritis dengan rasio udara/biomassa aktual. Nilai kalor producer gas hasil gasifikasi kulit *Pongamia pinnata* optimum pada laju aliran udara 9.9 g/s dan equivalence ratio 0.5.

**Kata Kunci:** *producer gas, gasifikasi, biomassa, *Pongamia pinnata*, equivalence ratio.*

---

<sup>1</sup>a\_agungs@yahoo.com

## INTRODUCTION

Fossil fuels as the main source of energy have been used worldwide for years. But, the depletion of fossil fuels became a serious problem for last several years. Efforts have been done for solving this problem. Many researchers have investigated various sources of renewable energy and developed the energy conversion system for those sources. One of feasible energy conversion system is biomass gasification. Biomass gasification is thermo-chemical process carried out in the reactor called gasifier. Sequence process of drying, pyrolysis, oxidation and reduction occur at different zone in the gasifier reactor. Product of gasification process is called producer gas which mainly contain of combustible gas (CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub>) and also non combustible gas (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>). Typically biomass utilized for gasification is from agricultural waste, wood industry, as well as from domestic waste.

Waste of *Pongamia pinnata* shells has a potential as biomass source for renewable energy. From mass and energy distribution, it was obtained total energy of 45.36 GJ from 3.15 tons shells of *Pongamia pinnata* (Subbarao, 2007).



Figure 1. *Pongamia pinnata* shells

Feasibility of gasification of *Pongamia pinnata* shells has been investigated in a 20 kWe downdraft gasifier by Sonkar, *et al*, and Susastriawan. The gasifier is originally wood gasifier. It was found that blocking of gasified shells in the grate section of reactor is a major problem. Sonkar *et al*. have also carried out proximate analysis and ultimate analysis of *Pongamia pinnata* shells.

Table 1. Proximate analysis

Entity	Pongamia Shell (%)
Ash	4.09
Volatile matter	66.99
Fixed carbon	18.95

Source: (Sonkar *et al*. 2007)

Table 2. Ultimate analysis

Entity	Pongamia Shell (%)
Ash	4.09
Carbon	44.3
Hydrogen	7.45
Nitrogen	1.73
Sulphur	0.3
Oxygen	42.13

Source: (Sonkar *et al*. 2007)

Effect of operating parameter on producer gas has been investigated by many researchers. An effect of biomass sources and particles size on producer gas has been reported by Kumar. The hard wood typically gives a higher calorific value of producer gas than softwood. Hardwood and ordinary wood shows marginally better gasifier power output as compared to softwood. The percentages of Carbon monoxide, Hydrogen, and calorific value of the gas decrease with initial increasing in particle size. Dogru *et al*. investigated hazelnut shells gasification in downdraft gasifier. The quality of product gas is to be dependent on smooth flow of the biomass in the reactor. Flow characteristics of biomass in the gasifier reactor play an important rule for optimum operation of gasifier. Composition of combustible gas CO, H<sub>2</sub>, and H<sub>4</sub> was found to be dependent on gas flow rate. Increase in gas flow rate results in increasing CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> composition, hence higher calorific value of producer gas at higher gas flow rate (Singh, *et al.*, 2006)

Producer gas composition is also affected by equivalence ratio of biomass gasification. Calorific value of producer gas is defined from the composition of producer gas. Typically for effective gasification, equivalence ratio should be in the range of 0.2-0.4 (Kaupp & Goss, 1984). Meanwhile, Zainal *et al*. have investigated a furniture wood and chip



wood gasification in a downdraft gasifier. They obtained an optimum producer gas composition from those biomass is at equivalence ratio of 0.268 - 0.430.

### EXPERIMENTAL WORK

Gasifier used in this experimental work was originally wood downdraft gasifier which capacity of 20 kWe. An original 16 cm in diameter of conical grate has been replaced with conical grate which diameter of 15 cm for encountering the blocking in grate section of gasifier reactor.

Typically in downdraft gasifier, biomass is fed from top of the reactor. Air enters the gasifier in the oxidation zone through air nozzles (tuyer) by means of suction blower. Remains gasified biomass flow through the grate region at the bottom of gasifier. Producer gas flows in the recirculation duct from the bottom of reactor and exits at the top of reactor. Producer gas is cooled by spray water in two stage cooling unit. Further, gas is cleaned in the coarse sand and fine sand filter from dust and fine particle present in producer gas.

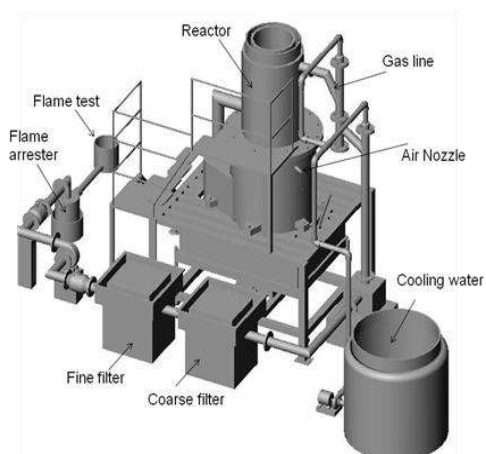


Figure 2. A 20 kWe downdraft gasifier

The main component of this 20 kWe downdraft gasifier system are reactor, gas circulation pipe, water tank, water pump, cooling water circulation pipe, suction blower, sand filter, flame arrester, flame test, and three air nozzles. U tube water manometers were provided for measurement of pressure at four strategic locations: at the exit of gasifier ( $P_1$ ), at the exit of cooling unit

( $P_2$ ), at the exit of coarse filter ( $P_3$ ), and at the exit of fine filter ( $P_4$ ), and at venturi meter ( $P_v$ )

The reactor was basically made of two shells, bottom shell being rolled from mild steel and has an inner lining of insulation using high temperature ceramic. The top shell was double walled stainless steel shell having an annular space through which hot gas was passed and allows heat transfer to the biomass chips. The re-circulating duct was the passage linking the bottom reactor with the top shell. The outer wall of the reactor was covered with low density alumina silicate and stainless steel sheet to reduce heat loss. The bottom of reactor dipped in reactor water seal to prevent the air entry. There was a conical grate mechanism provided at the bottom of the reactor with lever attached for grate shaking. A function of this conical grate is to hold biomass charge.

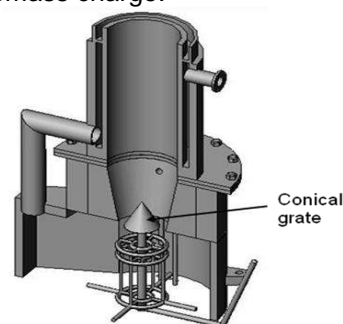


Figure 3. Gasifier reactor and conical grate

Coolers were made up of two sections. The first was a counter current spray whereas the second was a co-current spray. The spray was developed from impinging jet, which mixes with the gas and cools the gas to the ambient temperature and in this process some contaminants were removed from the gas. For cooling purpose, the existing water tank was replaced with larger capacity. And a pipe from tank to electric motor was also replaced with larger diameter.

Filter was comprised of two filters, coarse sand filter and fine sand filter. The coarse sand filter was a four-tier filter with total filtering area of approximately  $1.8 \text{ m}^2$  to contain 1-2 mm sized sand particles forming a bed of 85-90 mm

thickness. The fine filter was also a four-tier filter providing a filtering area of 5.40 m<sup>2</sup> for holding 200-600 μm sized sand particles of 85-90 mm thick.

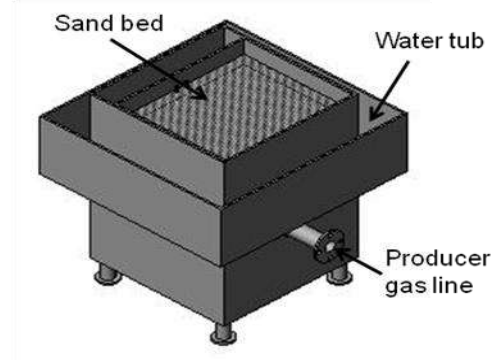


Figure 4. Four-tier sand filter

A producer gas from the exit of the suction blower was bubbled through a container before entering the burner. Bubbler was provided as a safety device to prevent flame flash backs from the burner end in the event of air leaking into the system.

Flame test/burner was provided to check the quality of the combustible gas. The gas was flared in the burner for a few minutes prior to change to the engine. Flame arrester in form of thin GI meshes was provided at the burner entry as a safety device.



Figure5. Producer gas flame

The cooled and cleaned gas was transferred to an engine using PVC pipe. The ability of venturi meter to regain much of original pressure head makes it especially useful in measuring the flow rate in systems which have low pressure differential or pressure head drive the fluid through the pipe.

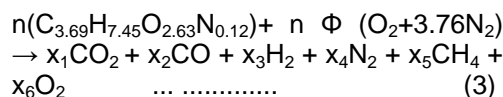
Shells of *Pongamia pinnata* were loaded into the reactor from top. After partially opening a gas valve, suction blower and electric water pump are switched ON. To generate the flame inside a reactor, *Pongamia pinnata* shells in the reactor was initiated by holding the flame in a form of a blowtorch or wick near to an air nozzle. After 10-15 minutes generated producer gas in the burner was flared. Sample of producer gas is taken after 30 minutes of continuous operation of gasifier. Composition of producer gas was measured using NUCON Gas Chromatograph with Argon as gas carrier. Gas Chromatograph was calibrated using calibration gas which composition of 10.07% CO<sub>2</sub>, 24.43% CO, 24.98% H<sub>2</sub>, 35.55 N<sub>2</sub>, and 4.97% CH<sub>4</sub>. Composition of producer gas is determined using existing computer software by comparing the peaks area of calibration gas and gas sample.

This experimental work was run at one air nozzle opening and two air nozzle opening. Effect of producer gas flow rate and equivalence ratio on composition and calorific value of producer was studied. Producer gas flow rate is calculated by equation given in manual book of 20 kWe downdraft gasifier (Netpro, I.I.Sc,1999):

$$m_g = 3.3\sqrt{\Delta h_v} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta h_v$  is height difference of water in U-tube manometer at venturi meter.

Assuming chemical properties of biomass were Carbon, Hydrogen, Oxygen, and Nitrogen, equation of chemical reaction of *Pongamia pinnata* shells was (Sonkar *et al.*, 2007):



The value of n and  $\Phi$  are determined from Carbon and Nitrogen balance equations. Value of x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>, x<sub>4</sub>, and x<sub>5</sub> is taken from composition of CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> of producer gas that obtained from Gas Chromatograph measurement. Carbon balance;

$$n = \frac{x_1 + x_2 + x_5}{x} \dots\dots\dots (4)$$

Nitrogen balance;

$$\phi = \frac{x_4 - \left(\frac{1}{2}n \cdot k\right)}{3.76n} \dots\dots\dots (5)$$

Prior to calculate an equivalence ratio, it required to calculate theoretical and actual A/F ratio. Theoretical A/F ratio on the basis of 100 kg fuel:

$$(A/F)_{th} = \frac{4.76 \times \phi \times MW_{air}}{100} \dots\dots\dots (6)$$

Meanwhile actual A/F ratio:

$$(A/F)_{act} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_s} \dots\dots\dots (7)$$

Actual air consumption rate:

$$\dot{m}_a = \rho \times \left( n \times \frac{\pi d_m^2}{4} \right) \times v \dots\dots\dots (8)$$

Where:

$\rho$  = air density at 1 atm and 25<sup>0</sup>C (1.18 kg/m<sup>3</sup>)

$n$  = number of nozzle opening

$d_m$  = nozzle diameter (0.03 m)

$v$  = air velocity (10 m/s)

Shells consumption rates:

$$\dot{m}_s = \frac{\rho_{bl} \times \left( \frac{\pi D^2}{4} \times h \right)}{t} \dots\dots\dots (9)$$

Where:

$\rho_{bl}$  = bulk density of shell (146 Kg/m<sup>3</sup>)

$D$  = diameter of reactor (0.25 m)

$h$  = height of empty space of reactor at interval time (m)

$t$  = time operation of gasifier (minute)

Hence equivalence ratio:

$$\phi = \frac{(A/F)_{th}}{(A/F)_{act}} \dots\dots\dots (10)$$

Calorific value of producer gas was calculated form composition of combustible gas in the producer gas obtained from Gas Chromatograph measurement. Calorific value of producer gas on basis of 100 kg fuel:

$$CV_g = \frac{(x_2 \cdot CV)_{CO} + (x_3 \cdot CV)_{H_2} + (x_5 \cdot CV)_{CH_4}}{100} \dots\dots\dots (11)$$

Value of  $x_2$ ,  $x_3$ , and  $x_5$  were percentage of composition CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> respec-

tively, since calorific value of CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> were taken from Iyer *et.al*, 2002 in table 2.

Table 3. Calorific Value of Compound

Compound	CV (MJ/m <sup>3</sup> )
CO	12.71
H <sub>2</sub>	12.78
CH <sub>4</sub>	39.76

Source: Iyer, *et al.* 2002

### RESULT AND DISCUSSION

Flow rate of Producer Gas, Figure 4 and Figure 5 show composition of producer gas and calorific value at different gas flow rate.

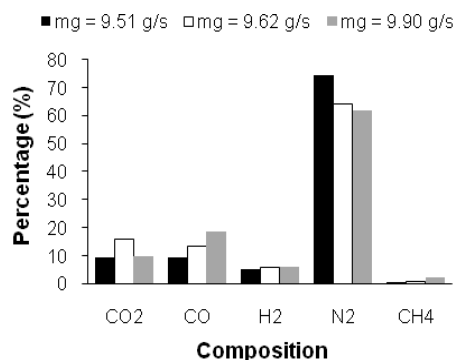


Figure 4. Composition of producer gas at different flow rate

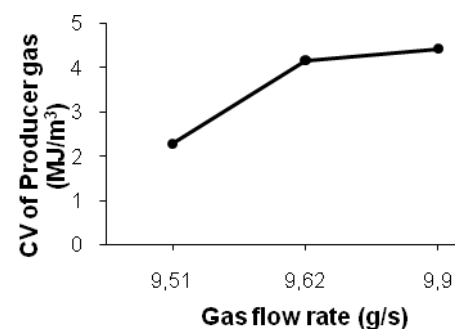


Figure 5. Calorific value of producer gas at different flow rate

Composition of combustible gas CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> was found to be optimum at gas flow rate of 9.90 g/s. Continuous operation of gasifier and smooth flow of shells in reactor was better at this gas flow rate. Increasing

composition of producer gas was directly proportional with increasing in calorific value of producer gas.

Equivalence Ratio, Figure 6 and Figure 7 show composition and calorific value of producer gas respectively from *Pongamia pinnata* shells gasification at different equivalent ratio.

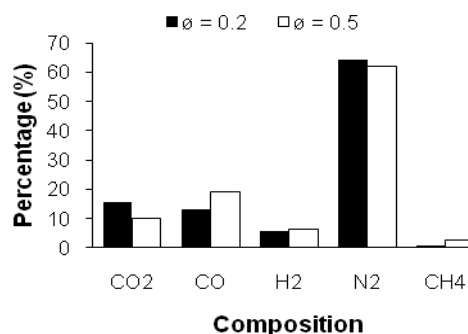


Figure 6. Composition of producer gas at different equivalence ratio

Percentage of N<sub>2</sub> decreases as equivalence ratio increase. Better gasification occurs at higher equivalent ratio. Percentage of combustible gas CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> is higher at equivalence ratio of 0.5. Hence, calorific value was also higher at equivalence ratio of 0.5. From equation (11), calorific value of producer gas depends on percentage of combustible gas CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub>.

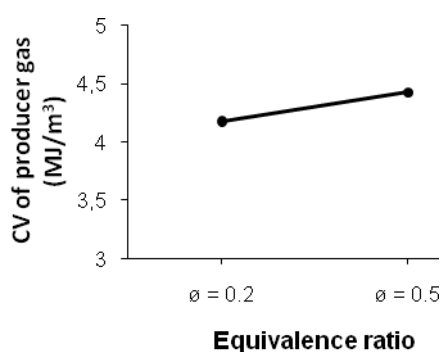


Figure 7. Calorific value of producer gas at different equivalence ratio

## CONCLUSION

Experimental investigation on operating parameter of gasification of *Pongamia pinnata* shells in a 20 kWe downdraft gasifier was carried out at

different producer gas flow rate and at different equivalence ratio. Percentage of combustible gas (CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub>) increases with increasing in producer gas flow rate. Calorific value of producer gas was found to be 4.43 MJ/m<sup>3</sup> at producer gas flow rate of 9.9 g/s. Percentage of combustible gas (CO, H<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub>) also increases with increasing in equivalence ratio. Equivalence ratio  $\phi = 0.5$  is found to be an optimum equivalence ratio for the best performance of gasification of *Pongamia pinnata* shells.

## REFERENCES

- Dogru, M., Howarth, C.R., Akay, G., Keskinler, B., Malik, A.A., 2002, Gasification of hazelnut shells in a downdraft gasifier, Energy, Vol. 27, pp. 415-427.
- Iyer P.V.R., Rao T.R., Grover P.D., 2002, Biomass-Thermo Chemical Characteristic, Chemical Engineering Department, IIT Delhi, 3<sup>rd</sup> Edition.
- Kaupp, A. and Goss, J.R. 1981, State-of-the-art for Small Scale (to 50 kW) Gas Producer Engine Systems, Bioresources for Energy Timber Management Research, USDA, Forest Service.
- Kumar, A., 2006, Simulation of A Biomass Gasifier-Engine System, PhD thesis, Mechanical Engineering Department IIT Delhi, New Delhi.
- Netpro I.I.Sc., 1999, Dasag Solid Biomass Gasifier-Operation & Maintenance Manual (20 kWe)', Netpro Renewable Energy (I) Ltd. Bangalore.
- Singh, R.N., Jena, U., Patel, J.B., Sharma, A.M., 2006, Feasibility Study of Cashew Nut Shells as An Open Core Gasifier Feedstock, Renewable energy, Vol. 23, pp. 481-487
- Sonkar, A., Garg, A. and Gupta, P., 2007, Generation of Producer Gas From Pongamia Shells and Integration of Downdraft Gasifier, Producer Gas Engine and Oil Expeller, BTech Thesis, Department of Mechanical Engineering, IIT Delhi, New Delhi.

- Subbarao, P.M.V.S., 2007, Sustainable Fuel Technologies using Non-edible oil Seed Collections, Seminar Presentation, Department of Mechanical Engineering, IIT Delhi, New Delhi.
- Susastriawan, A.A.P., 2009, Development of Technologies for Complete Utilization of Waste of Oil Seed Collection, M.Tech Thesis, Department of Mechanical Engineering, IIT Delhi, New Delhi
- Zainal, Z.A., Rifau, A, Quadir, G.A., and Seetharamu, K.N., 2002, Experimental Investigation of a Down-draft Biomass Gasifier, Biomass & Bioenergi Vol, 23, pp.283-289

## TINJAUAN DAMPAK BANJIR LAHAR KALI PUTIH, KABUPATEN MAGELANG PASCA ERUPSI MERAPI 2010

Nur Aisyah<sup>1</sup>, Dwi Indah Purnamawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Geologi, Institut sains & teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 27 April 2012, revisi masuk : 13 Juni 2012, diterima: 8 Juli 2012

### ABSTRACT

*Potency of Merapi lahars in Putih River, Magelang Regency, is described in terms of management of material deposition. The methode is carried out with the description of material, determination of lahars forming factors, and the geology environmental. Merapi eruption on 2010 has producted volcanic materials about 130 million metre cubic, spread in the upper river of Merapi Volcano as Gendol River, Apu River, Trising River, Senowo River, Lamat River, Putih River, Bebeng River, Krasak River, Bedog River, Boyong River, Kuning River, Opak River and Woro River. One of the rivers in Magelang regency known Putih River, has material volcanic as much as 8,2 million metre cubic. Lahars which to is grouped materials clasification like sands and rocks varying in size. While impact of lahars which must to beware are debris avalanche, over topping, and flood. Therefore in order to minimize the abuse authority, disaster management covers prevention, emergency response, and rehabilitation after disaster is necessary.*

**Keywords:** eruption, flood, lahars, debris avalanche, disaster

### INTISARI

Potensi dari lahar dingin yang terjadi di Kali Putih, Magelang, digambarkan dalam bentuk pengelolaan endapan material. Metode yang dilakukan dengan pendeskripsian material, penentuan faktor pembentuk lahar, penentuan aspek geologi lingkungan. Erupsi Gunung Merapi 2010 mampu mengeluarkan material vulkanik diperkirakan 130 juta meter kubik, menyebar di seluruh sungai berhulu di puncak Gunung Merapi yang meliputi Kali Gendol, Kali Apu, Kali Trising, Kali Senowo, Kali Lamat, Kali Putih, Kali Bebeng, Kali Krasak, Kali Bedog, Kali Boyong, Kali Kuning, Kali Opak dan Kali Woro. Salah satu kali di wilayah Magelang, Kali Putih, terakumulasi material sebanyak 8,2 juta m<sup>3</sup>. Material lahar yang diusahakan yakni bahan galian berupa pasir dan batu dengan berbagai ukuran. Sementara itu, dampak dari lahar yang diwaspadai adalah longsoran, penumpukan dan meluapnya lahar, dan banjir lumpur. Untuk itu diperlukan pengelolaan yang meliputi pencegahan, tanggap darurat, dan rehabilitasi pasca bencana yang tepat agar tidak terjadi penyelewengan wewenang dalam pelaksanaannya.

**Kata kunci:** erupsi, banjir, lahar, longsor, bencana

### PENDAHULUAN

Gunung Merapi yang terletak di wilayah Jawa Tengah dan Yogyakarta merupakan salah satu gunungapi yang beraktivitas tinggi. Pada tanggal 20 September 2010, status kegiatan Gunung Merapi ditingkatkan dari Normal menjadi Waspada, dan selanjutnya ditingkatkan kembali menjadi Siaga (Level III) pada 21 Oktober 2010. Sejak 25 Oktober 2010, pukul 06:00 WIB, status kegiatan Gunung Merapi dinaikkan dari "Siaga" (Level III) menjadi "Awat" (Level IV), dan pada 26 Oktober 2010

Gunung Merapi mengalami erupsi pertama dan berlanjut dengan erupsi lanjutan hingga awal November 2010.

Kejadian erupsi tersebut telah mengakibatkan jatuhnya korban jiwa dan harta benda. Bencana tersebut selanjutnya ditetapkan sebagai kejadian bencana alam. Bencana ini merupakan yang terbesar bila dibandingkan dengan bencana serupa pada lima kejadian sebelumnya, yaitu kejadian pada tahun 1994, 1997, 1998, 2001 dan 2006 atau terbesar sejak 150 tahun tepatnya tahun 1872 (BNPB, 2011). Erupsi semacam ini

<sup>1</sup>nuraisyah\_2008@yahoo.com

<sup>2</sup>wiwiek\_akprind@yahoo.co.id

memiliki siklus rata-rata 100-150 tahun sekali (Mulyaningsih, 2006)

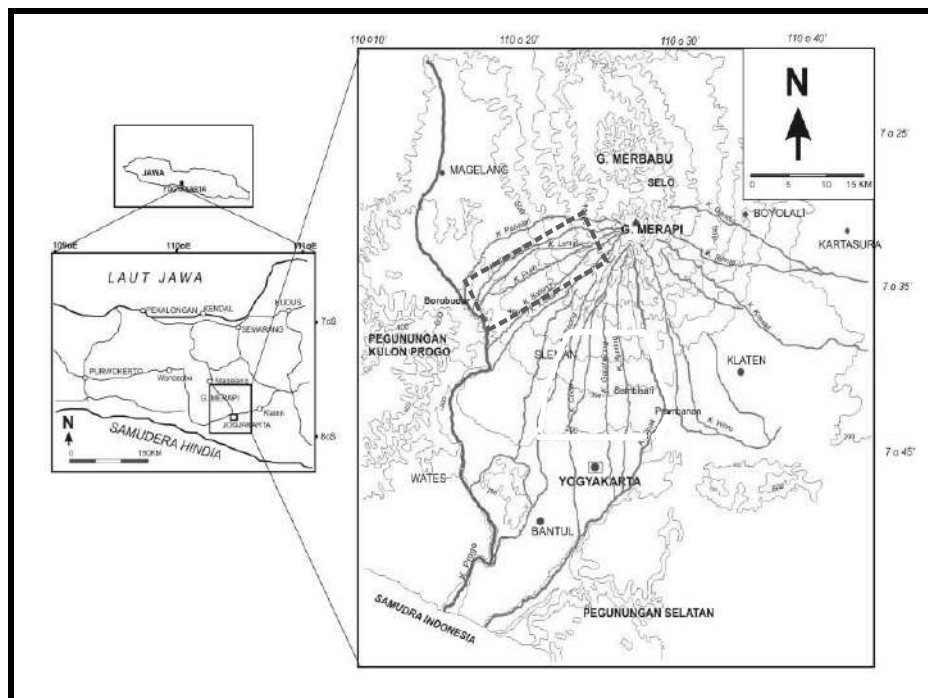
Sebaran awan panas dan material jatuhnya, telah melampaui batas Peta Kawasan Rawan Bencana yang diterbitkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi pada tahun 2002. Oleh karena itu dilakukan revisi Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi yang sesuai dengan perluasan wilayah terdampak akibat letusan Gunung Merapi 2010. Selama proses erupsi, volume material yang dikeluarkan mencapai 130 juta m<sup>3</sup> yang tersebar di sungai-sungai utama Gunung Merapi. Di samping munculnya bahaya primer berupa awan panas, bahaya sekunder banjir lahar yang menyertainya dapat mengancam daerah atau sungai yang dilaluinya.

Di wilayah Magelang, Jawa Tengah, salah satu kali yang menjadi perhatian

adalah Kali Putih (Gambar 1). Pasca erupsi Merapi 2010, Kali Putih menjadi kawasan yang paling sering dilanda banjir lahar. Pelimpasan material oleh aktivitas banjir yang begitu intensif dengan bawaan material yang cukup besar, sempat memutus jalur jalan nasional Yogyakarta-Jawa Tengah tepatnya daerah Gempol, Salam. Tidak hanya memutus jalan, banjir lahar juga merusak infrastruktur di sekitar daerah tersebut.

Dari sekian banyak efek negatif yang diakibatkan oleh banjir lahar dingin Merapi, tersimpan potensi besar yang bisa dimanfaatkan warga sekitar Merapi untuk menjadi lahan pekerjaan.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan studi kasus di Kali Putih, Kabupaten Magelang.



Gambar 1. Peta lokasi Kali Putih terhadap Gunung Merapi Modifikasi dari Mulyaningsih, dkk (2006)

#### METODE

Martini (1997) dalam Mulyaningsih (2010), mendefinisikan lahar sebagai aliran lumpur pekat yang terbentuk dari

campuran air, partikel, dan lumpur. Komponen air dapat berasal dari air hujan, danau kawah dan mencairnya es, sedangkan partikelnya berasal dari

longsoran ongkongan piroklastika yang telah ada sebelumnya maupun material yang dihasilkan langsung dari letusan. Komposisi partikel lahar bervariasi dari abu hingga bom dan litik granul hingga boulder ( $\varnothing >1$  m). Densitas dan viskositas lahar tinggi dengan konsentrasi partikel 20-60% atau 60-90% total berat. Lahar diendapkan secara cepat dalam arus turbulen di sepanjang lereng gunungapi atau lembah-lembah sungai, sama cepatnya dengan aliran sungai. Pada konsentrasi partikel yang telah berkurang (rendah), debris lahar berubah menjadi aliran lumpur pekat hingga suspensi dalam arus transisi-laminer membentuk banjir bandang.

Secara genetik (cara terjadinya) lahar dikenal dua jenis yakni (1) lahar letusan dan (2) lahar hujan.

Lahar letusan (primer) terjadi pada gunungapi yang mempunyai danau kawah. Dasar kepundannya bersifat kedap air (*impermeable*) sehingga sejumlah air hujan akan terkumpul. Apabila volume air dalam kawah cukup besar maka saat terjadi letusan dapat menumpahkan lumpur panas. Panas lahar letusan dapat mencapai di atas 100 derajat celsius. Jika melanda suatu daerah, lahar letusan bisa menimbulkan banyak korban dan kerusakan.

Di Indonesia gunung-gunung berapi yang mempunyai danau di atasnya adalah Gunungapi Kelud di Jawa Timur, Gunungapi Galunggung di Jawa Barat dan Gunungapi Agung di Bali. Bahan abu yang menyebabkan dasar kepundan kedap air itu berasal dari ubahan batuan yang membentuk dinding kepundan oleh gas-gas yang keluar dari pipa. Bahan yang halus ini akan diangkut oleh hujan yang turun dan diendapkan pada dasar kepundan.

Sementara itu, lahar hujan (lahar sekunder) atau yang lebih dikenal sebagai lahar dingin merupakan material gunungapi yang belum terkonsolidasi, yang terkumpul di bagian puncak dan lereng, pada saat atau beberapa saat setelah erupsi kemudian terjadi hujan, maka bahan-bahan piroklastika tersebut akan diangkut dan bergerak ke bawah sebagai aliran pekat dengan densitas tinggi. Material piroklastika mulai dari

bongkah, bom vulkanik, lapili, dan debu akan bergerak ke bawah, melalui lembah-lembah pada lereng gunung berapi. Karena densitasnya yang besar, gerakannya dikendalikan oleh tarikan gaya berat dan topografi, maka aliran lahar mampu mengangkut bongkah-bongkah ukuran besar hingga jarak yang sangat jauh.

Lahar hujan terjadi beberapa waktu setelah periode erupsi berlangsung. Lahar hujan biasanya lebih sering terjadi dibandingkan dengan lahar letusan.

Endapan lahar dicirikan oleh pemilahannya yang sangat buruk, meskipun masih nampak adanya kecenderungan bahwa fragmen yang besar-besar dan berat akan terkumpul di bagian bawah endapan. Kadang-kadang endapan lahar hujan sulit dibedakan dari endapan awan panas, terutama endapan yang sudah lama. Setelah tertransport agak jauh dari sumbernya, lahar hujan ini akan berangsur menjadi sungai dan mengendapkan bebannya sebagaimana sungai biasa.

Penamaan lahar sulit dibedakan di lapangan sebagai lahar distal, medial atau proksimal, maka selanjutnya lahar ditentukan sebagai (1) lahar kohesif dan (2) lahar tak-kohesif.

Lahar kohesif dicirikan oleh struktur masif-gradasi-laminasi silang, ukuran butir abu pasir hingga boulder yang tertanam dalam lumpur pekat, terpilah buruk-sedang, bentuk fragmen menyudut hingga membulat tanggung, konsentrasi fragmen besar berada di setengah hingga sepertiga bagian bawah aliran dan di permukaan sering menunjukkan penjajaran fragmen sebagai lahar tak-kohesif. Lahar kohesif ini dihasilkan dari penggabungan beberapa material dalam satu kesatuan endapan, sehingga konsentrasi lumpurnya dapat mencapai 30-50% total berat sebagai matriks. Material lumpur tersebut dapat berasal dari alterasi hidrothermal akibat pemanasan magma pada tubuh gunungapi, fragmentasi material magma dan dinding, serta batuan dinding lembah yang tererosi saat aliran. Konsentrasi partikel dalam lahar kohesif sekitar 12-20% atau 40% total



berat; di fasies proksimal diameter fragmen dapat mencapai lebih besar dari 4 m, struktur masif dan gradasi dan beberapa fragmen masih berstruktur kekar prisma, sedangkan di daerah distal didominasi oleh partikel berukuran masif-granul, struktur silangsiur (mangkuk), sortasi sedang dan kadang-kadang berstruktur gradasi normal. Lahar tersebut dapat menjadi lebih encer oleh penambahan komponen air sungai dan berkurangnya material sedimentasi hingga membentuk lahar tak-kohesif.

Lahar tak-kohesif dicirikan oleh sortasi sedang hingga baik, lepas-lepas, bentuk butir pasir hingga bongkah, tertanam dalam sedikit abu, umumnya dijumpai penjajaran fragmen yang menunjukkan arah pengendapan dan diendapkan di atas lahar kohesif (Mulyaningsih, 2010).

Terdapat tiga faktor penting yang berperan dalam pembentukan lahar hujan yaitu (1) Kemiringan lereng sungai, (2) Volume material lepas, dan (3) Curah hujan.

Kemiringan lereng sungai, menurut Hendratno, 2011, kemiringan lereng merupakan salah satu indikator ancaman yang terkait dengan banjir lahar, tingkat kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap tingkat penampungan volume lahar. Semakin tinggi tingkat kemiringan lereng yang berarti curam, diasumsikan dapat menampung volume lahar yang masuk, sedangkan jika lerengnya landai maka banjir lahar akan langsung diteruskan ke daerah sekitar sungai

Aliran lahar dengan massa jenis besar meluncur dengan percepatan makin besar, karena laju alirannya ditopang gaya gravitasi. Aliran tersebut biasanya berkembang pada daerah dengan perbedaan morfologi berkemiringan lereng tinggi ke landai, atau yang sering dikenal sebagai daerah tekuk lereng. Laju aliran lahar makin kencang dengan tenaga yang besar pada tipe gunungapi strato.

#### Volume Material Lepas

Material hasil erupsi memiliki sifat berat maupun ringan. Tersedianya sumber material sedimen di wilayah hulu alur, di lereng-lereng atau di sekitar

puncak gunung sebagai bagian dari bahan pembentuk aliran lahar.

Mengenai asal jadi lahar, Crandell (1971), dalam Alzwar, dkk (1988), mengemukakan adanya tiga penyebab, yaitu pertama lahar yang disebabkan oleh letusan langsung gunungapi, di mana letusan tersebut melibatkan danau kawah, salju atau es; hujan lebat setelah terjadi letusan dan aliran piroklastika yang masuk ke dalam sungai, salju atau es. Kedua yaitu lahar yang terjadinya tak berhubungan langsung dengan letusan atau segera setelah terjadi letusan, yaitu lahar yang dipicu oleh gempabumi atau longsor bahan rombakan lepas atau batuan yang berubah. Ketiga yaitu lahar yang pembentukannya sama sekali tak berhubungan dengan kegiatan-kegiatan gunungapi, misalnya aliran tefra lepas yang bercampur dengan air hujan atau air dari pencairan salju, runtuh lereng tak stabil yang terutama disusun oleh batuan jenuh air dan telah berubah menjadi lempung secara hidrotermal dan sebagainya.

#### Curah Hujan

Adanya hujan dalam jumlah yang cukup banyak dan tercurah ke dalam alur atau lembah sangat berperan dalam mengkontribusikan kemungkinan akan terjadinya lahar hujan. Pada banyak kejadian lahar hujan, kontribusi hujan dapat berupa hujan yang relatif lebat (biasa dinyatakan dalam suatu ukuran yang disebut intensitas hujan, satuan mm/ jam), ataupun hujan yang relatif lama (yang dinyatakan dalam satuan jam). Tergantung pada karakteristik material, yang umumnya dinyatakan sebagai kestabilan massa (fungsi dari rapat massa, sudut gesek dalam, sifat kohesif, kadar air massa, bentuk timbunan massa), maka intensitas dan durasi hujan secara bersama-sama akan memicu proses terjadinya lahar hujan.

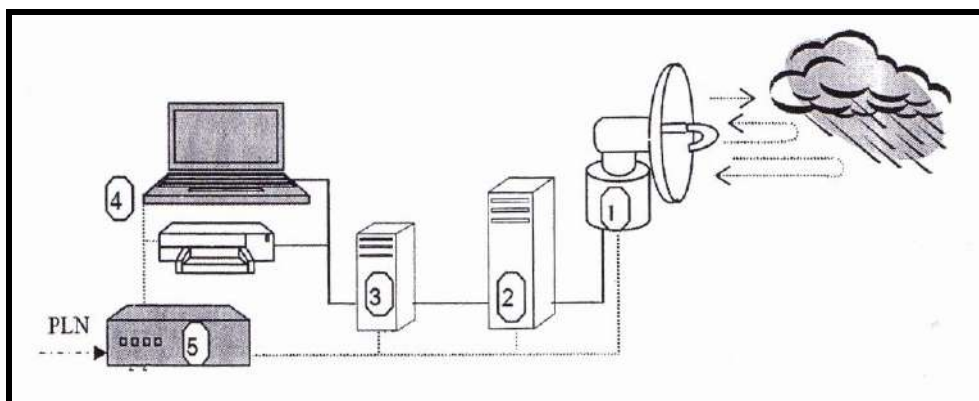
Sayudi, dkk (2010) dalam peta Kawasan Rawan Bencana (KRB), menyebutkan bahwa lahar dalam skala besar dapat terjadi, bila curah hujan mencapai lebih dari 40 mm dalam waktu 2 jam.

Prinsip sistem perkiraan dini lahar dilakukan dengan cara memantau curah hujan di daerah endapan vulkanik.

Dengan mengetahui intensitas hujan dapat dipergunakan untuk memperkirakan terjadinya lahar yang berhulu di Gunung Merapi.

Keakuratan sistem perkiraan dini lahar dideteksi dengan menggunakan

peralatan radar pengukur hujan yang dipadukan dengan stasiun pemantau di lapangan berupa peralatan monitoring data hidrologi dengan sistem telemetri yang datanya dapat dipantau di stasiun induk secara real-time (Gambar 2.)



Gambar 2. Blok diagram peralatan radar pengukur hujan (Sukatja, dkk, 2011)

Keterangan:

1. Antena dan kelengkapannya
2. Pemancar dan penerima
3. Pemroses sinyal dan perekam data
4. Penampil dan pencetak data
5. Pencatu daya

Ketiga faktor tersebut menjadi obyek studi potensi lahar di suatu sektor sehingga diperoleh gambaran jelas tentang kemungkinan terjadinya lahar sebagai langkah kewaspadaan untuk menghadapi gejala alam tersebut.

## PEMBAHASAN

Kali Putih masuk dalam sistem hidrologi Kali Progo yang akan bersatu dengan Kali Blongkeng di daerah Blongkeng, Muntilan, kemudian bergabung dengan Kali Progo. Kali Putih memiliki panjang sungai sekitar 23 Km, serta luas daerah aliran sungai (DAS) sekitar 26 km<sup>2</sup> (Tabel 1.) Kemiringan lereng Kali Putih telah banyak mengalami perubahan, akibat lahar dari erupsi Merapi 2010. Mengacu pada dasar teori bahwa kemiringan lereng dapat menentukan dinamika material lahar berdasarkan besar sudut. Pengukuran *slope* diambil dari hulu sabo dam Kali Putih, dan penampang

memanjang Kali Putih disajikan dalam Gambar 3.

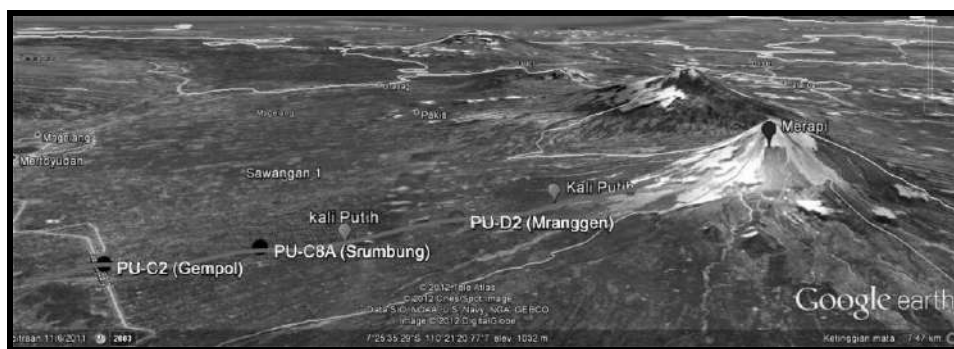
Zona produksi lahar dingin terhitung dari puncak Merapi hingga hulu Sabo dam PU-D2 tepatnya berada di daerah Mranggen dengan koordinat 07° 34' 41,60" dan E 110° 22' 08,8". Di zona produksi terjadi aktivitas penggerusan oleh lahar karena memiliki sudut kelerengan >6°.

Daerah hilir PU-D2 sampai dengan Cek-Dam Soropadan, PU-C8A (sebelah lapangan Srumbung) dengan koordinat S 07° 35' 41,5" dan E 110° 19' 46", sebagai zona transportasi disebabkan karena memiliki sudut kelerengan 3°-6°.

Dari Cek-Dam Soropadan, PU-C8A sampai pertemuan Sungai Putih dan Sungai Blongkeng dinyatakan sebagai zona sedimentasi yang merupakan tempat pemberhentian/parkir lahar, karena tingkat kelerengannya rendah (landai) dengan sudut kelerengan <3°.

Tabel 1. Sistem sungai K. Progo (sumber: Proyek Merapi, dalam Mushthofa, dkk, 2011)

Sistem sungai	Luas DAS (Km <sup>2</sup> )	Panjang Sungai Utama (Km)	Lebar (m)	
			Min.	Max.
K. Progo	2.380	140	150	800
(1) K. Pabelan	110	32	10	180
1) K. Apu	8	6	10	100
2) K. Trising	10	11	10	120
3) K. Senowo	8	12	10	130
(2) K. Blongkeng	68	24	10	120
1) K. Lamat	14	19	10	110
2) K. Putih	26	23	10	200
(3) K. Batang	23	19	10	230
(4) K. Krasak	24	27	10	250
1) K. Bebeng	10	14	10	280



Gambar 1. Penampang memanjang Kali Putih, Magelang

Dari proses tersebut sehingga mengalami pendangkalan dasar sungai, bahkan di beberapa tempat, posisi dasar sungai sudah lebih tinggi dari pemukiman penduduk.

Dengan adanya perubahan morfologi sungai yang dibarengi dengan laju sedimentasi (laju penumpukan material lahar) yang sangat cepat, maka kawasan potensi terdampak, semakin besar dan semakin meluas.

Curah hujan ternyata sangat mempengaruhi laju lahar. Setelah peristiwa erupsi, endapan akan terdorong kebawah mengikuti gravitasi. Semakin tinggi curah hujan, maka semakin besar lahar yang terjadi. Masyarakat dapat mempelajari dan mengamati intensitas banjir yang terjadi di Kali Putih dengan menggunakan radio

telekomunikasi yang dikelola Peduli Merapi dengan frekuensi 14.8940 Mhz

Pengukuran curah hujan (dalam mm) yang dikelola oleh Balai Pengairan Kabupaten Magelang, pada stasiun 100A, Desa Srumbung, Kecamatan Srumbung, Kabupaten Magelang dapat dilihat pada Tabel 2.

Jumlah material yang berada di Kali Putih sebanyak 8,2 juta meter kubik (Tabel 3).

Sementara itu, informasi yang diperoleh dari ESDM-DPU Kabupaten Magelang, baru 1/3 atau 3 jutaan m<sup>3</sup> nya yang terangkut sehingga masih berpotensi terjadi lahar apabila disertai dengan curah hujan yang tinggi. Pasca banjir lahar yang mengakibatkan meluapnya material (*over topping*) hingga ke badan jalan, dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Pengukuran curah hujan tahun 2011 (Sumber: Anonim, 2011, Balai Pengairan Kabupaten Magelang)

<b>PENGAMATAN CURAH HUJAN TAHUN 2011</b>												
Desa Srumbung						STA 100A						
Kecamatan Srumbung												
<b>BULAN</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>TGL</b>												
1	41	-	3	12	92	-	-	-	-	-	-	33
2	15	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	98	-	-	67	-	-	-	-	-	-	9	-
4	-	103	6	-	46	-	-	-	-	-	-	34
5	-	4	62	-	2	-	-	-	-	-	2	49
6	-	1	-	1	26	-	-	-	-	-	29	-
7	-	9	6	-	-	-	-	-	-	-	2	7
8	23	-	33	7	-	-	-	-	-	-	10	3
9	27	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	18
10	8	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	58	-	2	-	-	-	-	-	2	-
12	3	-	1	31	16	-	-	-	-	-	-	4
13	-	-	-	-	22	-	-	-	1	-	3	1
14	-	3	30	21	7	-	-	-	5	-	-	1
15	21	2	4	8	5	-	-	-	-	-	-	24
<b>Jmh I</b>	<b>236</b>	<b>205</b>	<b>210</b>	<b>147</b>	<b>218</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>57</b>	<b>175</b>
16	-	3	-	2	11	-	-	-	-	-	-	5
17	24	2	24	4	-	-	-	-	-	-	9	62
18	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	15
19	-	59	74	-	-	-	-	-	-	-	6	-
20	133	-	2	-	17	-	-	-	5	-	38	10
21	-	19	4	23	15	-	-	-	-	-	91	27
22	21	-	39	-	-	-	-	-	-	-	23	6
23	93	-	50	18	-	-	-	-	-	-	22	46
24	125	15	1	5	-	-	-	-	5	-	46	-
25	4	9	14	39	-	-	-	-	-	-	21	-
26	-	13	13	-	-	-	-	-	-	-	25	16
27	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	1	41
28	-	54	16	-	-	-	-	-	-	-	-	5
29	5	-	63	35	-	-	-	-	-	-	6	6
30	-	-	22	15	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	52
<b>Jmh II</b>	<b>405</b>	<b>199</b>	<b>322</b>	<b>141</b>	<b>63</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>295</b>	<b>381</b>
<b>Jmh I + II</b>	<b>641</b>	<b>404</b>	<b>532</b>	<b>288</b>	<b>281</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>352</b>	<b>476</b>
<b>Hari Hujan</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>19</b>	<b>22</b>
<b>Hujan rata2</b>	<b>42</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>19,2</b>	<b>21</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>21</b>
<b>Hujan besar</b>	<b>133</b>	<b>103</b>	<b>74</b>	<b>67</b>	<b>92</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>91</b>	<b>62</b>

Keterangan:

- Jmh I atau II : Jumlah intensitas hujan per 2 minggu
- Hari hujan : Jumlah terjadinya hujan/bulan
- Hujan rata-rata : Intensitas hujan/ bulan (Jmh I+II) dibagi Hari Hujan
- Hujan besar : Intensitas hujan terbesar dalam bulan

Pemanfaatan material hasil erupsi 2010 dilakukan tambang rakyat secara tradisional. Pada satu sisi merupakan suatu kegiatan ekonomi, tetapi di sisi lain ternyata juga bisa membantu kegiatan mitigasi bencana karena mampu mengurangi tumpukan material di alur sungai walaupun dengan tingkat kecepatan yang masih rendah (Gambar 5). Perencanaan dengan tinjauan geologi lingkungan diharapkan akan membantu pemanfaatan lingkungan seoptimal mungkin dan membantu

mengurangi dan mencegah semaksimal mungkin pengaruh negatif dari pemanfaatan lingkungan.

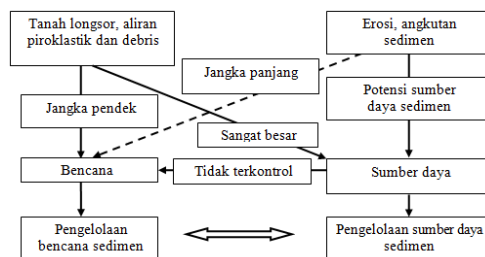
Sebaran material awan panas pada awalnya terbatas pada area beberapa kilometer di seputar Gunung Merapi. Namun jika hujan turun dengan intensitas hujan yang mencukupi, maka material pasir dan batu akan terdorong dan hanyut menjadi lahar yang turun ke bawah. Lahar merupakan bencana yang mempunyai risiko cukup tinggi.

Tabel 3. Volume endapan piroklastik yang berpotensi menjadi lahar (Sumber: Lahar Team BPPTK, dalam Bronto, dkk, 2011))

Kabupaten	Nama Kali	Volume ( x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Klaten	Kali Woro	7,28
Sleman	Kali Gendol	34,00
	Kali Opak	2,24
	Kali Kuning	3,73
	Kali Boyong	2,40
	Kali Bedog-Bebeng-Krasak	10,81
	Magelang	Kali Putih
	Kali Lamat	1,38
	Kali Apu-Pabelan	20,86
	Kali Senowo	4,36
	Kali Trising	3,75
<b>Total Volume</b>		<b>99,03</b>



Gambar 2. Limpasan material berupa pasir, batu yang menutup badan jalan Jogjakarta-Magelang setinggi ± 2 m



Gambar 3. Diagram aspek sedimen (Ikhsan, 2011)

Momentum lahar yang berisi batu kecil dan besar hingga diameter > 2 m sangat besar karena kecepatan aliran yang juga relatif besar mampu menghancurkan semua yang

diterjangnya. Kecepatan yang tinggi dan momentum yang tinggi tersebut tidak mudah dibelokkan atau ditahan dengan bangunan Sabo Dam. Akibatnya alur sungai yang ada bukan merupakan satu-satunya pembawa lahar tersebut. Lahar pada tikungan yang tajam dapat menggerus tebing sungai, melompati alur bahkan membuat alur atau jalan lahar baru yang mengikuti erupsi gunungapi.

Bencana lahar lebih mudah diprediksi karena kebanyakan dipicu oleh hujan sehingga sulit ditanggulangi. Manusia dapat membuat infrastruktur yang dapat mengurangi risiko, namun bangunan-bangunan tersebut harus direncanakan berdasarkan asas efisiensi dan efektivitas. Dengan demikian bangunan hasil perencanaan hanya dapat bekerja baik untuk skala bencana sebagai dasar rancangan.

Lahar yang tidak terkontrol pada akhirnya akan merusak infrastruktur keteknikan sungai (jembatan, sabo, dll), bangunan sipil lain (gedung, jalan, dll) serta persawahan dan ladang. Bencana yang dijumpai pada lokasi penelitian yakni longsor, pelimpasan material lahar, serta air.

Longsor, pada beberapa titik lokasi pengamatan dijumpai tebing-tebing sungai yang berpotensi longsor. Longsor ini disebabkan oleh adanya gerusan lahar. Warga di sekitar sungai

harus dievakuasi sebelum terjadinya lahar sebagai langkah mitigasi.

Beberapa daerah yang di waspadai terjadinya longsor yakni Salamsari, Gejugan, Mranggen, Gremeng, Cabe Lor dan Srumbung.

Limpasan material lahar dijumpai pada zona sedimentasi. Limpasan material terjadi akibat pendangkalan dasar sungai, sehingga menyebabkan posisi dasar sungai lebih tinggi dari pemukiman penduduk. Beberapa tempat

terdampak telah mendapatkan sosialisasi dari pemerintah setempat. Sisa-sisa daerah terdampak dapat dijumpai di Dusun Gempol dan Sirahan, Desa Jumoyo, Kecamatan Salam, di mana sebuah perkampungan mengalami kerusakan bangunan yang sangat parah sehingga tidak layak huni. Lokasi tersebut dapat dilihat dengan bantuan Google Earth (Gambar 6.).



Gambar 4. Arah pelimpasan material akibat lahar di Dusun Gempol, Salam, Magelang. (Anonim, 2012, Google Earth)

Untuk mengurangi gerusan pada tebing dan juga menahan limpasan material dibuat bronjong-bronjong seperti terlihat pada daerah Sirahan (Gambar 7.).



Gambar 5. Bronjong di sisi Kali Putih, Dusun Sirahan. Kamera menghadap ke barat laut

Bronjong tersebut bersifat sementara, mengingat bronjong merupakan rangkaian pondasi berisikan batu yang terangkai dalam jaring kawat, sehingga masih memungkinkan untuk meloloskan air

Air merupakan sumber yang penting kehidupan. Semua makhluk hidup membutuhkan air. Untuk kepentingan manusia, makhluk hidup dan kepentingan lainnya, ketersediaan air dari segi kualitas maupun kuantitas mutlak diperlukan. Dalam jumlah tertentu air juga bisa mengakibatkan bencana.

Gundulnya hutan di wilayah Merapi ini menimbulkan permasalahan yang kompleks. Tidak ada lagi daerah penahan dan penyerapan air, sehingga dikhawatirkan akan terjadi krisis air bersih di sekitar lereng Merapi. Keberadaan airtanah (*akuifer*) sampai saat ini belum begitu terpengaruh, tetapi kondisi air permukaan hampir dipastikan akan terpengaruh. Padahal, sumur-sumur warga mayoritas menggunakan air permukaan. Ini berarti permasalahan yang timbul bisa bertambah lagi. Kualitas dan kuantitas air pasti akan berubah.

Sementara itu, air yang terkandung dalam banjir lahar secara kualitas tidak bisa dimanfaatkan karena mengandung lumpur, sehingga proses

penyaringan/ filterisasi akan mengalami kendala. Selain itu juga tidak memenuhi syarat jernih, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengandung kuman dan zat-zat yang berbahaya. Secara kuantitas juga akan merusak instalasi pipa.

Sesumber adalah segala sesuatu yang terdapat di alam yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk memenuhi segala kebutuhan hidupnya, termasuk yang telah digunakan pada masa kini maupun untuk masa yang akan datang. Dalam usaha peningkatan potensi daerah pasca banjir lahar Kali Putih, Kabupaten Magelang, dapat dilakukan dengan mengidentifikasi sumber daya geologi yang ada. Dalam pembahasan geologi lingkungan sumber geologi yang ada di daerah penelitian yakni bahan galian C.

Bahan galian sangat erat kaitannya dengan kehidupan manusia sehari-hari. Bahan galian merupakan salah satu aspek geologi yang sangat berguna bagi masyarakat untuk meningkatkan taraf hidup yang lebih baik. Potensi bahan galian yang ada di daerah penelitian termasuk dalam bahan galian golongan C berupa pasir dan batu. Material lahar yang berupa batu dan pasir setelah berhenti dapat dianggap sebagai berkah. Betapa tidak, dari sudut ekonomi pasir dan batu merupakan material yang semakin lama semakin tinggi tingkat komersialnya.

Pasir, Pada beberapa titik lokasi penelitian terjadi aktivitas penambangan pasir tradisional, diambil dengan cara yang sederhana, yaitu menggunakan sekop, cangkul, dan gerobak sorong untuk tetap menjaga kelestarian lingkungan. Pasir digunakan oleh penduduk sebagai bahan bangunan, terutama untuk bangunan rumah dan campuran bahan material bangunan lainnya.

Pasir Merapi memiliki kandungan silika (SiO) yang tinggi, sehingga kualitasnya menjadi sangat baik. Pola silika yang berujung runcing membuat kemampuan pasir menyerap partikel lebih baik daripada pasir biasa. Pada penggunaan pasir gunungapi sebagai

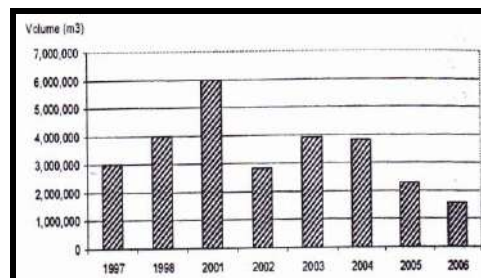
penjernih air, tetap membutuhkan bahan lain, seperti zeolit dan arang kayu.

Selain itu pasir gunungapi juga sangat baik digunakan untuk bahan beton. Ujung silika yang runcing membentuk partikel yang memiliki sudut.

Pola partikel bersudut itulah yang membuat ikatan pasir gunungapi dengan semen menjadi lebih kuat. Pasir biasa memiliki ujung bulat sehingga kekuatan ikatannya dengan bahan pembuat beton lainnya lebih lemah. Selain silika, pasir Merapi juga memiliki kandungan besi (FeO). Kandungan besi pasir Merapi sangat baik karena belum mengalami pelapukan sehingga baik untuk campuran bahan bangunan.

Penambangan batu biasanya dibarengi dengan penambangan pasir. Namun penambangan batu menjadi ketertarikan tersendiri bagi para penambang. Penggunaan batu Merapi dibagi menjadi 2 yakni untuk kerajinan batu hias dan untuk bangunan. Nilai jualnya pun berbeda. Untuk kerajinan batu Merapi yang diusahakan yakni yang berwarna hitam, struktur skoria atau yang kita sebut dengan andesitis. Sedang batu yang diusahakan untuk bangunan/ split yakni andesitis dengan struktur masif.

Penambangan pasir di lereng Merapi sangat tergantung pada keberadaan pasir dan kebutuhan pasar. Kebutuhan pasar yang semakin lama semakin besar sejak awal 70-an, dan ketersediannya yang kadang berlebih dan kadang kurang sesuai dengan volume letusan mengakibatkan terjadinya fluktuasi volume penambangan seperti Gambar 8.



Gambar 6. Fluktuasi volume penambangan pasir di lereng Merapi. (sumber: Yachiyo dan FT-UGM, 2007, dalam Triatmadja, dkk., 2011)

Gambar ini mengindikasikan adanya peningkatan penambangan pasir yang sangat signifikan pada tahun 2001, letusan Gunung Merapi menghasilkan material vulkanik dan meningkatkan ketersediaan material yang sangat banyak dan merupakan ladang penambangan pasir yang akan bertahan cukup lama. Selain kuantitas material yang sangat melimpah, erupsi Gunung Merapi tahun 2010 juga mengakibatkan sebaran material yang akan mengubah konsentrasi-konsentrasi penambangan.

Pengelolaan endapan lahar Merapi di sekitar aliran sungai berbasis pencegahan, tanggap darurat, dan rehabilitasi pasca bencana di Kabupaten Magelang. Kegiatan tersebut meliputi: Rehabilitasi masyarakat dan aset ekonomi yang terdampak bencana aliran lahar Merapi, Normalisasi aliran sungai yang terdampak oleh bencana aliran lahar Merapi, Normalisasi infrastruktur yang terdampak oleh bencana aliran lahar Merapi, dan Pemanfaatan endapan lahar di wilayah terdampak bencana aliran lahar Merapi

### KESIMPULAN

Erupsi Gunung Merapi 2010 mampu mengeluarkan material 130 juta  $m^3$  yang tersebar di sungai-sungai berhulu Gunung Merapi. Di Kali Putih terakumulasi material sebanyak 8,2 juta  $m^3$  dan baru 1/3 atau 3 juta-an  $m^3$  nya yang terangkut.

Dampak dari lahar yang perlu diwaspadai adalah longsor, limpasan lahar, dan banjir lumpur. Diperlukan pengelolaan yang meliputi pencegahan, tanggap darurat, dan rehabilitasi pasca bencana yang tepat agar tidak terjadi penyalahgunaan wewenang dalam pelaksanaannya..

### DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., Samodra, H., dan Tarigan J. J., 1988, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*, Bandung: Penerbit Nova
- Anonim, 2011, *Pengamatan Curah Hujan Tahun 2011*, Balai Pengairan Kabupaten Magelang
- Anonim, 2012, *Google Earth*
- BPPTK, 2000, *Penyelidikan Gunung Merapi: potensi lahar di lereng barat-barat laut*. Yogyakarta
- BNPB dan BAPPENAS, 2011, Rencana Aksi, Rehabilitasi, dan Rekonstruksi Wilayah Pascabencana Erupsi Gunung Merapi di Provinsi DIY dan Provinsi Jateng Tahun 2011-2013
- Bronto, S., Sayudi, D. S., Muzani, M., Putra, R., 2011, Potential Hazard of Merapi in The Near Future, *International Workshop Lesson Learned from the 2010 Merapi Eruption*, November 01-02, 2011, Yogyakarta,
- Ikhsan, J., 2011, *Pengelolaan Potensi dan Bahaya Sedimen Hasil Letusan 2010*, Simposium Gunung Merapi Kajian Perilaku, Dampak, Dan Mitigasi Bencana Akibat Erupsi Merapi 2010 hal 153-156, Yogyakarta, 21 Februari 2011.
- Mulyaningsih, S., 2010, *Pengantar Geologi Lingkungan, Cetakan 1*, Percetakan Panduan Yogyakarta,
- Mulyaningsih, S., Sampurno, Zaim, Y., Puradimaja, D. J., Bronto, S., 2006, "Dinamika Pengendapan Lahar Permukaan Pada Alur-alur Lembah di Bagian Selatan Gunung Api Merapi, Yogyakarta" *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1 No. 3 September 2006 hal 129-142.
- Sayudi, D. S., Nurnaning, A., Juliani, D. J., Muzani, M., 2010, *Peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) Gunungapi Merapi, Jateng dan DIY*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Triatmadja R., D. Legono, Darmanto 2011, *Lahar Dingin sebagai Berkah Sekaligus Bencana*, Simposium Gunung Merapi Kajian Perilaku, Dampak, Dan Mitigasi Bencana Akibat Erupsi Merapi 2010 hal 153-156, Yogyakarta, 21 Februari 2011.
- Keputusan Bupati Magelang Nomor: 188.45/1/KEP/25/2011 tentang Penetapan Wilayah Pertambangan Rakyat Di Sungai-



sungai yang terkena Banjir Lahar  
Akibat Erupsi Gunung Merapi Di  
Kab. Magelang. Kota Mungkid, 10  
Januari 2011.  
<http://merapi.combine.or.id/>

## REPLIKASI UNTUK MENINGKATKAN KINERJA DAN KETERSEDIAAN DATA (STUDY KASUS SISTEM INFORMASI AKADEMIK)

Joko Triyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta

Masuk: 3 Maret 2012, revisi masuk : 15 Juni 2012, diterima: 2 Juli 2012

### ABSTRACT

*This study aims to find the algorithms for designing a distributed database architecture with replication method that will be implemented on an academic database. From this study it is hoped that will get a distributed database architecture that can cope with the availability of data on academic information system. By using a distributed database an application can provide information to its end users to retrieve data from the sources closest to the network from the end user transactions. This design was developed and built using the MySQL database type InnoDB. The design was focused in managing a distributed database using the replication method. Transaction processing was only done to the master, while the slave was only a mirror. Data that has been transacted by the slave will be synchronized with the two methods of automatic and manual by following the pattern of events in the academic system. Master was put on the intranet so that the area will ensure the safety of its data, while the slave was spread to multiple database servers, both intranet and public. Web applications that use the data base was placed disuatu domains on the Internet. The results of this study indicate that by doing the exact distribution of the database. With this method an information system is not necessarily connected to a database, but sufficiently connected to the nearest slave database of network users, so in addition to reducing the server load will also further increase the speed in obtaining data and will impact on the confidence level stack holder.*

**Keywords:** database, innoDB, distribution, replication

### INTISARI

Penelitian ini bertujuan mencari algoritma-algoritma untuk merancang arsitektur database terdistribusi dengan metode *replikasi* yang akan diimplementasikan pada database akademik dan diharapkan didapatkan sebuah arsitektur database terdistribusi yang bisa mengatasi ketersediaan data pada sistem informasi akademik. Dengan menggunakan database terdistribusi tersebut maka sebuah aplikasi bisa memberikan informasi kepada *end user*-nya dengan mengambil dari sumber data yang terdekat dengan *network* dari melakukan transaksi. Rancangan ini dikembangkan dan dibangun menggunakan basis data MySQL berjenis InnoDB. Rancangan difokuskan dalam mengelola database terdistribusi menggunakan metode Replikasi. Proses transaksi hanya dilakukan terhadap master, sedangkan slave hanya akan menjadi sebuah mirror. Data yang telah ditransaksikan akan dilakukan sinkronisasi oleh slave dengan dua metode yaitu otomatis dan manual dengan mengikuti pola kejadian dalam sistem akademik. Master diletakkan pada area intranet sehingga akan menjamin keamanan datanya, sedangkan slave disebarakan ke beberapa server database, baik intranet maupun public. Aplikasi Web base yang menggunakan data tersebut diletakkan di suatu domain di internet. Dengan metode ini sistem informasi tidak harus selalu terkoneksi ke sebuah database, tetapi cukup dikoneksikan ke database slave terdekat dari network pengguna, sehingga selain mengurangi beban server juga akan lebih meningkatkan kecepatan dalam memperoleh data dan akan berimbas pada tingkat kepercayaan stack holder.

**Kata kunci:** basis data, innoDB, terdistribusi, replikasi

---

<sup>1</sup>zainjack@gmail.com

## PENDAHULUAN

Kemudahan dalam mendapatkan pelayanan dan atau informasi merupakan salah satu faktor yang sangat penting dewasa ini. Terutama informasi dan atau pelayanan terhadap konsumen. Dalam dunia perguruan tinggi, konsumen yang sangat berkompeten dalam hal ini adalah mahasiswa dan orang tua mahasiswa.

Dengan kemajuan Teknologi komunikasi dan informasi yang bisa dikatakan telah merata diseluruh pelosok negeri, sudah menjadi hal yang wajib bagi pengelola perguruan tinggi untuk menyediakan informasi dan layanan yang bisa diakses menggunakan teknologi komunikasi dan informasi yang ada tanpa memperhatikan letak geografis dan teknologi yang dipakai. Faktor keterbatasan teknologi yang dimiliki sering dijadikan alasan untuk meminta kebijaksanaan pada penyelenggara pendidikan, selain itu faktor keamanan data juga sering dijadikan alasan pihak penyelenggara pendidikan untuk tidak *publish* data yang dimiliki. Yang akan berimbas kepada ketidak konsistenan antara pelaku dan kebijakan yang telah ditetapkan yang akhirnya akan menimbulkan ketidakpercayaan *stake holder* terhadap penyelenggara pendidikan tersebut dan akan berimbas kepada menurunnya minat *stake holder* terhadap penyelenggaraan pendidikan. Lokasi dari *stake holder* saat melakukan transaksi melalui media internet akan terpetakan *networking*-nya pada beberapa kelompok *network*, seperti *intranet*, *internet iix*, *internet international*, *internet inherent*, *internet jardik-nas* dan lain-lain.

Melihat kenyataan diatas, maka penelitian ini bertujuan mengembangkan pemanfaatan Replikasi untuk dapat meningkatkan kinerja dan ketersediaan data pada Sistem Informasi Akademik dan menemukan algoritma-algoritma baru yang bisa diimplementasikan.

Siklus transaksi dalam sistem informasi akademik dari tahun ke tahun adalah selalu mirip atau bahkan bisa dikatakan sama, yaitu dari mahasiswa mendaftar, melakukan pengisian krs, melaksanakan kuliah dan praktikum, mendapatkan nilai, akhirnya yudisium akhir untuk kelulusan dan menjadi alumni.

Siklus tersebut akan selalu berulang-ulang untuk periode tertentu. Dengan kejadian tersebut maka sebetulnya perubahan data akan mengikuti pola tertentu untuk masing-masing proses dan tidak selalu *real-time*, artinya ada beberapa proses yang memiliki usia 1 semester, 1 tahun, bahkan ada proses yang memiliki usia 1 kali selama mahasiswa kuliah.

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah merancang sebuah arsitektur database terdistribusi dengan metode menggunakan *replikasi* untuk dapat meningkatkan Kinerja dan Ketersediaan Data pada Sistem Informasi Akademik di Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta baik dari sisi penyelenggara pendidikan maupun dari sisi *stake holder*. Dengan kondisi kampus yang terbagi menjadi 3 lokasi, yaitu kampus 1 (pusat), kampus 2 dan kampus 3, dengan sentral transaksi di lakukan di kampus 1 (pusat), serta pelayanan terhadap user dari luar (Internet). Sehingga jika seseorang melakukan akses terhadap sistem akademik melalui jalur intranet, maka akan diberikan database yang ada di intranet terdekat (dalam satu group network), yang artinya akan memberikan kenyamanan kepada *end user* tersebut karena data akan lebih cepat terakses, sedangkan *end user* dari internet akan dilayani database yang ada di Server Public.

Triyono (2010) tentang Proses Implementasi Sistem Database Terdistribusi Dengan Metode *Partial Replica* (Studi Kasus : Pelaporan Hasil Penghitungan Suara di DPW PKS DIY) yang telah menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain : hasil penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi basis data menggunakan metode Partial Replica akan meningkatkan kinerja dan ketersediaan data pada slave, yang berdampak kepada kebutuhan hardware yang harus disediakan. Dengan metode ini suatu sistem informasi tidak harus selalu *online*, cukup menggunakan *semi-online* saja.

*Gilfillan* (2004) pada *Database Journal* menyatakan bahwa replikasi memungkinkan Anda untuk mengambil satu database, membuat salinan persis di server lain, dan menetapkan satu dari mereka (*slave*) untuk mengambil semua

*update* dari yang lain (*master*). *Slave* membaca *log biner master*, yang menyimpan semua pernyataan yang mengubah *database*, dan mengulangi ini di *database*-nya, menjaga dua sinkron yang tepat. Karena *database* replikasi hanya mengulangi pernyataan, *database* belum tentu persis di *sync*, dan pengguna yang mahir dapat mengambil keuntungan dari ini.

Diehl (2010) menyatakan pada *Linux Journal* bahwa pada dasarnya *Mysql* menggunakan *model Master-slave* dimana *master* menyimpan *log* dari semua pembaruan *database* yang telah dilakukan. Kemudian, satu atau lebih *slave* terhubung ke *master*, membaca setiap *entri log*, dan melakukan *update* ditunjukkan. *Server master* melacak masalah internal seperti *rotasi log* dan kontrol akses. Setiap *server slave* harus memelihara posisinya saat itu dalam *log* transaksi *server*. Jika transaksi baru terjadi di *server*, mereka mendapatkan *login* pada *server master* dan di *download* oleh setiap *slave*. Setelah transaksi telah dilakukan oleh setiap *slave*, *slave* memperbarui posisi mereka dalam transaksi *server log* dan menunggu untuk transaksi berikutnya. Ini semua dilakukan secara *asynchronous*, yang berarti bahwa *server master* tidak harus menunggu *slave* ini, juga berarti bahwa jika *slave* tidak dapat terhubung ke *master* untuk periode waktu tertentu, itu hanya bisa "mengejar ketinggalan." *download* semua transaksi tertunda ketika konektivitas terhubung kembali.

Silberschatz et.all (2002) menyatakan bahwa sebuah sistem basis data terdistribusi terdiri dari kumpulan *site-site*, masing-masing *site* ini dapat berpartisipasi dalam pemrosesan transaksi yang mengkases data pada suatu *site* atau beberapa *site*. Beberapa alasan untuk membangun basis data terdistribusi, seperti pemakaian bersama (*share*), kehandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*) dan kecepatan pemrosesan *query*. Keuntungan utama dari basis data terdistribusi adalah kemampuan untuk pemakaian dan pengaksesan data secara bersama dengan cara yang handal dan efisien.

Arsitektur *desentralisasi* merupakan konsep dari pemrosesan data

tersebar (atau terdistribusi). Sistem pemrosesan data terdistribusi (atau biasa disebut sebagai komputasi tersebar) sebagai sistem yang terdiri atas sejumlah komputer yang tersebar pada berbagai lokasi yang dihubungkan dengan sarana telekomunikasi dengan masing-masing komputer yang mampu melakukan pemrosesan yang serupa secara mandiri, tetapi bisa saling berinteraksi dalam pertukaran data.

Tiga pendekatan arsitektur alternatif yang dipilih untuk memisahkan fungsionalitas melalui proses yang berkaitan dengan DBMS yang berbeda; Arsitektur DBMS terdistribusi alternatif ini disebut dengan *Client/Server*, *Collaboration Server* dan *MiddleWare* (Ramakrishnan, 2003).

Sistem *client-server* mempunyai satu proses klien atau lebih dan satu proses *server* atau lebih, dan proses klien dapat mengirim sebuah *query* pada proses *server* manapun. *Client* bertanggungjawab terhadap proses *user-interface* dan *server* mengatur data dan mengeksekusi transaksi. Jadi, proses klien dapat menjalankan komputer personal dan mengirim *query* pada *server* yang berjalan pada kerangka utama.

Arsitektur ini menjadi sangat populer untuk beberapa alasan. Pertama, Arsitektur ini relatif sederhana untuk diimplementasikan berkenaan dengan pemisahan fungsionalitas yang bersih dan servernya disentralisasi. Kedua mesin *server* yang mahal tidak digunakan berkaitan dengan interaksi pengguna biasa, yang kini dipindahkan ke mesin klien yang murah. Ketiga, pengguna dapat menjalankan *user-interface* grafis yang mereka kenali, daripada *user interface* pada *server* (kemungkinan tidak familiar).

Arsitektur *client-server* tidak mengijinkan *query* tunggal untuk menjangkau banyak *server* karena proses *client* harus mampu memecahkan sebuah *query* ke dalam beberapa *subquery* yang tepat untuk dieksekusi pada tempat yang berbeda dan kemudian membagi jawaban ke *subquery*. Oleh karena itu, Proses *client* cukup kompleks dan kemampuannya akan mulai overlap dengan *server*; sehingga perbedaan antara *client* dan *server* menjadi sulit. Untuk me-

ngurangi perbedaan digunakan alternatif arsitektur *client-server* yaitu sistem *Collaboration Server*. Pada sistem ini terdapat sekumpulan *server database*, masing-masing mampu menjalankan transaksi melalui data lokal, yang secara bekerjasama mengeksekusi transaksi yang menjangkau banyak *server*.

Saat *server* menerima *query* yang membutuhkan akses ke data pada *server* lain, *server* menghasilkan *sub-query* yang tepat untuk dieksekusi *server* lain dan menempatkan hasilnya bersama-sama untuk menggabungkan jawaban menjadi *query* asal (Ramakrishnan, 2003).

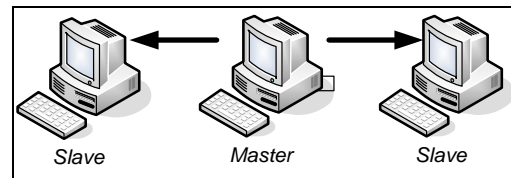
Arsitektur *middleware* didesain untuk memungkinkan sebuah *query* tunggal menjangkau banyak *server*, tanpa membutuhkan semua *server database* untuk mampu mengatur strategi eksekusi *multi-situs*. Arsitektur ini menjadi sangat menarik saat berusaha untuk mengintegrasikan beberapa sistem warisan, yang kemampuan dasarnya tidak dapat diperluas.

Gagasannya hanya membutuhkan satu *server database* yang mampu mengatur *query* dan transaksi yang menjangkau banyak *server*; *server* yang tersisa hanya perlu mengendalikan *query* dan transaksi lokal. *Server* khusus ini sebagai lapisan perangkat lunak yang mengkoordinasikan eksekusi *query* dan transaksi melalui satu *server database* yang *independent* atau lebih; perangkat lunak tersebut sering disebut *Middle-ware*. Lapisan *middleware* mampu mengeksekusi *join* dan operasi relasional lain pada data yang diperoleh dari *server* lain, secara khusus tidak sendirinya menggunakan data (Ramakrishnan, 2003).

(Silberschatsz A., 2002), menyatakan bahwa jika relasi *r* direplikasi, maka sebuah salinan dari relasi disimpan pada dua atau lebih lokasi. Dalam kasus yang ekstrim, kita bisa juga memiliki replikasi penuh (*Full Replication*), dimana sebuah salinan dari relasi *r* dapat disimpan pada setiap lokasi. Dalam sistem replikasi terdapat sejumlah kelebihan dan kekurangan pada antara lain: *Availability*, jika salah satu dari lokasi yang berisi relasi *r* mengalami kegagalan, maka relasi *r* dapat ditemukan pada lokasi lain,

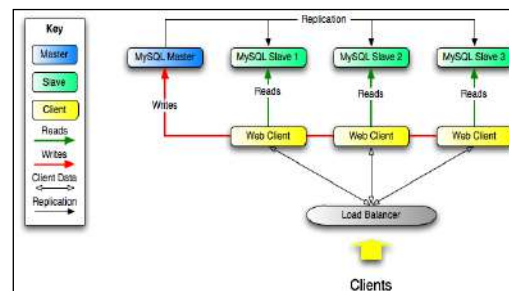
sehingga sistem dapat melanjutkan untuk memproses *query* yang berisi *r* walaupun terjadi kegagalan sebelumnya.

Replikasi memungkinkan membangun data dari satu *server* basis data *mysql* (disebut *master*) direplikasikan ke satu atau lebih *server* basis data *mysql* (disebut *slaves*). Replikasi *mysql* ini adalah *asynchronous*, yaitu *slave* tidak harus terhubung secara permanen untuk menerima *update* dari *master*. Replikasi pada umumnya digunakan atas sebuah *master* dan sebuah *slave* seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Master Multi Slave

(Pachev, 2008) menjelaskan tentang tujuan digunakannya replikasi pada *MySQL* meliputi: *Scale-out solutions*, pada Gambar 2 membuat banyak *slave* untuk meningkatkan *performa*. Dalam hal ini semua transaksi *write* dan *update* harus dilakukan pada *master*.



Gambar 2 Replika untuk meningkatkan performa selama *scale-out* (Pachev, 2008)

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara lebih rinci, hal-hal yang akan dilakukan dan menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah mencari algoritma-algoritma untuk merancang arsitektur database terdistribusi dengan metode replikasi yang akan diimplementasikan pada database akademik. Sehingga akan didapatkan sebuah arsitektur database terdistribusi yang bisa mengatasi ketersediaan data pada sistem informasi aka-

demik. Dengan database terdistribusi tersebut maka sebuah aplikasi bisa memberikan informasi kepada *end user*-nya dengan mengambil dari sumber data yang terdekat dengan *network* dari *end user* tersebut melakukan transaksi.

### METODE

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan bahan berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat Keras meliputi: perangkat *networking* (*Infrastruktur Jaringan intranet* dan atau *internet*), *Server* (*PC server untuk Web dan Database Server*) dan *Client* (*PC terminal untuk pengujian proses*). *Perangkat Lunak / Software* terdiri dari *Ubuntu Server, Windows, DBMS MySQL, Apache Web Server dan Client*.

Proses pada penelitian ini meliputi langkah-langkah *instalasi networking system* baik *hardware* maupun *software* serta aplikasi-aplikasi pendukung, *instalasi master database, instalasi slave database* dan instalasi aplikasi *web base*.

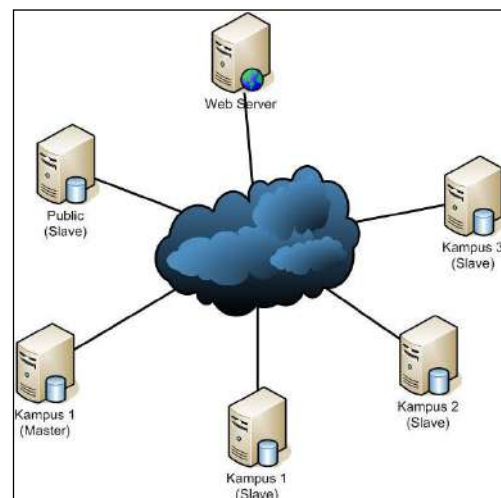
Langkah pemasangan *database akademik* pada *master, slave, pembuatan user replikasi pada master database, proses sinkronisasi database dari master ke slave*, serta pengujian menggunakan aplikasi dari beberapa kelas *network*.

### PEMBAHASAN

Prototipe perancangan dan instalasi *networking* terlihat pada Gambar 3 menjelaskan perancangan *networking* dari permasalahan, dengan mengacu Gambar 2 tentang *Replika* untuk meningkatkan *performa selama scale-out* maka terbentuklah rancangan ini.

Fungsi dari masing-masing node pada Gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut: *Web Server*, sebagai tempat untuk aplikasi berbasis web yang didukung oleh Apache dan diletakkan pada sebuah domain di area public (Internet), dengan cara ini semua *stake-holder* akan berinteraksi dengan sistem database. *Kampus 1 (Master)*, sebuah database server yang diletakkan di area Intranet, mesin ini digunakan sebagai *MySQL master* dari replikasi, semua transaksi dipusatkan di mesin ini. *Kampus 1 (Slave)*, sebuah database server yang diletakkan di area intranet, mesin ini sebagai

*slave* yang akan melayani semua *request* yang terletak di area Kampus 1. *Kampus 2 (Slave)*, sebuah database server yang diletakkan di area intranet, mesin ini sebagai *slave* yang akan melayani semua *request* yang terletak di area Kampus 2. *Kampus 3 (Slave)*, sebuah database server yang diletakkan di area intranet, mesin ini sebagai *slave* yang akan melayani semua *request* yang terletak di area Kampus 3. *Public (Slave)*, sebuah database server yang diletakkan di area public, mesin ini sebagai *slave* yang akan melayani semua *request* yang datang dari *public/internet*.

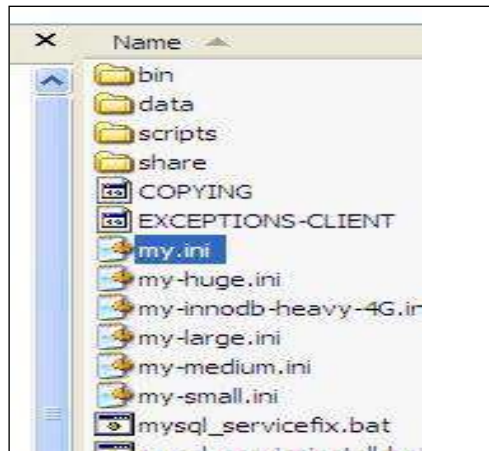


Gambar 3. Instalasi Networking

Proses konfigurasi *master*, file konfigurasi pada file *my.ini* yang terletak di folder MySQL seperti pada Gambar 4. *Mapping network system* yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Peta IP Address Network

Lokasi	IP-Server	IP-Range
Kampus 1 (Master)	15.74.0.1	15.74.0.1 – 15.74.0.255
Kampus 1 (Slave)	15.74.1.1	15.74.1.1 – 15.74.1.255
Kampus 2 (Slave)	15.74.2.1	15.74.1.1 – 15.74.1.255
Kampus 3 (Slave)	15.74.3.1	15.74.3.1 – 15.74.3.255
Public (Slave)	202.91.10.214	202.91.10.209 – 202.91.10.222



Gambar 4 Lokasi my.ini

File *my.ini* sebagai konfigurasi dari database MySQL perlu dilakukan penambahan *script* untuk mendefinisikan sebagai *master* dan atau *slave* dengan script konfigurasi sebagai berikut:

```
Master:
[mysqld]
#sebagai server
log-bin=istaakdk-log
server-id=1574
binlog-do-db=akademik
```

Sedangkan untuk melihat file log digunakan *show binlog events*

```
mysql> show binlog events\G
***** 1. row
*****
Log_name: istaakd-log.000001
Pos: 4
Event_type: Format_desc
Server_id: 1574
End_log_pos: 98
Info: Server ver: 5.0.24a-
community-nt-log, Binlog ver: 4
1 row in set (0.00 sec)
```

Dari tampilan diatas terlihat bahwa *master* berjalan dan mencatat kegiatan pada file log *istaakd-log.000001* mulai posisi 98, sedangkan pada *events* terlihat bahwa ada satu kejadian (*1. row*) pada log *istaakd-log.000001* posisi awal 4 pada *server-id* 1574 dan posisi akhir log adalah 98.

Agar *master* ini bisa di koneksi ke *slave*, maka pada Site *master* harus dibuatkan user dengan hak *Replication Slave* sebagai berikut:

```
Mysql>CREATE USER 'ista'@ '%'
IDENTIFIED BY '*****';
```

```
mysql>GRANT REPLICATION SLAVE ON *.*
TO 'ista'@ '%' IDENTIFIED BY '*****';
```

Pada konfigurasi ini dilakukan di semua *slave* (Kampus 1, 2 dan 3 serta Public), Mesin ini akan bertindak sebagai *slave* dan hanya akan melakukan pembacaan log terhadap basisdata *akademik*, sehingga semua kejadian pada *master* terhadap basisdata *akademik* tersebut akan dikirimkan ke *slave*.

File *my.ini* sebagai konfigurasi dari database MySQL perlu dilakukan penambahan *script* untuk mendefinisikan sebagai *slave* dengan konfigurasi sebagai berikut :

```
[mysqld]
server-id= 15741
#sebagai slave
master-host=15.74.0.1
master-user=ista
master-password=ista
#slave hanya mengakses dB pileg
dan tabel-tabel tertentu
replicate-do-db=akademik
```

Dengan penjelasan sebagai berikut : *server-id=15741*, digunakan untuk mengidentifikasi server MySQL, dalam hal ini masing-masing *slave* memiliki id yang berbeda.

*master-host=15.74.0.1*, digunakan untuk menunjukkan bahwa *master* basisdata yang ditunjuk adalah nomor *ip address* 15.74.0.1.

*master-user=ista*, digunakan untuk mendefinisikan user MySQL *master* yang diberi hak sebagai *replication slave*.

*master-password=ista*, digunakan untuk mendefinisikan password dari user.

*replicate-do-db=akademik*, digunakan untuk mendefinisikan bahwa database yang direplikasi adalah *akademik*.

Setelah konfigurasi *master* dan *slave* tersebut di terapkan, maka kedua sisi database server sudah akan bertindak sebagai *master* dan *slave*.

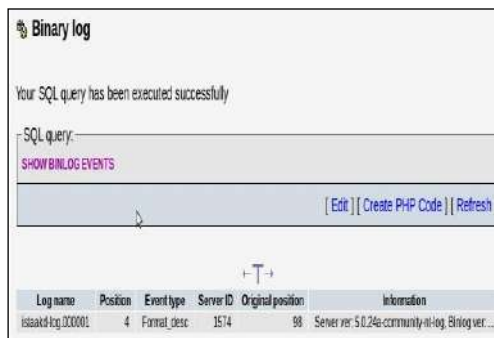
Konfigurasi pada aplikasi web lebih difokuskan pada penanganan saat membuka database, yaitu dengan mendeteksi dari manakah client itu mengakses.. Script ini digunakan untuk mengatur semua hal yang terkait untuk menggunakan basisdata. Script memperlihatkan penanganan tersebut yaitu:

```
<?php
$asal=$_SERVER['REMOTE_ADDR'];
$client=substr($client, 0, 7);
```

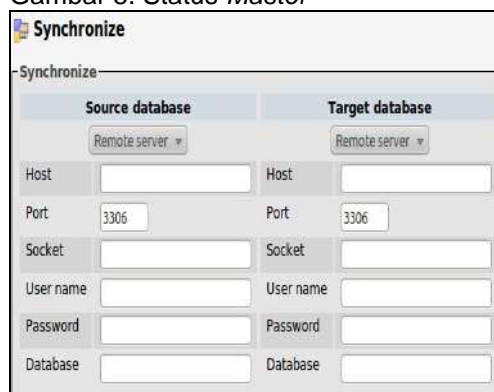
```

If($client=='15.74.0.') {
    $dbs='15.74.0.1';
} ElseIf($client=='15.74.1.') {
    $dbs='15.74.1.1';
} ElseIf($client=='15.74.2.') {
    $dbs='15.74.2.1';
} ElseIf($client=='15.74.3.') {
    $dbs='15.74.3.1';
} Else { $dbs='202.91.10.214'; }
$con=mysql_connect($dbs,'ista','1574');
if(!$con) { die("Mysql belum diaktifkan, silahkan aktifkan dulu"); }
if(!mysql_select_db('akademik',$con)) die("database salah ");
    
```

Proses Sinkronisasi, pada tahap ini memantau transaksi antara *master* dan *slave*, *Binary Log Master* pada Gambar 5, untuk melihat *status master*.

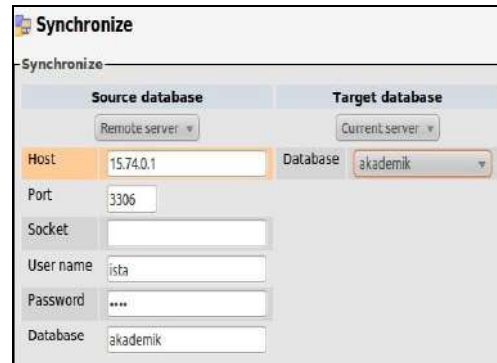


Gambar 5. Status Master



Gambar 6. Dialog Sinkronisasi

Pada Gambar 6 memperlihatkan dialog untuk melakukan proses *sinkronisasi*, *source database* adalah sumber data dalam hal ini adalah *master* dan *target database* adalah tujuan *slave*. Proses sinkronisasi dengan memasukkan data *master* ke form *source database*.



Gambar 7. Proses sinkronisasi

Dan *Slave* ke *Target Database* seperti terlihat pada Gambar 7. Setelah terhubung dengan *master* akan didapat informasi yang di tampilkan pada gambar 8. Legend S menginformasikan jika ada perbedaan atau ada struktur data yang baru atau berubah, sedangkan legend D menunjukkan jika ada perubahan pada record di tabel tersebut.

Tabel 2. Peta Transaksi Sistem Akademik

Nama Kegiatan	Modul Terkait	Waktu
Pendaftaran Mahasiswa	Data Induk Calon Mahasiswa	Tiap periode penerimaan mahasiswa
Her-Registrasi Mahasiswa	Data Induk Mahasiswa	Tiap periode Her-Registrasi
Pengisian KRS	Data Matakuliah, Dosen, Kelas dan KRS	Tiap semester
Pengisian Nilai	Data KRS/KHS dan Transkrip	Tiap Semester 2 kali (UTS dan UAS)
Yudisium	Data Transkrip	Tiap Periode Yudisium
Alumni	Data Lulusan dan Alumni	Tiap periode Yudisium

Setelah memilih tabel yang akan di sinkronisasikan maka akan terlihat pada gambar 9, kejadian apa yang terjadi pada object tersebut. Pada gambar 10 memperlihatkan proses sinkronisasi telah dilakukan, dan diperlihatkan *query* yang



terjadi. Pada Gambar 11 memperlihatkan perubahan data pada tabel yang dilakukan sinkronisasi yaitu melakukan transaksi Insert atau Update pada tabel tersebut. Setelah proses ini selesai dilakukan, maka database slave telah terupdate dengan data terkini. Dan bisa dipertanggungjawabkan sebagai sumber data bagi *stake holder* yang mengakses Sistem Informasi Akademik.

Dalam penelitian ini database Slave merupakan data mirror yang tidak pernah dilakukan transaksi, karena sifatnya mirror maka jika terjadi suatu kerusakan baik disengaja maupun tidak, maka kita bisa melakukan perbaikan dengan cara mengambil lagi dari master untuk di sinkronisasikan ke slave tersebut.

Proses sinkronisasi data bisa dilakukan secara otomatis dengan pola waktu tertentu, ataupun dengan cara terjadwal. Dalam penelitian ini, karena proses perubahan data yang terjadi pada sistem informasi akademik tidak begitu padat yaitu hanya terjadi pada waktu-waktu tertentu, maka untuk efisiensi proses sinkronisasi dilakukan menurut *schedule* dengan mengikuti pola seperti pada tabel 2.

Dari peta pada tabel 2 terlihat bahwa pada sistem informasi akademik proses sinkronisasi bisa dilakukan mengikuti pola kejadian tersebut. Misalkan Pengisian Nilai, dengan data yang terkait adalah KRS/KHS dan Transkrip, sinkronisasi cukup dilakukan tiap Semester 2 kali, yaitu pada periode UTS dan periode UAS.

Source database: akademik (Remote server 15.74.0.1)		Difference	Target database: akademik (Current server)
+ dosen		[S]	dosen (not present)
+ jurusan		[S]	jurusan (not present)
+ kelas		[S]	kelas (not present)
+ krs		[S]	krs (not present)
+ mahasiswa		[S]	mahasiswa (not present)

Table	Structure Difference					Data Difference		
Table name	Create table	Add column(s)	Remove column(s)	Alter column(s)	Remove index(s)	Apply index(s)	Update row(s)	Insert row(s)
dosen								
jurusan								
kelas								

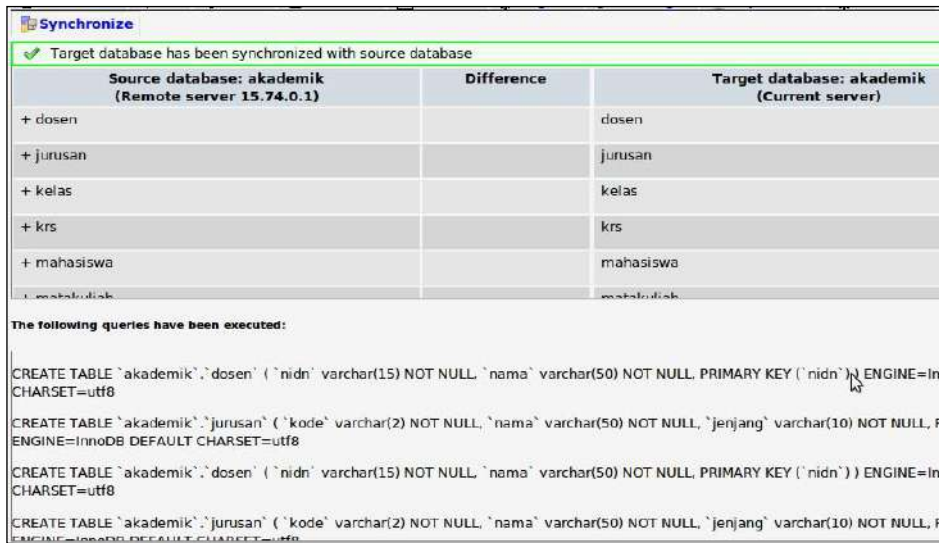
Gambar 8. Perubahan Data

Source database: akademik (Remote server 15.74.0.1)		Difference	Target database: akademik (Current server)
+ dosen		[S]	dosen (not present)
+ jurusan		[S]	jurusan (not present)
+ kelas		[S]	kelas (not present)
+ krs		[S]	krs (not present)
+ mahasiswa		[S]	mahasiswa (not present)

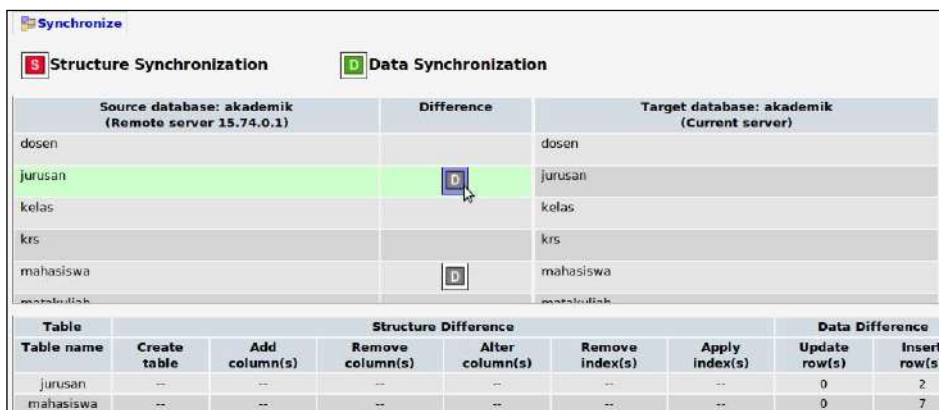
  

Table	Structure Difference					Data Difference	
Table name	Create table	Add column(s)	Remove column(s)	Alter column(s)	Remove index(s)	Apply index(s)	Update row(s)
dosen	✓	--	--	--	--	--	--
jurusan	✓	--	--	--	--	--	--
kelas	✓	--	--	--	--	--	--

Gambar 9. Struktur data yang dipilih



Gambar 10. Data terpilih di proses



Gambar 11. Perubahan isi tabel

## KESIMPULAN

Dari pembahasan dan peng-ujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan yaitu metode yang dibangun ini cocok untuk sistem yang mengacu kepada proses transaksi terpusat, yaitu hanya di site *master* saja terjadinya transaksi, sedangkan site *slave* hanya melayani untuk proses baca atau *view* data sehingga tidak akan terjadi konflik data. Dengan metode ini, maka *slave* bisa disebar ke tempat-tempat atau *node-node* strategis di *area public* atau bahkan di *intranet* yang terpisah, proses *sinkronisasi* dilakukan secara *temporal*. Sehingga walaupun koneksi ke *master* terputus sistem informasi yang mengacu ke *slave* akan tetap bisa bekerja secara sempurna.

Slave pada penelitian ini berfungsi sebagai hanya sebagai mirror, maka jika terjadi kerusakan pada slave tidak akan mengganggu sistem secara keseluruhan, dan pengembalian data cukup mudah dilakukan dengan sinkronisasi ulang. Keamanan data *master* akan terjaga, karena *master* ditempatkan pada *intranet*, yang hanya dikoneksikan ke *area public* untuk periode tertentu saja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Diehl, M. (2010, May 25). *Database Replication with Mysql*. Dipetik Maret 8, 2012, dari Linux Journal: <http://www.linuxjournal.com/content/database-replication-mysql>
- Gilfillan, I. (2004, Mai 18). *Database Replication in MySQL*. Dipetik

- Maret 8, 2012, dari Database Journal:  
<http://www.databasejournal.com/features/mysql/article.php/3355201/Database-Replication-in-MySQL.htm>
- Pachev, S. (2008, 10 28). *MySQL 5.0 Manual Reference*. Dipetik 10 28, 2009, dari MySQL Manual: <http://www.mysql.com/doc/>
- Ramakrishnan, R. G. (2003). *Database Management System, Third Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Silberschatsz A., K. H. (2002). *Database System Concepts, 3rd ed.* Singapore: McGraw-Hill.
- Triyono, J. (2010). *Implementasi Sistem Database Terdistribusi Dengan Metode Partial Replica*. Yogyakarta: FMIPA UGM.

**PENERAPAN PENEMPATAN NILAI EIGEN INFINITE SISTEM SINGULAR  
PADA PENYELESAIAN PERSAMAAN POLINOMIAL MATRIKS  
BERBENTUK  $[Es - A] X + B Y = U(s)$**

Kris Suryowati<sup>1</sup>, Yudi Setyawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Matematika, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 29 Mei 2012, revisi masuk: 28 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

**ASBTRACT**

*Problem of solvability of polynomial equations and matrix eigenvalue relation to the placement of an infinite state-feedback is important to learn because it deals with the properties of dynamic and static systems. In this case discussed the problem with putting the infinite eigenvalue decomposition of the standard, then the results are applied to problem solving matrix polynomial equations. On eigenvalue placement or placement of the poles, the problem is determining the state feedback matrix  $K$  such that  $\det [Es - A + BK] = \alpha \neq 0$ , in  $\alpha$  and  $s$  with each other independent. Singular linear system that has an infinite eigenvalue will be formed in such infinite eigenvalues are placed so that the system has no eigenvalues of infinite state by providing appropriate feedback. Problems on infinite eigenvalue assignment can be attributed to the determination of polynomial equation solution in the form of matrix  $[Es - A] X + BY = U(s)$  for a matrix  $U(s)$  with  $\det U(s) = \alpha$ , so that necessary and sufficient conditions of existence of solutions  $(X, Y)$  and form a solution.*

**Keywords:** singular linear systems, infinite eigenvalue assignment, polynomial matrix equation

**INTISARI**

Masalah *solvability* dari persamaan matriks polinomial dan kaitannya dengan penempatan nilai eigen infinite state-feedback adalah penting dipelajari karena berhubungan dengan sifat-sifat dinamik dan statik sistemnya. Dalam hal ini dibahas masalah penempatan nilai eigen infinite atas dekomposisi standar, kemudian hasilnya diaplikasikan pada penyelesaian masalah persamaan polinomial matriks. Pada penempatan nilai eigen atau penempatan kutub, yang menjadi permasalahannya yaitu pada penentuan state feedback matriks  $K$  sedemikian sehingga  $\det[Es - A + BK] = \alpha \neq 0$  dengan  $\alpha$  dan  $s$  saling independent. Sistem linear singular yang mempunyai nilai eigen infinite akan dibentuk sedemikian nilai-nilai eigen infinite tersebut ditempatkan sehingga sistem tidak mempunyai nilai-nilai eigen infinite yaitu dengan memberikan state feedback yang sesuai. Permasalahan pada penempatan nilai eigen infinite dapat dikaitkan pada penentuan solusi persamaan polinomial matriks yang berbentuk  $[Es-A] X + B Y = U(s)$  untuk suatu matriks  $U(s)$  dengan  $\det U(s) = \alpha$ , sehingga akan dibahas syarat perlu dan cukup keberadaan solusi  $(X, Y)$  serta bentuk solusinya.

**Kata Kunci:** sistem linier singular, penempatan nilai eigen infinite, persamaan polinomial matriks

---

<sup>1</sup> [krisnaroz@gmail.com](mailto:krisnaroz@gmail.com)

<sup>2</sup> [yudista2003@yahoo.com](mailto:yudista2003@yahoo.com)

## PENDAHULUAN

Penempatan nilai *eigen* sangat penting dalam efektivitas sifat-sifat dinamik dan sifat-sifat statik sistem linear singular. Penempatan nilai eigen infinite diharapkan dapat merubah sifat sistemnya melalui input kontrol sehingga sistem loop tertutupnya memiliki sifat-sifat yang diharapkan. Pada sistem linear singular tidak hanya memiliki nilai eigen finite tapi juga nilai eigen infinite yang mempengaruhi sifat-sifat sistem. Pada 2003, *Kaczorek* telah mempelajari masalah penempatan nilai eigen infinite atas dekomposisi singular. Dalam artikel ini akan dibahas masalah penempatan nilai eigen infinite atas dekomposisi standar. Selanjutnya diaplikasikan pada permasalahan penyelesaian persamaan polinomial matriks.

Sistem linear singular yang dimaksud pada penelitian ini adalah sistem linear singular *time invariant* atau sistem linear singular yang tidak dipengaruhi oleh perubahan waktu, yang mempunyai bentuk umum

$$E \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) \quad (1)$$

dengan  $x(t) \in \mathbb{R}^n$  vektor keadaan,  $u(t) \in \mathbb{R}^m$  vektor masukan (vektor kendali),  $y(t) \in \mathbb{R}^f$  vektor output, dan  $A, E \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ,  $C \in \mathbb{R}^{f \times n}$  merupakan matriks-matriks konstan. Sistem (1) diasumsikan regular untuk menjamin keberadaan dan ketunggalan solusi (Dai, 1988).

*State-feedback control* sangat penting dalam rancangan sistem. Metode *state feedback control* atas kondisi tertentu, diperlukan pada struktur penempatan nilai eigen sedemikian sehingga sistem loop tertutup mempunyai sifat-sifat yang diharapkan. Banyak kenyataan menunjukkan bahwa untuk sistem deterministik metode keadaan feedback adalah tepat atau baik sekali dan praktis untuk menyelesaikan kasus-kasus.

Pada sistem linear normal, berdasarkan pada asumsi bahwa sistem terkontrol maka terdapat matriks  $K$  pada state-feedback sedemikian sehingga

$$\det[I_n s - A + BK] = p(s),$$

dengan  $p(s) = s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0$  merupakan polinomial sebarang berderajat  $n$  yang sesuai, dan dalam hal ini matriks  $K$  dapat dimodifikasi. Jika mengganti matriks  $K$  maka hanya dapat memodifikasi semba-

rang koefisien  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}$ , tetapi tidak dapat merubah degree  $n$  pada polinomial yang ditentukan oleh matriks  $I_n, s$ . (Olsder, 1994 dan Chen, C.T., 1984).

Dalam sistem linear singular, degree pada polinomial karakteristik sistem loop tertutup dapat diubah dengan pemilihan matriks  $K$  yang sesuai pada state feedback.

Pada penempatan nilai eigen atau penempatan kutub untuk sistem linear singular, yang menjadi permasalahan dalam hal ini adalah penentuan state-feedback matriks  $K$  sedemikian hingga

$$\det[Es - A + BK] = \alpha \neq 0$$

dengan  $\alpha$  dan  $s$  saling independent atau saling bebas. Dalam hal ini nilai eigen infinite akan dibentuk sedemikian sehingga nilai-nilai eigen infinite ditempatkan agar sistem tidak mempunyai nilai-nilai eigen infinite dengan memberikan state-feedback yang sesuai.

Diberikan state-feedback

$$u(t) = v(t) - Kx(t), \quad (2)$$

dengan  $v \in \mathbb{R}^m$  vektor input baru;  $K \in \mathbb{R}^{m \times n}$  matriks yang dicari.

Kemudian dari (1) dan (2) diperoleh

$$E\dot{x}(t) = (A - BK)x(t) + Bv(t) \quad (3)$$

Ambil  $\mathbb{R}^{n \times m}[s]$  himpunan polinomial matriks berukuran  $n \times m$  dalam  $s$  dengan koefisien real dan  $U(s) \in \mathbb{R}^{n \times n}[s]$  dengan  $\det U(s) = \alpha$ . Selanjutnya dibentuk polinomial matriks sebagai berikut

$$[Es - A]X + BY = U(s) \quad (4)$$

Yang menjadi permasalahan adalah:

Cara menentukan formulasi matriks  $K$  sehingga  $\det [Es - A + BK] = \alpha \neq 0$

Syarat perlu dan cukup keberadaan solusi pada persamaan (4) dan menentukan solusinya.

## METODA

Beberapa sifat matriks yang penting (Cullen, 1966) adalah sebagai berikut: Setiap matriks  $A$  berukuran  $n \times n$  ekuivalen dengan suatu matriks  $\text{diag}[I_r, 0]$  yaitu terdapat matriks nonsingular  $P$  dan  $Q$  sehingga:

$$QAP = \text{diag}[I_r, 0] \quad \text{dan} \quad r = \text{rank} A.$$

Untuk matriks  $A, B \in \mathbb{R}^{n \times n}$  maka matriks  $A$  similar dengan  $B$  (ditulis  $A \sim B$ ) jika terdapat matriks nonsingular  $P \in \mathbb{R}^{n \times n}$  yang memenuhi  $B = P A P^{-1}$ . Similaritas merupakan kejadian khusus dari relasi ekuivalensi, jadi jika dua atau lebih untuk

matriks-matriks yang similar mempunyai rank sama.

Sistem linear normal berbentuk  $\dot{x} = Ax + Bu$  terkontrol jika terdapat suatu state-feedback berupa matriks  $K$  sehingga memenuhi  $\det[I_n s - A + BK] = p(s)$  dengan  $p(s) = s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0$  sebarang polinomial dengan degree  $n$  sesuai degree sistem. Dengan mengganti  $K$  maka dapat dimodifikasi koefisien  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}$ , tetapi tidak dapat merubah degree  $n$  pada polinomial yang ditentukan oleh matriks  $I_n s$  (Olsder, 1994).

Pada sistem linear singular time invariant diasumsikan bahwa sistemnya regular, untuk menjamin keberadaan dan ketunggalan solusi sistem sehingga sistem dapat dibawa ke bentuk dekomposisi standar sistem (Dai, 1988 dan Suryowati, 2002).

Pada makalah berjudul *Feedback Design for Regularizing Descriptor Systems* (Bunse et al, 1999) dibahas tentang rancangan feedback sistem linear singular untuk bentuk sistem Dekomposisinya dengan menggunakan dekomposisi singular sistem.

Definisi 1. (Gantmacher, 1960), matriks pencil  $(E, A)$  regular jika terdapat konstanta skalar  $s \in \mathbb{C}$  sedemikian sehingga polinomial  $|sE - A| \neq 0$ .

Lemma 2, matriks pencil  $(sE - A)$  regular jika dan hanya jika terdapat matrix  $Q$  dan  $P$  nonsingular sehingga  $QEP = \text{diag}(I_{n_1}, N)$  dan  $QAP = \text{diag}(A_1, I_{n_2})$ , dengan  $n_1 + n_2 = n$ ,  $A_1 \in R^{n_1 \times n_1}$ ,  $N \in R^{n_2 \times n_2}$  nilpoten.

Melalui transformasi  $x = P \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$  dan dengan menerapkan Lemma 2 sehingga diperoleh bentuk standar dekomposisi sistem linear singular, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= A_1 x_1(t) + B_1 u(t), \\ y_1(t) &= C_1 x_1(t) \end{aligned} \quad (5.a)$$

$$\begin{aligned} N \dot{x}_2(t) &= x_2(t) + B_1 u(t), \\ y_2(t) &= C_2 x_2(t) \end{aligned} \quad (5.b)$$

dengan  $CP = [C_1, C_2]$ ;  $QB = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$ ;

$B_1 \in R^{n_1 \times n}$ ;  $B_2 \in R^{n_2 \times n}$ ;  $x_1 \in R^{n_1}$ ;  $x_2 \in R^{n_2}$ .

Persamaan (5.a) merupakan subsistem pertama yang sering disebut subsistem normal atau subsistem pertama,

sedangkan persamaan (5.b) merupakan subsistem kedua dan sering disebut subsistem linear singular khusus dengan  $N$  matriks nilpoten berindeks  $k$ . (Dai (1988) dan Suryowati (2002)).

Definisi 3, sistem Pada (1) Disebut Terkontrol Jika Untuk Setiap  $T_1 > 0$ ,  $X_1(0)$ ,  $W \in R^n$  Terdapat Masukan Kendali  $U(T) \in R^m$  Yang Memenuhi

$$x(t_1) = \begin{bmatrix} x_1(t_1) \\ x_2(t_1) \end{bmatrix} = w$$

Selanjutnya diberikan matriks

$\mathfrak{R}_1 = [B_1, A_1 B_1, A_1^2 B_1, \dots, A_1^{n_1-1} B_1]$  dan  $\mathfrak{R}_2 = [B_2, N B_2, N^2 B_2, \dots, N^{n_2-1} B_2]$  yang didefinisikan sebagai matriks *controllability* untuk subsistem (5.a) dan subsistem (5.b).

Didefinisikan  $\text{Im } \mathfrak{R} = \text{Im } \mathfrak{R}_1 \oplus \text{Im } \mathfrak{R}_2$  dengan  $\text{Im } \mathfrak{R}$  subruang *controllability* sistem,  $\text{Im } \mathfrak{R}_s$  subruang *controllability* subsistem pertama dan  $\text{Im } \mathfrak{R}_f$  subruang *controllability* subsistem kedua. (Cobb, 1984)

Teorema berikut memberikan sifat-sifat *controllability* system linear singular diambil dari Dai (1988).

Teorema 4, *subsistem pertama pada persamaan (5.a) controllable jika dan hanya jika  $\text{rank}[sE - A, B] = n$ , untuk setiap  $s \in \mathbb{C}$  dan  $s$  berhingga.*

*Subsistem kedua pada persamaan (5.b) controllable jika dan hanya jika  $\text{rank}[E, B] = n$*

*Sistem linear singular controllable jika dan hanya jika kedua subsistem pada persamaan (5.a) dan persamaan (5.b) controllable.*

Misal pada sistem linear singular diberikan state-feedback :

$$u(t) = v(t) - Kx(t)$$

dengan  $v \in R^m$  vektor input baru dan  $K \in R^{m \times n}$  matriks yang ditentukan, dengan demikian dari state-feedback tersebut, diperoleh sistem loop tertutup :

$$E \dot{x}(t) = (A - BK)x(t) + Bv(t) \quad (6)$$

Sehingga matriks  $K$  sangat mempengaruhi sistem loop tertutup tersebut, yaitu pada penempatan nilai eigen infinite sedemikian hingga sesuai dengan yang diharapkan pada sistem linear singular.

Misal  $R^{n \times m}[s]$  himpunan polinomial matriks berukuran  $n \times m$  dalam  $s$  dengan koefisien bilangan real dan  $U(s) \in R^{n \times n}[s]$  dengan  $\det U(s) = \alpha$  dan

$$U(s) = [Es - A + BK]$$

Sehingga  $\det [Es - A + BK] = \alpha$ , dapat ditulis kembali dalam bentuk

$$\det \left\{ [Es - A, B] \begin{bmatrix} I_n \\ K \end{bmatrix} \right\} = \det U(s)$$

$$\det([Es - A].I_n + BK) = \det U(s)$$

atau

$$[Es - A].X + BY = U(s) \quad (7)$$

dengan  $X = I_n, Y = K$ .

Persamaan (7) merupakan bentuk persamaan polinomial matriks, sehingga jika diberikan matriks E, A, B dan U(s) dengan  $\det U(s) = \alpha$ , maka solusi X, Y pada persamaan tersebut dapat ditentukan.

Lemma 5 (Dai, 1988), Terdapat matriks K sedemikian sehingga sistem loop tertutup (6), tidak punya kutub-kutub infinite jika dan hanya jika  $\deg(|sE - (A - BK)|) = \text{rank } E$

Teorema 6 (Dai, 1988), Sistem linear singular persamaan (1), sistem loop tertutup persamaan (6) tidak punya kutub-kutub infinite jika dan hanya jika sistem tersebut impulse controlability yakni dapat ditiadakan term impulsnya dengan memberikan state proportional murni kontrol feedback.

## PEMBAHASAN

Penempatan Nilai Eigen Infinite pada Sistem Linear Singular, Menurut Dai (1989), Kaliath (1980), Wonham (1979), Kaczorek (1993) dan Kučera (1981), jika sistem linear singular bersifat terkontrol maka terdapat suatu state-feedback berbentuk matriks K sehingga  $\det(Es - A + BK) = p(s)$  dengan

$$p(s) = s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0$$

sebarang polinomial dengan degree n sesuai degree sistem. Dengan mengubah bentuk matriks K maka polinomial p(s) dapat dimodifikasi melalui perubahan pada koefisien  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ , tetapi tidak mengubah degree polinomialnya yang ditentukan oleh matriks  $I_n s$ . Pada sistem linier singular juga dapat diubah derajat polinomial karakteristik loop tertutup melalui pemilihan matriks state-feedback K yang sesuai. Lebih jauh akan dibahas penentuan state-feedback matriks K sedemikian sehingga  $\det(Es - A + BK) = \alpha \neq 0$  dengan  $\alpha$  dan s saling independen.

Penempatan nilai eigen infinite sistem linear singular identik dengan penempatan nilai kutub-kutub infinite sistem, yang

penting dalam efektivitas sifat-sifat dinamik dan sifat-sifat statik pada sistem linear singular waktu invariant. Penempatan nilai eigen infinite diharapkan dapat merubah sifat sistemnya melalui input kontrol sehingga sistem loop tertutupnya memiliki sifat-sifat yang diharapkan.

Diberikan sistem (1) terkontrol atau terkendali artinya kedua subsistem terkendali jika dan hanya jika  $\text{rank}[Es - A, B] = n$ , untuk semua finite  $s \in \mathbb{C}$  dan  $\text{rank}[E, B] = n$ .

Berikut lemma yang mendasar untuk menentukan matriks K sedemikian sehingga  $\det[Es - A + BK] = \alpha$

Lemma 7, Jika sistem linear singular (1) reguler, maka terdapat matriks ortogonal U dan V sedemikian sehingga

$$U[Es - A]V = \begin{bmatrix} E_1s - A_1 & * \\ 0 & E_0s - A_0 \end{bmatrix},$$

$$UB = \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

dengan  $E_1, A_1 \in R^{n_1 \times n_1}, E_0, A_0 \in R^{n_0 \times n_0}, B_1 \in R^{n_1 \times m}$ , subsistem  $(E_1, A_1, B_1)$  terkendali, pasangan matriks  $(E_0, A_0)$  reguler,  $E_1$  matriks segitiga atas. Dan matriks-matriks  $E_1, A_1$  dan  $B_1$  membentuk sebagai berikut:  $E_1s - A_1 =$

$$\begin{bmatrix} E_{11}s - A_{11} & E_{12}s - A_{12} & \dots & E_{1,k-1}s - A_{1,k-1} & E_{1k}s - A_{1k} \\ -A_{21} & E_{22}s - A_{22} & \dots & E_{2,k-1}s - A_{2,k-1} & E_{2k}s - A_{2k} \\ 0 & -A_{32} & \dots & E_{3,k-1}s - A_{3,k-1} & E_{3k}s - A_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -A_{k,k-1} & E_{kk}s - A_{kk} \end{bmatrix}$$

$$, B_1 = \begin{bmatrix} B_{11} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

dengan  $E_{ij}, A_{ij} \in R^{\bar{n}_i \times \bar{n}_j}, i, j = 1, 2, 3, \dots, k$

dan  $B_{11} \in R^{\bar{n}_1 \times m}, \sum_{i=1}^n \bar{n}_i = n_1$

untuk  $B_{11}, A_{21}, \dots, A_{k,k-1}$  merupakan matriks rank baris penuh dan  $\bar{E}_{22}, \dots, \bar{E}_{kk}$  matriks-matriks nonsingular.

Teorema 8, diberikan sistem linear singular (1) reguler dan matriks E, A, B dapat ditransformasikan ke bentuk (8) dan (9). Maka terdapat suatu matriks K yang memenuhi

$$\det[Es - A + BK] = \alpha$$

jika dan hanya jika  
Subsistem  $(E_1, A_1, B_1)$  singular,  
artinya  $\det E_1 = 0$  (10.a)  
Jika  $n_0 > 0$  maka degree polinomial  
 $\det[E_0s - A_0] = 0$  atau  
 $\deg\{\det[E_0s - A_0]\} = 0, n_0 > 0$  (10.b)

Bukti : Syarat perlu ( $\Rightarrow$ ), dari persamaan (8)  
dan persamaan (9) diperoleh  
 $\det[Es - A + BK]$

$$= \det U^{-1} \det V^{-1} \times \det[E_1s - A_1 + B_1 \bar{K}]$$

$$(\det[E_0s - A_0]) = \alpha \quad (11)$$

dengan  $\bar{K} = KV \in R^{m \times n}$  dan  
 $\det[E_0s - A_0] = 1$  jika  $n_0 = 0$ .

Dari (8) yang mengikuti kondisi (11) ber-  
laku hanya jika kondisi (10.a) dan (10.b)  
terpenuhi.

Syarat cukup ( $\Leftarrow$ ), untuk kasus input  
tunggal ( $m = 1$ ).

$$E_1 = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n_1} \\ 0 & e_{22} & \dots & e_{2n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & e_{n_1n_1} \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n_1-1} & a_{1n_1} \\ a_{11} & a_{22} & \dots & a_{2n_1-1} & a_{2n_1} \\ 0 & a_{32} & \dots & a_{3n_1-1} & a_{3n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{n_1n_1-1} & a_{n_1n_1} \end{bmatrix}$$

$$B_1 = b_1 = \begin{bmatrix} b_{11} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dengan  $e_{11} \neq 0, a_{i,i-1} \neq 0$  untuk  $i = 2, 3, \dots, n_1$  dan  $b_{11} \neq 0$ . Karena kondisi dari pernyataan diketahui  $\det E_1 = 0$  maka berakibat  $e_{11} = 0$ . Perkalian matriks  $[E_1s - A_1, B_1]$  dengan suatu matriks ortogonal pada operasi baris  $P_1$ , memungkinkan dapat membuat entri  $e_{12}, e_{13}, \dots, e_{1n_1}$  pada  $E_1$  nol, karena  $e_{ii} \neq 0$ , yaitu sebagai berikut

$$\bar{E}_1 = P_1 E_1 = \begin{bmatrix} e_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e_{22} & \dots & e_{2n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & e_{n_1n_1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

reduksi pada  $A_1$  dengan matriks  $P_1$   
diperoleh sebagai berikut

$$\bar{A}_1 = P_1 A_1 = \begin{bmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n_1-1} & \bar{a}_{1n_1} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n_1-1} & a_{2n_1} \\ 0 & a_{32} & \dots & a_{3n_1-1} & a_{3n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{n_1n_1-1} & a_{n_1n_1} \end{bmatrix};$$

$$\bar{b}_1 = P_1 b_1 = b_1 \quad (14)$$

Ambil

$$\bar{k}_1 = \frac{1}{b_{11}} [-\bar{a}_{11} \quad -\bar{a}_{12} \quad \dots \quad -\bar{a}_{1n_1-1} \quad 1 - \bar{a}_{1n_1}] \quad (15)$$

Dengan menggunakan (11), (14), dan (15)  
diperoleh  $\det[\bar{E}_1s - \bar{A}_1 + \bar{b}_1 \bar{k}_1] =$

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ -a_{21} & e_{22}s - a_{22} & \dots & e_{2n_1-1}s - a_{2n_1-1} & e_{2n_1}s - a_{2n_1} \\ 0 & -a_{32} & \dots & e_{3n_1-1} - a_{3n_1-1} & e_{3n_1}s - a_{3n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -a_{n_1n_1-1} & e_{n_1n_1}s - a_{n_1n_1} \end{vmatrix} a_{21}$$

$$a_{31} \dots a_{n_1, n_1-1} = \bar{\alpha}$$

dengan

$$\bar{\alpha} = \alpha \det U \det V \det P_1 \det[E_0s - A_0]^{-1}$$

Selanjutnya ambil

$$\bar{K} = \bar{B}_1^{-1} \{[\bar{A}_{11}, \bar{A}_{12}, \dots, \bar{A}_{1k}] + \hat{E}\}. \quad (16)$$

Pilih matriks  $\hat{E} \in R^{m \times n}$  dalam (16)

sehingga

$$\hat{E} = \bar{E}_1s - \bar{A}_1 + \bar{B}_1 \bar{K} =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & (-1)^{l+1} h \\ \bar{a}_{21} & * & \dots & * & * \\ 0 & \bar{a}_{32} & \dots & * & * \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \bar{a}_{l,l-1} & * \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\text{dengan } h = \frac{\alpha(-1)^{l+1}}{\bar{a}_{21}\bar{a}_{32}\dots\bar{a}_{l,l-1}c} \text{ dan}$$

$$c = \det U^{-1} \det V^{-1} \det P_1^{-1} \det[E_0s - A_0].$$

Dengan menggunakan (11), (16) dan (17)  
maka diperoleh

$$\det[Es - A + BK] = c \det[\bar{E}_1s - \bar{A}_1 + \bar{B}_1 \bar{K}]$$

$$= \alpha \quad (18)$$

**Contoh 1.**

Diberikan matriks-matriks pada sistem (1)

$$\text{sebagai berikut } E = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tentukan matriks K sedemikian sehingga

$$\det[Es - A + BK] = \alpha \text{ dengan } \alpha = 1.$$

Penyelesaian: Ditunjukkan bahwa sistem-nya regular yaitu memenuhi:



$$\text{Det}(sE-A) = \begin{vmatrix} -1 & 2s+1 & s & -1 \\ 0 & s-1 & -s-2 & 2s \\ 1 & 0 & s-1 & 1-s \\ 0 & 0 & -2 & s-1 \end{vmatrix}$$

$$=(1-2s)(s-1)^2 \neq 0$$

Matriks E, A dan B di atas dapat disajikan pada persamaan (8) dan (9) dengan  $E_1 = E$ ,  $A_1 = A$ ,  $B_1=B$ ,  $n_1=n=4$ ,  $\bar{n}_1=2$ ,  $\bar{n}_2 = \bar{n}_3=1$ ,  $m = 2$  dan

$$E_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, E_{12} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, E_{13} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, E_{22} = [1],$$

$$E_{23} = [-1], E_{33} = [1]$$

$$A_{11} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, A_{12} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, A_{13} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$A_{21} = [-10], A_{22} = [1], A_{23} = [-1], A_{32} = [2], A_{33} = [1],$$

$$B_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Menggunakan operasi elementer baris dan kolom maka diperoleh

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & -3 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan}$$

$$[\bar{E}_1 s - \bar{A}_1, \bar{B}_1] = P_1 [Es - A, B]$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & -2 & -3 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 2s+1 & s & -1 & 1 & 0 \\ 0 & s-1 & -s-2 & 2s & 0 & 1 \\ 1 & 0 & s-1 & 1-s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & s-1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -4 & 3 & 5 & -5 & 1 & -2 \\ 1 & s-1 & -1 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & s-1 & 1-s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & s-1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Dengan perhitungan, maka dalam kasus ini diperoleh

$$\hat{E} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,5 \end{bmatrix}$$

Dari  $\bar{A} = P_1 A$ , diperoleh

$$[\bar{A}_{11} \quad \bar{A}_{12} \quad \bar{A}_{13}] = \begin{bmatrix} 4 & -3 & -5 & 5 \\ -1 & 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}$$

Dari  $\bar{B} = P_1 B$ , diperoleh

$$\bar{B}_1 = \begin{bmatrix} 1 & -2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan menggunakan}$$

persamaan (16) diperoleh

$$K = \bar{K} = B_1^{-1} \{ [\bar{A}_{11} \quad \bar{A}_{12} \quad \bar{A}_{13}] + \hat{E} \}$$

$$K = \begin{bmatrix} 2 & -2 & -3 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -2,5 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya dicek bahwa :

$$|sE-A+BK| = \begin{vmatrix} 1 & 2s-1 & s-3 & -1 \\ -1 & s & -s & 2s-2,5 \\ 1 & 0 & s-1 & -s+1 \\ 0 & 0 & -2 & s-1 \end{vmatrix} = 1$$

Menentukan Solusi Persamaan,  $[Es - A]X + BY = U(s)$ , diberikan persamaan polinomial matriks berbentuk  $[Es - A]X + BY = U(s)$  untuk matriks  $U(s)$  dan  $\det U(s) = \alpha$ . Selanjutnya akan ditentukan solusi polinomial tersebut, jika matriks-matriks E, A dan B diketahui yang kaitannya dengan system linear singular.

Teorema berikut mendasari keberadaan solusi persamaan polinomial matriks, yaitu menyangkut syarat perlu dan cukup keberadaan solusi.

Teorema 9, persamaan polinomial matriks berbentuk  $[Es - A]X + BY = U(s)$  untuk matriks  $U(s)$  dan  $\det U(s) = \alpha$  mempunyai solusi hanya jika  $\text{rank}[Es - A, B] = n$  untuk  $s \in \mathbb{C}$ , dengan  $s$  berhingga dan  $D = Es - U(s)$  matriks real yang independen terhadap  $s$ .

Bukti: Persamaan

$$Es - A + BK = [Es - A, B] \begin{bmatrix} I_n \\ K \end{bmatrix} \text{ sehingga}$$

$$\det [Es - A + BK] = \det [Es - A, B] \begin{bmatrix} I_n \\ K \end{bmatrix}$$

dengan menerapkan

$$\det [Es - A + BK] = \alpha \text{ diperoleh}$$

$$\det [Es - A + BK] = \det [Es - A, B] \begin{bmatrix} I_n \\ K \end{bmatrix} = \alpha$$

sehingga  $\text{rank}[Es - A, B] = n$ . Kemudian dari persamaan  $[Es - A]X + BY = U(s)$  dan untuk  $X = I_n$ ;  $Y = K$  diperoleh

$$Es - U(s) = A - BK.$$

Jika diambil  $Es - U(s) = D \in R^{n \times n}$

maka  $Es - U(s) = A - BK = D \in R^{n \times n}$  Lebih lanjut persamaan polinomial

tersebut mempunyai solusi  $X = I_n$  dan  $Y = K$  hanya jika  $Es - U(s) = D \in R^{n \times n}$

Matriks E, A dan B pada persamaan (4) mempunyai solusi jika memenuhi kondisi Teorema 9,  $\text{rank}[Es - A, B] = n$  untuk semua berhingga  $s \in \mathbb{C}$  dan  $D = Es - U(s)$  matriks real yang tidak memuat s. Jika sistem persamaan linear singular dengan koefisien matriks E, A, B terkendali (*controllable*) maka dengan Lemma 7 terdapat matriks nonsingular P dan Q sedemikian sehingga

$$\begin{aligned} \tilde{E} = PEQ &= \begin{bmatrix} \tilde{E}_{11} & \tilde{E}_{12} & \dots & \tilde{E}_{1k} \\ 0 & \tilde{E}_{22} & \dots & \tilde{E}_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \tilde{E}_{kk} \end{bmatrix}, \\ \tilde{A} = PAQ &= \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1,k-1} & \tilde{A}_{1k} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2,k-1} & \tilde{A}_{2k} \\ 0 & \tilde{A}_{32} & \dots & \tilde{A}_{3,k-1} & \tilde{A}_{3k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \tilde{A}_{k,k-1} & \tilde{A}_{kk} \end{bmatrix}, \\ \tilde{B} = PB &= \begin{bmatrix} \tilde{B}_1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (19)$$

Dengan  $\tilde{B}_1 \in R^{\tilde{n}_1 \times m}$ ,  $\tilde{A}_{i,i-1} \in R^{\tilde{n}_i \times \tilde{n}_{i-1}}$ ,  $i = 2, \dots, k$  matriks rank baris penuh dan  $\tilde{E}_{ii} \in R^{\tilde{n}_i \times \tilde{n}_i}$  matriks nonsingular.

**Teorema 10, diberikan matriks E, A, B yang memenuhi asumsi  $\text{rank}[Es - A, B] = n$  dan  $\text{rank}[E, B] = n$  untuk semua berhingga  $s \in \mathbb{C}$  juga memenuhi  $Es - U(s) = A - BK = D$  dengan  $D \in R^{n \times n}$ . Dan matriks E, A, B dapat ditransformasi dengan matriks nonsingular P, Q sedemikian memenuhi (19). Maka persamaan (4) mempunyai solusi X dan Y yang memenuhi  $X = I_n$  dan  $Y = K$  jika dan hanya jika  $\tilde{D}_2 = \tilde{A}_2$**

**Bukti, syarat perlu ( $\Rightarrow$ )**  
persamaan  $[Es - A]X + BY = U(s)$  mempunyai solusi X dan Y yang memenuhi  $X = I_n$  dan  $Y = K$  maka dipenuhi  $\tilde{D}_2 = \tilde{A}_2$  Untuk membuktikan syarat perlunya dengan membuktikan berlakunya  $\tilde{D}_2 = \tilde{A}_2$ , sebagai berikut mengalikan persamaan

$$\begin{aligned} [Es - A] I_n + BK &= U(s) \text{ dengan} \\ \text{matriks nonsingular P dan Q diperoleh} \\ P \{ [Es - A] I_n + BK \} Q &= PU(s)Q \\ P[Es - A]Q + PBKQ &= PU(s)Q \end{aligned}$$

$$PEQs - PAQ + PBKQ = PU(s)Q$$

$$\tilde{E}s - \tilde{A} + \tilde{B}\tilde{K} = \tilde{U}(s) \text{ , dengan}$$

$$\tilde{K} = KQ \text{ dan } \tilde{U}(s) = PU(s)Q \quad (20)$$

Kemudian dari

$$P[Es - U(s)]Q = PDQ = \tilde{D} = \tilde{E}s - \tilde{U}(s)$$

dan D matriks real maka  $\tilde{D}$  juga matriks real.

$$\text{Diberikan } \tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{D}_1 \\ \tilde{D}_2 \end{bmatrix} \text{ , } \tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \end{bmatrix} \text{ dengan}$$

$$\tilde{D}_1, \tilde{A}_1 \in R^{\tilde{n}_1 \times n}, \tilde{D}_2, \tilde{A}_2 \in R^{(n - \tilde{n}_1) \times n}.$$

Dari (19) dan (20) diperoleh

$$\tilde{D} = \tilde{A} - \tilde{B}\tilde{K}$$

$$\text{sehingga } \begin{bmatrix} \tilde{D}_1 \\ \tilde{D}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tilde{B}_1 \\ 0 \end{bmatrix} \tilde{K}$$

dengan demikian diperoleh

$$\tilde{D}_1 = \tilde{A}_1 - \tilde{B}_1\tilde{K} \text{ dan } \tilde{D}_2 = \tilde{A}_2 \quad (21)$$

Syarat cukup ( $\Leftarrow$ ), Jika diasumsikan

$$Es - U(s) = A - BK = D \in R^{n \times n}$$

dipenuhi maka D merupakan matriks real dan demikian juga  $\tilde{D}$  matriks real. Matriks  $\tilde{B}_1$  adalah nonsingular dan dari (20)

diperoleh  $\tilde{K} = \tilde{B}_1^{-1}[\tilde{A}_1 - \tilde{D}_1]$  dan

$$Y = K = \tilde{K}Q^{-1} = \tilde{B}_1^{-1}[\tilde{A}_1 - \tilde{D}_1]Q^{-1} \quad (22)$$

Contoh, Diberikan persamaan matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} Y = \begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix}$$

Dengan s berhingga dan  $\alpha$  konstanta sebarang. Tentukan solusi persamaan di atas. Langkah-langkah penyelesaian sebagai berikut: merubah persamaan

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} Y = \begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix}$$

ke bentuk persamaan

$$[Es - A]X + BY = U(s).$$

Sehingga diperoleh persamaan,

$$\left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 & s \\ s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \right\} X + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} Y = \begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix}$$

Dengan matriks E, A, B dan U(s) pada persamaan

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$U(s) = \begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix} \text{ dan } \det U(s) = \alpha$$

Menggunakan Teorema 9, diperiksa apakah persamaan tersebut mempunyai solusi,  $\text{Rank}[Es - A, B] =$

$$= \text{rank} \left[ s \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right]$$

$$= \text{rank} \begin{bmatrix} 1 & -1 & s & 0 \\ -1 & -2 & 1 & 1 \\ 0 & s-2 & -1 & 0 \end{bmatrix} = 3 = n,$$

$\forall s \in \mathbb{C}$ ,  $s$  berhingga.

Matriks  $D = Es - U(s)$

$$D = s \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & -1 & s-1 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & s-2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Terlihat matriks  $D$  merupakan matriks real yang bebas dari  $s$ . Dengan demikian berdasarkan Teorema 9 menunjukkan bahwa polinomial matriks tersebut mempunyai solusi.

Menentukan solusi menggunakan Teorema 10, matriks-matriks nonsingular  $P, Q \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  menggunakan operasi baris elementer dan operasi kolom elementer, untuk membentuk matriks yang ekuivalen

dengan matriks  $E$  yaitu matriks  $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

dan matriks  $P$  juga  $Q$  berbentuk sebagai berikut

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan } Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

sehingga  $\tilde{E} = PEQ$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$\tilde{E} = PEQ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} = PAQ =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & -1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{B} = PB = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{B}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{D} = PDQ$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{D}_1 \\ \tilde{D}_2 \end{bmatrix}$$

Dari bentuk transformasi tersebut terlihat memenuhi Teorema 10, yaitu

$$\tilde{D}_2 = \tilde{A}_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Maka persamaan  $[Es - A]X + BY = U(s)$  mempunyai solusi  $X$  dan  $Y$  yang memenuhi  $X = I_n$  dan  $Y = K$

Selanjutnya menentukan matriks  $K$  dengan menggunakan rumus pada persamaan (22)

$$K = \tilde{K}Q^{-1} = \tilde{B}_1^{-1}[\tilde{A}_1 - \tilde{D}_1]Q^{-1}$$

$$= 1 \{ [1 \ -1 \ 2] - [0 \ 0 \ \alpha] \} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K = [1 \ -1 \ 2 - \alpha] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K = [1, 2 - \alpha, -1]$$

Jadi solusi persamaan di atas adalah

$$X = I_3 \text{ dan } Y = K = [1, 2 - \alpha, -1].$$

## KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa: jika diberikan sistem linier singular (1) dan state-feedback  $u(t) = v(t) - Kx(t)$  dengan  $v(t)$  vektor input baru, maka sistem loop tertutup menjadi  $E \dot{x}(t) = (A - BK)x(t) + Bv(t)$ . Jika diberikan matriks  $E$ ,  $A$  dan  $B$  untuk sistem tersebut dan skalar  $\alpha \neq 0$  yang tak bergantung

pada  $s$ , dapat ditentukan matriks  $K$  sehingga  $\det(Es - A + BK) = \alpha$ , dengan matriks  $K = \tilde{K}Q^{-1} = \tilde{B}_1^{-1}[\tilde{A}_1 - \tilde{D}_1]Q^{-1}$

Polinomial  $[Es - A]X + BY = U(s)$  mempunyai solusi hanya jika  $\text{rank}[Es - A, B] = n$  untuk  $s \in \mathbb{C}$ , dengan  $s$  berhingga dan  $D = Es - U(s)$  matriks real yang independen terhadap  $s$ . Kemudian jika system terken-dali dan matriks  $Es - U(s) = A - BK = D \in R^{n \times n}$  serta matriks  $E, A, B$  dapat ditransformasi dengan matriks nonsingular  $P, Q$  sehingga memenuhi persamaan (19). Dengan demikian polinomial matriks vertentuk  $[Es - A]X + BY = U(s)$  mempunyai solusi  $X$  dan  $Y$  yaitu  $X = I_n$  dan  $Y = K$  jika dan hanya jika  $\tilde{D}_2 = \tilde{A}_2$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bunse, A.G, et al., 1999, Feedback Design for Regularizing Descriptor Systems, *Linear Algebra and Application*, No. 299.
- Chen, C.T., 1984. *Linear System Theory and Design*, Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Cobb, C.T., 1984, Controllability, Observability and Duality in Singular Systems, *IEEE Trans Aut. Control*, Vol. AC-29, No.12, pp. 1076-1082
- Cullen, C., 1966, *Matrices and Linear Transformations*, Addison-Wesley Pub. Co., Massachusetts, USA.
- Dai, L., 1988, Lecture Notes in Control and Information Science, *Singular Control Systems*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Dai, L., 1989, *Singular Control Systems*, Springer, Berlin.
- Kaczorek, T., 1993, *Linear Control Systems, Vol.1 and 2*, New York, Wiley.
- Kaczorek, T., 2003, *Relationship between Infinite Eigenvalue Assignment for Singular and solvability of Polynomial matrix Equations*, Proc. 11<sup>th</sup> Mediterranean Conf. Control and Automation MED'03, Rhodes, Greece.
- Kaliath, T., 1980, *Linear Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Kučera, V., 1981, *Analysis and Design of Discrete Linear Control Systems*, Academia, Prague.
- Olsder, G.J., 1994, *Mathematical Systems Theory*, Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft, Netherlands.
- Suryowati, K., et al., 2002, Dekomposisi Standar Sistem (E,A,B,C), *Jurnal Matematika* Universitas Negeri Malang.
- Wonham, W.M., 1979, *Linear Multivariate Control: A Geometric Approach*, Springer, New York.

## PENINGKATAN DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK MIKROHIDRO (PLTMh) DI DAERAH IMOIRI BANTUL JOGJAKARTA

Muhammad Suyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

Masuk: 4 Maret 2012, revisi masuk: 19 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

### ABSTRACT

*In rural areas there is generally a major irrigation canal that serves to irrigate the fields and also has the potential to be used as power plants. Developments Wukirsari Imogiri Bantul area, an agricultural region and its inhabitants have a side job as grate the coconut and make various handicrafts for souvenirs that use raw materials from a particular timber. Development of today's technology provides a variety of environmental impacts, both positive and negative, in the presence of micro hydropower plant in one of the villages in the area Imogiri will certainly add a positive impact for local communities. In the presence of micro-hydro, if night can be used as a means of public street lighting so that security and a sense of anxiety at night reduced incomes and to increase trade group be established to process the materials of wood and iron to take advantage of wood-working equipment that require electricity results from the existing micro-hydro power, yet still very limited relative kapisitasnya. Side activity that utilizes peratan carpentry can not be fulfilled using electricity from existing plants. Therefore we need an increased effort on Micro Hydro Power (MHP) is still very limited relative power. So in this study, is expected to obtain an increase in power can be realized with both and can obtain results in line with expectations.*

**Keywords:** the irrigation sluice, micro hydropower(MHP), Generator.

### INTISARI

Di daerah pedesaan umumnya terdapat saluran irigasi yang utama berfungsi untuk mengairi sawah dan juga berpotensi untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Perkembangan daerah wukirsari Imogiri Bantul, merupakan wilayah pertanian dan sebagai penduduknya mempunyai kerja sampingan memarut kelapa serta membuat aneka kerajinan untuk souvenir yang menggunakan bahan baku dari kayu tertentu. Perkembangan teknologi masa kini memberikan berbagai dampak lingkungan, baik bersifat positif maupun negatif, dengan adanya pembangkit mikrohidro di salah satu desa di daerah Imogiri tentu akan menambah dampak yang positif bagi masyarakat setempat. Dengan adanya mikrohidro, jika malam hari dapat dimanfaatkan sebagai sarana penerangan jalan umum sehingga keamanan dan rasa was-was di malam hari berkurang dan untuk menambah pendapatan masyarakat dibentuknya kelompok pertukangan untuk mengolah bahan-bahan dari kayu maupun besi dengan memanfaatkan peralatan pertukangan yang memerlukan listrik hasil dari pembangkit mikrohidro yang ada, namun kapisitasnya relative masih sangat terbatas. Kegiatan sampingan yang memanfaatkan peratan pertukangan belum bisa terpenuhi menggunakan listrik dari pembangkit yang ada. Oleh karena itu diperlukan suatu usaha peningkatan daya pada Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMh) yang relative masih sangat terbatas dayanya. Sehingga dalam penelitian ini, diharapkan diperoleh peningkatan daya dapat terealisasi dengan baik dan dapat memperoleh hasil sesuai dengan harapan.

**Kata kunci :** Pintu air irigasi, Mikrohidro(PLTMh), Generator.

---

<sup>1</sup>musyant@gmail.com

## PENDAHULUAN

Dewasa ini sumber energi listrik memegang peranan sangat penting di dalam kehidupan. Hampir setiap kegiatan manusia tidak lepas dari pemakaian tenaga listrik baik yang digunakan untuk skala besar seperti pabrik-pabrik, perkantoran serta peralatan pada dunia industri maupun untuk skala yang kecil seperti untuk keperluan penerangan rumah tangga dan peralatan rumah tangga lainnya. Setiap tahun kebutuhan akan energi listrik terus meningkat akan tetapi tidak diimbangi dengan penyediaan sumber-sumber energi listrik baru, bahkan masih banyak saudara-saudara kita yang berada di daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik dari pemerintah, sedangkan di daerah-daerah tersebut masih banyak sekali potensi untuk dibuat pembangkit listrik seperti mikrohidro.

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*Resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dan instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari aliran air, maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan menghasilkan energi listrik. (Donianto, D., 2008).

Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah head. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "*energi putih*". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan dae-

rah tertentu dimana (tempat instalasi akan di-bangun) dapat diubah menjadi energi listrik. (Sutisna, Nanang., 2004).

Energi alternatif terbagi menjadi dua bagian, yakni energi terbarukan dan tidak terbarukan. PLTMh merupakan salah satu energi yang dapat diperbaharui. Sehingga PLTMh merupakan salah satu energi yang semakin dikembangkan. Cara kerja PLTMh sederhana, mudah dikerjakan, terbilang murah, mampu bekerja selama 24 jam, dapat diadopsi masyarakat dan yang terpenting adalah ramah lingkungan. Dengan adanya alasan tersebut maka disini akan dibahas tentang peningkatan daya listrik yang belum maksimal dari pembangkit. (Djoyonegoro, W, 1992).

Dengan adanya peningkatan daya listrik diharapkan dapat mempermudah asupan informasi dari pusat kewilayah-wilayah terpencil yang selama ini belum terjangkau informasi fisual karena terhambat belum adanya listrik yang pada akhirnya diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan hidup masyarakat di wilayah tersebut.

Prinsip Kerja Alat, bentuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu ; " Perubahan tenaga potensial air menjadi tenaga elektrik (listrik) ". Perubahan memang tidak langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan dari Tenaga potensial-Tenaga kinetik, kemudian Tenaga kinetik-Tenaga mekanik, dan diteruskan dari Tenaga mekanik-Tenaga listrik. Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian, Tenaga kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir/turbin. Tenaga elektrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir/turbin. (Zuhail., 1995).

Prinsip kerja PLTM yang paling utama adalah memanfaatkan semaksimal mungkin energi air yang dapat ditangkap oleh peralatan utamanya yang disebut turbin/kincir air, efisiensi kincir air yang dipilih untuk menangkap energi air tersebut menentukan besarnya energi mekanik atau energi

poros guna memutar generator listrik. Gambaran PLTMh yang ada di desa Wukirsari, adalah PLTMh yang dibangun pada bulan Juli 2008 atas dasar inisiatif warga Singosaren khususnya RT 05, karena potensi air pada irigasi yang mengalir sangat mendukung dibangunnya PLTMh dilihat banyaknya air yang mengalir di saluran irigasi baik dimusim penghujan maupun kemarau cukup kontinyu. Biaya dalam pengerjaan PLTMh berasal dari swadaya masyarakat RT 05, Kondisi awal dengan adanya PLTMh ini masyarakat sudah merasa cukup berhasil, karena sudah dapat dirasakan dikala saluran dari PLN padam, sehingga kondisi jalan jalan di RT 05 dusun Singosaren gelap karena sudah adanya PLTMh menjadi terang walaupun masih sangat terbatas sekali. Kapasitas daya yang dapat dibangkitkan masih sangat rendah berkisar 100-300watt, jadi masih jauh dari kapasitas terpasang 3000 VA yang diharapkan.

Kondisi Awal PLTMh tahapan ini perlu diperlihatkan mengingat kondisi yang ada sebelumnya dengan setelah dilakukan penambahan peralatan-peralatan pendukung, agar supaya proses peningkatan daya listrik dapat tercapai. Memang proses tersebut sudah dimulai sejak tahun 2009 hingga kini secara bertahap dan dilakukan melalui program-program rutin melalui sarana pengabdian masyarakat. Dalam hal ini ditampilkan kondisi awal sebelum dilakukan penambahan peralatan dan sarana pendukung dalam upaya perbaikan peningkatan daya listrik pada PLTMh yang berada di desa Wukirsari ini memperlihatkan sumber aliran air utama dari sungai opak dan dialirkan melalui irigasi aliran sawah yang mengarah ke desa sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.

Tahap awal jika melihat kondisi pada Gambar 2. adalah dalam rangka penambahan pemasangan pintu air yang terbuat dari kayu Kalimantan dengan ukuran sekitar 100cm x 120cm dan dijepit atau diklem dengan besi lalu di baut, guna menutup aliran air yang tidak mengarah ke kincir. Pintu air sebagai pengelak air dapat diatur naik dan turun dengan cara diputar. Dengan ditutupnya

aliran tersebut maka debit air yang mengalir ke kincir akan lebih banyak sehingga mengakibatkan potensi aliran meningkat.



Gambar 1. Aliran sungai Opak merupakan sumber air irigasi di dusun wukirsari, Imogiri

Dengan meningkatnya aliran air pada kincir akan menambah kecepatan putaran kincir dan tenaga mekanis yang dibangkitkan akan lebih besar. Dengan demikian putaran pada generator yang dipasang pun makin tinggi dengan harapan dengan meningkatnya putaran daya yang dinagkitkan akan lebih besar. Adapun data pembangkit adalah sebagai berikut: Daya terpasang 3000 watt, tegangan 230 volt, arus 13 ampere, frekuensi 50Hz, putaran 1500rpm, tegangan exieter 42volt DC pada arus 2 ampere. Dalam acara tahap penambahan pintu air yang terdapat pada PLTMh di dusun singosaren secara guyub dikerjakan oleh mahasiswa dan masyarakat setempat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi awal PLTMh Sebelum di lengkapi peralatan pintu pengelak air dari Irigasi.

Sebagaimana pada Gambar 3. Memperlihatkan, bahwa tahap pemasangan pintu pengontrol atau pengatur aliran air mengarah ke turbin/kincir. Sehingga energi potensial yang dibangkitkan air dapat lebih

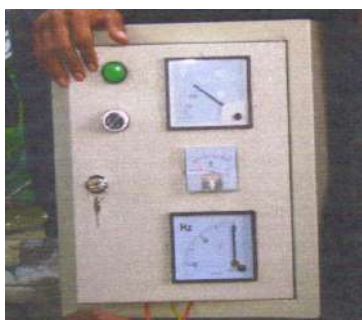
maksimal sesuai dengan tingkat kemampuan dari turbin/kincir air yang dipasang pada aliran irigasi.



Gambar 3. Memperlihatkan Setelah dipasang Pintu Pengelak atau Pintu air pada PLTMh.

#### METODE

Pengerjaan boks panel kontrol PLTMh, salah satu Kelengkapan dalam pembangkitan PLTMh, semestinya dilengkapi dengan alat kontrol atau sementara sebagai pemantau besaran-besaran listrik yang dibangkitkan dan dalam hal ini akan mempermudah operator atau teknisi, selama PLTMh dijalankan. Adapun perlengkapan yang pasang pada panel control antara lain adalah: Voltmeter dengan rentang skala 0 s/d 500 VAC, Amperemeter dengan rentang skala 0 s/d 10 ampere, dan Frekuensi meter dengan rentang skala 45 s/d 55 Hz, Indikator lampu, sakelar posisi on/off dan kunci penutup panel. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Panel Kontrol pada PLTMh.

Kondisi pintu pengelak air dan panel control, yang terpasang perlengkapan tersebut diharapkan peningkatan daya tahap awal dapat terpenuhi dalam hal pencapaian dari putaran kincir, sehingga diharapkan daya mekanis

yang ditimbulkan akan lebih besar. Pintu air dapat diatur naik dan turun untuk mengantisipasi luapan air supaya tidak melewati dari batas yang ditentukan. Sedangkan panel control untuk memantau naik dan turunnya masalah kelistrikan yang dibangkitkan oleh PLTMh, dalam hal ini yang harus selalu diperhatikan adalah besarnya Frekuensi yang dibangkitkan harus konstan pada posisi 50 HZ. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3. Kondisi pintu air yang dibuat.

Tahap Pengujian Kapasitas Daya pada PLTMh, pada tahap ini pengujian di lapangan berdasarkan name plat yang tertera pada PLTMh Gambar 5. Sehingga dengan adanya pengukuran yang benar diharapkan akan didapat prediksi-prediksi maupun analisa yang mendekati kebenaran didalam upaya peningkatan daya pada PLTMh yang diharapkan. Adapun alat alat ukur yang digunakan dengan menggunakan Oscilloscope sebagai pengukur frekuensi dengan melihat tampilan gelombang sinus utuk (tidak cacat) hal inilah yang diharapkan. Disamping frekuensi pada posisi frekuensi 50Hz. Setelah diperbesar melalui pelipat satu dan dua, maka putaran tadi masih diperbesar lagi pada puli ke tempat yang berada pada generator, hal ini diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar. 5. Tataletak Pemasangan Puli Pada PLTM Lengkap Dengan Tali Ban (setreng).

Tegangan juga pada posisi 220volt dan arus beban pada Gambar 6, tentu hal ini dapat terjadi pada putaran yang sesuai pada nameplat yang ada. Permasalahan pada Pembangkit listrik



penggerak air sangat bergantung pada jumlah kutub dari pembangkit itu sendiri. Dalam hal men-coba melakukan pengukuran untuk dan melihat hasilnya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 6. Kondisi Generator AC di lokasi PLTMh Dalam tahap pengukuran.



Gambar7. Pelaksanaan pengukuran tegangan, frekuensi dan arus.



Gambar 8. Pengukuran I dan V.

### PEMBAHASAN

Rancangan Program Aplikasi pada PLTMh, pada tahap observasi dan pengujian di lapangan berdasarkan name plat yang tertera pada PLTMh. Baru diperoleh beberapa prediksi-pre-diksi maupun analisa yang mendekati kebenaran didalam upaya peningkatan daya pada PLTMh yang diharapkan.

Dari Hasil pengukuran ini dan implementasinya menggunakan alat Oscilloscope sebagai pengukur frekuensi dengan melihat tampilan gelombang berbentuk gelombang sinus utuk (tidak cacat) hal inilah masih belum stabil. Tegangan juga masih naik turun bersamaan dengan naiknya beban terpasang. Pada putaran yang sesuai pada nameplat yang ada. Permasalahannya pada Pembangkit listrik penggerak air sangat bergantung pada jumlah kutub dari pembangkit itu sendiri.

Kebanyakan dalam perencanaan pemilihan generator, yang digunakan adalah generator mini. Generator yang tersedia dipasaran biasanya berjenis *high speed* dimana pada generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Sedangkan pada putaran turbin untuk PLTMh biasanya dibutuhkan generator yang berjenis *low speed* dan tanpa energi listrik awal, selain itu generator yang menggunakan magnet permanen mampu bekerja dengan baik pada kecepatan putar yang rendah. Oleh karena itu sebagai upaya ke depan, untuk memenuhi peningkatan daya yang sesuai dengan debit aliran adalah menggunakan generator yang mudah perawatannya, serta bisa dikembangkan pembangkitan energi listriknya. Desain generator yang seperti inilah yang sesuai digunakan, yaitu generator mini yang biasa digunakan pada mobil, generator jenis ini tidak terlalu membutuhkan kecepatan putaran yang tinggi Lihat Gambar 9.



Gambar.9 Generator Mini Yang dapat menyesuaikan putaran pada PLTMh.

Dari data spesifik generator yang ada diatas diketahui tegangan output yang dikeluarkan berupa tegangan DC, sebesar 12–15volt yaitu digunakan sebagai penanpung arus dengan tegangan yang sesuai sebagai pencatu baterai atau ACCU.(Abdulkadir., 1995)

Tujuan Pengujian Alat, setelah seluruh dari sistem yang mendukung peningkatan daya mikrohidro(PLTMh) ini selesai dikelola dan dihubungkan satu sama lain sehingga terbentuk sebuah sistem mikrohidro yang diharapkan, maka selanjutnya adalah tahap pengujian kerja dari system yang telah dirangkai hal ini bertujuan: Untuk mengetahui apakah PLTMh yang dirancang telah dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Untuk mengetahui kemampuan kinerja dari turbin yang dirancang. Untuk mengetahui seberapa besar energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTM tersebut. Untuk mengetahui adanya kesalahan-kesalahan yang terjadi, dengan harapan dapat segera diperbaiki.

Proses Pengujian pada system PLTMh, sederhana yaitu dengan cara mengalirkan air supaya terkonsentrasi ke dalam satu aliran, yang dimana dipasang turbin air yang diletak kedalam suatu aliran irigasi, dimana dengan demikian tenaga potensial yang dimiliki aliran tersebut dapat memutar turbin perhatikan Gambar.2.



Gambar 10. Pengujian Generator AC1 fasa dari Mikrohidro pada aliran ilrigasi.

Dengan berputarnya turbin maka mulailah terjadi proses pembangkitan energi listrik pada generator sehingga dapat diketahui besar energi yang

dihasilkan dari proses pembangkitan tersebut, apabila tampak adanya kesalahan (*error*) pada kinerja mikrohidro maka segera dilakukan tindakan perbaikan pada bagian sistem yang mengalami kesalahan kerja. Sedangkan jika ada kesalahan dari sistem mikrohidro tersebut, maka mikrohidro dianggap telah selesai. Berikut ini adalah pengujian dari masing-masing bagian pada mikrohidro.

Pengujian Mekanis, dengan menjalankan pada putaran mikrohidro sesuai dengan kerjanya, turbin diberi air agar dapat berputar sehingga dapat menggerakkan bagian stator magnet. Saat stator magnet berputar maka akan timbul medan magnet, sehingga kumparan rotor akan menghasilkan tegangan. Semakin tinggi putaran turbin yang dihasilkan maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan

Analisis pada perangkat mekanis, adalah sangat sederhana. Hanya dengan menjalankan mikrohidro, sebelum menjalankan diukur terlebih dahulu berapa tahanan kawat yang dihasilkan dari kumparan rotor, tahanan kawat yang ideal adalah 0,8–15ohm. Setelah diukur tahanan kawat yang diperoleh dari kumparan rotor ini adalah 14 ohm, maka mikrohidro tak terdapat kesalahan. Apabila tahanan kawat yang didapat lebih atau kurang maka dapat diperiksa kembali pada kumparan rotor, apakah terjadi hubung singkat pada kawat kumparan atau terdapat salah satu kumparan yang putus.(Sumanto., 1996)

Analisis *output* generator, dimaksudkan agar dapat mengetahui keluaran tegangan, dan putaran dari generator mikrohidro dengan baik, berikut hasil pengukuran keluaran dari generator tersebut. Secara keseluruhan mikrohidro berjalan sesuai dengan keinginan. Pada Tabel 2. dapat dilihat hasil output dari generator mikrohidro, dengan beban lampu yang ditempatkan pada output dari generator, sehingga dapat diketahui berapa(rpm) putaran ideal generator dan tegangan idel yang dihasilkan generator.

Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai

sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat ke dalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator (PUIL., 2000). Dari hasil pengukuran yang telah diperoleh di lapangan, dapat diketahui data-data kincir yang ada di dusun Singosaren Imogiri, sudu merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk menggerakkan roda turbin akibat adanya fluida kerja dari air yang menggerakannya, atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetik. Dimana bentuk sesuai dengan fluida yang menggerakannya dengan dimensi air sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan roda turbin. Jumlah sudu pada kincir adalah 20 sudu, lebar pada kincir tersebut 0,62 meter dan dia meter pada kincir 2.1 meter. Dari pembuatan kincir ini yang digunakan sebagai bahannya adalah drum bekas, sedangkan bahan konstruksi besi siku.

Data-data kincir:

Jenis kincir : *poncelet weter wheel*  
Jumlah sudu : 20 sudu  
Lebar kincir : 62 cm  
Ukuran poros : 75 mm  
Diameter luas : 210 cm  
Bahan konstruksi : besi siku  
Bahan sudu : drum bekas

Perhitungan jumlah sudu pada kincir:  
N : 20 sudu; D : 210 cm; t : 62 cm  
k : 0,13 (konstanta ketetapan)

Data generator:

Merk: *General*; Daya: 3kw 1 fase; type =ST-3; Tegangan: 230V; cos Q= 1, Arus

maksimal:13A; eksitasi V=24V, Frekuensi:50Hz; eksitasi I=2A, Putaran:1500rpm

Pada pengujian untuk arus dan tegangan, dilakukan untuk mengetahui apakah arus dan tegangan yang dihasilkan dengan cara mengamati arus dan tegangan masukan dan keluaran dari rangkaian Penguat generator. Adapun pengujian dilakukan dengan menggunakan amperemeter dan voltmeter, berdasarkan dari hasil pengukuran saat pengambilan data yang telah dilakukan, penulis mendapatkan hasil input saluran yang terdiri dari beberapa kriteria yang diperoleh pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Input Saluran PLTMh

Dimensi Input Saluran	
Lebar saluran	0,62 m
Tinggi saluran	0,33 m
Tinggi air maks	0,32 m
Luas Tp bsh	0,2048 m <sup>2</sup>
Kecepatan air	0,6 m/detik
Debit	0,1389 m <sup>3</sup> /detik

Seperti kita ketahui bahwa untuk membuat kutub magnet pada rotor tersebut adalah dengan sistem elektromagnet, yaitu dengan mengalirkan arus searah pada kumparan. Memberikan arus listrik yang disebut dengan istilah eksitasi ke rotor dapat melalui media "*Slip Ring*" atau langsung lewat poros dari mesin eksitasi dengan sistem penyearah (Harten. PV., 1985). Kemudian hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Generator

Beban	0 W	275 W
Tegangan (V)	245	199,6
Arus (A)	0	1,49
Frekuensi (Hz)	50	46,5
Putaran turbin	14,3	10
Putaran generator	1.948	1.362
Putaran gigi reduksi	224.5	169

Pengaturan besaran tegangan output generator diatur melalui DC regulator dan AC regulator, sehingga besarnya arus eksitasi dapat diatur sesuai

kebutuhan. Medan magnet rotor akan ber-gerak sesuai dengan arah putaran rotor, dengan ini penulis telah mengambil se-buah data pengukuran pada generator, sebelum dilakukan perbaikan pada pintu air saluran irigasi. Hasil pengukuran output pada generator dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan tegangan yang dikeluarkan sama dengan Gambar 1. Pada beban nol generator.

Tabel 3. Pengukuran Pada Generator sebelum dipasang pintu pengatur air pada saluran irigasi.

Pengukuran	Beban				
	0	1	2	3	4
Beban arus (A)	0	0.8	0.9	1.0	1.2
Tegangan (V)	210	126	98	93	90
Eksitasi DC (V)	10	10.8	9.2	9.1	8.72
Eksitasi AC (V)	0	21.2	3.1	0	0
Putaran generator	1389	1032	928	881	880
Putaran kincir	12	10	9	7	5
Frekuensi (Hz)	46	35	45	30	29

Hasil Pengukuran Pada Generator Setelah di lakukan perbaikan pada penguatan alternator yaitu, Putaran adalah salah satu faktor yang penting yang memberi pengaruh besar terhadap tegangan yang timbul oleh arus bolak-balik (*alternating current*). Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran Pada Generator setelah dipasang pintu pengatur air pada saluran irigasi.

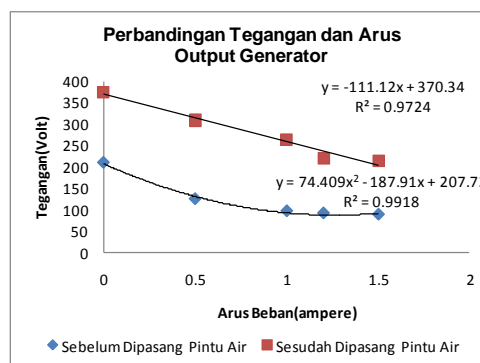
Pengukuran	Beban				
	0	1	2	3	4
Beban arus (A)	0	0.5		1.2	1.5
Tegangan (V)	375	310	265	220	210
Eksitasi DC (V)	0	26	21	22	19,5
Eksitasi AC (V)	30	34	30	29	27
Putaran generator	2100	1900	1650	1500	1400
Putaran kincir	19	17	15	14	13
Frekuensi (Hz)	60	55	50	48	45

Frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator sinkron harus se-bandung dengan kecepatan putaran generator

tersebut. Dalam hal ini, rotor sebagai bagian yang bergerak terdiri atas rangkaian-rangkaian elektromagnet dengan arus searah (DC) sebagai sumber arusnya.

Berdasarkan Tabel 3. dan Ta-bel 4. terlihat mengalami sebuah perbedaan tegangan pada putaran tertentu, pada hal ini perbedaan yang sangat jelas terdapat pada putaran alternator, putaran kincir dan putaran generator. Sedangkan tegangan yang dikeluarkan pada alternator hampir sama dengan Gambar 1. Pada beban nol generator.

Dari data yang telah di uji pada tegangan generator sebelum dan sesudah disempurnakan dengan penambahan pintu air dapat diketahui berapa perbandingan arus beban maksimal. maka dapat ditam-pilkan dalam sebuah grafik untuk menge-tahui fenomena yang terjadi pada per-bandingan tegangan generator, pada be-ban dan dapat dilihat pada Gambar 2.



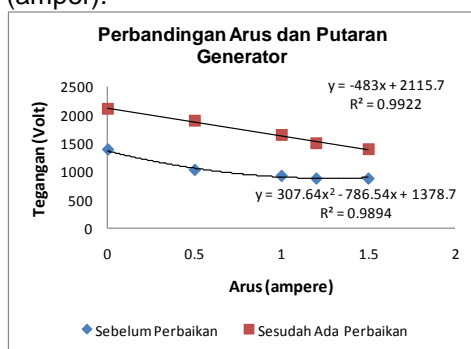
Gambar 1. Perubahan Antara Arus dan Tegangan output pada Generator.

Dari Gambar 1 dan 2. dapat di-analisis bahwa tegangan generator yang dihasilkan sebelum dipasang pintu pengatur air hanya sebesar 90 volt pada arus beban 1,5 ampre dan setelah dipasang mengalami peningkatan sebesar 220V pada beban yang sama. Semakin besar jumlah beban terpasang, maka tegangan yang dikeluarkan akan semakin berkurang dan mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat dari nilai  $R^2$  pada Gambar 2. regresi liniernya tidak mencapai angka 1. Hubungan perbandingan putaran generator dan

putaran alternator terhadap adanya peng-ukuran pada beban, dapat dilihat pada Tabel 3.

Analisis dari perbandingan putaran antara generator dan frekuensi dapat ditampilkan dalam bentuk gambar grafik untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada perbandingan putaran terhadap jumlah pengukuran terhadap beban dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat dianalisis bahwa putaran generator terhadap jumlah pengukuran pada arus beban (amper).



Gambar 2. Perubahan Putaran Generator Setelah dipasang Pintu air.

Dapat diketahui pada putaran generator mengalami peningkatan dari arus beban 1.5A sebesar 1400rpm, sedangkan pada putaran generator sedikit mengalami penurunan putaran dari arus beban 1,2 amper sebesar 880rpm. semakin besar pengukuran pada beban yang diberikan, maka putaran generator dan alternator juga akan semakin berkurang. Hal ini dapat dilihat dari nilai Kontribusi nilai  $R^2$  pada regresi liniernya tidak mencapai angka 1.

### KESIMPULAN

Berdasarkan dari proses perancangan alat, analisis data, dan pengamatan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut bahwa :

Daya yang dihasilkan oleh generator adalah sebesar 210 Volt, putaran yang dihasilkan dalam turbin/ kincir air 13 rpm dan putaran pada generator 1400 rpm, pada arus 1,5A.

Hasil pantauan frekuensi sebelum ada perbaikan pada generator ini

hanya 29Hz pada putaran 880rpm sedangkan setelah diperbaiki frekuensi mengalami kenaikan menjadi 50Hz pada putaran 1500rpm pada kondisi beban yang sama sebesar 1,2 ampere. Semakin besar pembebanan yang diberikan pada turbin/kincir air, maka putaran turbin dan putaran generator akan berkurang.

Memanfaatkan kecepatan energi air yang dapat ditangkap oleh peralatan utamanya yang disebut turbin/kincir air sehingga dapat menggerakkan alternator.

Melihat kondisi peningkatan dari generator dianggap belum maksimal, maka perlu dipikirkan alternative lain yaitu dengan menggunakan Alternator DC di-pandang lebih efektif mengingat dengan Alternator arus masukan dapat ditampung dalam ACCU.

Melalui PLTMh ini diharapkan dapat membantu masyarakat wukirsari yang memanfaatkan sebagai lampu penerangan jalan umum dan sebagai usaha samping-an, khususnya di daerah pedesaan yang memiliki potensi aliran deras dari sungai untuk dibangun mikrohidro.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, E. 1995, Energi. Universitas Indonesia Press, Jakarta
- Djojonegoro, W., 1992, Pengembangan dan penerapan energi baru dan terbarukan, Lokakarya "Bio Mature Unit" (BMU) untuk pengembangan masyarakat pedesaan, BPPT, Jakarta.
- Harten, P.V, 1986. *Instalasi Listrik a-rus Kuat 3* (Terjemahan Ir. E. Setiawan). PT. Binacipta. Jakarta.
- PUIL, 2000, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*, Standar Nasional Indonesia, P.T PLN Indonesia (SNI) Jakarta
- Sumanto, 1996, Mesin Sinkron. Andi Jog-jakarta
- Zuhal, 1995, *Policy & Development Programs on Rural Electricity for next 10 years*, Ditjen. Listrik & Pengembangan Energi, Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta.

<http://danardonianto.multiply.com/> Danar  
Donianto. 2008. *Pembangkit  
Listrik Tenaga Mikro Hidro.*

[http://duniaLstrik.blogspot.com/2009/09/a  
nimasi-generator-dc dan  
generator ac.html](http://duniaLstrik.blogspot.com/2009/09/animasi-generator-dc-dan-generator-ac.html)

[www.lin.go.id/](http://www.lin.go.id/) Sutisna, Nanang, 2004,  
*De-partemen Energi  
Kembangkan Sis-tem Mikrohidro.*

**KONDISI KEAIRAN SUMBER AIR PANAS PARANGWEDANG  
DI DAERAH PARANGTRITIS KECAMATAN KRETEK KABUPATEN BANTUL  
DAN ARAHAN PENGEMBANGAN UNTUK PARIWISATA**

Miftahussalam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 15 mei 2012, revisi masuk: 11 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

**ABSTRACT**

*The objective of research is to determine the inundated condition of Parangwedang Hot Spring Resources and provide to support tourism development. Methods of research was conducted by field research, source water sampling of Parangwedang Hot Springs and laboratory analysis. Lithology of study area is composed by Tertiary volcanic rocks, carbonaceous clastic sediments and Quaternary alluvial deposits. Based on hydrogeological condition, known that study area has potential hot spring water. Based on geological analysis, and the study of Parangwedang Hot Spring known that resources is a remnant of palaeomagnetism during Tertiary. In the basis of physics, chemistry and limited microbiology analysis, Parangwedang Hot Spring might be applied to tourism development, such as thermal baths. In order Parangwedang Hot Spring Resources to be a main tourist destination in Parangtritis area, the government of Bantul Regency should be improved to promote it and collaborate with their sponsorship, in increasing its tourism management.*

**Keywords:** *Parangwedang Hot Springs, thermal bath, Tertiary rocks, development tourism development destination*

**INTISARI**

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kondisi keairan Sumber Mata Air Panas Parangwedang dan memberikan arahan pengembangan untuk pariwisata. Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian lapangan, pengambilan sampel air Sumber Mata Air Panas Parangwedang dan analisis laboratorium. Daerah penelitian tersusun oleh batuan Tersier yang terdiri dari sedimen vulkanik klastik, batuan gunungapi dan sedimen klastik karbonatan serta endapan permukaan/alluvial yang berumur Kuartar. Dari hasil analisis kondisi keairan daerah Parangtritis, maka potensi airtanah sebagai sumber air panas cukup besar. Dari hasil analisis data geologi dan data Mata Air Panas Parangwedang, sumber panas tersebut merupakan sisa magmatisme pada jaman Tersier. Dari hasil analisis fisik, kimia dan mikrobiologi terbatas, maka Mata Air Panas Parangwedang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan wisata pemandian air panas. Agar Sumber Mata Air Panas Parangwedang dapat menjadi tujuan utama wisata di Kawasan Parangtritis, maka pihak Pemda Bantul perlu meningkatkan lagi kegiatan promosinya dan mengadakan kerjasama dengan pihak sponsor, agar manajemen pengelolaan Sumber Mata Air Panas Parangwedang berkembang dan menjadi lebih baik.

**Kata kunci:** Sumber Mata Air Panas Parangwedang, wisata pemandian, batuan Tersier, dan arahan pengembangan pariwisata

**PENDAHULUAN**

Daerah penelitian yang terletak di Daerah Parangtritis, Kabupaten Bantul, Propinsi DIY adalah sebuah daerah tempat pariwisata berupa pantai

pesisir Samudera Hindia yang terletak kurang lebih 25-30 km sebelah selatan kota Yogyakarta. Dilihat dari posisi geografisnya Parangtritis dekat dengan jalur subduksi aktif Jawa bagian selatan

---

<sup>1</sup>miftah\_akprind@yahoo.co.id

yaitu zona tumbukan antara Lempeng Samudera Hindia-Australia di bawah Lempeng Eurasia.

Akibat dari tumbukan lempeng tersebut, menimbulkan potensi terjadinya tatanan geologi yang cukup kompleks dan unik di Pulau Jawa, seperti munculnya jalur gunungapi sejak Tersier yang antara lain mengakibatkan timbulnya Mata Air Panas Parang-wedang di daerah Parangtritis.

Tatanan geologi di daerah tersebut merupakan nilai tambah yang dapat memberikan banyak manfaat bagi penghuninya, termasuk di dalamnya bidang pariwisata yang dapat dikembangkan menjadi obyek wisata geologi atau geowisata di mana pada masa yang akan datang ada kecenderungan bisa untuk meningkatkan pendapatan daerah dan meningkatkan kesejahteraan penduduk.

Parangtritis sendiri merupakan daerah objek wisata yang cukup terkenal di Yogyakarta selain objek pantai lainnya seperti Samas, Baron, Kukup, Krakal dan Pantai Glagah. Parangtritis mempunyai keunikan pemandangan yang tidak terdapat pada objek wisata lainnya yaitu selain ombak yang besar, juga mempunyai gumuk-gumuk pasir yang tinggi di sekitar pantai yang jarang ada di tempat lain di dunia.

Objek wisata yang berada di daerah Parangtritis ini sudah dikelola oleh pihak Pemerintah Daerah Bantul dengan cukup baik, mulai dari fasilitas penginapan maupun pasar yang menjajakan souvenir khas Parangtritis. Sementara potensi Mata Air Panas Parangwedang masih kurang terkenal dibandingkan wisata Pantai Parangtritis maupun Pantai Depok sebagai wisata kuliner, karena promosi dari Pemerintah Kabupaten Bantul tidak sehebat promosi wisata pantainya. Pengunjung Pemandian Air Panas Parangwedang ini sangat terbatas, hanya mengandalkan luapan wisatawan dari Parangtritis, ataupun warga yang ingin berobat dari penyakit kulit dengan cara berendam di air panas yang mengandung belerang dan pengunjung untuk keperluan spiritual.

Karena kondisi dan potensi yang ada pada Sumber Mata Air Panas

Parangwedang tersebut, serta kemungkinan pengembangan kawasan pariwisata Parangtritis yang nantinya dapat menambah pendapatan Pemda Bantul, maka penulis tertarik untuk mengangkat menjadi daerah penelitian.

Selain hal tersebut di atas, daerah Parangtritis sendiri merupakan suatu daerah yang sangat menarik dan penting bila dipandang dari sudut ilmu kebumihan seperti geologi karena daerah tersebut memiliki karakteristik bentang alam pantai dan gumuk pasir yang sangat langka serta merupakan laboratorium alam yang terletak di sebelah selatan kota Yogyakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi keairan Sumber Air Panas Parangwedang dan memberikan arahan bagaimana pengembangan Sumber Air Panas Parangwedang untuk pariwisata, terutama faktor kontrol geologi.

Penelitian geologi inii memfokuskan pada mengetahui bagaimana kondisi keairan secara fisik berupa warna, kekeruhan, bau, dan suhu dan kondisi keairan secara kimia berupa (pH), kalsium (Ca), natrium (Na), silika (SiO<sub>2</sub>), Magnesium (Mg), Bikarbonat (HCO<sub>3</sub>), Sulfat (SO<sub>4</sub>) dan Klorida (Cl), debit mata air Sumber Mataair Panas Parangwedang dan kemungkinan arahan pengembangannya, agar menjadi lebih baik dan menarik, sehingga dapat menambah jumlah pengunjung dan dapat menambah jumlah pendapatan dari penjualan tiket iuran masuk ke pemandian, adalah bagian dari penelitian tentang geohidrologi. Jenis penelitian ini termasuk dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

## METODE

Di dalam pelaksanaan penelitian terdapat beberapa tahapan penelitian yang dilakukan, yaitu tahap persiapan atau studi pustaka, tahap penelitian langsung di lapangan, tahap analisis laboratorium dan tahap penyusunan laporan. Masing-masing tahapan secara rinci dapat diuraikan sbb:

Tahap 1. persiapan/Studi pustaka adalah tahap yang dikerjakan untuk memperoleh informasi yang berhubungan dengan judul penelitian. Data sekunder yang diperlukan berupa peta



topografi, peta rupa bumi, analisis dan interpretasi, peta geologi regional daerah yang bersangkutan, kajian tentang laporan/artikel/makalah baik kondisi geologi, geokimia, hidrotermal daerah penelitian dari peneliti terdahulu, kemudian juga mengakses berbagai informasi yang berkaitan dengan daerah penelitian dari internet.

Tahap 2. penelitian lapangan merupakan kegiatan penelitian langsung di lapangan, dengan cara menentukan jalur lintasan pengamatan, merekam data gejala geologi, bentang alam dan pengamatan lingkungan, serta pengambilan sampel air yang langsung diukur di lokasi sumber air panas di Parangwedang maupun pengambilan sampel air untuk diperiksa/dianalisis di Laboratorium.

Tahap 3. analisis laboratorium yang dilakukan meliputi beberapa analisis/ pengujian untuk mengetahui aspek geologi dan lingkungan kondisi keairan yang meliputi analisis sifat fisik sumber air panas meliputi warna, kekeruhan, bau, dan suhu. Analisis kimia sumber air panas meliputi pH, kesadahan, nitrit. Sedangkan analisis biologi meliputi MPN Coliform maupun Colitinja. Analisis kondisi keairan dilakukan di dua tempat, yaitu analisis secara langsung di lapangan maupun analisis di Laboratorium Teknik Lingkungan IST.AKPRIND Yogyakarta.

Tahap 4. pembuatan laporan dikerjakan setelah semua pekerjaan lapangan dan data analisis laboratorium selesai dilakukan. Kemudian dilakukan sintesa terhadap hasil-hasil penelitian, untuk kemudian disusun suatu kesimpulan hasil penelitian dan rekomendasi arahan pengembangan Sumber Air Panas Parangwedang. Laporan ini adalah bentuk penyampaian informasi sekaligus pertanggungjawaban peneliti kepada penyandang dana penelitian.

Daerah penelitian berada di Pantai Parangtritis, yaitu sebuah tempat pariwisata berupa pantai pesisir Samudera Hindia, yang sangat menarik dan penting dipandang dari sudut ilmu kebumihiaan (Geologi dan Geomorfologi), karena memiliki sifat karakteristik bentang alam pantai dan gumuk pasir yang langka serta merupakan laboratorium

alam yang terletak di sebelah selatan kota Yogyakarta. Daerah Parangtritis secara astronomis terletak pada peta topografi lembar 47/XLIII-c, lembar 47/XLII-c dan lembar 47/XLII-b, dengan skala peta 1:25.000. Secara administratif terletak antara 8° Lintang Selatan (LS) dan antara 110° Bujur Timur (BT). Daerah penelitian secara administrasi termasuk di Dusun Mancingan, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul (Gambar 1).

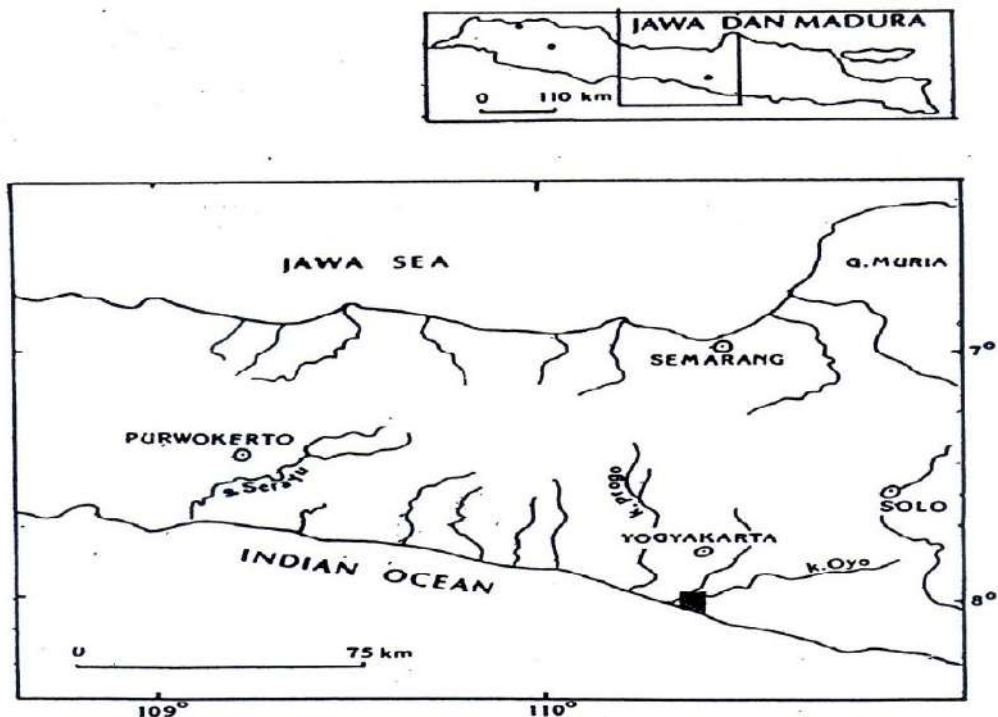
Secara alami daerah Parangtritis di bagian utara dibatasi oleh Sungai Opak dan Sungai Oyo, bagian selatan dibatasi oleh Samudera Hindia, bagian timur dibatasi oleh pegunungan karst (Pegunungan Sewu) dan bagian barat dibatasi oleh Sungai Opak hilir

Secara geologis, terletak pada Propinsi Jawa Tengah Zone Pegunungan Selatan dan zone dataran aluvial pantai (Bemmelen, 1949).

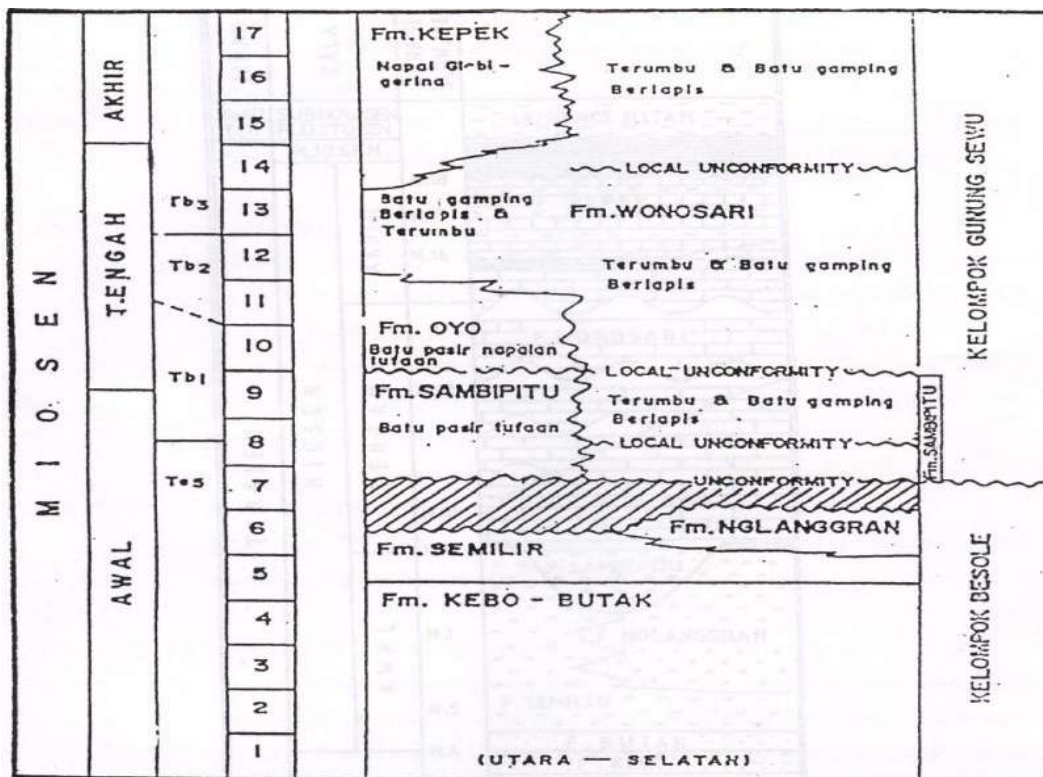
Dari pemetaan geologi Pegunungan Selatan oleh Rahardjo, dkk (1977) dan Surono, dkk (1992) diketahui bahwa batuan tertua di Pegunungan Selatan berupa batuan Malihan Pra-Tersier yang tersingkap di Perbukitan Jiwo, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Di Pegunungan Selatan bagian barat, di atas batuan malihan secara berturut-turut diendapkan Formasi Gamping-Wungkal, Kebo-Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari, Kepek dan endapan alluvium. Menurut Suyoto (1992, mengemukakan tatanan stratigrafi di Pegunungan Selatan seperti pada Gambar 2.

## PEMBAHASAN

Morfologi daerah penelitian termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta yang mengalami proses penenggelaman, sehingga tertutup oleh endapan aluvial berupa dataran pantai yang luas, mulai dari Parangtritis sampai Kebumen dan muncul di Perbukitan Karangbolong dan Pulau Nusakambangan (Bemmelen, 1970). Bagian puncak dari Pegunungan Selatan, sebagian besar terdiri dari batugamping yang berumur Miosen, telah mengalami suatu proses pelarutan yang membentuk



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian



Gambar 2. Tatanan Stratigrafi Pegunungan Selatan (Suyoto 1992 dalam Anonim, 1998)

topografi karst, berupa bukit-bukit terumbu, gua-gua kapur yang di dalamnya mengalir sungai-sungai bawah tanah.

Zona Pegunungan Selatan ini dapat dibagi lagi menjadi 3 subzone, yaitu Subzona Bagian Utara atau lebih dikenal dengan nama Kompleks Baturagung (*Baturagung range*), Subzona Bagian Tengah atau lebih dikenal Depresi Wonosari dan Subzona bagian Selatan atau lebih dikenal dengan nama Pegunungan Seribu (Gunung Sewu). Subzona Gunung Sewu memiliki elevasi antara 0-400 mdpl, yang tersusun oleh material batugamping yang mudah larut. Pegunungan Sewu dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu wilayah Utara, wilayah Tengah dan Selatan. Secara fisiografik, daerah Parangtritis dan sekitarnya terletak pada zona Plato Selatan Jawa Tengah yang berupa pegunungan karst yang dibatasi oleh Jalur Baturagung, selain itu di sekitar muara Sungai Opak merupakan dataran aluvial pantai (Pennekoek, 1949).

Stratigrafi daerah Parangtritis dan sekitarnya disusun oleh batuan Tersier yang terdiri dari batuan sedimen klastik vulkanik, batuan gunungapi, dan sedimen klastik karbonatan, serta endapan permukaan yang berumur Kuartar (Idral dkk, 2008).

Batuan Vulkanik Klastik, penyusun satuan batuan vulkanik klastik adalah Formasi Semilir terdiri dari perselingan tuf berukuran abu sampai lapili dan berumur Miosen. Satuan batuan ini bersifat kedap air dan menjadi batuan dasar di daerah penelitian.

Batuan Gunungapi, penyusun batuan ini terdiri dari breksi andesit dan lava andesit yang termasuk dalam Formasi Nglanggran. Breksi andesit melampar di bagian utara dan barat daerah penelitian dengan kemiringan lapisan secara umum ke tenggara-selatan. Batuan beku andesit dijumpai di Desa Grogol dan Desa Bibis dalam kondisi singkapan yang masih segar dengan struktur kekar gerus. Andesit ini merupakan batuan beku yang terdapat di permukaan atau dekat permukaan yang biasanya membentuk lava, *dike* dan *sill*. Selain itu di daerah Parangkusumo yang tidak jauh dari Parangwedang dijumpai

lava basal berwarna hitam kelabu kehijauan dengan struktur aliran lava dan terkekarkan dengan pola sejajar atau kekar lempeng.

Batuan Sedimen Klastik karbonat, penyusun satuan batuan ini terdiri dari batugamping terumbu dan kalkarenit termasuk dalam Formasi Wonosari yang berumur Miosen Tengah sampai Pleistosen Bawah (Wartono-Rahardjo dkk, 1977). Kedudukan lapisan batuan secara umum antara N 50° E- N 70° E dengan kemiringan 4°-28° ke arah selatan. Penyebaran sedimen klastik karbonat ini terdapat di bagian barat dan timur daerah penelitian dengan kenampakan perbukitan karst.

Endapan Permukaan, endapan permukaan/endapan aluvium terdiri dari lempung hingga kerakal hasil rombakan, pelapukan dan pencucian (*leaching*) batuan sekitarnya dan endapan pantai, terdiri dari pasir berukuran halus sampai kasar, membentuk gumuk pasir tipe *barchan* (bulan sabit) sepanjang pesisir Pantai Parangtritis hingga Depok.

Menurut Idral, dkk (2008), pola struktur geologi yang terdapat di daerah Parangtritis sebagian besar berkaitan dengan gejala-gejala tektonik yang pernah berlangsung pada *Java Trench* dan pembentukan sistem pegunungan di selatan Jawa. Struktur yang ada di daerah Parangtritis adalah Sesar Normal (Bantul, Bambang Lipuro dan Mudal), Sesar Mendatar (Parangkusumo, Soka Nambangngan dan Siluk) dan kekar-kekar, dengan orientasi sesar SE-NW dan NE-SW. Sesar Parangkusumo yang berarah N 300° W menunjam 80° ke baratdaya, merupakan sesar penting yang mengontrol munculnya Sumber Mata Air Panas Parangwedang

Kondisi Keairan Sumber Air Panas Parangwedang di daerah penelitian, hidrogeologi daerah Parangtritis ditentukan oleh keadaan iklim dan geologi atau geomorfologi daerah tersebut. Atas dasar itu maka daerah Parangtritis dapat dibagi menjadi 3 satuan hidrogeologi.

1. Daerah yang dilalui Sungai Oyo dan sungai Opak dengan material endapan fluvial yang porous.
2. Daerah alluvial pantai dan gumuk-gumuk pasir, di mana hujan sebagian

besar meresap ke dalam tanah yang porus menjadi airtanah.

- Daerah topografi Karst di atas Perbukitan Sewu dengan kenampakan khusus, seperti berkembangnya rongga-rongga pelarutan, aliran air yang tiba-tiba hilang serta sistem drainase bawah tanah.

Di samping karakteristik hidrogeologi di atas, dijumpai mata air panas di Parangwedang yang merupakan *fissure hot spring* akibat pengaruh Sesar Parangkusumo dan adanya airtanah yang terpanaskan oleh sumber panas (magma) atau yang berhubungan dengan gejala *post volcanic*. Batuan panas ini diperkirakan akibat intrusi batuan beku yang ada di sekitarnya.

Berdasarkan pengamatan di lapangan ada 2 mata air panas yang muncul disertai gelembung-gelembung gas dan ditampung dalam kolam penampung air panas yang mempunyai luas 8 x 9 m, warna air di kolam tersebut hijau, dikarenakan banyaknya ganggang atau algae (Gambar 3).

Dari hasil pengukuran langsung di lapangan pada mata air panas tersebut bersuhu 44<sup>o</sup> C, tidak berwarna, sedikit asin, mempunyai pH kurang lebih 7,8 dengan kesadahan 1.795 mg/l.



Gambar 3. Sumber Mata Air Panas Parangwedang

Berdasarkan analisis fisik, kimia dan mikrobiologi terbatas yang dilakukan

pada sampel air Sumber Mata Air Panas Parangwedang di Laboratoium Teknik Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta, maka dapat dikemukakan hasil analisis fisik, kimia dan mikrobiologi terbatas Sumber Air Panas Parangwedang (Sampel diperiksa di lokasi) adalah Suhu 44<sup>o</sup>C, pH 7,8, Kesadahan (CaCO<sub>3</sub>) 1.795 mg/l dan (sampel diperiksa di laboratorium) suhu 29<sup>o</sup>C, pH 7,5, kesadahan (CaCO<sub>3</sub>) 3.385 mg/l, Jumlah Zat Terlarut (TDS) 1.283 mg/l, Warna 2 PtCo, nitrit 0,002 mg/l, MPN coliform 8 MPN/100 ml dan MPN coli tinja 5 MPN/100 gram (Tabel 1, Gambar 4 dan Gambar 5).

Tabel 1. Hasil analisis fisik, kimia dan mikrobiologi terbatas Sumber Air Panas Parangwedang

Sampel diperiksa di lokasi

No	Parameter	Hasil analisis	Baku Mutu Air Bersih
1A.	Suhu	44 <sup>o</sup> C	Suhu udara ± 3 <sup>o</sup> C
2A.	pH	7,8	6,5-8,5
3A.	Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )	1.795 mg/l	500 mg/l

Sampel diperiksa di laboratorium

No	Parameter	Hasil analisis	Baku Mutu
1.	Suhu	29 <sup>o</sup> C	Suhu udara ± 3 <sup>o</sup> C
2.	pH	7,5	6,5-8,5
3.	Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )	3.385 mg/l	500 mg/l
4.	Jumlah Zat Terlarut (TDS)	1.283 mg/l	500 mg/l
5.	Warna	2 PtCo	15 PtCo
6.	Nitrit	0,002 mg/l	1,0 mg/l
7.	MPN coliform	8 MPN/100 ml	50 MPN/100 ml
8.	MPN coli tinja	5 MPN/100 gram	10 MPN/100 gram

Data primer, 2011



Gambar 4. Pengambilan sampel air panasdi Sumber Air Panas Parangwedang



Gambar 5. Pengukuran di lapangan

Dari hasil analisis fisik, kimia dan mikrobiologi terbatas di atas, maka dapat disimpulkan bahwa kesadahan  $\text{CaCO}_3$  sebesar 3.385 mg/l telah melebihi baku mutu Keputusan Menteri Kesehatan No 416/Menkes/Per/IX/1990 yang ditetapkan yaitu sebesar 500 mg/l dan hasil analisis jumlah zat terlarut (TDS) sebesar 1.283 mg/l cukup tinggi, telah melebihi baku mutu Keputusan Menteri Kesehatan No 416/Menkes/Per/ IX/1990 yang ditetapkan yaitu sebesar 500 mg/l.

Untuk analisis mikrobiologi yaitu MPN Coliform dan MPN Colitinja ada di bawah standar baku mutu yang ditetapkan. Sehingga secara umum Sumber Mata Air Panas Parangwedang sudah memenuhi standar sebagai air bersih, sehingga dapat dimanfaatkan untuk wisata pemandian air panas.

Berdasarkan tinjauan pustaka, yaitu hasil penyelidikan terpadu geologi, geokimia dan geofisika untuk panas bumi Daerah Parangtritis (Idrak dkk, 2008), mengindikasikan potensi panas bumi Parangwedang termasuk entalpi rendah yaitu suhu (T) bawah permukaan lebih kecil  $125^\circ \text{C}$ , sehingga pemanfaatannya adalah untuk pemandian air panas.

Dari hasil analisis diagram segi tiga  $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$  (Nicholson, 1993), tipe air panasnya termasuk tipe chlorida (Cl). Adanya mata air panas chlorida ini umumnya mengindikasikan zona reservoir dengan permeabilitas tinggi (sesar breksi pada pipa erupsi) Indikasi ini sesuai dengan kondisi Mata Air Panas Parangwedang yang terbentuk oleh Sesar Mendatar Parangkusumo.

Dari uraian dan hasil pembahasan di atas, maka secara kuantitas cadangan airtanah di daerah penelitian sebagai Sumber Mata Air Panas Parangwedang cukup besar untuk menjamin terbentuknya uap alam dan air panas tersebut. Hal ini dimungkinkan karena air meteorik dapat menginfiltrasi melalui daerah topografi karst maupun daerah dataran Sungai Oyo dan Sungai Opak yang selanjutnya membentuk airtanah pada reservoir batuan breksi andesit.

Secara kualitas air panas Parangwedang dapat dipakai untuk pemandian air panas. Adanya mata air panas di mana chloridanya tinggi dapat berfungsi sebagai desinfektan, serta dapat digunakan untuk *bleaching* atau pemutih pakaian.

Dengan kondisi keairan Sumber Mata Air Panas Parangwedang seperti tersebut di atas, maka dapat disarankan untuk dapat lebih dikembangkan lagi menjadi wisata pemandian air panas yang lebih besar dan baik dibandingkan dengan kondisi saat ini yang relatif sangat sederhana dan tidak terawat.

Agar Sumber Mata Air Panas Parangwedang dapat menjadi tujuan utama wisata di Kawasan Parangtritis, dan sejajar dengan wisata pantai dan gumuk pasir maupun wisata kuliner di Pantai Depok, maka pihak Pemda Bantul perlu meningkatkan lagi kegiatan promosinya dan mengadakan kerjasama dengan pihak sponsor, agar manajemen

pengelolaan Sumber Mata Air Panas Parangwedang berkembang dan menjadi lebih baik.

#### KESIMPULAN

Dari hasil analisis kondisi keairan di daerah Parangtritis, maka potensi airtanah sebagai sumber air panas cukup besar. Dari hasil analisis data geologi dan data Sumber Mata Air Panas Parangwedang, sumber panas tersebut merupakan sisa magma-tisme pada Jaman Tersier.

Dari hasil analisis fisik, kimia dan mikrobiologi terbatas, maka Mata Air Panas Parangwedang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan wisata pemandian air panas.

Untuk lebih akurat di dalam mengevaluasi potensi Sumber Air Panas Parangwedang berkaitan arah pengembangan untuk wisata pemandian umum air panas, maka disarankan penelitian lanjutan dan detail. Penelitian debit mata air panas dan teknologi rekayasa pengembangannya perlu dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1990, Baku Mutu Keputusan Menteri Kesehatan Nomor. 416/Menkes/Per/IX/1990, Depkes Jakarta

Anonim, 1998, *Pedoman Uji Lapangan Pegunungan Selatan*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta

Bemmelen, R.W, Van, 1970, *The Geology of Indonesia*, Martinus Nijhoff, The Hague, The Netherlands.

Idral, A., Suhanto E, Sumardi, E., Kusnadi, D & Situmorang T., 2008, *Penyelidikan Terpadu Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Parangtritis*, Subdit Panasbumi, ITB Bandung, ITB Central Library Jl. Ganesha 10 Bandung

Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques*, Springer-Verlag, Berlin, 262 hal.

Thornburry, W.D., 1969. *Principle of Geomorphology*, 2<sup>nd</sup> ed., Mc Graw Hill, New York

Pannekoek, A.J, 1949, *Out Line of The Geomorphology, Of Java*, Geologi Survey, T.A.G, The Netherlands

Wartono-Raharjo, Sukandarrumidi dan Rosidi, 1977, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*, Bandung: Direktorat Geologi

## FANALISA KEBUTUHAN KALSIMUM KARBID PADA PROSES DE-SULFURISASI PEMURNIAN NIKEL FENI II PADA PT ANEKA TAMBANG, TBK UBPN SULTRA PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Rina Rembah<sup>1</sup>

Masuk: 23 Maret 2012, revisi masuk: 11 Juni 2012, diterima: 19 Juli 2012

### ABSTRACT

*PT. Aneka Tambang Tbk UBPN SULTRA was the once company of nation under order of BUMN (Badan Usaha Milik Negara) concentration in mining nickel, in place At Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka South East Provenca. Two factory was operated since 1975 with capacity 11.000 ton nickel/year, however once factory was builded since 1995 with capacity 24.000 ton nickel/year and after that production since 2004 with cost assumption 200 U\$\$. One of step process smelter to up the ferronickel grade is refining process. And to down sulfur grade in product so that accept standart product in market  $\leq 0,03\%$ , that do it de-sulfurisasi process. The problem in refining process specially de-sulfurisasi refining is over consumption calcium cabid, long time process that down the temperature and grade in product not accept in international market. From result of calculated consumption calsium cardib for de-sulfurisasi proces as we know that rate consumption for assosiated 1 kg sulfur need 3, 69 kg calsium cardib. And to reduce consumption between planning and realitation is 40,39 kg/tapping proces. Rate temperature need is 2°C/minute for once tapping proces and need time to proces is 37 minute. rate Down temperature for once proces is 74,2°C, rate of consumption calsium carbid pertapping is 489,6 kg. Factor's efect in comsumption calsium carbid is condition of ladle, temperatur, stirer condition, mekanisem into material in ladle and specially of operator.*

**Keywords :** *consumption, calsium carbid, refining De-sulfurisasi.*

### INTISARI

PT Aneka Tambang, Tbk UBPN Operasi Pomalaa adalah salah satu perusahaan negara di bawah naungan BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang bergerak dibidang pertambangan nikel, yang terletak di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Dua buah pabrik ferronikel yang telah terbangun beroperasi sejak 1975 dengan kapasitas 11.000 ton nikel/tahun sementara satu pabrik lainnya dibangun sejak tahun 1995 dengan kapasitas 24.000 ton ferronikel dan telah berproduksi pada tahun 2004 dengan perkiraan biaya mencapai 200 Juta dollar Amerika. Salah satu tahap proses pengolahan untuk menaikkan kadar ferronikel tersebut adalah proses pemurnian (*refining*). Untuk menurunkan kadar sulfur dalam produk sehingga sesuai dengan standar produk yang diinginkan pasar  $\leq 0,03\%$  maka dilakukan proses De-sulfurisasi. Permasalahan yang timbul pada tahap pemurnian khususnya pada proses de-sulfurisasi adalah penggunaan kalsium karbid yang tidak efektif, waktu proses yang lama sehingga suhu mengalami penurunan dan kadar dalam produk yang tidak sesuai standar yang diinginkan oleh pasar dunia. Dari hasil perhitungan kebutuhan kalsium karbid untuk proses de-sulfurisasi dapat diketahui, bahwa rata – rata kebutuhan untuk mengikat 1 kg sulfur diperlukan 3,69 kg Kalsium karbid. Dan selisih pemakaian antara perencanaan dan realisasinya adalah 40,93 kilogram per 1 kali Tapping. Penurunan suhu rata-rata yang diperlukan adalah 2°C/menit untuk 1 kali proses Tapping dan waktu yang diperlukan untuk proses 37 menit. Penurunan temperatur rata-rata dalam 1 kali proses adalah 74,2°C, dan pemakaian rata-rata kalsium karbid pertapping adalah 489,6 kg. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemakaian kalsium karbid adalah kondisi ladle, temperatur, kondisi stirer, mekanisme memasukan bahan kedalam ladle dan keahlian operator.

**Kata kunci :** kebutuhan, kalsium karbid, de-sulfurisasi pemurnian

## PENDAHULUAN

Nikel merupakan logam serbaguna yang penting untuk meningkatkan taraf hidup dan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Beragamnya produk dan pengolahan yang menggunakan nikel terbukti memberikan berbagai manfaat penting, baik bagi lingkungan maupun bagi masyarakat. Kesenambungan dan kombinasi sifat-sifat yang khas dari nikel membuatnya ada di mana-mana dalam kehidupan sehari-hari.

Salah satu perusahaan yang telah melakukan eksploitasi nikel di Indonesia adalah PT. Aneka Tambang Tbk. Unit Bisnis Pertambangan Nikel Operasi Pomala. Hingga saat ini telah terbangun 3 buah pabrik, dua buah pabrik ferronikel yang telah terbangun beroperasi sejak 1975 dengan kapasitas 11.000 ton nikel/tahun sementara satu pabrik lainnya dibangun sejak tahun 1995 dengan kapasitas 24.000 ton ferronikel dan telah berproduksi pada tahun 2004 dengan perkiraan biaya mencapai 200 Juta dollar Amerika. Hasil produksi nikel tersebut telah diekspor ke berbagai negara seperti Jepang, Belgia, dan Jerman dengan total ekspor mencapai 12,9 Juta dollar Amerika. Sementara ekspor Ferronikel mencapai 87,3 Juta dollar Amerika. Rata-rata, baja nirkarat austenitic (jenis yang mengandung nikel) mengandung kurang lebih tiga puluh lima persen nikel. Baja nirkarat dewasa ini menguasai kira-kira dua pertiga dari konsumsi nikel primer dunia barat, sehingga nikel harus mempunyai persyaratan kadar yang sesuai dengan kebutuhan produk yang diinginkan pelanggan dan masyarakat.

Kadar nikel yang terdapat dalam mempunyai tingkat kadar yang relatif rendah, sehingga diperlukan proses pengolahan lebih lanjut dimana PT Antam Tbk, selain melakukan penambangan nikel yang terdapat di alam, juga melakukan proses pengolahan untuk menghasilkan kadar ferronikel yang sesuai standar pasar dunia.

Selama ini persoalan yang menjadi kendala dalam pengolahan bijih nikel khususnya pemurnian (*refining*) adalah tidak stabilnya pemakaian bahan kalsium karbid sebagai bahan pengikat

kadar sulfur pada proses de-sulfurisasi agar menghasilkan produk yang memenuhi standar pemasaran. Pemeliharaan temperatur dalam *crude metal* juga menjadi hal yang sangat penting agar proses selanjutnya dapat berlangsung tanpa menambah suhu dalam *crude metal*.

Metalurgi Ekstraksi (*Extractive Metallurgy*), pada bagian *mineral dressing*, konsentrat yang mengandung logam berharga dipisahkan dari mineral pengotor yang menyertainya. Sedangkan ilmu *extractive metallurgy* adalah untuk memisahkan logam berharga dalam konsentrat dari material lain. Metalurgi ekstraksi didefinisikan sebagai suatu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari proses pemisahan logam dari bijihnya, serta pemurnian hingga menghasilkan logam dengan kemurnian yang dikehendaki. Bijih didefinisikan sebagai batuan yang dari padanya dapat diekstraksi satu atau lebih logam, paduan atau senyawa logam secara ekonomis.

Langkah-langkah proses metalurgi yang bertujuan menghasilkan logam dengan kemurnian tertentu, merupakan kegiatan yang tercakup dalam bidang metalurgi ekstraksi. Kegiatan tersebut dapat dibagi dua tahap utama yaitu: Proses-proses ekstraksi, yang merupakan rangkaian pengerjaan untuk menghasilkan logam (paduan) dari bijih/konsentrat; Proses-proses pemurnian, yaitu pengerjaan lanjutan dengan tujuan untuk mempertinggi kemurnian logam-logam mentah (hasil ekstraksi) atau memperbaiki sifat-sifatnya sesuai dengan persyaratan yang ditentukan.

Pemurnian (*refining*) merupakan usaha untuk meningkatkan kadar suatu unsur (logam) dengan cara menghilangkan unsur pengotor dalam suatu bahan dalam hal ini *crude/metal* untuk menghasilkan bahan/senyawa yang sesuai dengan kadar bahan yang diinginkan. Tujuan dari proses Pemurnian adalah untuk menghilangkan pengotor (*impurities*) dalam *crude Ferronikel (Feni)* antara lain kadar Si, C, P, S, Cr, dll menjadi produk Feni melalui peralatan ladle De-S dan *shaking*



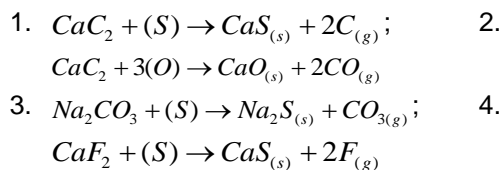
*converter* sesuai spesifikasi atau kebutuhan pelanggan.

Pengubahan *matte* menjadi ferronikel menggunakan metoda redoks (reduksi – oksidasi), dengan menggunakan *ladle converter* untuk tahap De-Sulfurisasi dan *shaking converter* untuk tahap De-Silikonisasi dan atau tahap De-Carbonisasi. *Ladle converter* terbuat dari tabung baja yang dilapisi refraktori brick dibuat model yang dapat dipindahkan dengan alat *crain*. Sedangkan *shaking converter* terbuat dari tabung baja yang tingginya 30 ft dengan diameter 13 ft, silinder ini dilapisi dengan *refractory brick*, yang diletakkan secara vertikal dan bisa berputar pada sumbunya yang mana dilakukan pemutaran apabila *charging* (pemuatan) maupun pengosongan, tetapi tidak dapat dipindahkan, hanya bisa digeser kesamping bila ada perbaikan alat.

*Tapping crude* FENI pada tanur listrik dimasukkan ke dalam *ladle* melalui *runner metal hole* tanur listrik yang kemudian ditimbang. Setelah proses *skimming* (pemisahan *slag* dari *crude*) hasil *smilting* (peleburan), *crude* dalam *leade* sudah siap dilakukan proses De-Sulphurisasi, De-Silikonisasi dan atau De-Carbonisasi.

Proses dan Prosedur Refining (Pemurnian) Nikel, *metal/crude* Feni hasil *smelting* (Peleburan) akan melalui suatu proses *refining* (Pemurnian) sebelum dilakukan proses pembentukan produk feronikel. Tujuan dari proses Pemurnian adalah untuk menghilangkan pengotor (*impurities*) dalam *crude* Feni antara lain kadar Si, C, P, S, Cr dan lain-lain, menjadi produk Feni melalui peralatan *ladle* De-S dan *shaking converter* sesuai spesifikasi atau kebutuhan pelanggan. Dalam pelaksanaan proses *refining* (pemurnian) ini, *metal/crude* Feni akan mengalami beberapa tahap proses antara lain :  
Proses De-Sulphurisasi dan Proses Oksidasi.

Reaksi kimia proses De-Sulfurisasi, proses pemurnian *crude* dari sulfur pada proses De-Sulfurisasi akan terjadi pembentukan *slag* dengan reaksi sbb:



*Matte* dihilangkan sulfurnya dengan mereaksikannya dengan carbite ( $CaC_2$ ) sehingga akan menghasilkan *slag* CaS dan carbon. Carbite ( $CaC_2$ ) juga bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan CaO dan carbon monoksida (CO). Soda Ash ( $Na_2CO_3$ ) bereaksi dengan sulfur (S) akan menghasilkan natrium sulfida ( $Na_2S$ ), carbon dioksida ( $CO_2$ ) dan carbon monoksida (CO). Dan ( $CaF_2$ ) bereaksi dengan sulfur menghasilkan CaS dan F. *Slag* yang dihasilkan akan mengapung kemudian dilakukan *skimming*.

Berat bersih *crude* FeNi, untuk menghitung berat bersih *crude* FeNi dapat dihitung dengan ketentuan dan cara sebagai berikut:

$$BB = Bt - (Bl + Bs) \dots \dots \dots (1)$$

dimana :  
BB= Berat bersih *crude* FeNi  
Bt= Berat total/ tapping  
Bl= Berat ladle  
Bs= Berat slag  
Kt= Koreksi timbangan

$$6.BS = \ell \times (Bt - Bl) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :  
BS= Berat Slag  
 $\ell$  = Konstanta , ( 0,015 s.d 0,020 )  
Bt = Berat total/ tapping  
Bl = Berat ladle.

Kebutuhan kalsium karbid perton *crude*, proses de-sulfurisasi berfungsi untuk menurunkan kadar sulfur yang ada dalam *crude metal* maka perlu adanya perhitungan pemakaian kalsium karbid untuk mengikat sulfur yang ada dalam *ladle*. Perhitungan pemakaian bahan yang dipakai pada proses De-Sulfurisasi adalah :

- Pemakaian minimum kalsium karbid.

$$Q_{min} = \beta_{min} \times S + 3,5457 \dots \dots (3)$$

dimana :

$Q_{min}$  = Kalsium karbide minimum (kg)  
 $\beta_{min}$  = Konstanta, 28,029  
 $S$  = Kadar sulfur dalam crude  
 3,5457 = Konstanta

Pemakaian maximum kalsium karbid.

$$Q_{max} = \beta_{max} \times S + 3,5457 \dots \dots \quad (4)$$

dimana :

$Q_{max}$  = Kalsium karbid maximal (kg)  
 $\beta_{max}$  = Konstanta, 38,750  
 $S$  = Kadar sulfur dalam crude  
 3,5457 = Konstanta

Temperatur Pada proses De-Sulfurisasi temperatur menjadi dasar dilaksanakannya proses tersebut karena jika temperatur *crude* rendah maka *crude* yang ada dalam *ladle* akan membeku. Oleh karena itu perhitungan melting poin sangat diperlukan. Dan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$MP = 1536 - \{(\% C \times 73) + (\% Si \times 12) + (\% Ni \times 3,5)\} \dots \dots \dots \quad (5)$$

dimana :

MP = Melting Poin ( $^{\circ}C$ )  
 1536 = Titik leleh besi  
 $(\% C \times 73)$  = % Carbon dalam crude x suhu carbon  
 $(\% Si \times 12)$  = %  $SiO_2$  dalam crude x suhu  $SiO_2$   
 $(\% Ni \times 3,5)$  = % Ni dalam crude x suhu Ni

Apabila temperatur *crude* memenuhi ketentuan diatas dapat dilakukan operasi proses De-Sulfurisasi tetapi apabila tidak memenuhi maka dilakukan *blowing*  $O_2$  di *shaking converter* untuk menaikkan temperatur sampai memenuhi persyaratan untuk proses De-Sulphurisasi ( $1550^{\circ}C$  -  $1580^{\circ}C$ ).

Perencanaan pemakaian Kalsium karbid, untuk menurunkan kadar sulfur yang sesuai dengan standar produk dari perusahaan, maka pemakaian kalsium karbid harus dapat menurunkan kadar sulfur tersebut sampai pada kadar tertentu. Jika pemakaian kalsium karbid berlebihan maka penggunaannya sudah tidak efektif lagi oleh karea itu diperlukan perencanaan. Adapun perhitungan perencanaan penggunaannya adalah sebagai berikut :

$$Q = \beta \times S + 3,5457 \times BC \dots \dots \quad (6)$$

dimana :

$Q$  = Kalsium karbid (kg)  
 $\beta$  = Konstanta, 28,029 – 38,750  
 $S$  = Persen kadar sulfur dalam crude  
 3,5457 = Konstanta  
 $BC$  = Berat crude

Peralatan yang digunakan pada proses De-Sulfurisasi, alat – alat yang digunakan pada proses de-Sulfurisasi adalah sebagai berikut : *Ladle* De-S merupakan tempat/ wadah tahan terhadap temperatur tinggi dimana *crude*/metal cair diproses. Dan *ladle* ini hanya untuk proses De-Sulfurisasi.

*Ladle shot* merupakan tempat/ wadah tahan terhadap temperatur tinggi yang berfungsi sebagai media untuk memindahkan *crude*/metal cair ke alat *shaking converter* atau untuk percetakan ( *Casting* ). Bazoka merupakan alat peng-ukur tempeatur dalam *ladle*. Shaft merupakan sambungan pemutar stirer dari motor penggerak.

Motor penggerak merupakan alat penggerak stireer yang mengaduk *crude* cair dalam *ladle*. Stirer merupakan alat pengaduk/ pencampur metal dalam *ladle*. Kayu skimer adalah kayu yang dipakai untuk mengeluarkan slag dari dalam *ladle*. Sendok sampel merupakan alat untuk mengambil sampel dalam *ladle* yang akan dikirim ke laboratorium instrumen.

Kawat aluminium merupakan kawat yang dimasukan pada saat sampel akan dicetak yang berfungsi sebagai pengikat oksigen sehingga menghindari adanya gelembung pada saat pencetakan. Baju tahan api merupakan baju pelindung untuk operator pada saat proses De-sulfurisasi.

## METODOLOGI

Prosedur penelitian ini dilakukan pada PT Aneka Tambang Tbk di lokasi pabrik FeNi II, prosedur dan langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini antara lain :

Studi literatur, yaitu menggunakan literatur-literatur yang relevan dengan objek penelitian, yang berhubungan dengan proses pemurnian nikel khususnya proses De-Sulfurisasi.

Penelitian lapangan berupa : Observasi lapangan yaitu dengan melihat secara langsung pelaksanaan proses De-sulfurisasi.

Penentuan lokasi yaitu dengan mendatangi langsung lokasi pabrik yang berada dekat dengan pemukiman penduduk. Pengambilan data primer berupa : Data berat *crude* hasil peleburan; Data kebutuhan kalsium karbide perton *crude*; Data kadar dalam produk ferronikel hasil peleburan, Data bahan yang digunakan untuk proses De-Sulfurisasi; Data standar produk ferronikel yang diinginkan perusahaan; Data peralatan yang digunakan dalam proses De-Sulfurisasi.

Data sekunder berupa data yang dianggap perlu untuk melakukan suatu analisis data, seperti data daerah pene-

litian yang meliputi Lokasi dan kesempai-an daerah, informasi mengenai perusahaan.

Pengolahan data, yaitu data-data yang telah diperoleh di lapangan berupa data mentah kemudian diolah dengan menggunakan metode statistik, grafis, matematis. Untuk data-data sekunder seperti data geologi daerah penelitian, dan profil perusahaan diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya dan menjadi ketetapan dari perusahaan itu sendiri.

Analisa data Hasil Penelitian, Berat *crude* hasil peleburan. Untuk menghitung berat bersih *crude* FeNi telah dijelaskan pada bab terdahulu yaitu persamaan 1 dan 2. Berat *crude* hasil peleburan dapat dilihat Tabel 1.



Gambar 1. Skema Proses Operasi Pemurnian dan Kasting

Dari data diatas diperoleh jumlah kalsium karbid yang digunakan pertapping rata-rata dalam *crude metal* adalah 489,6 kilogram.

Data kebutuhan kalsium karbid perton *crude*. Kebutuhan kalsium karbide dapat dihitung dengan cara seperti pada persamaan 3 dan 4. Dan data hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3. Kadar dalam produk ferronikel hasil

peleburan. Dalam menentukan suhu untuk melaksanakan proses De-Sulfurisasi diperlukan data kadar nikel, carbon dan silika dalam *crude* hasil peleburan. Dan data kadar dalam produk dapat dilihat tabel 4. Bahan-bahan yang digunakan untuk proses De-Sulfurisasi, adanya sulfur dalam *crude* merupakan pengotor yang harus diturunkan komposisinya, agar produk ferronikel

memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Untuk mencapai hal tersebut perlu adanya bahan-bahan untuk mengikat sulfur seperti kalsium karbid dan bahan pembantu yaitu, soda ash dan flour spar.

Standar produk ferronikel PT Antam Tbk. Untuk menembus pasar

internasional, produk yang akan dipasarkan harus mempunyai kualitas yang sesuai dengan kriteria kadar dalam produk ferronikel. Oleh karena itu perusahaan harus mempunyai target produksi yang sesuai dengan standar yang memenuhi permintaan pasar. (lihat Tabel 4).

Tabel 1. Rata-rata pemakaian Kalsium karbid Pertapping perminggu

No	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Minggu IV
1	450	450	450	450
2	500	450	450	425
3	470	500	450	425
4	500	500	550	450
5	450	600	550	450
6	500	500	450	600
7	500	500	450	500
8	400	500	500	450
9	550	600	450	425
10	550	500	425	425
11	500	455	425	450
12	450	500	600	525
13	500	475	600	600
14	600	500	450	600
15	550	500	400	550
16	600	500	425	450
17	600	450	450	425
18	500	550	425	450
19	450	500	450	475
20	550	450	600	475
21	550	450	550	600
22	600	450	425	600
<b>Total</b>	<b>11320</b>	<b>10880</b>	<b>10525</b>	<b>10350</b>

Tabel 2. Pemakaian kalsium karbid rata-rata pertapping

Interval Kelas	Xi	Fi	Xi.Fi	X
400 – 426,99	413.49	12	4961.9	
427 – 453,99	440.49	26	11453	
454 – 480,99	467.49	5	2337.5	
481 – 507,99	494.49	20	9889.8	<b>489.6</b>
508 – 534,99	521.49	1	521.49	
535 – 561,99	548.49	10	5484.9	
562 – 588,99	575.49	0	0	
589 – 615,99	602.49	14	8434.9	
		<b>88</b>	<b>43083</b>	

Tabel 3. Data kebutuhan kalsium karbid perton *crude*

No	(%) Sulfur	Minimum Carbide (kg)	Maximum Carbide (kg)
1	0,100	6,349	7,420
2	0,110	6,629	7,807
3	0,120	6,909	8,184
4	0,130	7,189	8,581
5	0,140	7,470	8,968
6	0,150	7,750	9,358
7	0,160	8,030	9,746
8	0,170	8,310	10,133
9	0,180	8,590	10,520
10	0,190	8,870	10,907
11	0,200	9,150	11,294
12	0,210	9,430	11,681
13	0,220	9,710	12,068
14	0,230	9,990	12,455
15	0,240	10,270	12,842
16	0,250	10,550	13,229
17	0,260	10,830	13,616
18	0,270	11,110	14,003
19	0,280	11,390	14,390
20	0,290	11,670	14,777
21	0,300	11,950	15,164
22	0,310	12,230	15,551
23	0,320	12,510	15,938
24	0,330	12,790	16,325
25	0,340	13,070	16,712
26	0,350	13,350	17,099

Sumber : PT Aneka Tambang Tbk,  
UBPN Operasi Pomalaa.

Tabel 4. Standar produk ferronikel PT Antam Tbk, Operasi Pomalaa

No	JENIS PRODUK	KOMPOSISI KIMIA (%)									
		Ni	Co	C	Si	P	S	Cr	Mn	Cu	MC
1	LOW CARBON SHOT	Min. 20	Max 1/30 Ni	Max 0,03	Max 0,03	Max 0,02	Max 0,03	Max 0,2	Max 0,1	Max 0,08	Max 0,03
2	HIGH CARBON SHOT	17-20	Max 1/30 Ni	Max 2,5	Max 2,5	Max 0,03	Max 0,03	Max 2,5	Max 0,20	Max 0,10	Max 0,03
3	HIGH CARBON INGOT	Min. 17	Max 1/30 Ni	Max 3,00	Max 4,00	Max 0,03	Max 0,03	Max 2,5	Max 0,20	Max 0,10	Max 0,03

**Tabel 5. Standar kadar dalam produk ferronikel PT. Antam Tbk**

Sampel/1 kali tapping	%C	%Ni	%Si	Meltin g Point (°C)	Sebelum De-S (°C)	Sesudah De-S (°C)	Suhu yang hilang (°C)	Waktu Operasi (menit)	Suhu yang turun/menit(°C / menit)
1	1.28	22.81	1.03	1350	1550	1476	74	35	2.1
2	1.57	22.75	1.16	1328	1528	1459	69	35	2
3	1.55	22.7	1.07	1331	1531	1461	70	40	1.8
4	1.62	22.53	1.33	1323	1523	1458	65	35	1.9
5	1.74	21.71	1.54	1315	1515	1445	70	35	2
6	1.42	21.92	1.05	1343	1543	1472	71	40	1.8
7	1.63	21.35	1	1330	1530	1468	62	40	1.6
8	1.67	21.8	1.54	1319	1519	1440	79	35	2.3
9	1.81	22.11	2.4	1298	1498	1422	76	35	2.2
10	1.58	22.76	1.22	1326	1526	1451	75	35	2.2
11	1.5	22.48	1.1	1335	1535	1468	67	35	1.9
12	1.58	22.88	0.92	1330	1530	1462	68	35	1.9
13	1.68	22.55	1.27	1319	1519	1449	70	40	1.8
14	1.5	22.86	1.56	1328	1528	1448	80	40	2
15	1.51	23.45	0.93	1333	1533	1463	70	35	2
16	1.63	23.12	1.13	1323	1523	1450	73	35	2.1
17	1.64	22.46	1.11	1324	1524	1442	82	40	2.1
18	1.68	22.41	1.47	1317	1517	1452	65	35	1.9
19	1.6	22.13	2	1318	1518	1455	63	35	1.8
20	1.29	22.27	1.4	1347	1547	1464	83	40	2.1
21	1.4	22.18	1.42	1339	1539	1470	69	35	2
22	1.83	22.33	1.16	1310	1510	1439	71	35	2
23	1.76	22.4	0.74	1320	1520	1447	73	40	1.8
24	1.21	22.6	1.22	1354	1554	1484	70	40	1.8
25	1.49	22.69	0.72	1339	1539	1472	67	35	1.9
26	1.5	22.56	0.96	1336	1536	1450	86	40	2.2
27	1.82	22.48	0.97	1313	1513	1435	78	35	2.2
28	1.75	22.7	0.69	1321	1521	1442	79	40	2
29	1.66	22.16	0.9	1326	1526	1448	78	40	2
30	1.67	21.94	1.11	1324	1524	1442	82	40	2
Total	47.57	673.09	36.12	39819	45819	43634	2185	1115	59.4
rata-rata	1.58	22.43	1.204	1327	1527.3	1454.4	72.83	37.16	1.98

Sumber : PT. Aneka Tambang Tbk, UBPN Operasi Pomalaa.

**PEMBAHASAN**

Proses De-Sulfurisasi, Berat bersih crude FeNi. Untuk menentukan berat bersih crude FeNi, dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Berat slag = 0,015 s.d 0,02 x (47080 kg -18500 kg)

= 550 kg

Berat total = 47080 kg

Berat ladle = 18500 kg

Berat slag = 550 kg

Maka, Berat bersih crude = 28030 kg

Kebutuhan kalsium karbide per ton crude, untuk proses de-sulfurisasi dipengaruhi oleh jumlah sulfur yang ada dalam crude sehingga jumlah kalsium karbide yang digunakan berupa pemakaian minimum

dam pemakaian maximum dalam 1 ton crude. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

**Pemakaian Minimum**

Jika kadar sulfur dalam crude = 0,436 %

Berat crude= 28030 kg = 28 ton

maka carbide per ton crude = 28,029 x 0,436+ 3,5457 = 15,77 kg./ton

Maka pemakaian carbide minimum = 28 ton x 15.77 kg = 441 kg. /ladle.

**Pemakaian Maximum**

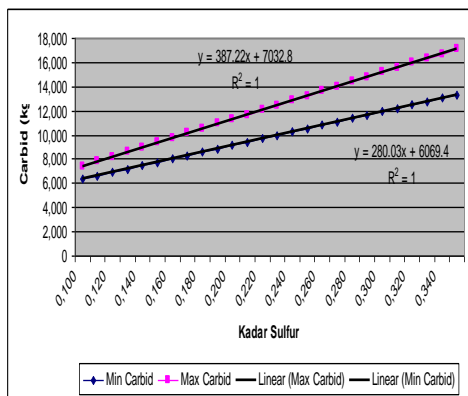
Jika kadar sulfur dalam crude = 0,436 %

Berat crude = 28030 kg = 28 ton

maka carbide per ton crude = 38,750 x 0,436+ 3,5457 = 20,44 kg./ton

Maka pemakaian carbide maximum = 28 ton x 20,44 kg = 572 kg. /ladle.

Dari perhitungan diatas diperoleh data seperti pada Gambar 1.



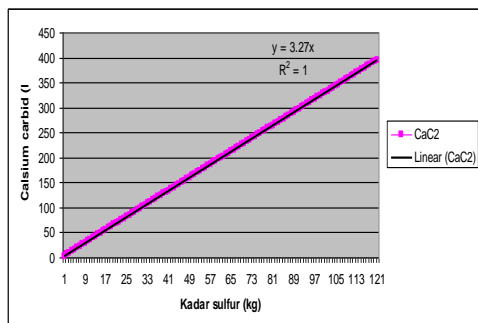
Sumber : Hasil pengolahan data 2007

Gambar 1. Data kebutuhan CaC<sub>2</sub> per ton crude

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar sulfur yang ada dalam ladle maka semakin banyak pula calcium cabid yang digunakan untuk mengikatnya terbukti bahwa R = 1. Kebutuhan kalsium karbid untuk mengikat 1 kg sulfur. Dari data – data proses de-sulfurisasi yang telah dianalisa berdasarkan pemakaian kalsium karbid terhadap kadar sulfur dalam leadle maka diperoleh data seperti pada pada lampiran 1 :

Contoh perhitungan kebutuhan CaC<sub>2</sub> untuk mengikat 1 kg sulfur.  
Berat Crude = 28030 kg  
CaC<sub>2</sub> = 400 kg  
Sulfur = 0,436%

Untuk Mengetahui jumlah CaC<sub>2</sub> yang mengikat 1 kg sulfur adalah :  
Kadar Sulfur ( kg ) = % Sulfur X Berat Crude = 0,436/100 X 28030 = 122 kg

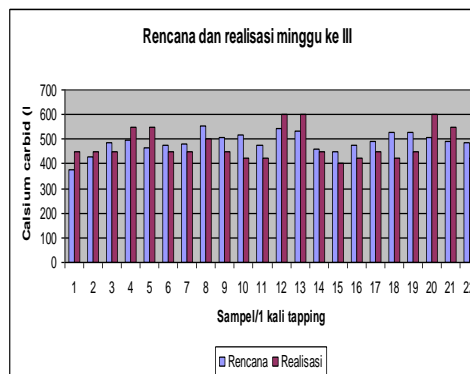
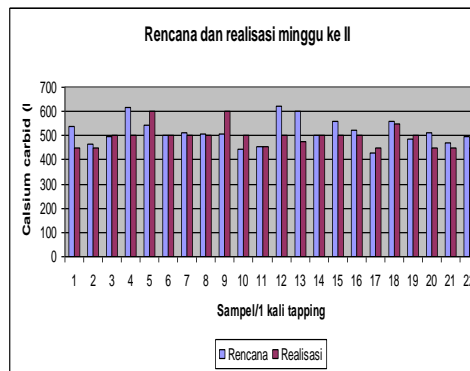
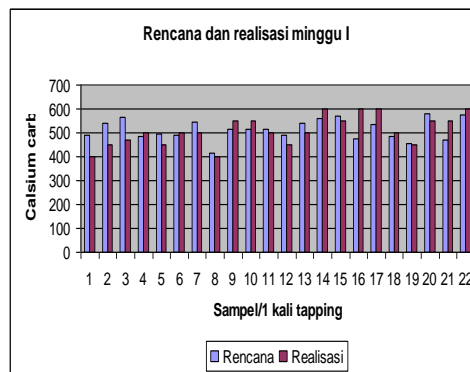


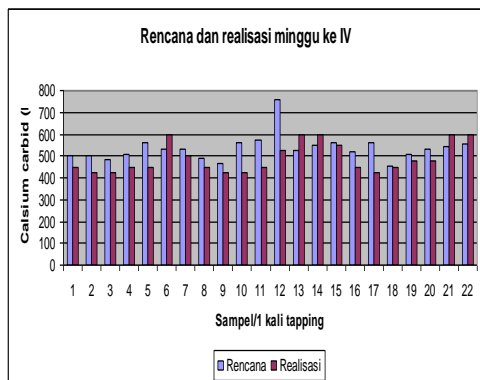
Sumber : Hasil pengolahan data

Gambar 2. Data kebutuhan CaC<sub>2</sub> terhadap 1 kg sulfur

Perencanaan realisasi pemakaian kalsium karbid. Kebutuhan Kalsium karbid untuk proses de-sulfurisasi tidak luput dari perencanaan penggunaan sehingga perhitungan pemakaian CaC<sub>2</sub> adalah sebagai berikut Contoh :

Perencanaan pemakaian kalsium karbid :  
Berat crude = 29008 = 29 ton  
Kadar sulfur = 0,469 % maka :  
Kalsium karbid = 28,029 – 38,750 x 0,469 + 3,5457 x 29 = 536 kg  
Realisasi pemakaian kalsium karbid :  
Kalsium karbid = 400 kg  
Kadar sulfur akhir = 0,03 %





Sumber : Hasil pengolahan data 2007

Gambar 3. Perencanaan dan realisasi pemakaian kalsium karbid

### Koreksi pemakaian kalsium karbid.

Pemakaian kalsium karbid untuk mendapatkan hasil yang optimal dan hasilnya sesuai dengan standar produk adalah sebagai berikut :

Berat sulfur yang standar =  $0,03/100 \times$   
Berat crud  $0,03/100 \times 29008 \text{ kg} = 8 \text{ kg}$

$\text{CaC}_2 = \text{Sulfur dalam ladle} - \text{sulfur}$   
standar  $\times \text{CaC}_2 \text{ per } 1 \text{ kg sulfur}$

$= (122 \text{ kg} - 8 \text{ kg}) \times 3,27 \text{ kg} = 373 \text{ kg}$

Maka perencanaan penggunaan kalsium karbid adalah 536 kg dan koreksi pemakaian kalsium karbid adalah 373 kg.

Temperatur Crude Untuk Proses De-sulfurisasi. Pada proses de-sulfurisasi, temperatur crude menjadi masalah yang paling utama. Tetapi hal tersebut bisa diatasi dengan perhitungan titik beku dimana pada suhu tertentu crude metal akan membeku. Temperatur sebelum de-sulfurisasi. = Melting Point +  $200^\circ\text{C}$  (minimal). Penurunan temperatur selama tapping crude FeNi =  $70^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$ . Untuk menghitung melting point dengan cara sebagai berikut :

Melting Point =  $1536 - \{(\% \text{ C} \times 73) + (\% \text{ Si} \times 12) + (\% \text{ Ni} \times 3,5)\}$

Contoh pada lampiran 2.

Kadar carbon dalam crude (% C) = 1,28

Kadar silika dalam crude (% Si) = 1,03

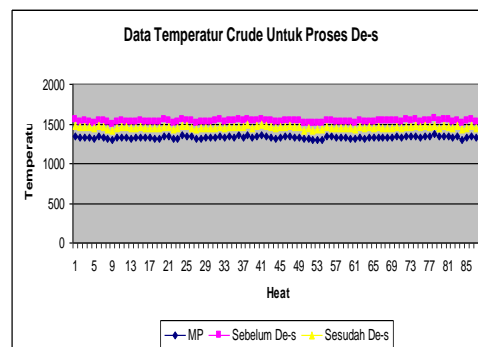
Kadar nikel dalam crude (% Ni) = 22,82,

maka Melting point =  $1536 - ((1,28 \times 73) + (1,03 \times 12) + (22,82 \times 3,5)) = 1536 - (93,44 + 12,36 + 79,87) = 1536 - 185,67 = 1350^\circ\text{C}$

Jadi melting point untuk proses De-Sulfurisasi adalah  $1350^\circ$ . Dan

temperature sebelum de-sulfurisasi adalah  $1350^\circ + 100^\circ = 1450^\circ$ .

Apabila temperatur crude memenuhi ketentuan diatas dapat dilakukan operasi proses de-sulphurisasi tetapi apabila tidak memenuhi maka dilakukan blowing  $\text{O}_2$  di Shaking Converter untuk menaikkan temperatur sampai memenuhi persyaratan untuk proses de-sulfurisasi ( $1450^\circ\text{C} - 1480^\circ\text{C}$ ). Untuk mengetahui data temperature dalam crude dapat dilihat pada gambar 5.4.



Sumber : Hasil pengolahan data 2007

Gambar 4. Data temperatur crude pada proses de-sulfurisasi

Kendala-Kendala Teknis Dan Non Teknis. Kendala Teknis diantaranya Temperatur/ suhu crude metal dalam ladle turun, keadaan ladle yang kotor sehingga berpengaruh terhadap operasional De-sulfurisasi, kadar silika yang rendah sehingga temperature dalam ladle turun secara drastis, bentuk stirrer yang sudah mengecil sehingga berpengaruh terhadap putaran yang dilakukan dalam ladle, pemberian flour spar yang terlalu cepat sehingga kadar sulfur susah diangkat kepermukaan, dan Ladle yang bocor/rusak.

Kendala Non Teknis. Lokasi tempat kerja yang kotor, sehingga dapat mengganggu operasional De-Sulfurisasi dan Tidak effesiennya penggunaan alat keselamatan kerja

Faktor yang mempengaruhi pemakaian kalsium karbid. Kondisi ladle yang kotor dapat mempengaruhi pemakaian kalsium karbid, karena kotoran yang ada dalam ladle adalah slag yang melengket pada proses sebelumnya dan sudah pasti



mengandung kadar sulfur. Sehingga memerlukan kalsium karbid untuk mengikatnya kembali. Temperatur, Temperatur dalam ladle harus tetap terpelihara oleh karena itu pemakaian kalsium karbid dapat bertambah untuk mempersingkat waktu operasional. Kondisi stirer, Kondisi stirer yang bentuknya kecil juga sangat berpengaruh terhadap pemakaian kalsium karbid karena daya putar dan jangkauannya dalam ladle menjadi tidak optimal. Sehingga membutuhkan tambahan kalsium karbid, kecepatan putar, dan waktu operasional untuk mengikat sulfur secara keseluruhan dengan waktu operasional yang efektif.

Mekanisme memasukan bahan kedalam ladle. Cara memasukan bahan kedalam ladle harus bertahap karena bahan – bahan tersebut jika dimasukan secara bersamaan akan mengumpal dan mengakibatkan kegagalan proses de-sulfurisasi. Agar proses de-sulfurisasi tersebut tidak gagal maka diperlukan penambahan kalsium karbid sampai crude metal dalam ladle stabil. Keahlian operator, Keahlian operator dalam menangani masalah – masalah sangat berpengaruh terhadap pemakaian bahan maupun proses de-sulfurisasi secara keseluruhan.

Proses De-Sulfurisasi adalah proses awal dari suatu proses *refining* (pemurnian) nikel pada PT Aneka Tambang Tbk. ada beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan suatu proses De-Sulfurisasi, antara lain: Kelayakan Peralatan Dan Bahan, Kelayakan peralatan dan bahan harus diperhatikan dimana alat dan bahan harus dalam keadaan baik dan layak untuk dilakukan operasi. Bila ada kerusakan dan bahan yang tidak sesuai dengan standar dan parameter yang benar, maka akan berpengaruh pada keselamatan dan kehilangan waktu serta hasil produksi yang tidak optimal. Selain itu juga Kualitas Operator, kualitas operator dalam hal ini semua pekerja pada operasi pemurnian harus selalu diperhatikan, pengetahuan prosedur pekerjaan setiap pekerja harus ditingkatkan dan diuji agar tidak terjadi kesalahan manusia dalam operasi yang

mungkin dapat mengakibatkan kecelakaan kerja.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat kami ambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :Semakin banyak kadar sulfur dalam *ladle* maka, semakin banyak pula kalsium karbid yang akan digunakan untuk mengikatnya. Selain itu untuk mengikat 1 kilogram kadar sulfur dalam ladle diperlukan 3,69 kilogram kalsium karbid. Perencanaan pemakaian Kalsium karbid tidak relevan dengan realisasi yang ada hal itu disebabkan karena kondisi alat maupun keahlian operato pada saat proses berlangsung Contohnya Kalsium karbid bertambah karena kondisi *ladle* yang kotor atau bentuk *stirer* yang sudah kecil.

Untuk menentukan temperatur proses De-Sulfurisasi, harus berada 200 °C diatas *melting point*. Karena penurunan suhu selama proses rata-rata mencapai 2 °C permenitnya. Jika suhu dalam *ladle* berada dibawah *melting poin* maka, *crude* dalam *ladle* akan mengalami pembekuan.

Untuk mengetahui pemakaian kalsium karbid yang efektif dapat diketahui dahulu kadar produk standar dan dibagi dengan berat *crude metal* sehingga diketahui jumlah sulfur yang akan diikat oleh kalsium karbid.

Faktor yang mempengaruhi pemakaian kalsium karbid adalah Kondisi ladle, Temperatur, Kondisi stirer, Mekanisme memasukan bahan kedalam ladle dan Keahlian operator

Saran-saran yang dapat kami sampaikan dalam laporan penelitian ini antara lain Untuk pemakaian kalsium karbid efektif dapat dilaksanakan dengan menghitung berapa kilogram kalsium karbid yang mengikat 1 kg kadar sulfur sehingga pemakaian dalam 1 kali proses dapat seefektif mungkin.

Diharapkan pemakaian kalsium karbid sesuai dengan kebutuhan sulfur yang ada dalam *crude*. Untuk perhitungan perencanaan hendaknya seimbang dengan realisasi pemakaian agar mendapatkan produk yang sesuai dengan permintaan pasar.

Jika *stirer* kecil agar segera diganti karena tidak maksimalnya perputaran didalam ladle dapat menambah pemakaian karbid hingga 10-20%.

Untuk proses *lanching* kiranya dapat dilakukan didalam *shackhing converter* agar tidak berdampak pada lingkungan karena gas yang keluar berupa gas beracun seperti CO, CO<sub>2</sub> Untuk suhu dalam leadle yang menurut parameter adalah *melting point* + 50<sup>0</sup> C sepertinya tidak dapat lagi dilakukan karena suhu dalam *crude metal* terlalu cepat drop sebelum proses De-sulfurisasi selesai. Jika hal itu terjadi maka crude dalam ladle akan mengalami pembekuan. Dengan demikian direkomendasikan agar menambah suhu menjadi *melting point* ± 200<sup>0</sup> C.

Pada pembuatan laporan proses De-sulfurisasi kiranya ditambahkan juga unsur-unsur lain yang ada dalam leadle agar dapat menghitung melting pointnya. Agar pemakaian safety lebih diutamakan untuk keamanan pekerja pada saat melakukan proses De-sulfurisasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

David R. Gaskell. 1940. Introduction To Metallurgical Thermodynamics. International Student Edition.  
Denny A. Jones, 1992, Principles And Prevention Of Corrosion, Department Of Chemical And

Metallurgical Engineering University Of Nevada, Reno. Macmillan Publishing Company. New York.

- M. G. Fontana And R. W. Staehte. 1973. Advances In Corrosion Science And Technology. Corrosion Center Dep. Of Metallurgical Engineering The Ohio State University. Columbus. Ohio. Plenum Press New York – London.
- Projosomarto, Partanto, 1998. "Pengolahan Bahan Galian Dan Metalurgi", Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sidney H. Avner, 1974, Introduction To Physical Metallurgy. New York City Community College. City University Of New York. Mcgraw Hill Book Company. New York.
- Soetjipto, Rozik Boedioro, 1988. "Metallurgi Ekstraksi", Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- V. J. Colangelo, F. A. Heiser, 1989, Analysis Of Metallurgical Failures. John Wiley And Sons New York .

## PENGARUH SISTEM KERJA TERHADAP STRESS KERJA DENGAN PENILAIAN *MACROERGONOMIC ORGANIZATIONAL* *QUESTIONNAIRE SURVEY*

Risma Adelina Simanjuntak<sup>1</sup>, Rusdianto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 29 April 2012, revisi masuk: 4 Juni 2012, diterima: 6 Juli 2012

### ABSTRACT

*The company survive at this point is to create a good work system, from workers point of view, the demands of work and employment components of the existing system may causing many problems to be faced and it can lead to boredom at work. Each componenet to the work system towards level of stress faced by employees. The tools that used to determine the effect of the work system components towards work stress macroergonomics organizational work stress is macroergonomics organizational questionnaire survey and path analysis. It can be seen that simultaneous effect of organizational condition employment conditions, physical environments, social enviroment, equipment and technology, and towards work stress experienced by employees amounted to 0.820 and this proves that the influence af all work system components has been investigated is strongly affected the stress of work. While the partial effects of work system components to the stress of work are : organizational conditions amounted to 0,153, the working conditions are 0,166, the physical environment give 0,176 contribution, the social environment 0,066, equipment and thecnology amounted to 0,148, and the individual characteristic are to 0,111. So can conclude thet overally, the system components are significantly the work stress.*

**Keywords :** *working system, work stress, path analysis, MOQS*

### INTISARI

Perusahaan agar tetap dapat bertahan pada saat ini yaitu dengan membuat sistem kerja yang baik. Sudut pandang pekerja, tuntutan pekerjaan dan komponen dari sistem kerja yang ada memungkinkan banyaknya masalah yang akan dihadapi. Akibatnya dapat menyebabkan timbulnya rasa bosan dalam bekerjadan tingginya tingkat absensi karyawan dan kurangnya motivasi dalam bekerja. Pengaruh dari komponen sistem kerja terhadap stress kerja baik secara parsial maupun secara simultan dan penilaian terhadap pengaruh setiap komponen sistem kerja terhadap tingkat stress yang dialami karyawan. Alat yang digunakan untuk mengetahui pengaruh komponen sistem kerja terhadap stress kerja yaitu *macroergonomic organizational questionnaire survey* dan diagram jalur. Pengaruh secara simultan dari kondisi organisasi, kondisi pekerjaan, lingkungan fisik, lingkungan sosial, peralatan & teknologi, dan karakteristik individual terhadap stress kerja yang dialami karyawan adalah sebesar 0.820 membuktikan bahwa pengaruh dari semua komponen sistem kerja kuat terhadap stress kerja. Pengaruh secara parsial dari komponen sistem kerja terhadap stress kerja sebesar: kondisi organisasi sebesar 0.153, kondisi pekerjaan sebesar 0.166, lingkungan fisik sebesar 0.176, lingkungan sosial sebesar 0.066, peralatan & teknologi sebesar 0.148, dan karakteristik individual sebesar 0.111. Disimpulkan secara keseluruhan komponen sistem kerja berpengaruh secara signifikan terhadap stress kerja.

**Kata kunci:** sistem kerja, stress kerja, analisis jalur, MOQS

### PENDAHULUAN

Usaha dibidang industri saat ini semakin maju dan berkembang pesat,

sehingga perusahaan dituntut untuk dapat menghasilkan produk yang memiliki kualitas baik agar mampu bersaing

---

<sup>1</sup>[risma\\_stak@yahoo.com](mailto:risma_stak@yahoo.com)

dalam pasar global. Langkah-langkah yang dapat diambil perusahaan agar tetap dapat bertahan pada saat ini yaitu dengan membuat sistem kerja yang baik. Sistem kerja memiliki peranan yang sangat penting dalam kemajuan perusahaan dan dalam upaya peningkatan produktivitas perusahaan. Perlu dilakukan pendekatan-pendekatan dalam rangka mencapai tujuan tersebut, salah satu pendekatan yang dapat digunakan yaitu pendekatan ergonomi. Pendekatan ergonomi merupakan suatu pendekatan yang bertujuan untuk menyesuaikan antara pekerja dengan lingkungan kerja. Dalam ergonomi juga biasa dikenal istilah "*Fitting the task to the man*" (sesuaikan pekerjaan dengan pekerjanya).

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju dewasa ini, menyebabkan komponen dari sistem kerja semakin rumit. Komponen dari sistem kerja yang dimaksud yaitu mulai dari aspek organisasi, pekerjaan, lingkungan kerja, mesin & teknologi, dan karakteristik pekerjanya. Sehingga pendekatan ergonomi saja belum cukup bila digunakan sebagai alat evaluasi bagi perusahaan. Menurut para ahli, pendekatan ergonomi makro merupakan pendekatan yang tepat digunakan dalam mengevaluasi sistem kerja tersebut. Ergonomi makro merupakan suatu pendekatan yang memeriksa suatu pekerjaan & sistem kerja secara lebih luas.

PT. Industri Sandang Nusantara Unit Cilacap merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang pemintalan benang dengan tujuan pemasaran meliputi Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Negara-negara di kawasan Asia seperti Malaysia, Singapura, Korea, Jepang, dll. Banyaknya permintaan dari konsumen saat ini, menuntut perusahaan untuk menghasilkan produk yang baik demi kepuasan konsumen. Dari sudut pandang pekerja, tuntutan pekerjaan dan komponen dari sistem kerja yang ada memungkinkan banyaknya masalah yang akan dihadapi dan dapat menyebabkan timbulnya rasa bosan dalam bekerja, tingginya tingkat absensi karyawan dan kurangnya motivasi dalam bekerja. Dilihat dari sudut pandang ergonomi menurut Tarwaka rasa bosan terhadap peker-

jaan, tingginya tingkat absensi karyawan ( $\pm 10\%$  perbulan) dan kurangnya motivasi dalam bekerja tersebut dapat dikatakan merupakan indikasi bahwa karyawan mengalami stress saat bekerja, sehingga perlu dilakukan evaluasi mengenai pengaruh dari komponen sistem kerja terhadap stress kerja yang dihadapi karyawan. Komponen dari sistem kerja disini meliputi aspek kondisi organisasi perusahaan, pekerjaan, lingkungan fisik dan sosial, alat dan teknologi yang digunakan, serta karakteristik individu pekerja. Hasil dari penilaian ini kemudian digunakan untuk memberikan masukan pihak perusahaan untuk perbaikan atau tambahan sistem kerja yang mereka gunakan selama ini.

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, maka perumusan masalahnya adalah bagaimana pengaruh komponen dari sistem kerja terhadap stress kerja karyawan dengan menggunakan metode penilaian *Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey*.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah: mengetahui pengaruh komponen dari sistem kerja terhadap stress kerja baik secara parsial maupun secara simultan dan penilaian terhadap pengaruh komponen dari sistem kerja terhadap tingkat stress kerja yang dialami karyawan pada sistem kerja Manfaat yang dapat diambil adalah: memberikan masukan pihak perusahaan untuk perbaikan sistem kerja yang perusahaan gunakan selama ini.

Hendrick W, (2001) dalam Elfrida adalah orang yang pertama kali memperkenalkan cabang ilmu ergonomi makro pada tahun 1980 an. Kemunculan cabang ilmu ini disebabkan pesatnya perkembangan teknologi melebihi perkembangan organisasi. Makro ergonomi merupakan hasil dari pengembangan mikro ergonomi yang didalamnya menambahkan suatu konsep baru mengenai manajemen yang berkelanjutan dan lebih mementingkan aspek sosio-teknologi. Konsep dari ergonomi makro adalah *top-down sociotechnical* dengan sistem pendekatan terhadap sistem kerja dan aplikasi dari desain sistem kerja keseluruhan yang meliputi manusia dengan peker-

jaanya, manusia dengan alat/mesin dan manusia 2001 *Macroergonomi organizational* dengan penggunaan *software*.

Menurut Carayon *Questionnaire Survey* digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang berbagai variabel ergonomi atau variabel sistem kerja termasuk tugas, kondisi organisasi, isu-isu lingkungan, peralatan, teknologi dan karakteristik individu. Selain itu,, *Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey* juga digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai berbagai hasil/output seperti kualitas kehidupan kerja (misalnya kepuasan kerja), stress fisik dan psikologis, kesehatan fisik dan mental, kinerja dan sikap (misalnya niat untuk meninggalkan pekerjaan itu).

*Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey* dapat menjadi alat yang berguna pada beberapa tahap seperti pada tahap diagnosa, penilaian organisasi, mengevaluasi dampak dari perubahan karakteristik kunci, serta memantau opini pekerja selama implementasi hal baru. Pengembangan kuisisioner adalah hal penting yang harus dilakukan agar konsep-konsep dapat didefinisikan dengan jelas, dan untuk mencari pernyataan yang dapat digunakan untuk mengukur konsep-konsep yang akan digunakan. Pengembangan kuisisioner harus diberikan perhatian secara khusus. Metode yang dipakai dalam mengembangkan, menerapkan dan penyebaran kuisisioner sangat penting bagi kualitas dan penggunaan data yang akan dikumpulkan. Sebelum mengembangkan kuisisioner, penting untuk menentukan tujuan apa yang ingin dicapai dalam penggunaan kuisisioner tersebut.

#### **METODE**

Carayon (2001) telah menetapkan lima tahap untuk mengembangkan survei kuisisioner yaitu : a) *Konseptualisasi* :Menentukan konsep apa yang akan diukur dengan *Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey* antara lain unsur-unsur sistem kerja yang akan dievaluasi dan unsur-unsur keluaran yang akan

dievaluasi, b) *Operasionalisasi* : Menentukan tujuan yang ingin dicapai dari survey dan bagaimana kesesuaian antara konsep yang digunakan dan tujuan yang ingin dicapai, c) *Sumber kuisisioner* : Menentukan jenis survey kuisisioner yang dipakai sebagai acuan untuk penelitian, d) *Pembuatan kuisisioner* : Menelaah bentuk kuisisioner, menentukan skala rating pengukuran serta item pertanyaannya, cara pengisian kuisisioner dan sebagainya, e) *Pengujian awal kuisisioner* siapa responden yang akan berpartisipasi dalam pengujian awal ini, dan menentukan tujuan dari pengujian awal ( memeriksa kejelasan item pertanyaan, format dan durasi pengisian kuisisioner).

Dalam penerapan *Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey* ada beberapa tahapan, yaitu a) *Tahapan pengumpulan informasi* : mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk pembuatan kuisisioner tentang sistem kerja dan informasi mengenai siapa responden yang akan terlibat, b) *Tahapan penetapan tujuan* : menetapkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian serta manfaat yang akan didapatkan bagi perusahaan, c) *Tahap pelaksanaan* : menetapkan kapan survey akan dilakukan, prosedur yang akan digunakan dan metode pengumpulan data survey yang digunakan, d) *Tahap analisis dan interpretasi* : dilakukan pengolahan data dengan software statistik untuk mengolah, menganalisa dan pengambilan kesimpulan data hasil survey, kemudian menghubungkan dengan tujuan yang ingin dicapai, e) *Tahap penyampaian hasil* : pembuatan laporan hasil dari penelitian yang dilakukan, f) *Tahap follow-up action* merupakan tahap akhir dari sebuah penelitian untuk membuat rencana kegiatan / aksi berikutnya, misalnya pembuatan usulan perbaikan sistem kerja atau implementasi dari hasil penelitian yang dilakukan.

Menurut Ali Muhidin S (2007), Langkah yang penting dalam rangka kegiatan pengumpulan data adalah melakukan pengujian terhadap instrumen (alat ukur) yang akan digunakan. Kegiatan pengujian instrumen penelitian

meliputi dua hal, yaitu pengujian validitas dan reabilitas. Pentingnya pengujian validitas dan reabilitas ini, berkaitan dengan proses pengukuran yang cenderung keliru. Apalagi dalam penelitian ilmu-ilmu sosial, variabel-variabel yang diteliti sifatnya lebih abstrak sehingga lebih sukar untuk dilihat dan divisualisasikan tidak seperti ilmu-ilmu eksakta. Uji reabilitas dan validitas diperlukan sebagai upaya untuk memaksimalkan kualitas alat ukur, agar kecenderungan keliru tadi dapat diminimalkan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa reabilitas dan validitas adalah tempat kedudukan untuk menilai kualitas semua alat dan prosedur pengukuran.

Analisis jalur digunakan apabila secara teori yakin berhadapan dengan masalah yang berhubungan sebab akibat. Tujuannya adalah menerangkan akibat langsung dan tidak langsung serangkaian variabel, sebagai variabel penyebab terhadap variabel lainnya yang merupakan variabel akibat. Beberapa istilah dan definisi dalam analisis jalur: (1) dalam analisis jalur hanya menggunakan sebuah lambang variabel, yaitu X. Untuk membedakan X yang satu dengan X yang lainnya, digunakan subscript (indeks). Contoh : X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>...X<sub>k</sub>. (2) Ada dua jenis variabel yang digunakan, yaitu variabel yang menjadi pengaruh X (exogenous variable) dan variabel yang dipengaruhi Y (endogenous variable). (3) Lambang hubungan langsung dari exogenous ke endogenous adalah panah bermata satu, yang bersifat recursive atau arah hubungan yang tidak berbalik/satu arah. (4) Diagram jalur merupakan diagram atau gambar yang mensyaratkan hubungan terstruktur antar variabel.

Ada beberapa pendapat tentang definisi stress dari beberapa aspek keilmuan. Levi dalam Tarwaka (1991) mendefinisikan stress sebagai berikut : Dalam bahasa teknik, stress diartikan sebagai kekuatan dari bagian-bagian tubuh, Dalam bahasa biologi dan kedokteran, stress dapat diartikan sebagai proses tubuh untuk beradaptasi terhadap pengaruh luar dan perubahan lingkungan terhadap tubuh, Secara

umum, stress diartikan sebagai tekanan psikologis yang dapat menimbulkan penyakit baik fisik maupun mental

Manuaba (1998), mendefinisikan bahwa stress adalah segala rangsangan atau aksi tubuh manusia, baik berasal dari tubuh manusia sendiri yang menimbulkan bermacam-macam dampak yang merugikan mulai dari menurunnya kesehatan sampai kepada dideritanya suatu penyakit yang semuanya menjurus kepada menurunnya efisiensi dan produktivitas kerja yang bersangkutan.

## PEMBAHASAN

Jumlah koresponden sebanyak 70 orang dan dari hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* SPSS 15, dapat disimpulkan bahwa semua item dalam kuisisioner penelitian ini telah valid dan reliabel sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini.

Hubungan antara kondisi komponen sistem kerja di perusahaan terhadap stress kerja yang dialami karyawan dapat digambarkan dalam diagram jalur Gambar 1. Dari gambar diagram jalur dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Ko-relasi Parsial; merupakan korelasi yang menunjukkan tingkat hubungan antara dua buah variabel, yaitu antara sesama variabel exogenous maupun antara satu variabel exogenous dengan satu variabel endogenous.

Nilai koefisien korelasi ( $r_{ij}$ ) yang tertera pada tabel korelasi hasil pengolahan data terlihat dalam diagram jalur diatas merupakan nilai suatu hubungan korelasional. Sedangkan batasan dari nilai sebuah koefisien korelasi adalah sebagai berikut:

Nilai 0.00-0.20: korelas sangat lemah

Nilai 0.2-0.40: korelasinya lemah

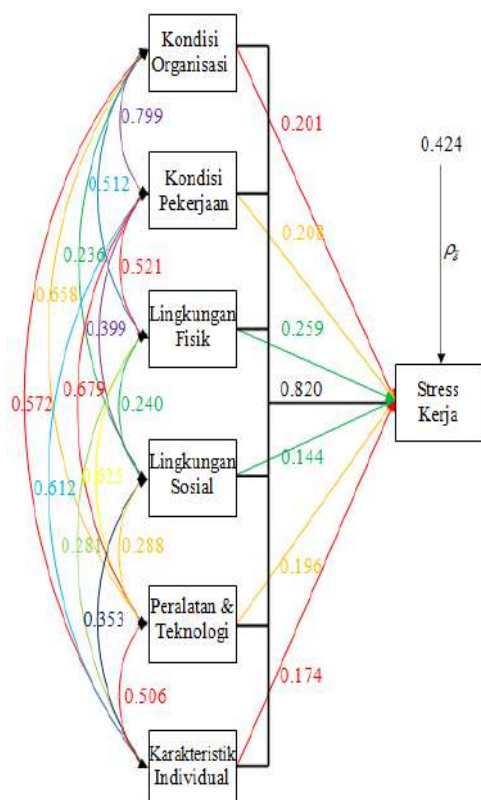
Nilai 0.41- 0.70: korelasinya kuat

Nilai 0.91-0.99 : korelasi kuat sekali

Nilai 1.00 : korelasinya sempurna

Hubungan korelasional yang dapat dijabarkan dalam penelitian ini yaitu seperti yang tersajikan dalam Tabel 1 Korelasi Antar Variable. Kontribusi Simultan; dari hasil output data koefisien korelasi variabel kondisi organisasi (X<sub>1</sub>), kondisi pekerjaan (X<sub>2</sub>), lingkungan fisik (X<sub>3</sub>), lingkungan sosial (X<sub>4</sub>), peralatan & teknologi (X<sub>5</sub>),

karakteristik individual (X6) terhadap variabel stress kerja (Y) secara simultan (R) sebesar 0.905 dan hubungan yang terjadi termasuk kuat positif. Adapun keenam variabel eksogenus mampu menjelaskan hubungan yang terjadi dengan stress kerja atau disebut koefisien determinasi (D) ditunjukkan oleh R Square sebesar 0.820 atau 82.00%. Sedangkan sisanya 18.00% dijelaskan oleh variabel eksogenus lainnya.



Gambar 1 Diagram Jalur Keseluruhan

Untuk menentukan hubungan diatas signifikan atau tidak signifikan dengan melihat besarnya nilai hitung  $F = 47.771$  dan nilai signifikansi 0.000 atau 0%. Nilai tabel  $F = 3.130$  dan nilai alpha 5%. Jika dibandingkan antara nilai hitung  $F = 47.771 >$  nilai tabel  $F = 3.130$  dan nilai signifikansi 0% < dari alpha 5% berarti hubungan variabel kondisi organisasi (X1), kondisi pekerjaan (X2), lingkungan fisik (X3), lingkungan sosial (X4), peralatan & teknologi (X5), karakteristik individual (X6) terhadap

variabel stress kerja (Y) adalah signifikan.

Pengaruh Komponen Sistem Kerja Terhadap Stress Kerja; Adapun urutan ranking pengaruh komponen sistem kerja terhadap stress kerja adalah sebagai berikut:

Pengaruh Lingkungan Fisik (X3) terhadap Stress Kerja (Y)

Nilai hitung t untuk variabel lingkungan fisik adalah sebesar 3.653. Sedangkan nilai tabel t untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel t ( $3.653 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$  alpha ( $0.001 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti lingkungan fisik berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh lingkungan fisik terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 0.176 atau 17.60%.

Pengaruh kondisi pekerjaan terhadap stress kerja dapat ditunjukkan oleh beberapa indikator, diantaranya yaitu: Variabel Area kerja yang terlihat kurang rapi dan tidak beraturan, dimana peralatan kerja tidak ditempatkan sesuai pada tempatnya dan tidak memperhatikan unsur kenyamanan dan keindahan. Tingkat kebisingan dan temperatur yang relatif cukup tinggi di area kerja. Material atau benda berbahaya di area kerja seperti debu, peralatan listrik, sisa-sisa bahan produksi yang bertebaran menimbulkan perasaan khawatir dan mengganggu kesehatan karyawan. Tidak tersedianya alat pelindung diri bagi karyawan untuk menghindari karyawan dari bahaya atau kecelakaan kerja.

Adapun masukan bagi perusahaan yang dapat diberikan untuk mengurangi stress kerja karyawan berkaitan dengan lingkungan fisik adalah: menempatkan semua peralatan dan benda-benda yang digunakan sesuai pada tempatnya dengan mempertimbangkan aspek jangkauan karyawan, aspek keindahan dan aspek keamanan karyawan. Temperatur yang tinggi dapat diantisipasi dengan alat pendingin ruangan seperti kipas angin dan pembuatan ventilasi ruangan yang cukup. Sedangkan kebisingan dari mesin produksi dapat diantisipasi dengan menggunakan alat penutup telinga

(*earplug*). Perusahaan menyediakan alat pelindung diri untuk karyawan supaya menghindari bahaya atau kecelakaan kerja. Adapun alat pelindung diri yang

dibutuhkan karyawan saat bekerja antara lain masker, sarung tangan, kaca mata, topi, dan sepatu.

Tabel 1 Korelasi Antar Variabel

No	Jenis Variabel	Sig (2 Tailed)	Perbedaan	Koefisien Korelasi	Korelasi
1	Kondisi Organisasi (X <sub>1</sub> ) dan Kondisi Pekerjaan (X <sub>2</sub> )	0.000	Signifikan	0.799	Sangat Kuat
2	Kondisi Pekerjaan (X <sub>2</sub> ) dan Lingkungan Fisik (X <sub>3</sub> )	0.000	Signifikan	0.521	Kuat
3	Lingkungan Fisik (X <sub>3</sub> ) dan Lingkungan Sosial (X <sub>4</sub> )	0.045	Signifikan	0.240	Lemah
4	Lingkungan Sosial (X <sub>4</sub> ) dan Peralatan & Teknologi (X <sub>5</sub> )	0.016	Signifikan	0.288	Lemah
5	Peralatan & Teknologi (X <sub>5</sub> ) dan Karakteristik Individual (X <sub>6</sub> )	0.000	Signifikan	0.506	Kuat
6	Kondisi Organisasi (X <sub>1</sub> ) dan Lingkungan Fisik (X <sub>3</sub> )	0.000	Signifikan	0.512	Kuat
7	Kondisi Pekerjaan (X <sub>2</sub> ) dan Lingkungan Sosial (X <sub>4</sub> )	0.001	Signifikan	0.398	Lemah
8	Lingkungan Fisik (X <sub>3</sub> ) dan Peralatan & Teknologi (X <sub>5</sub> )	0.000	Signifikan	0.625	Kuat
9	Lingkungan Sosial (X <sub>4</sub> ) dan Karakteristik Individual (X <sub>6</sub> )	0.003	Signifikan	0.354	Lemah
10	Kondisi Organisasi (X <sub>1</sub> ) dan Lingkungan Sosial (X <sub>4</sub> )	0.049	Signifikan	0.236	Lemah
11	Kondisi Pekerjaan (X <sub>2</sub> ) dan Peralatan & Teknologi (X <sub>5</sub> )	0.000	Signifikan	0.679	Kuat
12	Lingkungan Fisik (X <sub>3</sub> ) dan Karakteristik Individual (X <sub>6</sub> )	0.018	Signifikan	0.281	Lemah
13	Kondisi Organisasi (X <sub>1</sub> ) dan Peralatan & Teknologi (X <sub>5</sub> )	0.000	Signifikan	0.658	Kuat
14	Kondisi Pekerjaan (X <sub>2</sub> ) dan Karakteristik Individual (X <sub>6</sub> )	0.000	Signifikan	0.612	Kuat
15	Kondisi Organisasi (X <sub>1</sub> ) dan Karakteristik Individual (X <sub>6</sub> )	0.000	Signifikan	0.572	Kuat

Pengaruh Kondisi Pekerjaan (X<sub>2</sub>) terhadap Stress Kerja (Y)  
 Nilai hitung t untuk variabel kondisi pekerjaan adalah sebesar 2.031. Sedangkan nilai tabel t untuk n = 70 adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung t > tabel t (2.031 > 1.996) atau nilai signifikansi < alpha (0.047 < 0.05), maka H<sub>0</sub> ditolak, berarti kondisi pekerjaan berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh kondisi pekerjaan terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 0.166 atau 16.60%. Pengaruh kondisi pekerjaan terhadap stress kerja dapat ditunjukkan oleh beberapa indikator, diantaranya yaitu metode kerja

yang digunakan kurang baku sehingga menyebabkan karyawan sering kesulitan saat melakukan pekerjaannya. Pembagian kerja yang kurang merata antara departemen yang satu dengan yang lainnya. Kurangnya kegiatan ekstra bagi karyawan sehingga karyawan merasa bosan dengan kegiatan yang bersifat rutinitas dan beban kerja yang berlebihan. Adapun masukan bagi perusahaan yang dapat diberikan untuk mengurangi stress kerja karyawan berkaitan dengan kondisi pekerjaan adalah membakukan metode kerja (dibuat secara tertulis) agar karyawan dapat bekerja dengan baik. Memeriksa kembali setiap departemen agar dapat



diketahui departemen mana saja yang pembagian kerjanya berlebihan kemudian perusahaan menambahkan sejumlah karyawan pada departemen tersebut. Memberikan kegiatan ekstra bagi karyawan minimal seminggu sekali. Mengurangi tingkat beban kerja karyawan

Pengaruh Kondisi Organisasi (X1) terhadap Stress Kerja (Y)

Nilai hitung  $t$  untuk variabel kondisi organisasi adalah sebesar 2.110. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $2.110 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$   $\alpha$  ( $0.039 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti kondisi organisasi berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh kondisi organisasi terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 0.153 atau 15.30%.

Pengaruh kondisi organisasi terhadap stress kerja dapat ditunjukkan oleh beberapa indikator, diantaranya yaitu tipe kepemimpinan yang terkadang bersifat stressfull (selalu memberikan tekanan kepada karyawan). Pihak manajemen (pimpinan) kurang bisa memberikan perhatian dan pengawasan terhadap karyawan. Dalam membuat kebijakan, manajemen hanya akan mementingkan efisiensi perusahaan tanpa melihat faktor manusiawi. Tidak ada penghargaan dari pimpinan kepada karyawan dalam bentuk apapun. Sering terjadi perbedaan pendapat antar karyawan. Keputusan yang diambil pimpinan terkadang tidak sesuai dengan keinginan karyawan. Komunikasi yang terjadi antara pimpinan dan karyawan kurang baik, dan intensitasnya rendah hal ini bisa saja diakibatkan karena letak pabrik yang berjauhan dengan kantor pusat.

Adapun masukan bagi perusahaan yang dapat diberikan untuk mengurangi stress kerja karyawan berkaitan dengan kondisi organisasi adalah dalam merumuskan standar dan membuat strategi, sebaiknya perusahaan mengatur muatan kerja supaya sesuai dengan kemampuan sumber daya yang tersedia.. Bagi pihak manajemen (pimpinan) agar lebih memperhatikan dan meningkatkan pengawasan terhadap

karyawan pada saat bekerja. Memperjelas peran dan tanggung jawab setiap karyawan agar tidak terjadi tumpang tindih peran dan tanggung jawab dan agar tidak menimbulkan kecemburuan antar karyawan. Hal ini dapat dilakukan secara formal dan non formal. Memberikan kesempatan kepada karyawan untuk ikut berpartisipasi dalam hal pengambilan keputusan agar karyawan menjadi bertanggung jawab karena telah ikut dalam pengambilan keputusan. Sehingga dengan karyawan merasa bertanggung jawab akan menimbulkan jiwa positif, dan dengan jiwa yang positif akan menghindarkan karyawan dari stress..

Pengaruh Peralatan & Teknologi (X5) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel peralatan dan teknologi adalah sebesar 2.342. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $2.342 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$   $\alpha$  ( $0.022 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti peralatan & teknologi berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh peralatan & teknologi terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 0.148 atau 14.80%.

Pengaruh peralatan & teknologi terhadap stress kerja dapat ditunjukkan oleh beberapa indikator, diantaranya yaitu: Peralatan yang digunakan saat ini kondisinya kurang memadai seperti alat penyedot debu dan kompresor yang jumlahnya minim, dan alat-alat produksi lainnya. Selain itu mesin-mesin yang berusia sudah tua sehingga sering mengalami gangguan saat digunakan. Ketika terjadi gangguan pada mesin karyawan kesulitan dalam memperbaikinya

Adapun masukan bagi perusahaan yang dapat diberikan untuk mengurangi stress kerja karyawan berkaitan dengan peralatan & teknologi adalah: menambah jumlah peralatan yang ada sesuai dengan kebutuhan dan mengganti peralatan yang kondisinya sudah tidak baik. Mengganti mesin-mesin produksi yang sudah berusia tua secara berkala dengan mesin-mesin produksi keluaran terbaru. Memberikan pelatihan kepada semua karyawan mengenai

bagaimana cara memperbaiki mesin yang mengalami gangguan sesuai dengan mesin masing-masing departemen.

Pengaruh karakteristik individual (X6) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel karakteristik individual adalah sebesar 2.440. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $2.440 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$  alpha ( $0.018 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti karakteristik individual berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh karakteristik individual terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 0.111 atau 11.10%. Pengaruh karakteristik individual terhadap stress kerja dapat ditunjukkan oleh beberapa indikator, diantaranya yaitu pekerjaan yang selama ini dijalani tidak memberikan rasa bangga bagi karyawan. Kurangnya motivasi untuk dapat memberikan yang terbaik saat bekerja serta ada sifat atau karakter dari rekan kerja yang kurang disukai.

Adapun masukan bagi perusahaan yang dapat diberikan untuk mengurangi stress kerja karyawan berkaitan dengan karakteristik individual adalah mempromosikan kenaikan jabatan bagi karyawan yang memiliki prestasi memuaskan dalam bekerja dan memberikan motivasi kepada karyawan secara rutin agar karyawan tetap semangat dalam bekerja.

Pengaruh Lingkungan sosial (X4) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel lingkungan sosial adalah sebesar 2.387. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $2.387 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$  alpha ( $0.020 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti lingkungan sosial berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh lingkungan sosial terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 0.066 atau 6.60%.

Pengaruh lingkungan sosial terhadap stress kerja dapat ditunjukkan oleh beberapa indikator, diantaranya yaitu keluarga kurang memperhatikan setiap permasalahan kerja yang dihadapi

dan rekan kerja kurang memperhatikan setiap permasalahan kerja yang dihadapi.

Adapun masukan bagi perusahaan yang dapat diberikan untuk mengurangi stress kerja karyawan berkaitan dengan lingkungan sosial adalah mengundang pihak keluarga karyawan secara berkala guna membicarakan setiap permasalahan yang dihadapi karyawan dan memberikan ruang bagi karyawan agar dapat berkumpul dan bercerita mengenai permasalahan yang dihadapi karyawan.

## KESIMPULAN

Korelasi parsial antar variabel eksogenus secara keseluruhan mempunyai hubungan yang signifikan dengan dengan tingkat hubungan bervariasi (ada yang lemah dan ada yang kuat) dan secara keseluruhan hubungan tersebut searah karena bernilai positif.

Pengaruh Kondisi Organisasi (X1) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel kondisi organisasi adalah sebesar 2.110. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $2.110 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$  alpha ( $0.039 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti kondisi organisasi berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh kondisi organisasi terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 15.30%.

Pengaruh Kondisi Pekerjaan (X2) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel kondisi pekerjaan adalah sebesar 2.031. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $2.031 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $<$  alpha ( $0.047 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti kondisi pekerjaan berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh kondisi pekerjaan terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 16.60%.

Pengaruh Lingkungan Fisik (X3) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel lingkungan fisik adalah sebesar 3.653. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t >$  tabel  $t$  ( $3.653 >$

1.996) atau nilai signifikansi  $< \alpha$  ( $0.001 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti lingkungan fisik berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh lingkungan fisik terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 17.60%.

Pengaruh Lingkungan sosial (X4) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel lingkungan sosial adalah sebesar 2.387. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t > \text{tabel } t$  ( $2.387 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $< \alpha$  ( $0.020 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti lingkungan sosial berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh lingkungan sosial terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 6.60%.

Pengaruh Peralatan & Teknologi (X5) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel peralatan dan teknologi adalah sebesar 2.342. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t > \text{tabel } t$  ( $2.342 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $< \alpha$  ( $0.022 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti peralatan & teknologi berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh peralatan & teknologi terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 14.80%.

Pengaruh karakteristik individual (X6) terhadap Stress Kerja (Y). Nilai hitung  $t$  untuk variabel karakteristik individual adalah sebesar 2.440. Sedangkan nilai tabel  $t$  untuk  $n = 70$  adalah sebesar 1.996, karena nilai hitung  $t > \text{tabel } t$  ( $2.440 > 1.996$ ) atau nilai signifikansi  $< \alpha$  ( $0.018 < 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak, berarti karakteristik individual berpengaruh terhadap stress kerja. Besarnya pengaruh karakteristik individual terhadap stress kerja secara keseluruhan sebesar 11.10%.

Hubungan kondisi organisasi (X1), kondisi pekerjaan (X2), lingkungan fisik (X3), lingkungan sosial (X4), peralatan & teknologi (X5), karakteristik individual (X6) terhadap stress kerja (Y) secara simultan (R) sebesar 0.905 dan hubungan yang terjadi termasuk kuat positif. Adapun keenam variabel eksogenus tersebut mampu menjelaskan hubungan yang terjadi dengan stress kerja atau disebut koefisien determinasi

(D) ditunjukkan oleh R Square sebesar 0.820 atau 82.00%. Sedangkan sisanya 18.00% dijelaskan oleh variabel lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali Muhidin S, Abdurahman M, 2007. *Analisis Korelasi, Regresi dan Jalur Dalam Penelitian*. Bandung : Pustaka Setia
- Carayon P & Hoonaker P, 2001, *Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey(MOQS) : Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. University of Wisconsin
- Elfrida, 2009. *Penilaian Dan Perbaikan Sistem Kerja Dengan Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey (MOQS)*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara (Tidak Dipublikasikan)
- Hendrick, W, 2001. *Macroergonomics: An Introduction To Work System Design*. Santa Monica – USA : HFES Publisher
- Levi, L, 1991. *Stress Dalam: Parmeggiani, L. Edt. Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Genewa : ILO
- Manuaba, 1998. *Stress and Strain. Dalam Bunga Rampai Ergonomi Vol I. Program Studi Ergonomi-Fisiologi Kerja*. Universitas Udayana : Denpasar
- Munandar, AS., 2001. *Stress dan Keselamatan Kerja, Psikologi Industri dan Organisasi*. Jakarta : UI Press
- Tarwaka, Solichul HB, dan Lilik S, 2004 *Ergonomi: Untuk K3 Dan Produktivitas*.



**SISTEM PAKAR DIAGNOSA PENYAKIT DAN PENENTUAN JENIS OBAT  
TRADISIONAL SEBAGAI ALTERNATIF PENYEMBUHAN**

**Suraya<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 18 Maret 2012, revisi masuk : 18 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

**ABSTRACT**

*This research was conducted based on the need for a tool for community useful in diagnosing the disease in human being. This tool is an expert system which using Visual Basic 6.0. This expert system is used to diagnose and also able to provide medical advice. Inference method used is forward chaining with the model of Depth First Search. The output of this system in the form of the name of the disease and treatment suggestions.*

Keywords : Expert System, Disease, Depth First Search

**INTISARI**

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kebutuhan akan adanya alat bantu bagi masyarakat pengguna dalam mendiagnosis penyakit pada manusia. Alat bantu tersebut berupa system pakar dengan memanfaatkan Visual Basic 6.0., system pakar ini sebagai alat bantu untuk mendiagnosis dan juga memberikan saran-saran pengobatannya. Sistem pakar ini dalam konsultasinya dengan cara mengetik setiap keluhan yang dirasakan oleh pasien sesuai dengan gangguan yang dirasakannya. Metode inferensi yang digunakan adalah forward chaining dengan model Depth First Search. Keluaran dari sistem ini berupa nama penyakit dan saran pengobatannya.

Kata kunci : Sistem Pakar, Penyakit, Depth First Search

**PENDAHULUAN**

Penyakit merupakan penyebab gangguan kesehatan pada tubuh manusia dan semua itu tidaklah asing lagi bagi masyarakat, ini semua merupakan kendala yang sering dihadapi oleh masyarakat. Semua manusia sudah tahu kalau tubuhnya mengalami gangguan kesehatannya, tetapi sebagian besar masyarakat tidak tahu penyakit apa yang sedang menyerang tubuhnya serta bagaimana cara mengobatinya. Sehingga untuk mengetahui penyakit yang sedang menyerang tubuh manusia dibutuhkan seorang ahli yang memahami masalah kesehatan (dokter, bidan, atau perawat). Namun pada kenyataannya dokter, bidan, atau perawat tidak selalu ada ketika dibutuhkan karena terbatasnya tenaga ahli. Hal ini bila tidak segera ditangani, besar kemungkinan manusia

yang lain akan tertular sehingga berujung pada kematian.

Para medis pun juga sering mengalami kesulitan-kesulitan untuk mengidentifikasi jenis penyakit yang menyerang tubuh manusia, walaupun terlihat adanya perubahan pada tubuh pasien. Bahkan kadang-kadang para medis tidak tahu cara pengobatannya untuk menyembuhkan penyakit manusia tersebut. Sehingga medis kesulitan dalam memberi penjelasan kepada masyarakat tentang gejala-gejala (tanda-tanda) tubuh manusia sedang diserang penyakit.

Berdasarkan kemajuan dalam bidang komputer dan informatika, sehingga kerumitan dan kesulitan dapat ditanggulangi dengan menyediakan suatu perangkat lunak (sistem pakar), berupa program untuk mendiagnosis penyakit yang menyerang tubuh manusia dan cara pengobatannya. Dalam penelitian sistem

---

<sup>1</sup>[suraya@akprind.ac.id](mailto:suraya@akprind.ac.id);

pakar ini diharapkan dapat membantu masyarakat dalam mendiagnosa penyakit dan memberi pengobatannya secara herbal. Sistem pakar ini tidak berarti menggantikan kedudukan dokter, tetapi hanya membantu dalam mengkonfirmasi keputusannya, karena mungkin bisa terdapat banyak alternatif yang harus dipilih secara tepat.

Penelitian tentang pembuatan sistem pakar diagnosa penyakit menggunakan Visual Basic 6.0. ini sangatlah berguna untuk menghilangkan ketergantungan masyarakat terhadap para medis, memberikan informasi tentang diagnose penyakit dan pengobatannya dengan mudah kepada masyarakat, membantu bagi para pengguna untuk mengambil keputusan alternatif pengobatan penyakit, masyarakat faham dengan adanya teknologi informasi dapat dimanfaatkan sebagai penyedia informasi tentang berbagai macam penyakit dan solusi pengobatannya.

Beberapa penelitian yang menggunakan sistem pakar telah dilakukan. (Dian, 2002) mengaplikasikan sistem pakar berbasis logic programming untuk simulasi seleksi ternak. Penelitian ini telah menghasilkan sebuah model program simulasi yang dapat digunakan sebagai alat bantu untuk melakukan seleksi ternak, dengan menerapkan logic programming dan menggunakan visual-prolog sebagai perangkat lunaknya.

(Mutaqin, 2002) telah berhasil mengimplementasikan sistem pakar dalam dunia medis : suatu pengembangan sistem diagnosis kesehatan gigi dan mulut. Sistem ini dapat memberikan informasi tentang hasil diagnosis jenis penyakit gigi dan mulut berdasarkan gejala-gejala yang diderita oleh pasien yang dimasukkan sebagai entri data melalui disain dialog yang diberikan ke sistem.

(Handayani, 2008) membuat Sistem Pakar untuk Diagnosis Penyakit THT Berbasis web dengan "e2gLite Expert System Shell". Sistem ini menginformasi diagnosis Penyakit THT berbasis Web sehingga user dapat

mengakses dari website. (Yuwono, 2007) membuat sistem pakar untuk diagnosa penyakit ayam menggunakan program prolog.

(Martono, 2008) sistem pakar berbasis web untuk mendiagnosa penyakit dalam pada manusia dengan terapi herbal sebagai obat, membahas tentang nama penyakit yang menyerang pada bagian tubuh manusia terutama organ dalam manusia. Namun informasi yang disajikan ada beberapa kekurangan yaitu belum adanya deskripsi ataupun ciri-ciri dari masing-masing tanaman herbal yang digunakan sebagai media pengobatannya.

Penelitian-penelitian tersebut, tidak sama dengan penelitian yang akan dipakai dalam pengembangan sistem pakar diagnosa penyakit dan menentukan jenis obat tradisional sebagai alternatif penyembuhan, metode inferensi yang digunakan adalah forward chaining dengan model Depth First Search dilengkapi dengan rekam medis untuk memberikan informasi penyakit pasien sebelumnya. Perbedaannya pada hal penelitian ini memanfaatkan jamu tradisional sebagai alternatif-alternatif pengobatannya dan dilengkapi dengan rekam medis sebagai informasi penyakit pasien sebelumnya. Tapi secara umum aspek-aspek yang diperoleh peneliti-peneliti terdahulu memberi dukungan informasi yang diperlukan.

Secara umum, sistem pakar (*Expert system*) adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli (Kusumadewi, 2003). Sistem pakar yang baik dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli. Dengan sistem pakar ini, orang awampun dapat menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya dapat diselesaikan dengan bantuan para ahli. Bagi para ahli, sistem pakar ini juga akan membantu aktivitasnya sebagai asisten yang sangat berpengalaman.

Menurut Turban(1995) konsep dasar sistem pakar mengandung keahlian

(*expertise*), pakar (*expert*), pengalihan keahlian (*transferring expertise*), inferensi (*inferencing*), aturan (*rules*) dan kemampuan menjelaskan (*explanation capability*). Keahlian (*expertise*) adalah suatu kelebihan penguasaan pengetahuan di bidang tertentu yang diperoleh dari pelatihan, membaca atau berdasar pengalaman. Pengetahuan tersebut memungkinkan para ahli untuk dapat mengambil keputusan lebih cepat dan lebih baik daripada seseorang yang bukan ahli.

Pakar (*Expert*) adalah seseorang yang mampu menjelaskan suatu tanggapan, mempelajari hal-hal baru seputar topik permasalahan (*domain*), menyusun kembali pengetahuan jika dipandang perlu, memecah aturan-aturan jika dibutuhkan, dan menentukan relevan tidaknya keahlian mereka. Pengalihan keahlian (*transferring expertise*) dari para ahli ke komputer untuk kemudian dialihkan lagi ke orang lain yang bukan ahli, hal inilah yang merupakan tujuan utama dari sistem pakar. Proses ini membutuhkan 4 aktivitas yaitu tambahan pengetahuan (dari para ahli atau sumber-sumber lainnya), representasi pengetahuan (ke komputer), inferensi pengetahuan dan pengalihan pengetahuan ke user.

Pengetahuan yang disimpan di komputer disebut dengan nama basis pengetahuan. Ada dua tipe pengetahuan, yaitu fakta dan prosedur (biasanya berupa aturan). Salah satu fitur yang harus dimiliki oleh sistem pakar adalah kemampuan untuk menalar. Jika keahlian-keahlian sudah tersimpan sebagai basis pengetahuan dan sudah tersedia program yang mampu mengakses basisdata, maka komputer harus dapat deprogram untuk membuat inferensi. Proses inferensi ini dikemas dalam bentuk motor inferensi (*inference engine*). Sebagian besar sistem pakar komersial dibuat dalam bentuk *rule based systems*, yang mana pengetahuan disimpan dalam bentuk aturan-aturan. Aturan tersebut biasanya berbentuk IF-THEN.

Fitur lainnya dari sistem pakar adalah kemampuan untuk memberikan

nasehat atau merekomendasikan. Kemampuan inilah yang membedakan sistem pakar dengan sistem-sistem konvensional.

Mesin inferensi adalah bagian yang mengandung mekanisme fungsi berpikir dan pola-pola penalaran sistem yang digunakan oleh seorang pakar (Turban, 1995). Mekanisme ini akan menganalisa suatu masalah tertentu dan selanjutnya akan mencari jawaban atau kesimpulan terbaik.

Ada dua teknik yang dapat dikerjakan dalam melakukan inferensi, yaitu *Forward Chaining* Pencocokan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebelah kiri (IF dulu). Dengan kata lain, penalaran dimulai dari fakta terlebih dahulu untuk menguji kebenaran hipotesis. Selain itu teknik *Backward Chaining*, dengan teknik ini Pencocokan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebelah kanan (THEN dulu). Dengan kata lain, penalaran dimulai dari hipotesis terlebih dahulu, dan untuk menguji kebenaran hipotesis tersebut harus dicari fakta-fakta yang ada dalam basis pengetahuan.

Kedua metode inferensi tersebut dipengaruhi oleh tiga macam penelusuran, yaitu *Depth-first search*, *Breadth-first search* dan *Best-first search*. Penelusuran *Breadth-first search*, pencarian dimulai dari simpul akar terus ke level 1 dari kiri ke kanan dalam 1 level sebelum berpindah ke level berikutnya. Penelusuran *Depth-first search*, pencarian dimulai dari simpul akar ke level yang lebih tinggi. Proses ini dilakukan terus hingga solusinya ditemukan atau jika menemui jalan buntu. *Best-first search*, bekerja berdasarkan kombinasi kedua metode sebelumnya.

## METODE

Metodologi yang digunakan pada penelitian yaitu ; Studi Literatur dan SDLC (*System Development Life Cycle*) yang meliputi tahap *Analysis*, *Design*, *Implementation*, *Testing* dan *Maintenance*, (Pressman,2002).

Tahap Studi Literatur, tahap ini merupakan tahap pengumpulan informasi dan literatur yang diperlukan untuk

pembuatan sistem. Adapun informasi dan literatur yang telah dipergunakan diantaranya mengenai diagnosis penyakit, sistem pakar, *forward chaining*.

Tahap analisis dan sistem perancangan, pada tahap ini dilakukan analisis serta desain yang diperlukan dalam membuat sistem, diantaranya akuisisi pengetahuan, representasi pengetahuan, mekanisme inferensi, perancangan basis data dan proses perancangan user interface

Tahap Akuisisi pengetahuan adalah proses pengumpulan pengetahuan. Pada penelitian ini informasi mengenai diagnosis penyakit ini diperoleh dari seorang pakar (pembuat jamu tradisional) yang dilengkapi dengan buku-buku mengenai penyakit dan kesehatan. Pengetahuan yang diperoleh meliputi : Gejala-gejala yang diderita, Jenis penyakit dan cara pengobatannya.

Setelah akuisisi pengetahuan diperoleh, selanjutnya dilakukan representasi pengetahuan yang dikumpulkan. Tujuan **representasi pengetahuan** adalah untuk dapat mengembangkan suatu struktur yang akan membantu dengan pengkodean pengetahuan ke dalam program. Dalam penelitian ini basis pengetahuan direpresentasikan dengan cara-cara menggunakan kaidah produksi, yaitu berupa IF – THEN. **IF** Kondisi1 (**AND** Kondisi2 ...) **THEN** Kesimpulan. Kaidah produksi merupakan statemen dua bagian yang disatukan menjadi sepenggal kecil pengetahuan. Kaidah bagian pertama IF yang menyatakan premis, kondisi atau antecedent, dan kaidah bagian kedua THEN yang menyatakan suatu kesimpulan atau konklusi. Pada contoh berikut diberikan beberapa inputan *antecedent* dan memberikan satu kesimpulan berdasarkan premis yang ada untuk menentukan jenis atau nama penyakit yang diderita pada manusia.

IF badan sakit AND pegal\_linu AND sakit\_kepala AND letih AND lesu THEN penyakit **Pegal Linu, Sakit Pinggang, atau Sakit Kepala**. Jika (pegal\_linu,

sakit\_kepala, letih, dan lesu) benar, maka mesin inferensi mengambil kesimpulan bahwa pasien menderita penyakit **Pegal Linu**, atau mungkin **Sakit Pinggang**, dan bisa juga kemungkinan **Sakit Kepala**

Setelah representasi selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah menentukan **mekanisme inferensi** atau sistem pelacakan. Dalam penelitian ini sistem pelacakan yang dilakukan adalah menggunakan *forward chaining* dengan metode penelusuran *Depth First Search*. Proses pelacakan ini bermula dari simpul akar dan bergerak ke bawah ke tingkat dalam yang berurutan. Proses ini berlangsung terus sampai kesimpulan ditemukan.

Tahap Implementasi, pada tahap ini, rancangan sistem yang telah dibuat diimplementasikan menggunakan Visual Basic 6.0, dan Microsoft Access. Tahap uji coba dan evaluasi Pada tahap ini, akan dilakukan uji coba dan evaluasi terhadap sistem serta akan dilakukan perbaikan-perbaikan yang diperlukan

## PEMBAHASAN

Aplikasi program telah diujicobakan dengan cara memasukkan beberapa data atau keluhan berdasarkan rasa sakit yang diderita si pasien, sistem dapat menjalankan fungsinya sebagaimana yang diharapkan. Dengan berbagai variasi keluhan yang dientrikan pada masukan data berupa keluhan si pasien ke system dan setiap memasukkan keluhan di enter sebanyak keluhan yang di masukkan ke system, baru kemudian ditekan tombol proses, ternyata sistem telah dapat bekerja dengan baik. Jika semua keluhan yang dimasukkan ke sistem yang disesuaikan dengan kondisi atau gejala yang ada pada pasien, maka sistem akan memberikan kesimpulan tentang jenis penyakit tertentu dan alternative pengobatannya disertai dengan tata cara pemakaian obat herbal, di bagian rekam pasien bisa di gunakan untuk melihat data mengenai sakit pasien, macam jenis obat yang dipergunakan, catatan khusus pasien yang berguna untuk memperjelas situasi dan kondisi si pasien penyakit, sehingga catatan tersebut bisa berguna



untuk tolak ukur alternative pengobatannya.

Penelusuran untuk mencapai tujuan sistem akan disediakan form untuk menulis semua keluhan yang dirasakan oleh si pasien, setiap memasukkan satu macam keluhan di enter terlebih dahulu dan kemudian dimasukkan keluhan yang berikutnya kemudian dienter lagi dan seterusnya sampai semua keluhan dienterkan pada form yang telah disediakan, seandainya semua keluhan sudah dimasukkan ke form yang tersedia dan dianggap cukup, maka pemakai tinggal menekan tombol Proses, maka system akan menampilkan jenis penyakit yang diderita pasien, disertai alternative pengobatannya serta tata cara pemakaian obat herbal tersebut.

Pada Gambar 1 menampilkan form konsultasi sistem. Pengguna memasukkan semua keluhan sesuai yang dirasakan oleh si pasien, setiap memasukkan keluhan satu persatu keluhan tersebut di enter, apabila ada keluhan yang sudah di masukkan tetapi tidak sesuai dengan keluhan si pasien yang sebenarnya atau terjadi kesalahan menginput keluhan, maka keluhan yang salah tersebut bisa di Delete atau dihapus, setelah semua keluhan sudah dimasukkan ke system, apabila kita menginginkan semua produk jamu tersebut kita pilih berarti posisi form Produsen dalam kondisi ALL PRODUSEN, tetapi bila kita hanya mau menginginkan salah satu produk jamu yang ada pada Produsen maka kita bisa memilih dengan pilihan yang sudah di sediakan oleh system pada tool option Produsen, setelah semua form yang tersedia telah diisi sesuai dengan keinginan pengguna maka kita tekan tombol Proses, maka akan keluar hasil diagnose, dan saran pengobatannya disertai dengan aturan dan cara pemakaian obat tradisional tersebut. Dibagian yang lain disediakan Rekam Pasien, fungsi kegunaannya untuk merekam semua keluhan pasien, kapan pasien berobat, penyakit yang diderita pasien, catatan khusus pasien, dan saran pengobatannya, sehingga dengan

menggunakan Kode Pasien yang sama bisa dilihat apakah pasien tersebut pernah berobat di tempat yang sama, bila pernah maka bisa dilihat pada rekam pasien apakah pasien tersebut pernah, sedang mengalami suatu penyakit dalam, sehingga bisa digunakan untuk memberikan petunjuk pengobatan yang sesuai dengan penyakit si pasien dan tidak kontradiksi dengan penyakit yang dideritanya, selain itu bisa juga digunakan untuk melihat efeknya dari pasien setelah diobati dengan jamu tradisional tersebut apakah segera sembuh, apabila pasien tidak segera sembuh maka akan dicarikan obat herbal yang lain yang bersesuaian dengan gejala yang sama, sedangkan dalam system ini bisa dilihat dalam grid untuk level dibawahnya.

Misalnya terdapat kondisi gejala (pegal\_linu, sakit\_kepala, letih, dan lesu) benar, maka mesin inferensi mengambil kesimpulan bahwa pasien menderita penyakit **Pegal Linu**, atau mungkin **Sakit Pinggang**, dan bisa juga kemungkinan **Sakit Kepala**. Berikut urutan dialog yang terjadi antara sistem dan user untuk penyakit **Pegal Linu, Sakit Kepala, Letih, dan Lesu**.

Pengguna memasukkan semua keluhan pasien ke system yang berupa pegal\_linu, sakit\_kepala, letih, dan lesu, kemudian dilakukan proses, sehingga system akan menemukan penyakit si pasien dan memberikan solusi pengobatan. Pengobatan digunakan obat jamu tradisional yang diketemukan sesuai dengan indikasi obat tersebut, sehingga system akan mencocokkan semua keluhan si pasien dengan indikasi obat jamu tradisional tersebut. Proses yang paling banyak cocoknya antara keluhan si pasien dengan indikasi obat yang bersangkutan atau paling banyak kecocokan antara keluhan yang dimasukkan ke system dengan indikasi obat tersebut maka obat tradisional tersebut akan ditampilkan pada grid paling atas, disusul obat tradisional yang kedua dan seterusnya.

Pengujian untuk penyakit Pegal Linu. Misalnya terdapat kondisi (3,4,6,7) benar, maka mesin inferensi

mengambil kesimpulan penyakit **Pegal Linu**. Berikut urutan dialog yang terjadi antara sistem dan user untuk penyakit **Pegal Linu**

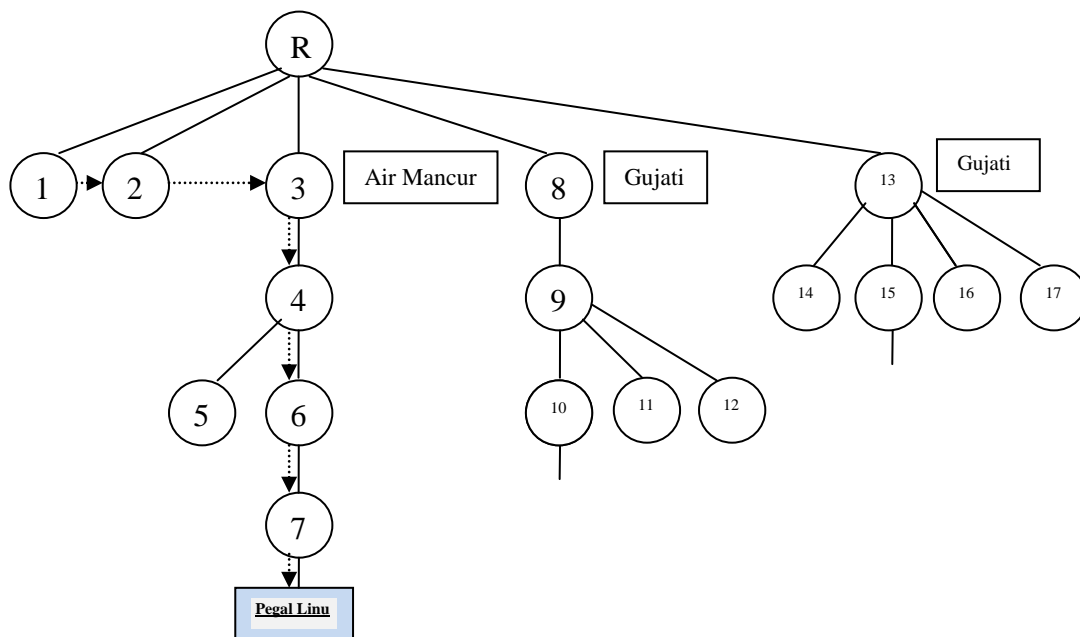
User : pegal\_linu  
User : sakit\_kepala  
User : Letih  
User : Lesu



Gambar 1. Hasil Diagnosa

Pada gambar 2. telah diuji dengan memasukkan 4 keluhan yang dirasakan oleh pasien, pertanyaan dalam system ini tidak ada, pasien hanya diberi form untuk memasukkan semua keluhan yang dirasakan oleh pasien kemudian semua keluhan diproses oleh system. Langkah penelusuran sebagai berikut, langkah penelusuran dimulai dari keluhan yang diinputkan oleh pasien yaitu pegal\_linu, sakit\_kepala, letih, dan lesu, kemudian dicocokkan dengan semua jenis indikasi pada jamu tradisional, apabila indikasi pada jamu tradisional tidak ada keluhan yang berupa pegal\_linu, sakit\_kepala, letih, dan lesu (diilustrasikan sebagai nomor 1 dan 2), maka sistem mencari solusi ke indikasi jamu tradisional yang punya kesamaan, paling tidak ada satu kesamaan dari keluhan pasien yang berupa pegal\_linu, sakit\_kepala, letih, ataupun lesu yang ada pada indikasi obat jamu tradisional, pada produk obat jamu tradisional Air Mancur terdapat kesamaan antara keluhan dengan indikasi (diilustrasikan sebagai nomor 3), diteruskan runut maju ke bawahnya yaitu

nomor 4, ada atau tidak kecocokan keluhan pasien yang diinputkan dengan indikasi jamu tradisionalnya, ternyata ada yaitu keluhan pasien berupa pegal\_linu cocok dengan indikasi jamu tradisional, maka penelusuran diteruskan ke nomor 5, setelah dicocokkan antara keluhan pasien dengan indikasi jamu tradisional ternyata tidak ada, karena nomor 5 tidak ada kesamaannya maka sistem mencari solusi ke nomor 6, setelah dicocokkan antara keluhan pasien dengan indikasi jamu tradisional ternyata ada kecocokan yaitu keluhan berupa Letih, selanjutnya diteruskan di bawahnya ke nomor 7, setelah dicocokkan antara keluhan pasien dengan indikasi jamu tradisional ternyata ada kecocokan yaitu keluhan berupa Lesu, maka sampai mencapai kesimpulan bahwa pasien mengalami penyakit **Pegal Linu**. Disini terdapat 3 keluhan berupa pegal\_linu, letih, dan lesu yang cocok dengan indikasi jamu tradisional, maka penyakit Pegal Linu ini diletakkan pada grid pertama sebelum penyakit Sakit Pinggang, dan Sakit Kepala.



Gambar 2. Pohon Penelusuran penyakit Pegal Linu

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, dan implementasi, telah berhasil dibangun sistem pakar untuk diagnosa penyakit dan menentukan jenis obat tradisional sebagai alternatif penyembuhan. Dengan adanya aplikasi sistem pakar untuk menentukan jenis obat jamu tradisional yang sesuai dengan gejala sakit pada tubuh manusia, maka sistem pakar ini dapat digunakan untuk mempercepat pencarian terhadap jenis obat yang dibutuhkan pasien sesuai dengan gejala pada tubuh manusia, sehingga semua masyarakat atau orang-orang yang membutuhkan informasi diagnosa penyakit dengan menggunakan pengobatan dengan Jamu Tradisional bisa terpenuhi. Pada aplikasi Sistem Pakar Untuk Menentukan Jenis Obat Jamu Tradisional Yang Sesuai Dengan Gejala Sakit Pada Tubuh Manusia ini, bisa juga digunakan sebagai pedoman bagi masyarakat kapan mereka pernah mengalami sakit dan sakit apa yang dideritanya pada waktu itu juga penyembuhannya menggunakan nama produk dari Jamu Tradisional yang

mana kemudian bisa untuk mengetahui kapan sakit itu disembuhkan.

Aplikasi ini memiliki tampilan-tampilan yang *user friendly* sehingga pemakai dapat menggunakan aplikasi ini dengan mudah. Pembangunan ini dibangun dan dirancang sedemikian rupa dengan menggunakan bahasa pemrograman Microsoft Visual Basic 6.0 dan basis datanya menggunakan Ms. Access. Aplikasi ini dibuat dengan tampilan yang menarik, agar pemakai aplikasi ini tidak merasa bosan dengan tampilan-tampilan yang biasa pada program-program lain.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arhami, M., 2005, *Pengantar Sistem Pakar*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Arsandi, Y., 2006, *Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Saluran Pernafasan Dan Penyakit Saluran Pencernaan Dengan Metode Penalaran Muju Dan Metode Penalaran Mundur*, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Bunafit, N., 2008, *Membuat Aplikasi Sistem Pakar Dengan PHP Dan Editor Dreamweaver*, Gava Media, Yogyakarta.

- Firdaus, 2007, *Php Dan Mysql Dengan Dreamweaver*, Maxicom, Palembang.
- Indriatie, D. F., 2005, *Diagnosa Penyakit Tanaman Buah Dengan Menggunakan Sistem Pakar Berbasis Web*, ISTA, Yogyakarta.
- Kusrini, 2006, *Sistem Pakar Teori & Aplikasi*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Kusumadewi, S., 2003, *Artificial Intelegence (Teknik dan Aplikasinya)*, Graha Ilmu Yogyakarta.
- Martono, 2008, *Sistem pakar berbasis web untuk mendiagnosa penyakit dalam pada manusia dengan terapi herbal sebagai obat*. IST AKPRIND, Yogyakarta
- Ong, L., 2008, *Tanaman Obat Dan Herbal Yang Mujarab Resep Alamiah Dari Cina*, Prestasi Asia, Jakarta.
- Sumbodo, B.A., 2009, *Sistem Pakar Untuk Menentukan Jenis Tanaman Obat Yang Sesuai Dengan Gejala Sakit Pada Tubuh Manusia.*, Skripsi : Institut Sains & Teknologi Akprind, Yogyakarta
- Turban, E. and Jay E.A., 1995, *Decision Support System*, sixth edition, Prentice Hall International Inc., New Jersey
- Wijaya, T., 2003, *Media Informasi Pengobatan Alternatif*, Skripsi : Institut Sains & Teknologi Akprind, Yogyakarta
- Wijayanti, M., 2005, *Perancangan dan Pembuatan Sistem Pakar Untuk Pendeteksian dan Pengobatan Penyakit Dengan Ramuan Tradisional*, Tugas Akhir : Universitas Kristen Petra, Surabaya

## KAJIAN EKSPERIMENTAL TERHADAP KONDUKTIVITAS DAN DIFUSIVITAS TERMAL BUAH SEMANGKA

Susanto Johanes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Diploma Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Masuk: 23 April 2012, revisi masuk: 11 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

### ABSTRACT

*In the tropics, when the fruit is going to be cropped, the fruit temperature is same as the ambient temperature. It could reach more than 40 degree Celcius. One of the methods to make the fruit not easily damaged at the post-harvest is by applying the pre-cooling method. It aims to retard the respiration, minimize the vulnerability from the attack of micro-organisms, reduce the loss of water, and reduce the cooling load on the carrier and also the storage system. The fruit thermal conductivity and diffusivity values become the first important data to be recognized in order to determine the precooling time process to the desired temperature. The research is aimed to recognize the watermelon thermal conductivity and diffusivity values. Modeled as a ball shaped object, the watermelon is chilled in the cooler by natural convection. In the cooling process, the changing temperature in its fruit was recorded in the computer by using IC LM 35 sensors, every 5 minutes. The sensor was set in the ambient, on the fruit surface and in it's inside with five different radius. There were three of watermelon by weight as 2,590 kg, 3,925 kg and 5,195 kg had been observed. In this research, the calculation of the watermelon thermal conductivity and diffusivity was based on the thermal resistance and capacity formulation. By numerical method, the average value of watermelon thermal conductivity was calculated as 0,438 W/m°C. Meanwhile the average value of thermal diffusivity was calculated as  $1,137 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .*

**Keywords:** pre-cooling, thermal conductivity, thermal diffusivity and watermelon

### INTISARI

Pada daerah tropika, sewaktu buah dipanen temperaturnya sama dengan temperatur lingkungan, yang bisa mencapai lebih dari 40 °C. Agar buah tidak mudah rusak, salah satu cara penanganan buah paska panen adalah dengan cara pendinginan-awal. Tujuan umum pendinginan-awal adalah untuk memperlambat respirasi, memperkecil kerentanan terhadap serangan mikro organisme, mengurangi kehilangan air, dan mengurangi beban pendinginan pada pengangkutan maupun sistem penyimpanan. Untuk menentukan lama proses pendinginan-awal sampai temperatur yang diinginkan, maka nilai konduktivitas dan difusivitas termal buah menjadi data awal yang penting untuk diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai konduktivitas termal ( $k$ ) dan difusivitas termal ( $\alpha$ ) buah semangka. Dengan pendekatan model dianggap berbentuk bola, buah semangka didinginkan di dalam kotak pendingin (*cooler*) secara konveksi alami. Selama mengalami proses pendinginan, perubahan temperatur pada buah tersebut direkam pada komputer menggunakan sensor IC LM 35 setiap interval waktu 5 menit. Sensor dipasang di sekitar buah, pada permukaan buah dan di dalam buah pada lima posisi jari-jari berbeda. Ada tiga buah semangka yang diteliti dengan berat masing-masing adalah 2,590 kg, 3,925 kg dan 5,195 kg. Pada penelitian ini, perhitungan nilai konduktivitas termal dan difusivitas termal buah semangka menggunakan formulasi kapasitas dan tahanan termal. Dengan menggunakan metode numerik beda hingga, diperoleh nilai rerata konduktivitas termal buah semangka sebesar 0,438 W/m°C. dan nilai rerata difusivitas termalnya  $1,137 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

**Kata kunci:** pendinginan awal, konduktivitas termal, difusivitas termal dan buah semangka

---

<sup>1</sup>kelikjohan@yahoo.co.id

## PENDAHULUAN

Penanganan yang baik terhadap produk hortikultura akan memberikan nilai tambah bagi para petani, pebisnis dan industri pengguna. Penyimpanan buah dalam bentuk segar dapat menghindarkan eksekusi suplai dan menjamin suplai pasar yang teratur (Pantastico, 1975). Menurut Akamine dan Kitagawa (1963) dalam Pantastico (1975), suhu tinggi merusak mutu simpan buah-buahan. Suhu tinggi hasil panen tidak dapat dihindarkan terutama apabila pemanenan terjadi di daerah tropika. Masalah yang sering dijumpai pada pemanenan buah-buahan di daerah tropis adalah suhu pada waktu panen. Sewaktu dipanen temperatur buah sama dengan temperatur lingkungan yang bisa mencapai lebih dari 40 °C.

Setiap buah ketika dipanen masih aktif melakukan proses metabolisme termasuk respirasi didalamnya ditandai dengan adanya kenaikan temperatur dan timbulnya uap air di sekitar buah. Respirasi merupakan faktor biologis yang menyebabkan terjadinya perpindahan kalor pada bahan. Sebagian buah dan sayuran setelah pemanenan mempunyai laju respirasi tinggi dan kemudian menurun selang beberapa hari. Menurut Winarno (1981), respirasi akan terus berlangsung sampai bahan menjadi mati dan kemudian membusuk.

Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut biasanya dilakukan pendinginan awal, dengan maksud untuk menghilangkan panas produk setelah pemanenan, sebelum penyimpanan produk dilakukan.

Tujuan umum pendinginan adalah untuk memperlambat respirasi, memperkecil kerentanan terhadap serangan mikro organisme, mengurangi kehilangan air, dan mengurangi beban pendinginan pada kendaraan pengangkut maupun sistem penyimpanan.

*Pre-cooling* secara umum berarti pembuangan panas secepat mungkin dari dalam buah segar dan sayuran setelah pemanenan, Winarto (2007).

Metode pendinginan-awal yang umum dilakukan biasanya menggunakan metode konveksi alamiah/bebas dengan cara mencelupkan produk ke dalam air

yang ditampung dalam bak penampung dan sekaligus melakukan pencucian (Winarto, 2007). Cara ini kurang efektif karena pada media pendingin akan terjadi akumulasi kalor sehingga suhu media pendingin tersebut akan mengalami kenaikan.

Agar proses pendinginan buah dapat lebih efektif, maka dapat dilakukan dengan cara konveksi paksa, misalkan buah dilewatkan pada lorong dengan menggunakan sistem konveyor (ban berjalan), sembari didinginkan dengan pancaran air/fluida pendingin.

Untuk menentukan lama proses pendinginan awal (seperti kedua contoh di atas) sampai temperatur yang diinginkan, maka nilai konduktivitas dan difusivitas termal buah menjadi data awal yang penting untuk diketahui.

Atas dasar itu maka penulis melakukan kajian eksperimental terhadap konduktivitas dan difusivitas termal buah semangka, dengan cara mendinginkannya secara konveksi alami.

Setiyo, Y., (1995) melakukan penelitian berjudul Kajian terhadap konduktivitas dan difusivitas panas buah apel. Dalam penelitiannya dihasilkan nilai difusivitas panas buah apel antara  $1,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  sampai dengan  $4,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , serta nilai konduktivitas termal antara  $0,233 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  sampai  $0,610 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ .

Winarto (2007), melakukan penelitian berjudul "Model matematika perpindahan panas pada pendinginan awal (*pre-cooling*) buah berbentuk bola pejal dengan penyemprotan air dingin-udara. Pada penelitian ini digunakan buah apel sebagai bahan uji cobanya.

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pendinginan terhadap buah semangka, dengan asumsi bahwa buah semangka berbentuk bola, dengan material (bahan) homogen, dan temperatur awal terdistribusi merata.

Dengan menerapkan hukum I termodinamika pada aliran kalor konduksi dengan menggunakan metode tahanan termal dan formulasi kapasitas, maka setiap unsur volume dapat dipandang sebagai suatu node yang dihubungkan oleh tahanan termal ke unsur-unsur di sebelahnya. Jika energi dalam node i dapat dinyatakan dengan kalor spesifik

dan temperatur, maka laju perubahannya dinyatakan sebagai persamaan berikut (Holman, 1984) :

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \rho c \Delta V \frac{T_1^{P+1} - T_1^P}{\Delta t} \dots (1)$$

Kapasitas termal didefinisikan sebagai berikut :

$$C_i = \rho_i c_i \Delta V_i \dots \dots \dots (2)$$

Formulasi kapasitas-tahanan untuk neraca energi pada suatu node i adalah sebagai berikut.

$$q_i + \sum_j \frac{T_j^P - T_i^P}{R_{ij}} = C_i \frac{T_i^{P+1} - T_i^P}{\Delta t} \dots (3)$$

Apabila tidak terjadi pembangkitan kalor di dalam unsur volume, maka  $q_i$  sama dengan nol. Neraca energi pada kondisi batas konveksi (permukaan buah), berlaku:

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{\text{permukaan}} = h(T_w - T_{\infty}) \dots (4)$$

sedangkan pada pusat buah ( $r = 0$  cm) berlaku:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \dots \dots (5)$$

Untuk aliran kalor dalam arah radial yang terjadi pada bola berjari-jari dalam ( $r_i$ ) dan luar ( $r_o$ ), maka tahanan termal dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$R = \frac{r_o - r_i}{4\pi k r_i r_o} \dots \dots (6)$$

Untuk buah dan sayuran (bahan makanan dengan kandungan air tinggi), panas jenisnya (di atas titik beku) dapat ditentukan dengan persamaan Siebel, dalam Ashrae Handbook (1993) sebagai persamaan berikut:

$$c_p = 0,0335 \alpha + 0,84 \dots (7)$$

Untuk perpindahan kalor konveksi bebas (alami) yang terjadi pada bola, nilai koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata dicari dengan persamaan Yuge, T. dalam Kreith (1991), sebagai berikut :

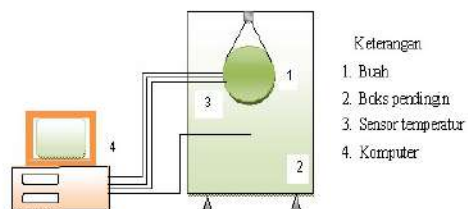
$$\overline{Nu}_D = 2 + 0,45(Gr_D Pr)^{\frac{1}{4}} \dots (8)$$

Difusivitas termal ( $\alpha$ ) merupakan fungsi konduktivitas termal ( $k$ ), panas-jenis ( $c_p$ ) dan rapat massa ( $\rho$ ), yang dinyatakan sebagai persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \dots (9)$$

Buah yang digunakan pada penelitian ini adalah semangka yang mempunyai klasifikasi berikut. Termasuk suku *Cucurbitacea*, dengan nama ilmiah *Citrullus Vulgaris Schard*, yang masuk tipe buah mentimun (*Pepo*). Ukuran buah tersebut dengan jari-jari rerata: 8,793 cm, 9,926 cm dan 10,977 cm, masing-masing dengan berat 2,590 kg, 3,925 kg dan 5,195 kg.

Gambar 1 adalah sketsa alat pendinginan buah yang digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 1.** Sketsa Alat Pendinginan Buah

Pada penelitian ini, untuk mengetahui nilai konduktivitas dan difusivitas termal buah semangka, dilakukan dengan cara sebagai berikut. Buah semangka didinginkan di dalam ruang pendingin (*cooler*), sehingga terjadi perpindahan kalor konveksi alami. Fokus penelitian ini adalah pada studi konduktivitas dan difusivitas termal saja, tidak menyangkut metode *pre-cooling*. Sedangkan pemilihan modus perpindahan kalor konveksi alami didasarkan pada lebih simpelnya peralatan. Perubahan temperatur bagian semangka dalam arah radial (enam titik pada jari-jari berbeda) serta temperatur lingkungan konveksi ( $T_{\infty}$ ) diamati setiap interval waktu ( $\Delta t$ ) 5 menit.

Perubahan temperatur buah pada posisi jari-jari berbeda, selama proses pendinginan direkam oleh komputer. Sensor temperatur yang digunakan adalah IC LM 35, yang murah, namun keluaran yang dihasilkan linier terhadap perubahan temperatur. Sensor-sensor tersebut dipasang pada buah sebanyak enam lokasi dan satu sensor lagi untuk mendeteksi temperatur di sekitar buah ( $T_{\infty}$ ), seperti terlihat pada Gambar 5. Rapat massa buah semangka dicari

dengan cara menimbang buah tersebut dan mengukur volume air yang dipindahkannya, menggunakan gelas ukur. Kadar air yang terkandung dalam buah diukur dengan cara membandingkan berat basah dan setelah buah dikeringkan menggunakan oven.

Untuk selanjutnya, perhitungan nilai konduktivitas dan difusivitas termal menggunakan metode numerik dengan program Excel.

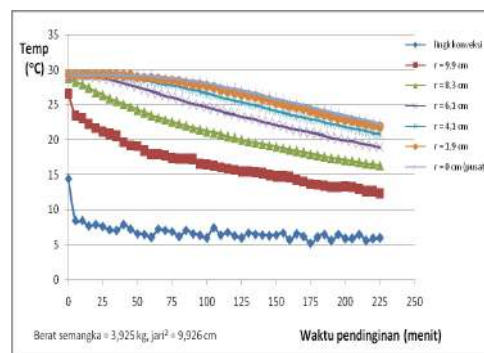
**PEMBAHASAN**

Tabel 1. Temperatur buah semangka (R = 9,926 cm), selama pendinginan

Wkt (min)	Temperatur (oC), pada jari-jari (cm)						
T?	0	1,9	4,1	6,1	8,3	9,9	
0	14,4	26,6	28,8	29,1	29,1	29,2	29,3
5	8,5	23,5	28,3	29,1	29,2	29,2	29,3
10	8,5	23,1	27,9	29,1	29,2	29,2	29,3
15	7,7	22,2	27,4	29,1	29,2	29,2	29,3
20	7,9	21,7	26,8	28,9	29,2	29,2	29,3
25	7,6	21,2	26,4	28,8	29,1	29,2	29,3
30	7,1	20,8	25,9	28,6	29,1	29,2	29,3
35	7,0	20,5	25,5	28,3	29,0	29,2	29,3
40	7,9	19,7	25,1	28,1	28,9	29,1	29,3
45	7,2	19,2	24,7	27,8	28,8	29,1	29,2
50	6,6	19,1	24,3	27,5	28,7	29,0	29,2
55	6,5	18,4	23,9	27,2	28,5	28,9	29,1
60	6,1	18,0	23,5	26,9	28,3	28,9	29,1
65	7,2	18,0	23,2	26,6	28,1	28,8	29,0
70	7,0	17,8	22,9	26,3	27,9	28,6	28,9
75	6,9	17,4	22,6	26,1	27,8	28,5	28,8
80	6,2	17,3	22,3	25,8	27,6	28,3	28,7
85	7,0	17,3	22,0	25,4	27,3	28,1	28,5
90	6,6	17,2	21,7	25,1	27,1	27,9	28,4
95	6,4	16,5	21,5	24,9	26,9	27,8	28,3
100	6,0	16,4	21,2	24,6	26,6	27,6	28,1
105	7,4	16,2	21,0	24,4	26,4	27,4	27,9
110	6,4	16,1	20,8	24,1	26,1	27,2	27,7
115	6,8	15,9	20,5	23,8	25,9	27,0	27,4
120	6,3	15,7	20,3	23,6	25,6	26,8	27,3
125	6,0	15,5	20,0	23,3	25,4	26,5	27,1
130	6,7	15,5	19,8	23,1	25,1	26,3	26,8
135	6,5	15,4	19,6	22,9	24,9	26,1	26,6
140	6,4	15,2	19,4	22,6	24,6	25,8	26,4
145	6,3	14,9	19,2	22,4	24,4	25,6	26,1
150	6,4	14,7	19,0	22,1	24,1	25,3	25,9
155	6,7	14,7	18,8	21,9	23,9	25,1	25,7
160	5,7	14,6	18,6	21,6	23,6	24,8	25,4
165	6,6	14,3	18,4	21,4	23,4	24,6	25,2
170	6,2	14,1	18,2	21,2	23,2	24,4	24,9
175	5,2	13,7	18,0	21,0	22,9	24,1	24,7
180	6,1	13,6	17,8	20,8	22,8	23,8	24,4
185	6,5	13,4	17,6	20,6	22,5	23,6	24,2
190	5,6	13,2	17,4	20,3	22,3	23,4	23,9
195	6,5	13,2	17,3	20,1	22,1	23,1	23,7
200	5,9	13,3	17,1	19,9	21,8	22,9	23,5
205	5,9	13,2	17,0	19,8	21,6	22,7	23,3
210	6,5	12,9	16,8	19,5	21,4	22,4	23,0
215	5,6	12,6	16,6	19,3	21,2	22,2	22,8
220	5,9	12,6	16,5	19,1	20,9	22,0	22,6
225	6,0	12,4	16,3	18,9	20,8	21,8	22,3

Tabel 1 adalah salah satu hasil pengamatan perubahan temperatur buah semangka (berat 3,925 kg), pada jari-jari 0 (pusat buah); 1,9; 4,1; 6,1; 8,3 dan 9,9 cm (permukaan buah), serta temperatur lingkungan konveksi, selama buah tersebut mengalami pendinginan konveksi alami. Hasil pengamatan tersebut disajikan juga dalam bentuk kurva, yaitu Gambar 2. Hasil pengamatan dua buah semangka lainnya disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Pada Tabel 1 atau Gambar 2, 3 &4, terlihat bahwa nilai temperatur pendinginan (lingkungan konveksi) berfluktuasi, hal ini karena pengaruh seting *cut-in/cut-out* thermostat pada cooler.



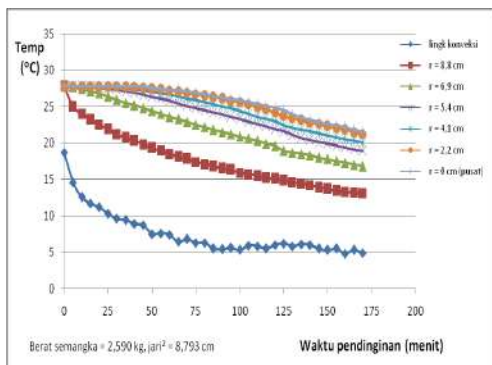
Gambar 2. Sejarah temperatur pendinginan buah semangka (berat 3,925 kg, jari-jari rerata 9,926 cm)

Pada Gambar 2, 3 & 4 terlihat bahwa pada awal pendinginan, bagian tepi buah (permukaan) mengalami laju pendinginan yang terbesar, kemudian menurun pada akhir pendinginan. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya gradien temperatur pada permukaan buah, yang mengakibatkan internal energi bagian tersebut cepat menurun.

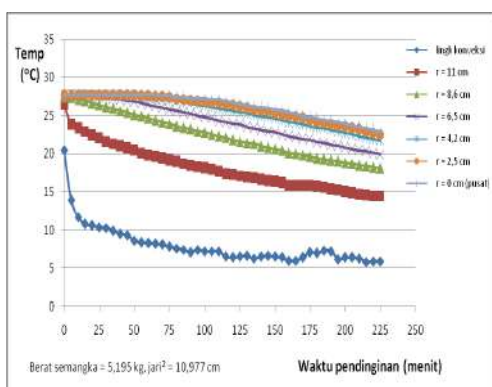
Besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi alami yang diperoleh dari persamaan (8) adalah merupakan nilai rerata. Berdasarkan hasil penelitian perpindahan kalor konveksi alami pada silinder panas horizontal (hampir sama dengan bola), menunjukkan bahwa foto interferensi yang menggambarkan medan suhu di sekelilingnya, nilainya semakin besar, dimulai dari posisi permukaan bawah menuju ke atas. Hal ini akan mengakibatkan nilai koefisien perpindahan



kalor konveksi alami lokal pada arah tersebut berbeda, semakin ke atas nilainya semakin kecil (Kreith, 1991).



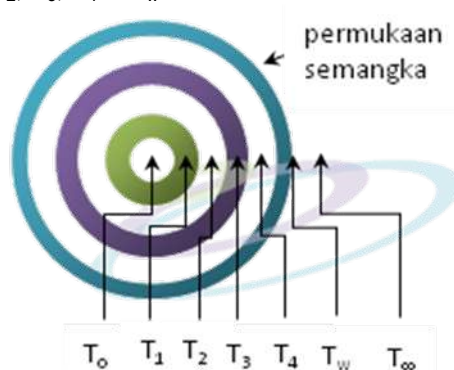
Gambar 3. Sejarah temperatur pendinginan buah semangka (berat 2,590 kg, jari-jari rerata 8,793 cm)



Gambar 4. Sejarah temperatur pendinginan buah semangka (berat 5,195 kg, jari-jari rerata 10,977 cm)

Atas dasar pernyataan di atas, maka pada penelitian ini, nilai koefisien konveksi yang digunakan dalam perhitungan adalah koefisien pada posisi arah horizontal dari pusat, agar nilai ini sama atau mendekati nilai rerata untuk seluruh permukaan bola (buah). Untuk itu pada penelitian ini pemasangan sensor temperatur dimulai dari pusat, kemudian pada jari-jari berbeda dan permukaan buah, pada arah radial serta horizontal, dan berakhir pada posisi lingkungan buah (*ambient*), seperti terlihat pada Gambar 5. Asumsi lainnya adalah mengabaikan terjadinya respirasi. Perhitungan nilai konduktivitas termal dilakukan dengan menggunakan metode numerik. Bola di-

bagi menjadi beberapa bagian yaitu terdiri dari satu elemen (unsur volume) berupa bola dan lima elemen berupa kulit bola, dengan asumsi masing-masing elemen, temperturnya diwakili oleh  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  &  $T_w$ .



Gambar 5. Posisi sensor/temperatur pada buah semangka ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  &  $T_w$ ) dan *ambient* ( $T_\infty$ )

Ada tiga kriteria persamaan keseimbangan energi guna menyelesaikan perhitungan numerik tersebut, yaitu :

Pada elemen berbentuk bola, total energi yang menuju elemen tersebut adalah kalor konduksi berasal dari elemen berbentuk kulit bola di luarnya, besarnya sama dengan kenaikan internal energinya.

Pada elemen berbentuk kulit bola (interior), total energi yang menuju elemen tersebut adalah kalor konduksi berasal dari elemen sekelilingnya, besarnya sama dengan kenaikan internal energinya.

Pada elemen berbentuk kulit bola (eksterior), berbatasan dengan lingkungan konveksi, total energi yang menuju elemen tersebut adalah kalor konduksi dari elemen berbentuk kulit bola sebelah dalamnya dan kalor konveksi, besarnya sama dengan kenaikan internal energinya.

Dengan menerapkan persamaan keseimbangan energi yang sesuai untuk masing-masing elemen, nilai konduktivitas termal dihitung untuk setiap tambahan interval waktu. Cacah nilai konduktivitas termal yang diperoleh berbeda-beda untuk setiap elemen yang berbeda. Hal ini tergantung dari posisi elemen (biasanya elemen bagian dalam cacahnya lebih sedikit) dan tingkat kestabilan proses.

Hasil perhitungan nilai rerata konduktivitas termal yang diperoleh dari ke-tiga buah semangka tersebut adalah sebesar 0,438 W/m°C. Perhitungan tersebut menghasilkan deviasi standar ( $\sigma$ ) sebesar 0,191 W/m°C, dengan varian ( $\sigma^2$ ) sebesar 0,036 (W/m°C)<sup>2</sup>. Sedangkan nilai rerata difusivitas termal, sesuai persamaan (9) diperoleh sebesar 1,137x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal rerata buah semangka sedikit lebih besar bila dibandingkan dengan harga tengah buah apel, hasil penelitian Setiyo, Y. (1996), yaitu antara 0,233 sampai 0,610 W/m°C. Hal ini dapat difahami karena kandungan air pada buah apel lebih sedikit dibandingkan dengan buah semangka. Dengan demikian hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan, yaitu tentang bahan makanan dengan kandungan air. Berdasarkan *Mawell-Eucken equation* (Ashrae Handbook, 1993) menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal bahan (di atas titik beku) tersebut, naik dengan bertambahnya kandungan air, demikian juga dengan bertambahnya temperatur.

Dari uraian di atas maka dapat disimpulkan juga bahwa nilai difusivitas termal buah semangka sedikit lebih besar dibandingkan dengan buah apel, karena nilai difusivitas termal berbanding lurus dengan nilai konduktivitas termal, menurut persamaan (9). Di samping itu, nilai panas jenis buah semangka lebih besar dibanding buah apel, sesuai persamaan (7), atau menurut Ashrae Handbook (1993), serta rapat massa buah semangka lebih besar dibanding buah apel.

### KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini, adalah sebagai berikut: Hasil perhitungan nilai rerata konduktivitas termal buah semangka adalah sebesar 0,438 W/m°C, dengan deviasi standar ( $\sigma$ ) sebesar 0,191 W/m°C, dan varian ( $\sigma^2$ ) sebesar 0,036 (W/m°C)<sup>2</sup>. Nilai rerata difusivitas termal sebesar 1,137x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s.

Nilai konduktivitas dan difusivitas termal buah semangka sedikit lebih besar bila dibandingkan dengan buah apel.

### Daftar Notasi

$a$	= kandungan air, %
$\alpha$	= difusivitas termal, m <sup>2</sup> /s
$\beta$	= koefisien muai panas, 1/°C $= \frac{\rho_{00}-\rho}{\rho(T-T_{00})}$
$C_i$	= kapasitas termal unsur volume node i, J/°C
$c_i$	= panas jenis untuk node i, J/kg °C
$c_p$	= panas jenis, J/kg °C
$D$	= diameter bola (semangka), m
$E$	= internal energy, J
$Gr_D$	= Bilangan Grashof $= \frac{\rho^2 g \beta \Delta T D^3}{\mu^2}$
$g$	= percepatan gravitasi, m/s <sup>2</sup>
$h$	= koefisien perpindahan kalor konveksi, W/m <sup>2</sup> °C
$k$	= konduktivitas termal, W/m °C
$\mu$	= viskositas dinamik, Ns/m <sup>2</sup>
$Nu_D$	= Bilangan Nusselt $= \frac{h D}{k}$
$Pr$	= Bilangan Prandtl $= \frac{c_p \mu}{k}$
$\rho$	= rapat massa, kg/m <sup>3</sup>
$q_i$	= laju pembangkitan kalor pada node i, W
$R$	= tahanan termal, °C/W
$R_{ij}$	= tahanan termal antar unsur volume, °C/W
$r_i$	= jari-jari dalam, m
$r_o$	= jari-jari luar, m
$T$	= temperatur, °C
$T_w$	= temperatur permukaan buah, °C
$T_\infty$	= temperatur kotak pendingin (cooler)/lingkungan konveksi, °C
$\Delta T$	= beda temperatur, °C
$t$	= waktu, s
$\Delta t$	= tambahan waktu, s
$\Delta V$	= unsur volume, m <sup>3</sup>
<b>Subskrip</b>	
$D$	= menunjukkan bentuk bola
$n$	= posisi ke n
$n+1$	= posisi ke n+1
$n-1$	= posisi ke n-1
$i$	= node yang ditinjau
$j$	= node sekitar

Superskrip

$p$  = menunjukkan waktu

$p+1$  = setelah tambahan waktu

#### DAFTAR PUSTAKA

Ashrae Handbook, 1993, *Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta

Holman, J.P., 1993, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta.

Kreith, F., 1991, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta.

Pantastico, E.B., 1993, *Fisiologi Pasca Panen Penanganan dan Pemanfaatan Buah-buahan dan Sayur-sayuran di Daerah Tropika dan Sub tropika*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Pitts, D.R., Sissom, L.E., 1983, *Theory and Problem of Heat Transfer*, Asian Student Edition

Setiyo, Y., Kajian terhadap Konduktivitas dan Difusivitas Panas Buah Apel, *Majalah Ilmiah Teknologi Pertanian*, Vol. 2, No. 2, 1996

Winarno, 1981, *Fisiologi Pasca Panen*, Sastra Hudaya, Yogyakarta

Winarto dan Bastaman Syah, 2007, Model Matematika Perpindahan Panas Pada Pendinginan Awal (Pre-Cooling) Buah Berbentuk Bola Pejal Dengan Penyemprotan Air Dingin Udara, *Media Teknik*, No. 4, Tahun XXIX, Edisi November 2007

## PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYUSUTAN BERAT BAHAN UJI KABEL JENIS N2XSRY DAN NA2XSEYBY

Syafriyudin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 9 Mei 2012, revisi masuk : 19 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

### ABSTRACT

*Cable channel that serves the electrical energy is the most vulnerable equipment in the installation of security. The occurrence of short circuit in the installation of household is usually caused by bad cable connection or because of damage to cable insulation. To anticipate the damage to cable insulation, required the knowledge of the factors that cause the damage is and how great the influence of these factors on insulation resistance. The effect of temperature can cause the wiring insulation degradation process because it can result in changes in the chemical structure of the material. Degradasi this process is marked by a decrease insulation resistance, which is characterized by the rapid occurrence of breakdown voltage if the temperature continues to increase. The longer and higher temperature insulation material given the level of damage suffered by the material will also be greater. From the results of testing insulation resistance reduction characteristics can vary from insulating materials d test, depending on the percentage of additive materials are mixed with an insulating material, the degradation process continues over time due to a rise in temperature can cause the wiring insulation becomes stiff and the consequent breakdown voltage to the material will be faster.*

**Keywords :** *insulation, mechanical strength, temperatur.berat types*

### INTISARI

Kabel yang berfungsi menyalurkan energi listrik merupakan peralatan yang paling rentan dalam sisi keamanan instalasi. Terjadinya hubung singkat pada instalasi rumahtangga biasanya disebabkan karena sambungan kabel yang tidak baik ataupun karena rusaknya isolasi kabel. Untuk mengantisipasi kerusakan isolasi kabel, diperlukan adanya pengetahuan atas faktor-faktor penyebab kerusakan tersebut dan seberapa besar pengaruh faktor-faktor ini terhadap ketahanan isolasi. Pengaruh temperatur dapat menyebabkan terjadinya proses degradasi pada isolasi kabel karena dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur kimia bahan. Proses degradasi ini salah satunya ditandai dengan penurunan ketahanan isolasi, yang ditandai dengan semakin cepat terjadinya tegangan tembus jika temperatur terus dinaikkan. Semakin lama dan semakin tinggi temperatur yang diberikan pada bahan isolasi maka tingkat kerusakan yang dialami bahan juga akan semakin besar. Dari hasil pengujian karakteristik penurunan ketahanan isolasi dapat berbeda pada setiap bahan isolasi yang di uji, tergantung pada prosentase bahan aditif yang dicampurkan pada bahan isolasi, proses degradasi yang berlangsung secara terus menerus karena kenaikan temperatur dapat menyebabkan isolasi kabel menjadi kaku dan akibatnya tegangan tembus pada bahan akan semakin cepat.

**Kata kunci :** isolasi, kekuatan mekanis, temperatur.berat jenis

### PENDAHULUAN.

Tenaga listrik sangat praktis karena dapat dengan mudah dapat

ditransportasikan atau disalurkan dan juga mudah diatur. Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat listrik tenaga.

<sup>1</sup>dien@akprind.ac.id

Pusat-pusat tenaga listrik itu umumnya terletak jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan sehingga harus disalurkan melalui kawat-kawat atau kabel transmisi. Saluran transmisi terbagi dalam dua kategori yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel tanah (*underground cable*). Tenaga listrik yang menyalurkan melalui kawat-kawat yang digantung pada menara atau tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator, sedangkan kabel tanah berupa kawat-kawat yang diselubungi isolasi dan ditanam dibawah permukaan tanah.

Mengingat bahwa biaya suatu peralatan tegangan tinggi ditentukan oleh biaya pengadaan bahan isolasinya, disamping perencanaan isolasi yang tepat perlu diadakan riset untuk menemukan bahan-bahan baru yang lebih murah. Kualitas isolasi peralatan menentukan keandalan dan keamanan operasi sistem tenaga listrik. Pengujian harus dilakukan untuk menjawab apakah kualitasnya memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan untuk peralatan tersebut.

#### METODE

Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*), pengujian berat Jenis dimaksudkan untuk menilai kebenaran berat jenis pada bahan isolasi. Metode yang digunakan khusus untuk bahan baku PE, PVC dan XLPE. Pengujian ini sesuai dengan SPLN 39-1 : 1981. Alat Pengujian yang digunakan adalah timbangan Sauter dengan ketelitian 0,0001 gr, Gelas Pyrex 200 cc dan Cairan alkohol dengan B.J 0,82 gr/cc

Tahapan pengujian meliputi proses awal yaitu Bahan baku yang berbentuk butiran kecil dipadatkan/dipres dengan tebal 5 mm, dengan tujuan agar tidak ada gelembung-gelembung udara pada contoh tersebut yang mengakibatkan beratnya berkurang. Kemudian dipotong-potong sedemikian rupa sehingga diperoleh berat  $\pm 2,5$  gr. Contoh harus berada di suhu ruangan  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ . Contoh ditimbang di udara dengan berat  $M_1$ , kemudian contoh ditimbang di dalam cairan alkohol dengan berat jenis 0,8 gr/cc dengan digantung dengan kawat halus dengan

berat  $M_2$ , sehingga didapat perhitungan sebagai berikut :

Berat Jenis (*Specific Gravity*) :

$$\frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$$

Keterangan :

Berat jenis : ( $\text{gr/cm}^3$ )

$M_1$  : berat contoh di udara ( gr )

$M_2$  : berat contoh di dalam cairan ( gr )

$d$  : berat jenis cairan ( 0,8 gr/cc )



Gambar 1. Alat pengujian berat Jenis

#### PEMBAHASAN

Pengujian Penyusutan Berat (*Plasticizer Loss on Ageing*), Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penyusutan berat bahan isolasi khususnya PVC karena proses penuaan (*Loss of mass*) setelah dproses dengan penuaan 7 x 24 jam. Pengujian ini sesuai dengan IEC 60811-3-2 : 1985. Alat Pengujian yang digunakan meliputi Alat *Press Pontijne*, Oven, Timbangan Sauter dengan ketelitian 0,0001 gr

Proses pengujian melalui beberapa tahapan. Tahap pertama butiran sampel PVC dipres dalam bentuk lempengan dengan ketebalan  $\pm 1,2$  mm pada alat *pontijne* dengan setting temperatur sesuai tipe bahan baku. Bahan baku yang telah dipres di *dumble* dengan *helter*.

Langkah kedua yaitu kepingan *dumble* ditimbang kemudian dilakukan penuaan dengan cara dioven selama 7 x 24 jam dan setting temperatur oven disesuaikan dengan tipe bahan baku. Langkah ketiga, setelah proses penuaan selesai, sampel tersebut didinginkan hingga mencapai suhu ruangan.



Gambar 2 Alat Press *Pontijne*

Kemudian timbang sampel tersebut satu per satu dengan alat timbangan *sauter* dan ukur ketebalannya. Perhitungan berat penyusutan setelah proses penuaan adalah berdasarkan rumus :

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

Keterangan :

A : Area (cm<sup>2</sup>)

t : Tebal (cm)

$$Q : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}}$$

Keterangan :

Q : *Plasticizer Loss on Ageing* ( mg/cm<sup>2</sup> )

*Difference* : Selisih berat sebelum penuaan dan sesudah penuaan ( mg )



Gambar 3 Proses penuaan dengan oven

Hasil Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity* ), hasil pengujian berat Jenis dimaksudkan untuk menilai kebenaran berat jenis pada bahan isolasi. Pengujian ini sesuai dengan SPLN 39-1 : 1981 yang meliputi Material : PVC *Sheathing Grade*, Type : YM/1 or STI RD ( Red , ) Room Temperature : 20<sup>0</sup> C S.G Liquid: 0,82 gr/cm<sup>3</sup> .

$$\text{Berat Jenis} : \frac{M_1 \times d}{M_1 - M_2}$$

Dengan 4 buah sampel hasilnya adalah.:

$$\text{Berat Jenis} : \frac{3,0760 \times 0,82}{3,0760 - 1,3270} : 1,4421 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Berat Jenis} : \frac{2,8953 \times 0,82}{2,8953 - 1,2470} : 1,4404 \text{ gr/cm}^3$$

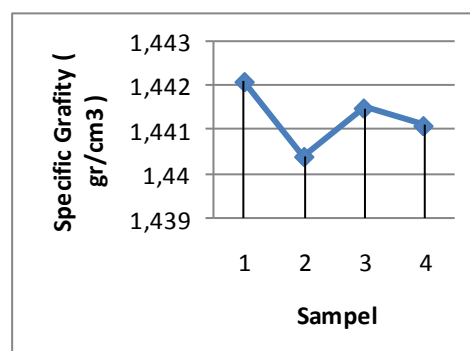
$$\text{Berat Jenis} : \frac{3,1048 \times 0,82}{3,1048 - 1,3386} : 1,4415 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Berat Jenis} : \frac{3,0374 \times 0,82}{3,0374 - 1,3091} : 1,4411 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 1 Pengujian Berat

No	Weight on Air ( gr )	Weight in Liquid ( gr )	Specific Gravity ( gr/cm <sup>3</sup> )	Remarks
1	3,0760	1,3270	1,4421	G Liquid : 82 gr/cm <sup>3</sup>
2	2,8953	1,2470	1,4404	
3	3,1048	1,3386	1,4415	
4	3,0374	1,3091	1,4411	
Value			1,4413	

Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui berat jenis dari bahan PVC dan untuk mengetahui kadar air dalam bahan. Bila kadar air dalam bahan itu tinggi maka kekuatan tahanan isolasi pada bahan akan berkurang. Hal tersebut dapat mengakibatkan kegagalan dielektrik maupun mekanis.



Gambar 4. Grafik hasil Pengujian Berat Jenis.

Pengujian Penyusutan Berat (*Plasticizer Loss On Ageing*), pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penyusutan berat bahan isolasi khususnya PVC karena proses penuaan (*Loss of mass*) setelah diproses dengan penuaan 7 x 24 jam. Pengujian ini sesuai dengan IEC 60811-3-2 : 1985 yang meliputi Material : PVC *Sheathing Grade*, Type : YM/1 or STI RD ( Red ), *Room Temperature* : 20 ° C dan *Plasticizer Loss On Ageing* : 100 ° C. Hasil pengujian berat ini adalah:

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

$$Q : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}}$$

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

$$: 12,56 + 180 \times 0,0135$$

$$: 14,99 \text{ cm}^2$$

$$: \frac{15,1}{14,99}$$

$$: 1,0073 \text{ mg/cm}^2$$

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

$$: 12,56 + 180 \times 0,0142$$

$$: 15,12 \text{ cm}^2$$

$$: \frac{13,7}{15,12}$$

$$: 0,9061 \text{ mg/cm}^2$$

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

$$: 12,56 + 180 \times 0,0133$$

$$: 14,95 \text{ cm}^2$$

$$: \frac{12,9}{14,95}$$

$$: 0,8629 \text{ mg/cm}^2$$

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

$$: 12,56 + 180 \times 0,0146$$

$$: 15,19 \text{ cm}^2$$

$$Q : \frac{\text{Difference}}{\text{Area}}$$

$$: \frac{15,8}{15,19} : 1,0401 \text{ mg/cm}^2$$

$$A : 12,56 + 180 \times t$$

$$: 12,56 + 180 \times 0,0137$$

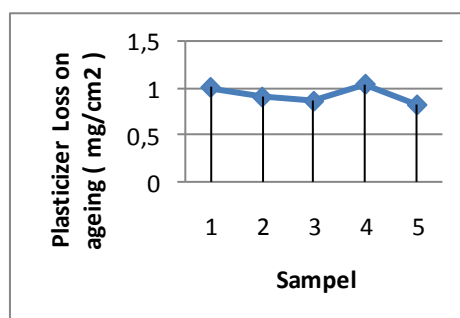
$$: 15,03 \text{ cm}^2$$

$$: \frac{12,4}{15,03}$$

$$: 0,8250 \text{ mg/cm}^2$$

Tabel 2 Pengujian Penyusutan Berat (*lasticizer Loss On Ageing*)

No	Thick-ness (mm)	Weight		Difference (mg)	Area	Plasticizer Loss on Ageing (mg/cm <sup>2</sup> )
		Before Ageing (gr)	After Ageing (gr)			
1	1,35	1,30	1,29	15,1	14,99	1,08
2	1,42	1,35	1,34	13,7	15,12	0,91
3	1,33	1,29	1,28	12,9	14,95	0,86
4	1,46	1,38	1,37	15,8	15,19	1,05
5	1,37	1,31	1,22	12,4	15,03	0,83
						<b>0,93</b>



Gambar 5. Grafik Pengujian Penyusutan Berat (*Plasticizer Loss On Ageing*)

Suhu juga sangat berpengaruh terhadap berubahnya struktur ikatan atom dalam bahan tersebut. Sehingga akan mempercepat penuaan pada bahan.

#### KESIMPULAN.

Dari uraian diatas maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Bahan isolasi mempengaruhi : sifat kelistrikan, sifat mekanis, sifat thermal, dan ketahanan terhadap bahan kimia. Kegagalan pada bahan isolasi kabel sebagian besar disebabkan oleh pengaruh suhu yang tinggi. Pengaruh suhu akan mempercepat berkurangnya kekuatan dielektris bahan yang dapat menyebabkan terjadinya Breakdown Voltage dan arus bocor.

Kekuatan tarik dan prosentase pemuluran bahan isolasi jenis PVC pada bahan yang tidak mengalami proses penuaan (*Before Ageing*) Dimana grafik kuat tarik sebelum proses penuaan meningkat terus, hal ini disebabkan pada bahan belum terjadinya kegagalan yang diakibatkan oleh beberapa faktor karena tidak mengalami perlakuan (*Threatment*) sehingga ikatan-ikatan struktur pada bahan belum berubah.

Bahan yang telah mengalami proses penuaan (*After ageing*) terjadi pemuluran. Dimana bahan mengalami degradasi, akibat perlakuan (*Threatment*) yaitu proses penuaan dengan dipanaskan selama waktu yang telah ditentukan. Sehingga dapat mempengaruhi ikatan-ikatan kimia dalam struktur bahan yang dapat mengakibatkan umur bahan menjadi lebih pendek dan kekuatan mekanis bahan berkurang.

Besarnya penyusutan berat bahan terhadap suhu konstan dengan membandingkan berat sebelum penuaan dan setelah penuaan. Suhu sangat berpengaruh terhadap berubahnya struktur ikatan atom dalam bahan tersebut. Sehingga akan mempercepat penuaan pada bahan.

Khusus bahan XLPE. bahan ini dapat dikatakan baik bila saat dikenakan suhu panas maka pemulurannya tidak melebihi batas yang ditentukan dan pada saat didinginkan maka dapat kembali seperti semula. Hal ini sangat penting dikarenakan bahan XLPE digunakan untuk inner insulation yang dekatnya dengan penghantar. Bila bahan XLPE saat didinginkan tidak kembali seperti semula maka akan ada udara yang masuk diantara celah-celah isolasi dengan penghantar. Sehingga dapat mengakibatkan breakdown voltage, karena tahanan udara lebih kecil dibanding tahanan isolasi, akibatnya udara berubah menjadi penghantar yang akan menembus bahan isolasi tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abdul Syakur, Sistem Pengukuran Partial Discharge pada Model Void dalam PVC, UNDIP, Semarang. 2008

Bonggas, L. Tobing, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Gramedi Pustaka Utama. Jakarta.2003.

IEC, Assesment of the Risk of Damage due to Lightning, International Standard, CEI IEC 1662 First Edition, 1995.

JEC. Pengujian Hot set, IEC 60811-2-1:1986

[5]IEC, Kabel Daya Dengan Insulasi Terekstrusi Dan Kelengkapannya Untuk Voltase Pengenal 1 kV – 30 kV, IEC 60502-1: 2009

Kabelindo, PT, Pengujian Tegangan Medium Voltage AC/DC. Jakarta

Kabelindo, PT, Pengujian Tahanan Isolasi Kabel Medium Voltage. Jakarta

Kabelindo, PT, Pengujian R Penghantar Kabel Medium Voltage. Jakarta

Munandar A., DR, Teknik Tegangan Tinggi, Ghalia, Indonesia. Jakarta, 1983.

]Schufft, W. Powerful frequency-tuned resonant test systems for after-laying test of 110 kV XLPE cables. 9<sup>th</sup> ISH Graz, paper 49.86. 1995.

SPLN, Kabel Berisolasi XLPE dan Berselubung PVC, SPLN 43 – 5. 1986

]SPLN, Pengujian Kabel Listrik, SPLN 39-1.1981

SPLN, Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strength*) pasal 9 Sub ayat 43, SPLN SPLN 39-1. 1981

[14]Suwarno, Pengaruh Usia Pakai Terhadap Karakteristik Thermal Isolasi Polyvinyl Chloride ( PVC ). Tesis. ITB. 2005



## ANALISA DAYA SAING PERUSAHAAN DITINJAU DARI ASSESMENT TEKNOLOGI

Yuliasuti Ramadhani<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 26 April 2012, revisi masuk: 11 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

### ABSTRACT

*Company X is a printing company such as making leaflets, banners, billboards and others. There is a competitors in the region makes the company must continue to increase its productivity in accordance with the development of existing technology in order to have a high level of competitiveness. The existence of competitors in the region makes the company must continue to increase its productivity in accordance with the development of existing technology in order to have a high level of competitiveness. The purpose of this study is to determine the strengths, weaknesses, opportunities, threats (SWOT) and determine performasi companies through content technology assessment (Technoware, Humanware, Infoware, and Orgaware) or THIO. The results showed that the SWOT method internal factors force score the highest points are the location of manufacturing sites is strategically located on the roadside, the weakness factors is on the highest score of machinery because most existing engines are still using old technology, and opportunity analysis on external factors highest score is the level of technological progress, as well as a threat the highest score is the emergence of new competitors. While THIO obtained from the technological content of each component as follows: Technoware = 0633, Humanware = 0699, Infoware = 0439, Orgaware = 0498. In comparison has been measured also in similar companies in the company Y (as benchmarking) has a value of each component Technoware = 0.801; Humanware = 0.79; Infoware = 0.64; Orgaware = 0.78.,*

**Keywords:** Competitive, SWOT, THIO

### INTISARI

Perusahaan X adalah perusahaan yang bergerak di bidang percetakan, diantaranya membuat undangan, leaflet, spanduk, baliho dan lain-lain. Dengan adanya *competitor* dalam satu wilayah membuat perusahaan harus terus dapat meningkatkan produktivitasnya sesuai dengan perkembangan teknologi yang ada agar dapat memiliki tingkat daya saing yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kekuatan, kelemahan, peluang, ancaman (SWOT) dan menentukan performasi perusahaan melalui penilaian kandungan teknologinya (*Technoware, Humanware, Infoware, dan Orgaware*) atau THIO. Hasil penelitian dengan metode SWOT menunjukkan bahwa faktor internal kekuatan skor butir yang tertinggi yaitu letak lokasi pabrik yang strategis dan berada di pinggir jalan, faktor kelemahan skor tertingginya yaitu terletak pada permesinan karena sebagian besar mesin yang ada masih menggunakan teknologi lama, dan pada faktor eksternal analisis peluang skor tertingginya adalah tingkat kemajuan teknologi, serta ancaman skor tertingginya yaitu terletak pada munculnya pesaing baru. Sedangkan dari analisis THIO diperoleh kandungan teknologi dari setiap komponen sebagai berikut: *Technoware* sebesar 0.633, *Humanware* sebesar 0.699, *Infoware* sebesar 0.439, *Orgaware* sebesar 0.498. Sebagai perbandingan telah diukur pula pada perusahaan sejenis di perusahaan Y (sebagai benchmarking) mempunyai nilai setiap komponen *Technoware* sebesar 0,801; *Humanware* sebesar 0,79; *Infoware* sebesar 0,64; *Orgaware* sebesar 0,78.

**Kata kunci :** Daya saing, SWOT, THIO

## PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi perkembangan industri ditandai dengan terjadinya perubahan-perubahan di berbagai bidang secara cepat dan terus menerus. Hal ini menunjukkan bahwa persaingan usaha semakin ketat di mana fokus persaingannya adalah kekuatan teknologi.

Peran teknologi sebagai alat dari manusia karya untuk mewujudkan dan melipatgandakan potensi insani dalam industri semakin luas dan dominan. Hal perkembangan teknologi permesinan, peralatan, sistem, organisasi maupun informasi yang sangat cepat akan merubah tatanan bisnis menjadi sangat dinamis. Untuk itu, transformasi teknologi perlu diukur secara eksplisit agar suatu perusahaan mengetahui posisi saat ini kemudian merencanakan perbaikan sistem produksinya dengan harapan dapat merebut pangsa pasar dan mempunyai daya saing yang tinggi,

Perusahaan X adalah suatu usaha di bidang percetakan. Perusahaan ini masih banyak kekurangan-kekurangannya baik dari segi internal maupun eksternal. Oleh karena itu, perlu diteliti seberapa jauh kekurangannya yang berkaitan dengan teknologi agar dapat meningkatkan kualitas dan omset perusahaan serta memiliki tingkat daya saing yang tinggi.

Teknik yang digunakan untuk mengukur posisi perusahaan dengan analisa SWOT dan menggunakan penerapan manajemen teknologi agar dapat diukur nilai teknologi yang ada dalam perusahaan. Diharapkan hasil penelitian dapat dipergunakan sebagai pertimbangan bagi perusahaan untuk memajukan strategi produksinya. Untuk mengukur kemampuan daya saing Perusahaan X dalam dunia usaha percetakan, maka dilakukan *benchmarking* dengan perusahaan sejenis yang berada di wilayah pemasaran yang sama. Perusahaan yang dijadikan acuan *benchmarking* adalah Perusahaan Y.

## METODE

Menurut Rangkuti, F, (2004), penelitian ini menggunakan analisa SWOT, yaitu analisa yang mencakup lingkungan internal dan eksternal organisasi atau

perusahaan dan disebut auditing internal dan eksternal.

Kekuatan adalah semua faktor internal yang dapat didayagunakan untuk mendukung pertumbuhan organisasi, sedangkan kelemahan meliputi faktor-faktor internal yang merugikan terhadap proses pencapaian tujuan organisasi.

Matriks *Threats – Opportunities – Weaknesses - Strengths* (TOWS/SWOT) merupakan *matching tool* yang penting untuk membantu para manajer mengembangkan empat tipe strategi. Keempat tipe strategi yang dimaksud adalah:

Strategi SO (*Strength-Opportunity*), Strategi ini menggunakan kekuatan internal perusahaan untuk meraih peluang-peluang yang ada diluar perusahaan. Pada umumnya, perusahaan berusaha melak-sanakan strategi-strategi WO, ST, atau WT untuk menerapkan strategi SO. Strategi WO (*Weakness-Opportunity*), Strategi ini bertujuan untuk memperkecil kelemahan-kelemahan internal perusahaan dengan memanfaatkan peluang-peluang eksternal.

Strategi ST (*Strength-Threat*), melalui strategi ini perusahaan berusaha untuk menghindari atau mengurangi dampak dari ancaman-ancaman eksternal.

Strategi WT (*Weakness-Threat*). Strategi ini merupakan taktik untuk bertahan dengan cara mengurangi kelemahan internal serta menghindari ancaman. (Husein Umar, 2003)

Pendekatan *Technology Atlas Project Method*, Teknologi berdasarkan pengertian dari *Economic and Commission for Asia and The Pacific (ESCAP)* (dalam Jerusalem, 2002) meliputi empat komponen, yaitu:

*Technoware (T)*, *Objectembodied technology = physical facilities =* perangkat teknis: Mencakup peralatan, perlengkapan, mesin-mesin, kendaraan bermotor dan infrastruktur fisik yang dipergunakan manusia dalam mengoperasikan transformasi.

*Humanware (H)*, *Person embodied technology = human abilities =* kemampuan sumber daya manusia: meliputi pengetahuan, keterampilan, kebijaksanaan, kreativitas, prestasi, dan pengalaman dalam memanfaatkan sumber daya

alam dan sumber daya teknologi yang tersedia.

*Infoware (I)*, *Documentembodied technology= document fact*=perangkat informasi: berkaitan dengan proses, prosedur, teknik, metode, teori, spesifikasi, desain, observasi, manual dan fakta lainnya yang diungkapkan melalui publikasi, dokumentasi, dan cetak biru.

*Orgaware (O)*, *Institution-embodied technology=organizational framework*=perangkat organisasi/kelembagaan: dibutuhkan untuk mawadahi fasilitas fisik, kemampuan manusia, dan fakta, yang terdiri dari praktik-praktik manajemen, keterkaitan, dan pengaturan organisasi untuk mencapai hasil yang positif.

Keempat komponen teknologi tersebut saling komplementer satu dengan yang lain. *Technoware* merupakan inti dari sistem transformasi. Pendekatan *Technology Atlas Project Method* bertujuan untuk mengukur kontribusi gabungan dari keempat komponen teknologi dalam suatu proses transformasi input menjadi output. Kontribusi gabungan ini bisa pula disebut sebagai kontribusi teknologi.

*Asesmen* (nilai) Tingkat Sopistikasi Komponen Teknologi, Sharif M.N, 1988 membagi besaran teknologi kedalam empat komponen yaitu *Technoware*, *Humanware*, *Infoware*, dan *Orgaware*. Klasifikasi atau pengelompokan dari derajat sopistikasi masing-masing komponen. Komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut:

Estimasi Tingkat Sopistikasi Teknologi, Tingkat Sopistikasi *technoware*, Pengkajian perangkat teknologi (*technoware*) didasarkan pada tingkat kecanggihan perangkat keras yang berkaitan langsung dengan produksi. Didasarkan pada klasifikasi tingkat umum untuk tahapan-tahapan berikut: Tingkat sopistikasi *technoware*; Tingkat Sopistikasi *Humanware*; Tingkat Sopistikasi *Infoware*; sebagaimana pada Tingkat kecanggihan *technoware* antara lain: Pengkajian perangkat *infoware* didasarkan pada tingkat pembaharuan, pengulangan, integrasi, dan kemudahan mengkomunikasikan informasi. Tingkat kecanggihan *infoware* d Tingkat Sopistikasi *Orgaware* Penilaian *State of The Art* Teknologi, *State of*

*theart* adalah prosentase keadaan teknologi fasilitas yang diteliti terhadap fasilitas yang dianggap terbaik di dunia. Prosedur penentuan *stateofheart* yang dilakukan adalah:

Rating *state of the art* komponen *technoware* item ( i )

$$ST_i = \frac{1}{10} \left[ \frac{\sum_k t_{ik}}{k_i} \right] \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan : k = 1,2,.....,k<sub>i</sub>  
t<sub>ik</sub> = skor kriteria ke- k untuk *technoware* unsur ke- i

Menentukan Kontribusi Komponen Teknologi, berdasarkan data yang diperoleh dari langkah-langkah sebelumnya, kontribusi komponen kemudian dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$T_i = \frac{1}{9} [LT_i + ST_i(UT_i - LT_i)] \dots\dots (2)$$

## PEMBAHASAN

Hasil Kuesioner Penyebaran kuisisioner ke seluruh karyawan Perusahaan X sebagai responden yaitu sebanyak 15 orang. Dari hasil uji Validitas dan reabilitas menunjukkan bahwa Koefisien korelasi dari butir pertanyaan ke 1 sampai butir pertanyaan ke 28 dengan skor butir masing-masing mendekati ketentuan hipotesis skor total adalah signifikan secara statistik dan dapat dinyatakan valid (sah), serta H<sub>0</sub>=diterima. Dari pengolahan data dengan software SPSS 14.0 *alpha cronbach* > 0.5 artinya bahwa butir-butir kuisisioner tersebut dapat dinyatakan reliabel (Ghozali, I. 2001).

Hasil SWOT (*Strength, Weakness, Opportunity, Threat*), hasil analisa SWOT pada Perusahaan X sebagai berikut: Faktor Internal Analisis Kekuatan (*Strength*). Memiliki tenaga kerja yang *qualified* (terampil, terlatih dan berpengalaman) pada pekerjaan.

Lokasi perusahaan strategis berada di pinggir jalan, sehingga mudah untuk dikenal.

Memiliki jaringan distribusi yang luas.

Analisis Kelemahan (*Weakness*) Sebagian mesin masih dioperasikan se-

cara manual dan masih menggunakan teknologi lama.

Peningkatan jenjang karir karyawan kurang diperhatikan, sehingga karyawan dalam melakukan pekerjaannya kurang mandiri dan semangat.

Pada bagian produksi perputaran pekerjaan kurang diperhatikan sehingga karyawan bosan melakukan pekerjaannya.

Pada proses pencetakan buku hanya sebatas mencetak, sedangkan cover / finishing masih diselesaikan pihak lain.

Faktor Eksternal, analisis Peluang (*Opportunity*). Di daerah Ngaglik, perusahaan percetakan sangat sedikit maka perusahaan berusaha meningkatkan produktivitas produksi serta mengembangkan produk-produk terbaik agar dapat meningkatkan omset perusahaan dan memiliki daya saing yang tinggi.

Kinerja perusahaan masih dapat ditingkatkan dengan pengembangan teknologi yang lebih baik dan didukung dengan tersedianya fasilitas-fasilitas perbengkelan yang dapat menunjang perawatan pabrik.

Analisis Ancaman (*Threat*), Adanya kompetitor dalam satu wilayah yang mempunyai teknologi yang lebih baik dari segi pengoperasian mesin dan usia mesin karena dapat mempengaruhi kualitas dan kapasitas hasil produksi

Semakin meningkatnya kesadaran pelanggan akan produk yang lebih berkualitas. Hasil Perhitungan *Asesmen Teknologi (THIO)* Perusahaan X, Langkah 1. Estimasi Tingkat Sopistikasi Teknologi

Tabel 5. Komponen *technoware* (mesin Repro)

Penilaian			
Batas Bawah		Batas Atas	
Tingkat Klasifikasi	Nilai	Tingkat Klasifikasi	Nilai
3	4	4	6
Batas bawah: Mesin melakukan operasi, operator melakukan kontrol operasi sepenuhnya			
Batas atas: Mesin melakukan operasi khusus, operator melakukan control operasi sepenuhnya			

Penilaian Tingkat Sopistikasi *Technoware*, alat produksi yang diguna-

kan pada percetakan dan termasuk komponen teknologi berupa *technoware* ( $T_i$ ) yaitu :  $i = 1$  yaitu mesin Repro,  $i = 2$  yaitu, Mesin Laminating ,  $i = 3$  yaitu mesin potong kertas manual,  $i = 4$  yaitu mesin finishing,  $i = 5$  yaitu mesin sablon manual,  $i = 6$  yaitu mesin kompresor dan  $i = 7$  yaitu mesin las.

Komponen *technoware* ( $T_1$ ) yaitu mesin *Repro*, klasifikasi dan nilai komponen *technoware* item mesin *image setter* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Klasifikasi dan nilai komponen *technoware* untuk mesin lain dilakukan dengan cara sama. Penilaian Tingkat Sopistikasi *Humanware*, kemampuan SDM yang ada pada percetakan dan yang termasuk komponen *humanware* ( $H_j$ ) yaitu :  $j = 1$  untuk kemampuan pemilik,  $j = 2$  untuk kemampuan KASI (kepala seksi),  $j = 3$  untuk kemampuan Staf,  $j = 4$  untuk kemampuan Teknisi,  $j = 5$  untuk kemampuan Operator.

Tabel 6. Komponen *humanware* (kemampuan)

Penilaian			
Batas Bawah		Batas Atas	
Tingkat Klasifikasi	Nilai	Tingkat Klasifikasi	Nilai
6	7	7	8
Alasan Penilaian: Batas bawah: Direktur memimpin langsung sampai ke KASI Batas atas: Direktur berwenang menentukan kebijakan-kebijakan internal maupun eksternal perusahaan			

Komponen *humanware* ( $H_1$ ) yaitu kemampuan Direktur/pemilik, klasifikasi dan nilai komponen *humanware* item dalam hal kemampuan Direktur dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 7. Komponen *infoware*

Penilaian			
Batas Bawah		Batas Atas	
Tingkat Klasifikasi	Nilai	Tingkat Klasifikasi	Nilai
1	3	2	4
Batas bawah: Perusahaan memiliki informasi secara umum bagaimana menjalankan perusahaannya dalam bidang percetakan Batas atas: Perusahaan memiliki pemahaman mengenai prinsip-prinsip dasar penggunaan peralatan dan proses.			

Klasifikasi dan nilai komponen technoware untuk mesin lain dilakukan dengan cara sama.

Penilaian Tingkat Sopistikasi *Infoware*, klasifikasi dan nilai komponen *infoware* dapat dilihat pada Tabel 7.

Penilaian Tingkat Sopistikasi *Orgaware*, klasifikasi dan nilai komponen *orgaware* dapat dilihat pada table 8.

Tabel 8. Komponen *orgaware*

Penilaian			
Batas Bawah		Batas Atas	
Tingkat Klasifikasi	Nilai	Tingkat Klasifikasi	Nilai
2	4	3	5

Batas bawah:  
Modal perusahaan berasal dari modal sendiri , dan profitabilitas rendah  
Batas atas: Finansial bersumber dari modal sendiri & sumber finansial formal dan profitabilitas sedang

Langkah 2. Penilaian *State Of The Art*, pembobotan Komponen *Technoware*. Perbandingan antar kategori pada komponen *technoware* diperlihatkan Tabel 9.

Tabel 9. Pembobotan item komponen *technoware*

No.	Komponen	Bobot
1	Mesin <i>Repro</i>	0.2
2	Koputer	0.15
3	Mesin <i>Laminating</i>	0.10
4	Mesin potong kertas manual	0.10
5	Mesin <i>Sablon manual</i>	0.15
6	Mesin <i>Finishing</i>	0.15
7	Mesin <i>kompresor</i>	0.08
8	Mesin <i>Las</i>	0.07

Kriteria Evaluasi Komponen *Technoware*. Perhitungan untuk menentukan nilai *state of the art* ( $ST_1$ ) pada komponen *technoware* (mesin *Repro*)

$$ST_i = \frac{1}{10} \left[ \frac{\sum_k t_{ik}}{k_i} \right] = \frac{1}{10} \left[ \frac{6+5+6+6+5+6}{6} \right]$$

$$= \frac{1}{10} \left[ \frac{34}{6} \right] = 0.567$$

Untuk penilaian *state of the art* komponen *humanware*, *infoware* dan *orgaware* dengan cara sama, adapun hasil selengkapnya ada pada Tabel 11.

Langkah 3. Menentukan Kontribusi Komponen dan Kontribusi Total

Tabel 10. Evaluasi komponen *technoware* (mesin *Repro*)

No	Kriteria	Nilai
Kompleksitas operasi		
1	(kemudahan pengoperasian)	6
2	Pengendalian proses	5
3	Kemudahan perawatan	6
4	Kualitas hasil	6
5	Fleksibilitas mesin	5
6	Kapasitas	6
Total		34
$ST_1$		0.567

Kontribusi komponen teknologi yang terdiri dari item dan kontribusi total masing-masing komponen dihitung. Adapun contoh perhitungan untuk komponen *technoware* mesin *repro* sebagai berikut:

$$T_i = \frac{1}{9} [LT_i + ST_i(UT_i - LT_i)]$$

$$= \frac{1}{9} [4 + 0.567(6 - 4)] = 0.570$$

Penentuan Kontribusi Total = Kontribusi Komponen X Bobot = 0,570 X 0,20 = 0,114. Hasil selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 11.

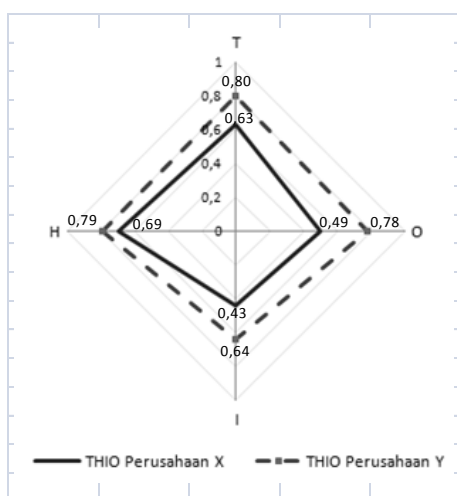
Dari pengolahan data secara keseluruhan pada perusahaan X kontribusi komponen THIO menunjukkan hasil sebagai berikut: komponen *technoware* sebesar 0.633, disebabkan karena usia mesin yang sudah terlalau tua dan pengoperasian mesin yang masih sederhana (hanya sebagian yang semi-otomatis). Komponen *humanware* lebih tinggi, yaitu 0.698, disebabkan karena memiliki tenaga kerja yang sudah lebih berpengalaman dan sesuai dengan kualifikasi pendidikan. Komponen *infoware* sebesar 0.439. nilai tersebut dipengaruhi oleh kurangnya keterpaduan sistem informasi. Komponen *orgaware* sebesar 0.498, dipengaruhi struktur dan koordinasi kerjaan masih rendah.

Dari keempat komponen teknologi, komponen *humanwaerl* yang memiliki nilai paling besar, sehingga memberikan nilai tambah terhadap daya dukung kinerja perusahaan.

Tabel 11. Kontribusi komponen teknologi

Komponen Teknologi	Batas Atas	Batas Bawah	State of the art rating	Kontribusi Komponen	Bobot	Total
<i>Technoware</i>	$UT_i$	$LT_i$	$ST_i$	$T_i$		
Mesin Repro	6	4	0.567	0.570	0.20	0.114
Komputer	8	6	0.70	0.822	0.15	0.123
Mesin <i>Laminating</i>	7	5	0.60	0.689	0.10	0.069
Mesin <i>potong kertas</i>	6	4	0.583	0.574	0.10	0.057
Mesin <i>Sablon</i>	4	5	0.567	0.930	0.15	0.074
Mesin <i>Finishing</i>	7	6	0.633	0.737	0.15	0.110
Komprores	6	4	0.567	0.570	0,08	0.046
Las	6	4	0.5	0.556	0,07	0.039
						0,633
<i>Humanware</i>	$UH_j$	$LH_j$	$SH_j$	$H_j$		
Direktur	9	7	0.73	0.940	0.2	0.188
KASI (Kepala Seksi)	7	6	0.63	0.737	0.2	0.147
Staf	7	5	0.65	0.700	0.175	0.123
Teknisi	5	4	0.50	0.500	0.2	0.100
Operator	6	5	0.63	0.625	0.225	0.141
						0.699
<i>Infoware</i>	UI	LI	SI	I		
	5	3	0.475	0.439	1	0.439
<i>Orgaware</i>	UO	LO	SO	O		
	5	4	0.48	0.498	1	0.498

Sedangkan komponen *technoware* memiliki nilai ke-2 terbesar, sehingga daya dukung komponen terasa ma-



Gambar 1. Diagram Plotting Nilai Komponen THIO pada perusahaan X dan Y

Keterangan : T = *Technoware*; H = *Humanware* I = *Infoware*; O = *Orgaware*

sih kurang. Dengan demikian dari aspek teknologi perusahaan ini masih rendah daya saingnya karena diantaranya masih menggunakan mesin keluaran lama sehingga mempengaruhi tingkat kinerja atau operasional mesin.

Hasil perhitungan (THIO) dari perusahaan Y, sebagai *benchmarking*

pembandingan untuk perusahaan mengacu pada penelitian sebelumnya (Sodikin, 2004) yang menjadi obyek penelitian, serta perusahaan yang di jadikan *benchmarking* dapat dilihat pada Gambar 1. Diagram Plotting Nilai Komponen THIO pada perusahaan X dan Y.

## KESIMPULAN

Dari analisis dan perhitungan data-data yang ada dengan menggunakan metode matrik SWOT dan *Technology Atlas project Method* maka dapat disimpulkan :

Bahwa faktor internal analisis kekuatan (*strength*) dengan skor butir yang tertinggi yaitu letak lokasi pabrik yang strategis dan berada dipinggir jalan. Sedangkan analisis kelemahan (*weakness*) skor tertingginya adalah skor butir-8, yaitu terletak pada permesinan karena sebagian besar mesin yang ada masih menggunakan teknologi lama.

Pada faktor eksternal analisis peluang (*opportunity*) skor tertingginya adalah tingkat kemajuan teknologi . Sedangkan analisis ancaman (*threat*) skor tertingginya yaitu terletak pada munculnya pesaing baru, hal ini penting karena banyak perusahaan yang sejenis (kompetitor) sudah memiliki teknologi yang lebih baik .

Dengan analisis THIO diperoleh kontribusi masing-masing komponen pa-

da perusahaan X sebagai berikut: komponen *Technoware* = 0.633, *Humanware* = 0.699, *Infoware* = 0.439, *Orgaware* = 0.498. Sedangkan perusahaan Y sebagai *bench-marking* diperoleh kontribusi masing-masing komponen, yaitu *Technoware*=0.801, *Humanware* = 0,79 *Infoware* =0,64 *Orgaware*= 0,78. Dengan demikian jika perusahaan X ingin mempunyai daya saing dan produktivitas yang tinggi sebaiknya meningkatkan teknologi dengan pengadaan mesin mesin terbaru dan sistem informasi masalah penggunaan sarana dan prasarana produksi yang memadai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ghozali, I. 2001. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SP-SS*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Jerusalem, M.A, 2002. *Technology Atlas Project Method dan Manajemen Peningkatan Mutu Berbasis Sekolah Sebagai Alat Penjamin Mutu Jasa Pendidikan*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rangkuti, F, 2004, *Analisis SWOT Teknik Membedah Kasus Bisnis*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sharif, M.N., 1988, Basis For echno-Economic Policy Analysis, *Science and Piblic Policy*, 15(4).
- Sodikin, I, 2004. *Pendekatan Asesmen Teknologi Dalam Penentuan Posisi Daya Saing Perusahaan*. Jurnal Academia , ISTA Yogyakarta.

## APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN DIGITAL LOOP CARRIER

Uning Lestari<sup>1</sup>, Marwoto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 4 April 2012, revisi masuk : 11 Juni 2012, diterima: 5 Juli 2012

### ABSTRACT

*Currently Open Source software development takes place rapidly with a variety of variations. Support of many people towards Open Source software that is easy to come by, the main attraction that support poppularitas software. One of the Operating System that is popular among programmers in making Web-GIS is MapServer. Web-GIS a system that uses a computer device, to store, process, recall and manipulate geographic data. Using Geographic Information System (GIS) is expected for the users would be easier to know the mapping, GIS mapping for the location of the actual location can be described according to the conditions. MapServer is an example of a fairly successful operating system because it is supported by a community of loyal. By utilizing the Internet Geographic Information Systems Mapping Digital Loop Carrier can be applied using MapServer. Designing Web-GIS created using ArcView application assistance is very supportive in Web-GIS and mapping. Display Web-GIS on the Internet using MapServer and pemetaanya using ArcView, because ArcView is very supportive in the process of digitizing the map.*

**Keywords:** *Open Source, , Web-GIS, MapServer, ArcView.Digital Loop Carrier*

### INTISARI

Saat ini perkembangan perangkat lunak *Open Source* berlangsung pesat dengan variasi yang bermacam-macam. Dukungan banyak kalangan terhadap perangkat lunak *Open Source* yang mudah didapat, menjadi daya tarik lain yang menunjang poppularitas perangkat lunak ini. Salah satu *Operating System* yang populer di kalangan *programmer* dalam pembuatan *Web-GIS* adalah *MapServer*. *Web-GIS* atau yang sering disebut juga Sistem Informasi Geografis adalah suatu sistem yang menggunakan perangkat komputer, untuk menyimpan, mengolah, memanggil kembali dan memanipulasi data geografis. Dengan menggunakan SIG maka diharapkan bagi para pengguna akan lebih mudah untuk mengetahui pemetaan, karena dengan SIG pemetaan letak lokasi sesungguhnya dapat digambarkan sesuai kondisi. *MapServer* merupakan salah satu contoh *Operating System* yang cukup berhasil karena didukung oleh komunitas loyal. Dengan memanfaatkan media internet maka Sistem Informasi Geografis Pemetaan Digital Loop Carrier (DLC) dapat diaplikasikan dengan menggunakan *MapServer*. Perancangan *Web-GIS* yang dibuat dengan menggunakan bantuan aplikasi *ArcView* sangat mendukung dalam *Web-GIS* dan pemetaan. Tampilan *Web-GIS* di internet menggunakan *MapServer* dan pemetaanya menggunakan *ArcView*, karena *ArcView* sangat mendukung dalam proses digitasi peta dan pemetaan yang informatif bagi para pengakses peta lokasi wilayah sehingga informasi-informasi yang ada di dalamnya serta letak DLC mudah dicari

**Kata kunci:** *Open Source, , Web-GIS, MapServer, ArcView.Digital Loop Carrier*

### PENDAHULUAN

Saat ini Sistem Informasi Geografis telah dikenal secara luas sebagai alat bantu untuk proses pengambilan keputusan. Selain itu

banyak perusahaan besar maupun kecil yang memerlukan data dan informasi yang berbasis data spasial dan menggunakan Sistem Informasi Geografis untuk bisa menemukan tempat yang

---

<sup>1</sup>uning@akprind.ac.id



dicari dengan mudah, cepat dan efisien. Dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis seseorang dapat mencari informasi yang diinginkan dengan panduan gambar dalam bentuk peta lokasi yang menyerupai lokasi yang sebenarnya. Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang memungkinkan untuk mengelola, menganalisa, memetakan informasi spasial berikut data atributnya. Hal ini mengakibatkan manusia mengusahakan agar suatu sistem komputer dapat mendukung sebuah aplikasi pemetaan yang berbasis Sistem Informasi Geografis.

Namun kenyataannya dari segi publikasi, masyarakat sebagai pengguna internet khususnya karyawan Telkom, belum banyak tahu tentang sistem yang digunakan untuk membantu mengetahui suatu letak wilayah *Digital Loop Carrier* (DLC) yaitu dengan sistem informasi geografis. Saat ini untuk mengetahui suatu alamat daerah *Digital Loop Carrier* (DLC) kita masih harus menghafalkan alamat daerah tersebut, tanpa menggunakan sebuah teknologi alat pemandu yang dapat membantu mengetahui dengan cepat.

*Digital Loop Carrier* (DLC) merupakan sistem Teknologi Jaringan Lokal Akses Fiber (JARLOKAF) dengan hubungan *point to point* tanpa melewati percabangan, dan hanya menggunakan komponen sambungan (*splice*) dan konektor. Teknik ini akan memberikan keuntungan berupa peningkatan kemampuan kapasitas satuan-satuan sambungan layanan. Teknologi DLC dan Jaringan Lokal akan menjadi lebih penting untuk masa mendatang dalam menyalurkan pelayanan baru yang mana dibutuhkan oleh konsumen.

Dengan alasan tersebut perlu dibangun sistem informasi geografis berbasis pemetaan pemetaan yang informatif bagi para pengakses peta lokasi wilayah. Hal tersebut khususnya pada pencarian alamat dan spesifikasi yang terkandung dalam *Digital Loop Carrier* (DLC) sehingga informasi-informasi yang ada didalamnya serta letak DLC akan mudah dicari

Secara umum, Sistem Informasi Geografis atau *Geographic Information System* (GIS), merupakan suatu sistem (berbasis komputer) yang digunakan untuk menyimpan, dan menganalisis obyek-obyek dan fenomena-fenomena dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis (Prahasta, 2005). Aplikasi SIG yang baik adalah apabila aplikasi tersebut dapat menjawab salah satu atau lebih dari 3 (tiga) pertanyaan yaitu tentang lokasi, kondisi dan pola.

Konsep dasar sistem informasi geografis ini adalah bagaimana menghimpun data spasial secara digitasi dari semua elemen yang terdapat di dalam peta. Setiap unsur pada masing-masing elemen sejenis kemudian diberi informasi tematik berupa informasi spasial dan informasi non spasial, dan elemen geografis diberi obyek yang berupa poligon, titik, dan garis yang selanjutnya diikat dengan sistem koordinat yang sama.

Sistem Informasi Geografis dapat juga menggunakan atribut yang tersimpan untuk menghitung informasi baru mengenai *feature* peta, seperti menghitung panjang jalan tertentu atau menghitung luas area. Teknologi GIS juga mampu mengintegrasikan operasi pengolahan data berbasis *database* yang biasa digunakan saat ini, seperti pengambilan data yang berdasarkan kebutuhan, analisis statistik dengan menggunakan visualisasi yang khas serta berbagai keuntungan yang mampu ditawarkan melalui analisis geografis dengan gambar-gambar petanya. Kemampuan tersebut membuat Sistem Informasi Geografis berbeda dengan sistem informasi pada umumnya dan membuatnya berharga bagi perusahaan milik masyarakat atau perseorangan untuk memberikan penjelasan tentang suatu obyek dan pariwisata, membuat peramalan kejadian, dan perencanaan strategis lainnya.

Penelitian-penelitian tentang GIS dan penerapannya telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti. Contohnya penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Kabupaten Magelang (Retno, 2003). Dalam

penelitian ini sudah dapat menampilkan informasi-informasi tentang Kabupaten Magelang dengan data yang diinformasikan berupa data deskriptif, *periodical*, *tabulator* dan *data links*. Dalam hal ini membuat sistem lebih terbuka dimana melalui *internet links* dapat dilakukan konektivitas dengan *several lan*. Namun dalam sistem ini belum menampilkan peta tematik yaitu peta yang secara khusus menampilkan distribusi keruangan (*spatial distribution*) kemampuan seperti geologi, tanah, vegetasi, atau sumber daya alam. Penelitian tentang GIS juga telah diaplikasikan pada Sistem Informasi Geografis Pencarian Data Penduduk (Rusidy, 2003) yang di dalamnya membahas tentang kelebihan sistem pada sistem pencarian data penduduk, sedangkan untuk peta yang dibuat tidak bisa menampilkan daerah pencarian dengan simbol atau tanda tertentu jika obyek yang dicari ketemu, karena peta yang dibuat sifatnya statis. Peta yang dibuat hanya sebagai gambar atau fasilitas informasi dari wilayah tempat penelitian.

Selain itu penelitian GIS untuk aplikasi data perguruan tinggi dalam Sistem informasi Geografis pada Perguruan Tinggi Swasta di Yogyakarta (Khairunnisaa, 2005) yang hanya menyajikan Perguruan Tinggi Swasta yang ada di Yogyakarta. Kelebihan program tersebut menggunakan koordinat sehingga dapat menampilkan secara jelas letak perguruan tinggi swasta yang ada serta dapat menampilkan informasi berupa alamat telepon, fakultas, jurusan dan fasilitas sedangkan kekurangannya belum ada penambahan data perguruan tinggi swasta dan penambahan data jalan agar *user* dapat mencari perguruan tinggi swasta yang diinginkan serta dapat mengetahui letaknya yang lebih jelas

Komponen Sistem Informasi Geografis terbagi menjadi empat sub sistem yaitu : sub sistem pemasukan dan pengkodean data (*data input*), sub sistem penyimpanan, pengambilan dan pengolahan data (*data management*), sub sistem manipulasi dan analisa data

(*data manipulation & analysis*), serta sub sistem penyajian data (*data output*).

Secara garis besar komponen sub sistem tersebut diuraikan sebagai Sub sistem pemasukan dan pengkodean data (*data input*), Sub sistem ini bertugas mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan data atribut dari berbagai sumber, sub sistem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversi atau mentransformasikan format-format data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh Sistem Informasi Geografis.

Sub sistem proses penyimpanan, pengambilan dan pengolahan data (*data management*), Sub sistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basis data sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, di-*update* dan di-*edit*.

Sub sistem manipulasi dan analisa data (*data manipulation & analyst*), Sub sistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh Sistem Informasi Geografis. Selain itu, sub sistem ini juga melakukan manipulasi dan pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan

Sub sistem penyajian data (*data output*), Sub sistem ini menampilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik dalam bentuk *softcopy* maupun bentuk *hardcopy* seperti tabel, grafik, peta dan lainya.

MapServer merupakan salah satu perangkat lunak *open source* yang memungkinkan untuk mengembangkan aplikasi *internet based* yang dapat menampilkan data spasial (peta digital) di *web* (Prahasta, 2007). MapServer merupakan salah satu perangkat lunak *open source* yang memungkinkan untuk mengembangkan aplikasi *internet based* yang dapat menampilkan data spasial (peta digital) di *web* . Bentuk umum arsitektur aplikasi berbasis peta di *web* dapat dilihat pada Gambar 1.

ArcView merupakan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis dan pemetaan yang dikembangkan oleh ESRI (*Envirnmental System Research Institute, inc*) yaitu salah satu perusahaan yang

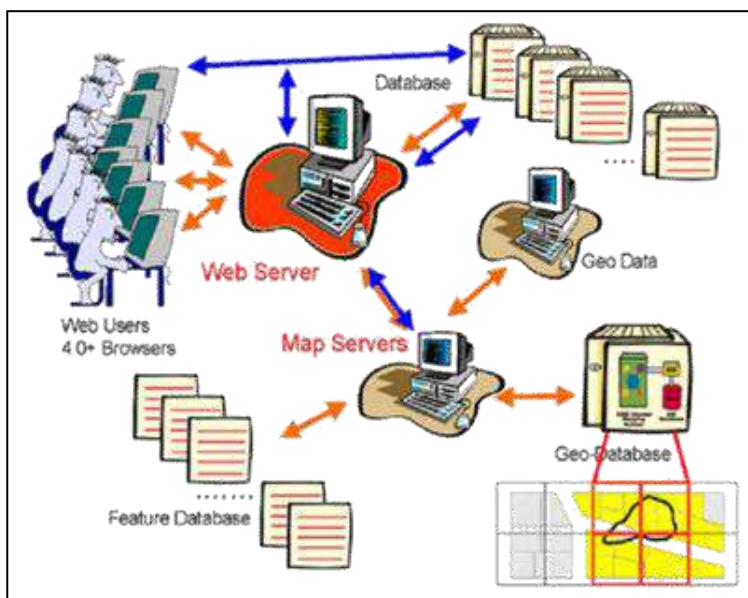
menghasilkan produk SIG yang handal dan juga merupakan *provider* yang terdepan dan terbesar perangkat lunak SIG sejak tahun 1992 yang saat ini telah menjadi *software* Sistem Informasi Geografis ternama di dunia. ArcView memiliki tampilan yang menarik, interaktif, memiliki tingkat kemudahan yang tinggi hingga terkenal dan sering digunakan dewasa ini. Hampir semua pengguna aplikasi SIG mengenal ArcView.

Dengan ArcView, pengguna dapat memiliki kemampuan-kemampuan untuk melakukan visualisasi, *explore* dan menjawab *query* (baik basis data spasial maupun non-spasial), menganalisa data secara geografis dan sebagainya (Prahasta, 2005).

Selain kemampuan yang ada di atas, kemampuan lain yang dimiliki ArcView adalah dalam pengolahan atau *editing*, menerima dan mengkonversi dari data digital lain seperti CAD, atau dihubungkan dengan data *image* seperti format *.JPG*, *.TIFF*, atau *image* bergerak (*.GIF*). *Input* data spasial sering disebut dengan digitasi. ArcView juga memiliki kemampuan untuk

melakukan digitasi. Data hasil digitasi yang berasal dari proses *input* data disimpan dalam sebuah *Theme* yang selanjutnya dapat diolah atau ditransfer ke *software* lain untuk pengolahan selanjutnya.

Beberapa fungsi utama ArcView GIS adalah pertukaran data, membaca dan menuliskan data dari dan ke dalam format perangkat lunak SIG lainnya, melakukan analisis statistik dan operasi-operasi matematis, menampilkan informasi spasial dengan atribut-atributnya yang terdapat dalam (disimpan) basisdata atribut, melakukan fungsi-fungsi dasar SIG seperti analisis sederhana spasial dan membuat peta tematik serta *Meng-customize* aplikasi dengan menggunakan bahasa *script* atau bahasa pemrograman sederhana. Selain itu ArcView juga mempunyai kemampuan *Tracking Analyst*, yang dirancang untuk organisasi-organisasi yang memonitor obyek-obyek fenomena yang bergerak atau berubah sesuai dengan perubahan waktu dan *Internet mapserver* yang digunakan untuk mempublikasikan peta-peta dinamis melalui internet dengan menggunakan ArcView standar.



Gambar 1 : Bentuk umum arsitektur aplikasi berbasis peta di web

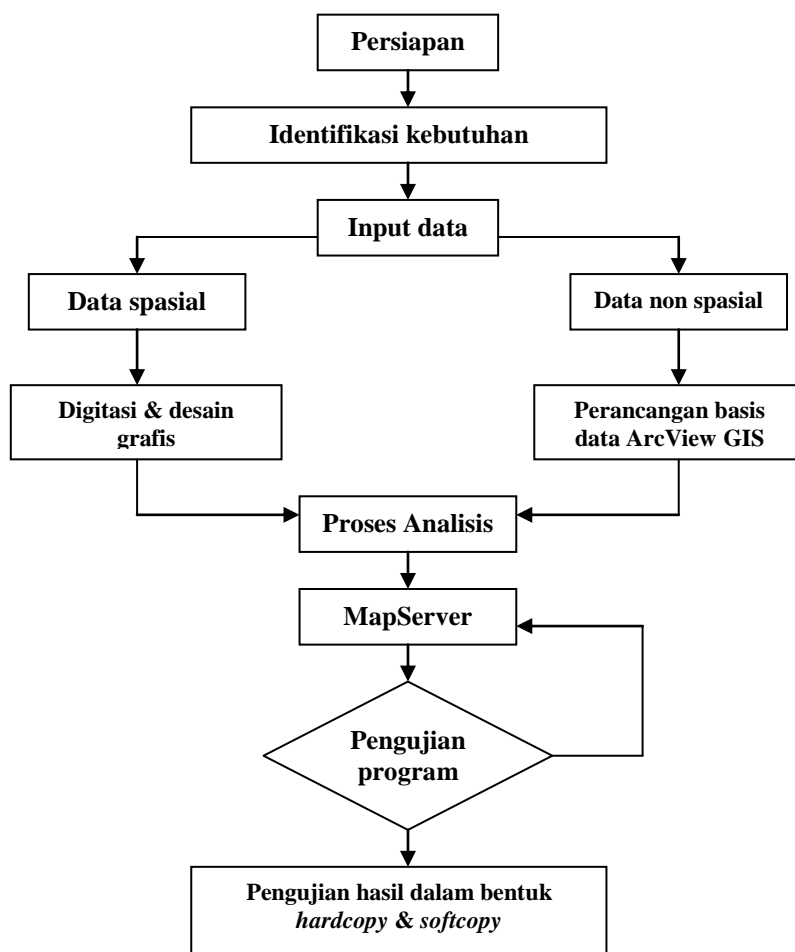
#### METODE

Pada sistem aplikasi GIS ini software yang digunakan adalah ArcView GIS 3.3 & MapServer, bahasa

pemrograman PHP dan basis data MySQL. Studi kasus sistem informasi pemetaan DLC ini diaplikasikan pada data-data DLC di PT. Telkom Kancatel

Boyolali. Tahap-tahap pelaksanaan penyusunan Sistem Informasi Geografis Pemetaan *Digital Loop Carrier* (DLC) di

PT. Telkom Kancatel Boyolali dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir langkah penelitian seperti Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir membangun sistem informasi pemetaan DLC

Data-data yang dibutuhkan untuk membangun sistem informasi pemetaan DLC ini meliputi database **Tabel anggota** yang menyimpan daftar anggota berupa admin dan anggota *user-user* yang berhasil diregistrasikan oleh admin. **Tabel Galeri** yang menyimpan data-data galeri yang terdapat di PT. Telkom Kancatel Boyolali yang akan menampung data gambar dan keterangannya. **Tabel administratif** merupakan tabel kabupaten yang di dalamnya berisi nama-nama kecamatan dalam sebuah peta. Pada **Tabel Jalan** menyimpan jenis jalan dan nama jalan pada peta. Jenis jalan merupakan jalan

kecamatan atau jalan daerah sedangkan nama jalan merupakan nama dari jalan yang dilewati. **Tabel Danau**, Pada tabel ini hanya menampilkan ID danau dan nama danau tersebut. ID\_danau adalah penomoran danau sedangkan Danau merupakan nama dari danau yang ada. **Tabel DLC**, akan menampung nama-nama dari data yang akan ditampilkan. Tabel-tabel yang ditampilkan nantinya memberikan informasi mengenai area pemetaan DLC di setiap kecamatan yang ada di Boyolali.

#### PEMBAHASAN

Tampilan antar muka merupakan tampilan hasil dialog dari pemakai sistem

dengan sistem komputer. Hasil ini merupakan tampilan proses pemasukan/edit data ke dalam sistem, atau menampilkan informasi, ataupun bisa keduanya. Penggunaan dialog menu sistem merupakan jalur pemakai (*user interface*) yang digunakan agar mudah berpindah-pindah dari halaman yang satu ke halaman yang lainnya. Secara umum, aplikasi ini terdiri dari dua halaman menu yaitu halaman menu administrator dan halaman menu anggota. Tampilan halaman menu Administrator dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 3 ini menunjukkan halaman peta yang didalamnya terdapat beberapa sub menu peta antara lain menu Peta itu sendiri, Legenda, Navigasi, Gambar Index, Skala dan Query informasi mengenai pemetaan DLC-nya.

Tampilan halaman register ini merupakan halaman yang digunakan oleh administrator untuk mendaftarkan pengguna untuk menjadi anggota sehingga anggota tersebut dapat mengakses peta yang ada. Tampilan halaman register tersebut dapat di lihat pada Gambar 4.

Tampilan halaman menu user/anggota yang mencari informasi posisi DLC dan petunjuk penggunaan dapat dilihat pada Gambar 5. Proses pencarian informasi peta digital DLC oleh anggota (user) dapat dilihat pada Gambar 6. Seorang anggota dapat mencari informasi tentang data-data DLC dengan cara meng-klik salah satu button nama kecamatan, setelah di pilih nama tersebut maka akan muncul informasi data-data DLC di kecamatan tersebut. Hasil proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 6



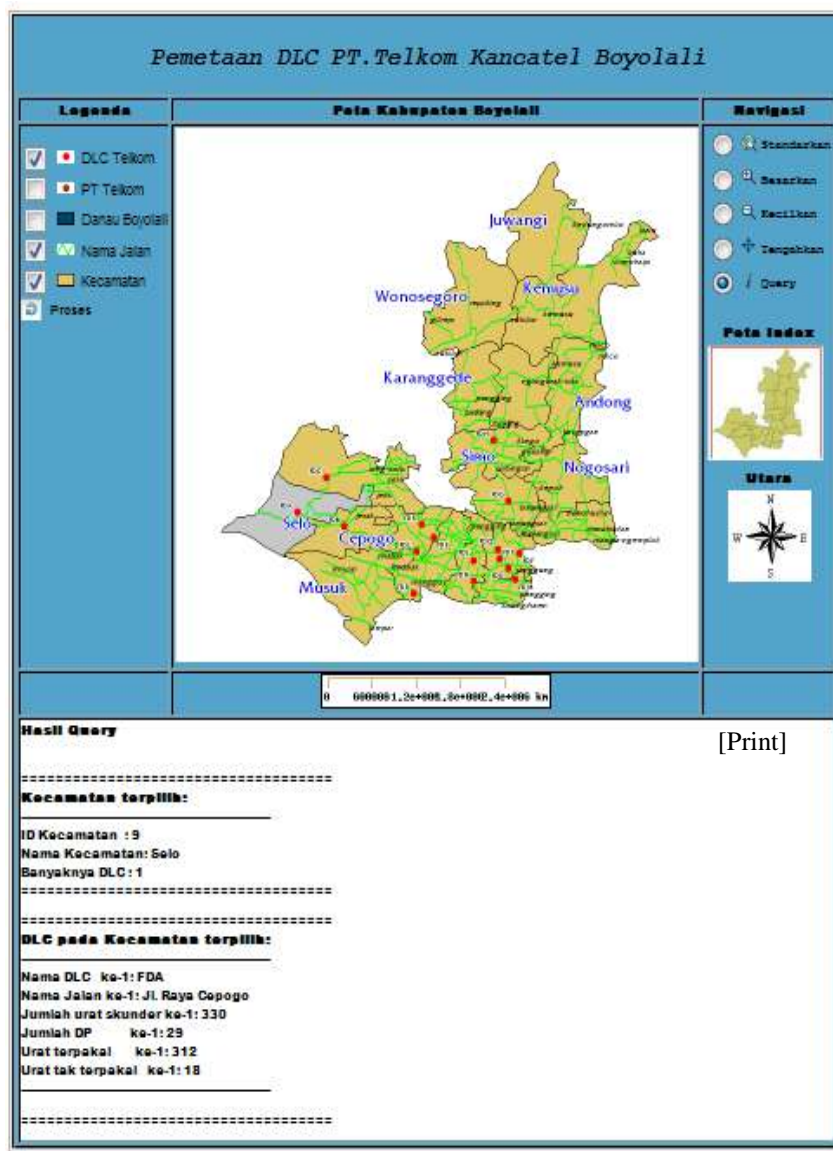
Gambar 3. Tampilan menu entri data-data DLC



Gambar 4. Tampilan menu pendaftaran anggota oleh Administrator.



Gambar 5. Halaman awal dan petunjuk penggunaan sistem untuk User/Anggota



Gambar 5. Tampilan hasil proses pencarian data DLC oleh anggota

## KESIMPULAN

Pembuatan aplikasi sistem informasi pemetaan DLC ini sangat membantu bagi petugas-petugas lapangan PT Telkom khususnya Kancatel Boyolali dalam mencari posisi dan informasi tentang DLC di suatu kecamatan tertentu. Dengan adanya Sistem Informasi Geografis Pemetaan DLC ini dengan perangkat lunak ArcView dan MapServer sebagai aplikasi pengolah datanya, pengguna dimudahkan dalam mengetahui obyek-obyek lokasi DLC Telkom di Kab.

Boyolali mengenai nama kecamatan, DLC, serta nama-nama jalan yang dilaluinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiyanto, E., 2005, *Sistem Informasi Geografis Menggunakan ArcView GIS*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Dinas Perusahaan Umum, 2009, *Data Nama Jalan Boyolali*, DPU, Boyolali.
- Dinas Perusahaan Umum, 2009, *Peta Jalan Boyolali*, DPU, Boyolali.

- Khairunnisaa, 2005, *Sistem Informasi Geografis Perguruan Tinggi Swasta di Yogyakarta*, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Nuryadin, R., 2005, *Panduan Menggunakan MapServer*, Informatika, Bandung.
- Prahasta, E., 2005, *Sistem Informasi Geografis : Membangun Aplikasi Web-Based GIS dengan MapServer*, Informatika, Bandung.
- Prahasta, E., 2005, *Sistem Informasi Geografis : Tutorial ArcView*, Informatika, 2005.
- Retno, F., 2003, *Penerapan Sistem Informasi Geografis Pada Kabupaten Magelang*, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Rikyanto, I., 2002, *Pemrograman Web Dengan Java Servlet*, Andi Offset, Yogyakarta
- Rusidi, 2003, *Visualisasi Peta Data Pencarian Alamat Penduduk Pada Lokasi KKN di Perumahan Gunung Sempu*, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Shiny, 2008, *Unjuk Kerja Jaringan Digital Loop Carrier*, www.brianadi.web.id
- Stasiun Transmisi Otomat, 2009, *Skema Jaringan Kabel*, PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk, Data Kancatel Divre IV, Boyolali.