

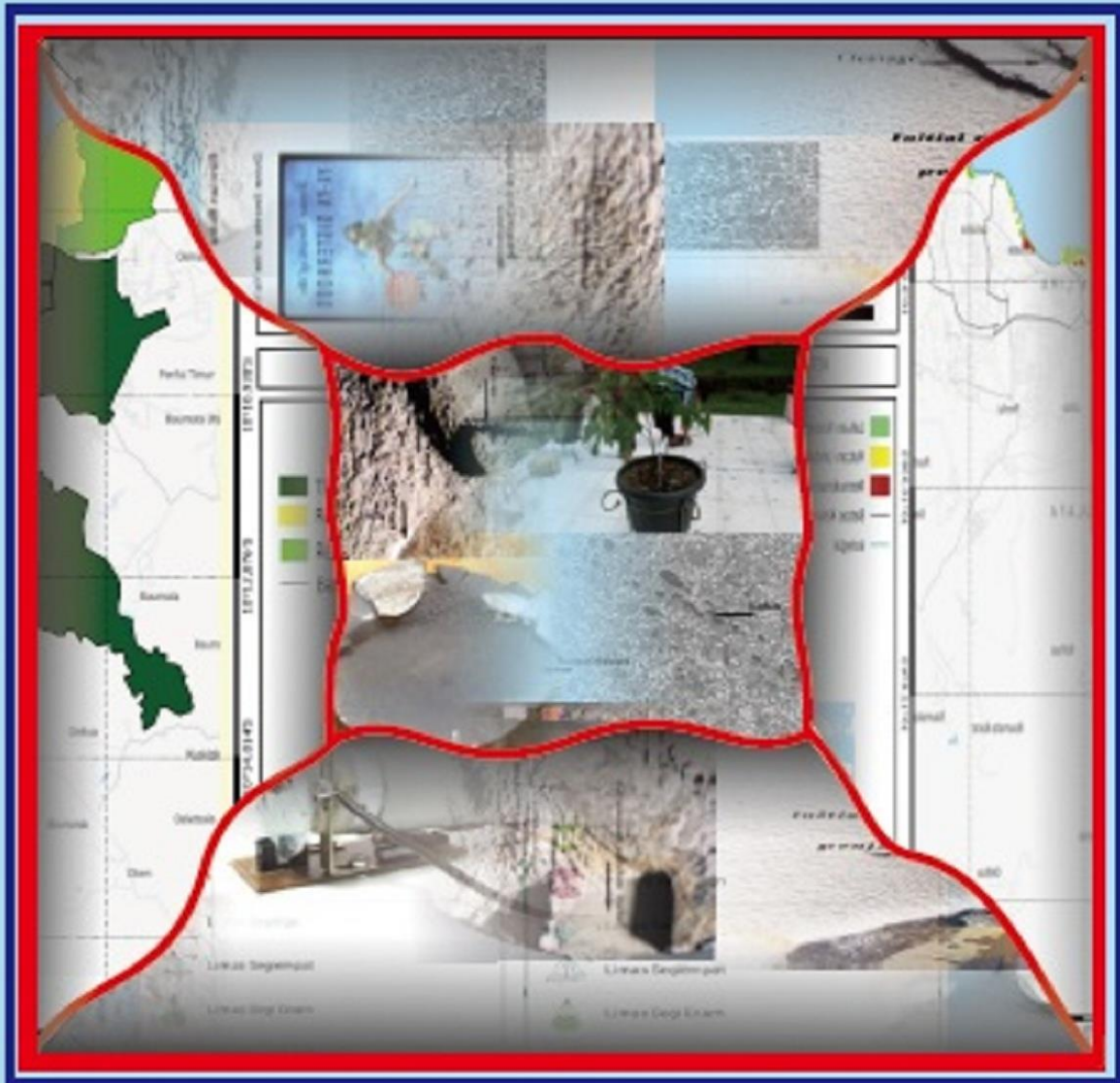
ISSN : 1979-8415

# Jurnal Teknologi **TECHNOSCIENTIA**

---

Vol. 7 No. 1 Agustus 2014

---



## DAFTAR ISI

Pengaruh Kecepatan Arus Pengelasan Dan Panas Masuk Terhadap Sifat Mekanis Logam Las Pada Pengelasan SAW Baja Karbon ASTM A 29 <i>Agus Duniawan, Sutrimo</i>	001 - 009
Pengaruh Konsentrasi Elektrolit Dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, Kekerasan Serta Ketebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium Pada Material Piston <i>Bambang Wahyu Sidharta</i>	010 - 021
Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Produk Unggulan Daerah Menggunakan Metode Entropy Dan Electre II (Studi Kasus: Dinas Koperasi, Industri Dan Perdagangan Kabupaten Lamongan) <i>Eko Handoyo, Andharini Dwi Cahyani, Rika Yunitarini</i>	022 - 027
Sistem Kunci Elektronik Dengan Perekam Waktu Akses Berbasis Mikrokontroler AT89C51 <i>Sigit Priyambodo, Anik Heironi</i>	028 - 037
IBM Kelurahan Gulurejo (Kawasan Pengrajin Batik) Untuk Mengatasi Masalah Pencemaran Lingkungan Akibat Limbah Cair Batik <i>Yuli Pratiwi, Gatot Santoso, Joko Waluyo</i>	038 - 045
Identifikasi Daging Segar Dan Busuk Menggunakan Sensor Warna RGB Dan Ph Meter Digital <i>Prastyono Eko Pambudi, Edhy Sutanta, Mujiman</i>	046 - 053
Analisis Kerusakan Poros Brine Injection Pump <i>Ratna Kartikasari , Antony</i>	054 - 059
Microcontroller Sebagai Pengendali Waktu Penyiraman Pada Tanaman Buah-Buahan Sistem Tabulapot <i>Tri Watiningsih, Yohana Nursuwening, Reni Sulistiyowati AM</i>	060 - 069
Pengukuran Keseimbangan Lintasan Produksi Keramik Dengan Metode Helgeson Dan Birnie Di PT.XYZ <i>Tuti Sarma Sinaga</i>	070 - 075
<i>Sistem Rekomendasi: Buku Online Dengan Metode Collaborative Filtering</i> <i>Moh. Irfan, Andharini Dwi C, Fika Hastarita R.</i>	076 - 084
Perbandingan Metode Som (Self Organizing Map) Dengan Pembobotan Berbasis RBF (Radial Basis Function) <i>Andharini Dwi Cahyani, Bain Khusnul Khotimah, Rafil Tania Rizkillah</i>	085 - 092
Reducing Defective Of Roll M-70 Product On Casting Process <i>Sukirman, Enden Primandhika, Huda Muhamad B, Deros B.M</i>	093 - 102
Perancangan Blade Airfoil Dengan Bantuan Program Transformasi Joukowski <i>Toto Rusianto, Emy Setyaningsih</i>	103 - 111



## PENGARUH KECEPATAN ARUS PENGELASAN DAN PANAS MASUK TERHADAP SIFAT MEKANIS LOGAM LAS PADA PENGELASAN SAW BAJA KARBON ASTM A 29

Agus Duniawan<sup>1</sup>, Sutrimo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND Yogyakarta, <sup>2</sup>Politeknik Bandung

Masuk: 4 Juni 2014, revisi masuk : 21 Juli 2014, diterima: 26 Juli 2014

### ABSTRACT

*Welding is a joining technique in production process which weld two metals or more using heat energy. Physical property near welding zone changes in microstructure, deformation and thermal stress in order to minimize a negative effects, it is required a correct procedure in welding, selection of optimum welding current and heat input. Welding joint in steel construction or pressure vessel has to fulfill the welding standard such as, high stress property 27 joule for temperature – 50°C and 100 joule for 0°C. The aim of this research is to investigate the Effect of variation in welding current, welding speed and heat input on microstructure of main metal and HAZ. Experimental work is done using optic microscope, hardness test and univercal machine. The purpose of the research is to obtain optimum welding parameter related which micro structure and mechanical properties of weld metal and HAZ. The variation in heat input are 2 kg/mm, 3kg/mm, 4kg/mm. The variation of welding speed are 7 mm/s, 4,7 mm/s and 3,5 mm/s at current of 400 Ampere,mean while at 600 Ampere the variation in welding speed are 10,5mm/s, 7mm/s, 5,25mm/s. The result shaws that microstructure is dominated by ferit size and ferit Widmanstatten. The highest hardness of 164,98 VHN is found at welding zone of specimen A with welding current of 400 Amper, welding speet of 7 mm/s and heat input of 2kg/mm. Tension and yielding stress of 567 and 472 MP occur for specimen A1 with 600 Ampere welding speed of 7 mm/s and heat input of 2kg/mm.*

**Keywords :** Effect of Flow weld, SAW, heat Input variation.

### INTISARI

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Untuk mengurangi pengaruh buruk tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu prosedur pengelasan yang benar dan tepat, atau dicari kecepatan arus, pengelasan dan panas masukan yang optimal. Sambungan las yang akan digunakan pada sambungan konstruksi baja seperti jembatan dan bejana tekan, harus memenuhi persyaratan yang ketat diantaranya adalah tegangan tarik harus mempunyai nilai yang tinggi dan ketangguhan minimal 27 joule pada suhu -50°C atau 100 Joule pada suhu 0°C . Tujuan Penelitian untuk menyelidiki pengaruh variasi arus, kecepatan pengelasan dan masukan panas terhadap struktur mikro pada logam las dan daerah terpengaruh panas (HAZ) dengan menggunakan mikroskop optik dan sifat-sifat mekanis dengan menggunakan alat uji kekerasan, dan uji tarik. Manfaat penelitian supaya mendapatkan kondisi parameter pengelasan yang optimum terkait dengan struktur mikro dan sifat-sifat mekanis pada logam las dan daerah terpengaruh panas. Metode penelitiannya terdiri dari pengelasan logam Plat Baja karbon ASTM A 29(1021), tebal 10mm dengan tegangan 35 volt ( DCEP), Elektroda AWS A5.17 EM 12K (kadar Mn 1.0 %) , Fluks OK Flux 10.71 (kadar Mn 1.0 %) Proses pengelasan busur terendam secara otomatis, Variasi masukan panas 2,0 kJ/mm; 3,0 kJ/mm dan 4,0 kJ/mm Variasi kecepatan pengelasan 7 mm/s; 4,7 mm/s; 3,5 mm/s pada arus 400 Amper dan 10,5 mm/s; 7 mm/s; 5,25 mm/s pada arus 600 Amper. Hasil dengan adanya kenaikan masukan panas, maka struktur mikro akan didominasi oleh ferit batas butir dan

ferit Widmanstätten serta meningkatkan ukuran butir (grain boundary ferit) hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang semakin lambat, Nilai kekerasan tertinggi di daerah las sebesar 164,98 VHN terjadi pada spesimen A dengan arus 400 Amper, kecepatan pengelasan 7 mm/detik dan masukan panas 2,0 kJ/mm, hal tersebut dapat terjadi karena pendinginan yang terjadi sangat cepat, Tegangan tarik dan tegangan luluh tertinggi sebesar 567 dan 472 MPa terjadi pada spesimen A1 dengan arus 600 Amper, kecepatan pengelasan 7 mm/detik dan masukan panas 2 kJ/mm.

**Kata kunci :** Pengaruh Arus Las, SAW, Variasi Panas, Masukan .

## PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal.

Salah satu cara untuk mengurangi pengaruh buruk tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu prosedur pengelasan yang benar dan tepat, atau dicari arus, kecepatan pengelasan dan masukan panas yang optimal.

Pada aplikasi di lapangan sambungan las harus memenuhi persyaratan yang sangat ketat diantaranya harus mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan ketangguhan impact yang baik, untuk memenuhi standar AWS yaitu 27 Joule pada temperature  $-51^{\circ}\text{C}$ .

Sambungan las yang akan digunakan pada sambungan konstruksi baja seperti jembatan dan bejana tekan, harus memenuhi persyaratan yang ketat diantaranya adalah tegangan tarik harus mempunyai nilai yang tinggi dan ketangguhan minimal 27 joule pada suhu  $-50^{\circ}\text{C}$  atau 100 Joule pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  (Johnson dkk, 1985).

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk menyelidiki pengaruh variasi arus, kecepatan pengelasan dan masukan panas terhadap struktur mikro pada logam las dan daerah terpengaruh panas (HAZ) dengan menggunakan mikroskop optik dan sifat-sifat mekanis dengan menggunakan alat uji kekerasan, uji tarik dan uji impact.

Manfaat dari penelitian ini untuk mendapatkan kondisi parameter pengelasan yang optimum terkait dengan struktur mikro dan sifat-sifat mekanis pada lo-

gam las dan daerah terpengaruh panas, Menjadi referensi dan sumbangan bagi ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang pengelasan.

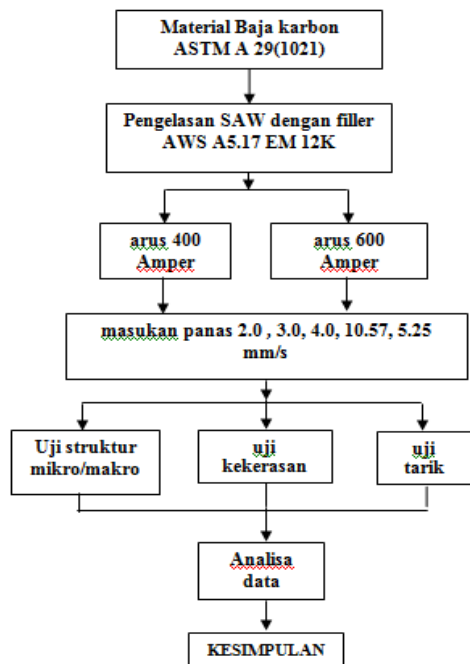
Melakukan pengelasan pengamatan dengan mikroskop optik Uji kekerasan dengan hardness test dengan ini hasil Struktur mikro dan kekerasan dari daerah las dan HAZ sangat tergantung pada laju pendinginan, laju ini di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tebal pelat, kondisi pengelasan, preheat, masukan panas

Melakukan pengelasan Pengamatan dengan mikroskop optik hasil Efek dari penambahan *heat input* terjadi pada 9,78 kJ/mm dapat meningkatkan dimensi *weld interface (WI)* , daerah pertumbuhan butir atau *grain growth zone (GGZ)* dan HAZ sehingga memperbesar ukuran kolam las (*weld pool*) dan luasan peleburan, dan dengan meningkatnya tegangan akan memperlebar daerah WI, GGZ dan HAZ. (Gunaraj dan Murugan 2002)

Melakukan pengelasan pengamatan dengan mikroskop optik Uji kekerasan dengan hardness test hasil Pengelasan bahan baja API 5L X-52, masukan panas optimum terjadi pada 2,304 kJ/mm, dengan arus 900 Amper terjadi peningkatan jumlah prosentase ferit acicular dan ketangguhan impact maksimum dengan suhu transisi getas-ulet sebesar  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Melakukan pengelasan pengamatan dengan mikroskop optik Uji ketangguhan dengan Charpy Impact hasil Filler jenis EM 12K (kadar Mn 1 %) yang digunakan pada pengelasan bahan baja SM 490, menghasilkan ketangguhan las tertinggi dengan masukan panas 2,12 kJ/mm dan prosentase acicular ferit menunjukkan jumlah yang besar pada suhu transisi pada  $-7^{\circ}\text{C}$ . (Suharno 2004)

**METODE**



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Bahan Sambungan  
 Bahan penelitian ini : Plat baja karbon ASTM A 29 (1021)  
 Spesifikasi Plat : Tebal 12 mm  
 Tegangan : 35 volt (DCEP)  
 Kuat arus : 400 dan 600 Amper

Tabel 1. Komposisi Kimia Logam Induk

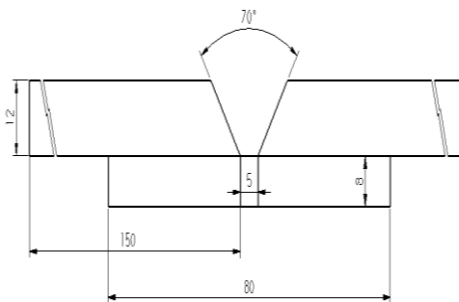
Unsur	C	Mn	P	S
(% Wt)	0,18 – 0,23	0,60 – 0,90	0,040	0,050

Satu, bahan Pengelasan, elektroda las (*Filler*), yang di gunakan adalah AWS A5.17 EM 12K dengan komposisi kimia sebagai berikut: C = 0,12 %; Si = 0,1 %, Mn = 1,0 %

Dua, fluks yang di gunakan OK Flux 10.71CHF 101, dengan komposisi kimia sebagai berikut: C = 0,07 %; Si = 0,2 %; Mn = 1,0 %. Basicity Index = 1,6

Alat yang dipergunakan: Pertama, Alat Potong Logam (*Flame Cutting*) dan Alat Ukur. Kedua, Mesin Las Busur

Rendam (ESAB). Ketiga, Mikroskop Optik. Keempat, Mesin Uji Kekerasan Vickers. Kelima, Mesin Uji Tarik. Bentuk Sambungan/Bentuk kam-puh berupa sambungan tumpul (*butt joint*) menggunakan pelat penahan (*back up strip*) dengan alur V tunggal, panjang pelat yang digunakan 300 mm.



Gambar 2. Geometri sambungan las

Pengelasan dilakukan secara otomatis dengan menggunakan arus DC dengan polaritas positif *direct current electrode positif* (DCEP) pada tegangan konstan 35 volt. Detail parameter las seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Parameter Pengelasan

Spesi - men	I(Arus) Ampere	Heat Input (kj/mm)	Kecepatan (v) (mm/det)
A		2	7
B	400	3	4,7
C		4	3,5
A1		2	10,5
B1	600	3	7
C1		4	5,25

Pengujian, pengamatan Struktur Mikro antara lain: Satu, tujuan dari

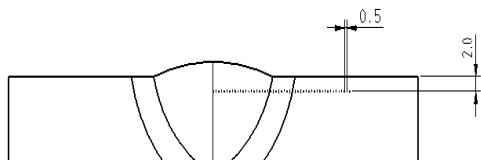
pengamatan ini adalah untuk mengetahui ukuran dan bentuk butir serta distribusi dari berbagai macam fasa logam serta inklusi yang terjadi pada pengelasan. Dua, pengamatan dilakukan pada daerah las, HAZ besar, HAZ kecil, dan logam induk. Tiga, alat yang dipergunakan untuk pengujian ini adalah mikroskop optik.

Pengujian Kekerasan, Pertama uji kekerasan dilakukan dengan metode Vickers (VHN). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan di daerah las, HAZ kasar, HAZ halus dan logam induk dari hasil pengelasan busur rendam dengan variasi masukan panas dan kecepatan pengelasan. Kedua, harga kekerasan mikro didapat dengan persamaan (ASM,1986):

$$VHN = \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

dimana :

- F = beban yang dipergunakan (kgf)
- d = panjang diagonal rata-rata (mm)
- $\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berlawanan =  $136^\circ$



Gambar 3. Spesimen uji kekerasan

Pengujian Tarik, Pertama tujuan pengujian tarik dalam penelitian ini adalah untuk membandingkan kekuatan tarik statis hasil pengelasan dengan

Tab1 3. Hasil uji komposisi logam induk

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr
(%wt)	0,1823	0,3082	0,0068	0,0117	0,8757	0,0179	0,0362
Mo	V	Cu	W	Ti	Al		
0,0094	0,0014	0,0395	0,0009	0,0024	0,0446		

Tab1 Hasil uji komposisi daerah las

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni
(%wt)	0,0999	0,2764	0,0119	0,0229	1,0977	0,0449
Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Al
0,0507	0,0031	0,0052	0,1039	0,0047	0,0032	0,0093

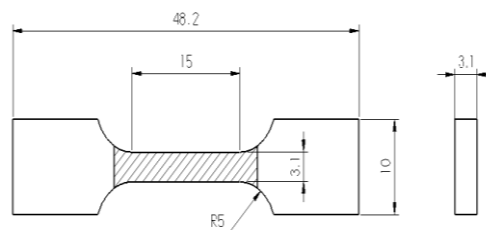
variasi masukan panas dan kecepatan pengelasan. Kedua, pada penelitian ini pengujian tarik dilakukan pada arah transversal dari logam las, spesimen uji tarik berbentuk pelat sesuai dengan standar.

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{F}{A_0}$$

Perhitungan: *Engineering stress* (tegangan teknik) :  $\sigma$  *Engineering strain* (regangan teknik) :

dimana :

- $\Sigma$  = Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)
- F = Beban (N)
- A<sub>0</sub> = Luas penampang mula-mula (mm<sup>2</sup>)
- L<sub>0</sub> = Panjang spesimen mula-mula (mm)
- L = Panjang spesimen setelah patah (mm)



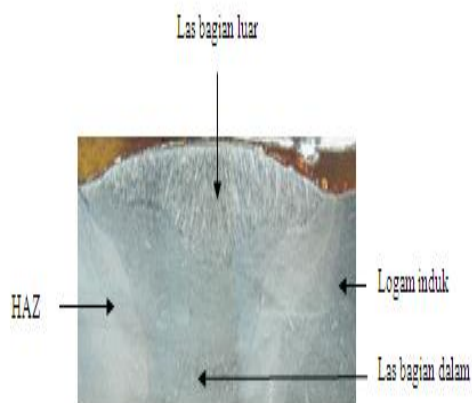
Gambar 4. Spesimen uji Tarik

## PEMBAHASAN

Pengujian Komposisi Kimia (Spectrometer), hasil uji komposisi kimia logam las dan logam induk ditunjukkan pada tabel berikut:

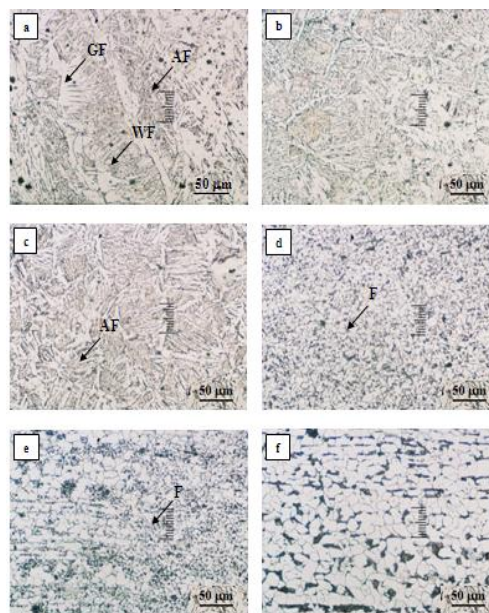
Hasil pengujian komposisi logam induk dan daerah las dengan metode spektrometri menunjukkan unsur Mangan (Mn) dan Silicon (Si) memiliki jumlah persen berat yang besar. Kedua unsur ini nantinya akan berpengaruh terhadap pembentukan inklusi dan akhirnya mempengaruhi jumlah ferit acicular yang terbentuk selama pengelasan (Jang dan Indacochea, 1987).

Pengamatan Foto Makro, foto makro dimaksudkan untuk mengetahui bentuk dan batas antara daerah las, HAZ, logam induk, las bagian luar dan las bagian dalam. Pada pengelasan pipa maupun pelat faktor kekuatan terdapat pada pengelasan bagian luar dan bagian dalam, karena daerah ini yang memiliki pertemuan atau penyatuan dari proses pengelasan lapis banyak (*multi layer*) dimana daerah tersebut merupakan pusat sambungan atau sebagai pusat dari ke Struktur Mikro Daerah las dan Daerah HAZ, tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui ukuran dan bentuk butir serta distribusi dari berbagai macam fasa logam serta inklusi yang terjadi pada pengelasan kuat pengelasan dan ketangguhan.

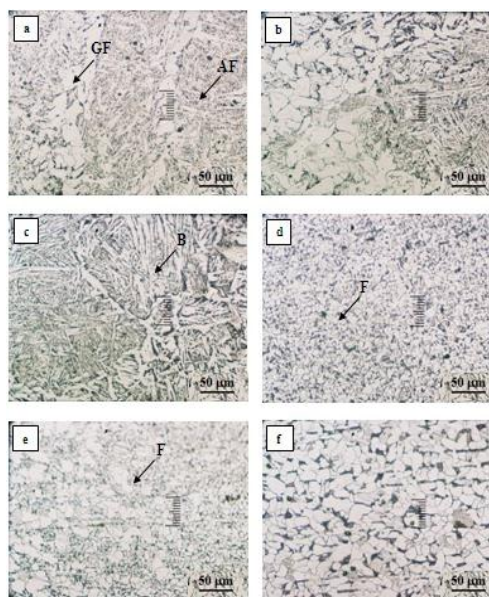


Gambar 5. Pengamatan Struktur Mikro

Struktur Mikro Daerah las dan Daerah HAZ, tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui ukuran dan bentuk butir serta distribusi dari berbagai

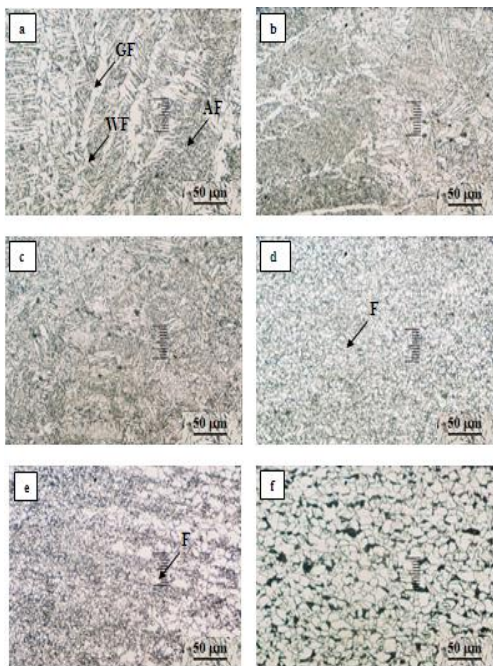


Gambar 6. Foto Struktur Mikro Spesimen A. (a)Daerah Las, (b)Las – HAZ, (c) HAZ kasar, (d) HAZ halus, (e) HAZ - logam Induk, (f) logam induk

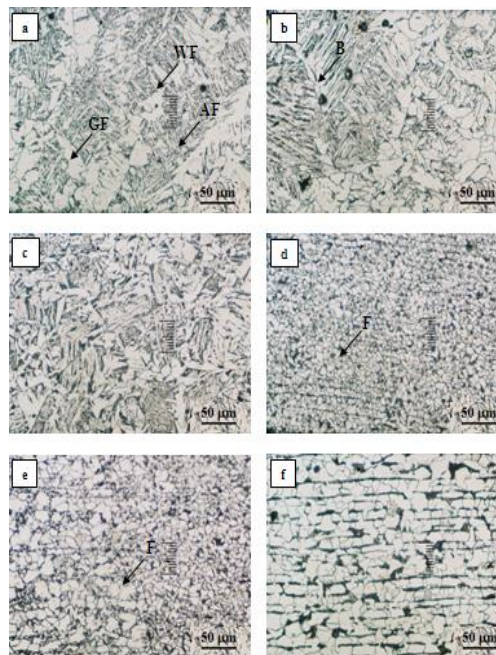


Gambar 7. Foto Struktur Mikro Spesi- men B. (a)Daerah Las, (b)Las – HAZ, (c) HAZ kasar, (d) HAZ halus, (e) HAZ - logam Induk, (f) logam induk.

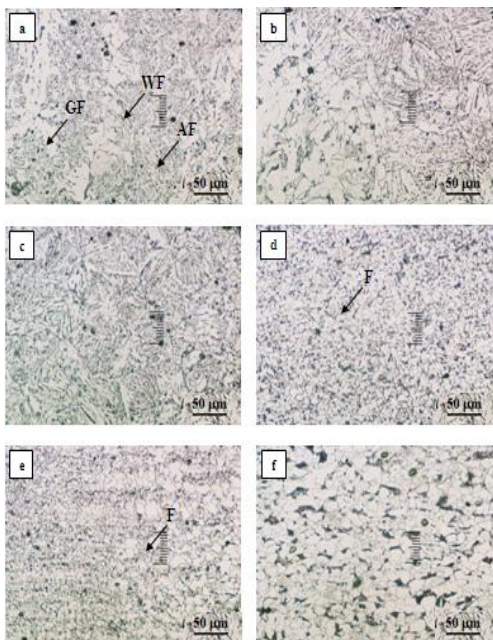




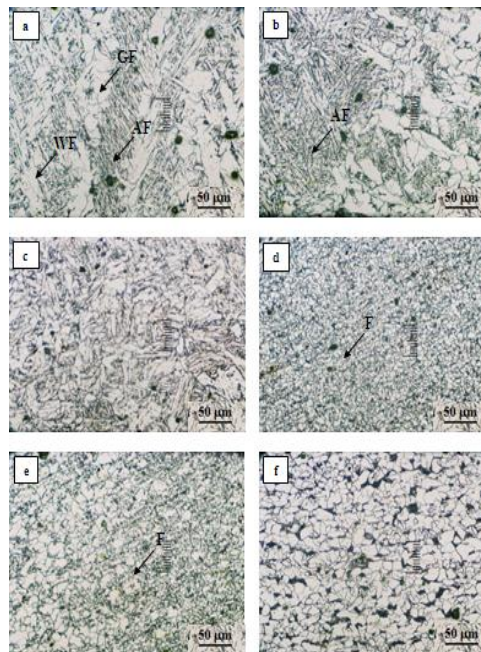
Gambar 8. Foto Struktur Mikro Spesimen C. (a)Daerah Las, (b)Las – HAZ, (c) HAZ kasar, (d) HAZ halus, (e) HAZ - ligam Induk, (f) logam induk



Gambar 10. Foto Struktur mikro specimen B1. a.Daerah Las, (b) las – HAZ, (c) HAZ kasar, (d)HAZ halus, (e) HAZ-Logam induk, (f) Logam Induk



Gambar 9. Foto Struktur Mikro Spesimen A1  
 (a) Daerah Las, (b)Las – HAZ, (c) HAZ kasar, (d) HAZ halus, (e) HAZ - ligam Induk, (f) logam induk



Gambar 11. Foto Struktur Mikro Spesimen C1  
 (a) Daerah Las, (b)Las – HAZ, (c) HAZ kasar, (d) HAZ halus, (e) HAZ - ligam Induk, (f) logam induk

Pertama, struktur mikro daerah las Gambar 6-11(a) ditentukan pada saat proses pembekuan (*solidification*) dan transformasi  $\gamma$  (austenit) ke  $\alpha$  (ferrit). Beberapa faktor yang mempengaruhi struktur mikro daerah las antara lain: proses pengelasan, komposisi akhir daerah las, masukan panas, dan siklus termal.

Kedua, pada Gambar tersebut diatas berdasarkan diagram CCT dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah lasan ini adalah ferrit batas butir, ferrit *Widmanstatten*, dan ferrit *acicular*, dan nampak bahwa ferrit *acicular* mempunyai jumlah cukup banyak pada daerah ini. Struktur ferrit *acicular* inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena struktur ini sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju perambatan retak (Grong, 1986).

Ketiga, pada daerah HAZ kasar Gambar 6-11 (c) adalah daerah terdekat pada pengelasan dimana temperatur selama pengelasan diatas  $1100^{\circ}\text{C}$ , tetapi dibawah titik cair, maka menyebabkan pertumbuhan butir austenit. Selanjutnya butir austenit besar ini berubah menjadi bainit selama pendinginan. Butir kasar membentuk daerah las dimana temperatur selama pengelasan lebih rendah dari  $1100^{\circ}\text{C}$  dan nukleasi austenit terjadi tanpa pertumbuhan butir. Selama pendinginan, butir halus austenit berubah menjadi ferrit halus dan butir pearlit.

Keempat, pada daerah HAZ halus seperti pada Gambar 6. 11 (d) terlihat struktur perlit-sementit yang merata. Hal ini disebabkan karena suhu maksimum yang dicapai saat pemanasan relatif lebih rendah sehingga hanya mengalami proses rekristalisasi dan pada saat pendinginan berubah menjadi ferrit halus.

Kelima, pada daerah HAZ dengan logam induk Gambar 6 - 11 (e dan f) terlihat struktur mikro logam induk yang tidak terpengaruh panas yang berupa ferrit-perlit yang memanjang searah dengan arah pengerolan.

Keenam, keuletan dan ketangguhan daerah las dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi, struktur mikro, ukuran butir dan juga inklusi. Keuletan dan ketangguhan daerah las akan meningkat jika struktur mikro yang

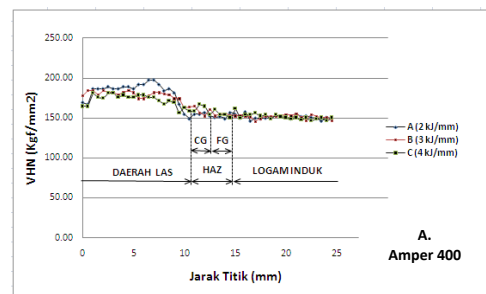
terbentuk berupa ferrit *acicular*, sebaliknya penurunan keuletan dan ketangguhan terjadi jika pada daerah las struktur mikro yang terbentuk berupa ferrit batas butir, ferrit *Widmanstatten*, bainit, atau martensit.

Ketujuh, sedangkan ferrit *acicular* akan terbentuk jika kandungan oksigen daerah las berkisar antara 200 ppm–250 ppm, pada kisaran ini 90% ferrit *acicular* dapat terbentuk (Horrison, 1981).

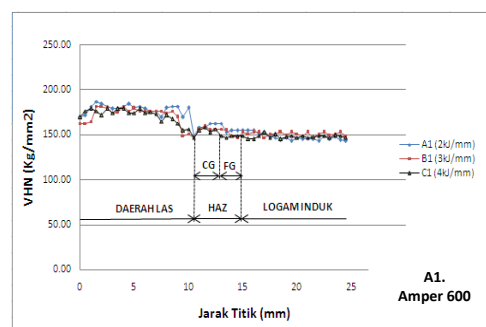
Kedelapan, dengan demikian inklusi di satu sisi bermanfaat untuk membantu terbentuknya *acicular ferrite*, dengan catatan persentase jumlah inklusi dapat diatur.

Kesembilan, sedangkan ferrit *acicular* akan terbentuk jika kandungan oksigen dalam daerah las berkisar antara 200 ppm – 250 ppm, dimana pada kisaran ini 90% ferrit *acicular* dapat terbentuk (Horrison, 1981).

Kesepuluh, dengan demikian inklusi di satu sisi bermanfaat untuk membantu terbentuknya *acicular ferrite*, dengan catatan persentase jumlah inklusi dapat diatur.



Gambar 12. Grafik kekerasan pada Amper 400 vs jarak dari pusat pengelasan.

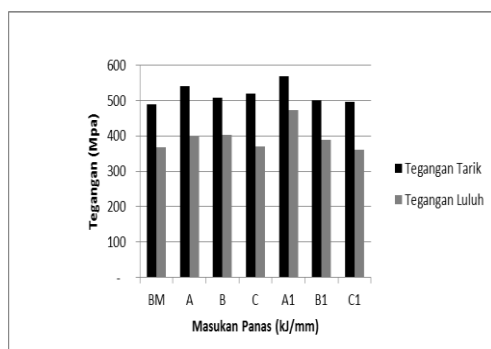


Gambar 12. Grafik kekerasan pada Amper 600 vs jarak dari pusat pengelasan.

Pengujian Kekerasan, nilai keke-  
rasan tertinggi di daerah las sebesar  
164,98VHN terjadi pada spesimen A  
dengan arus 400 Amper, kecepatan pe-  
ngelasan 7mm/detik dan masukan panas  
2,0kJ/mm hal tersebut dapat terjadi  
karena pendinginan yang terjadi sangat  
cepat.

Pada daerah logam induk keke-  
rasan merata dan tingkat kekerasannya  
paling rendah dikarenakan struktur yang  
ada berbentuk ferit dan perlit halus, hasil  
pengujian kekerasan seperti terlihat pada  
Gambar 12.

Dari hasil pengujian didapatkan  
tegangan tarik dan tegangan luluh ter-  
tinggi sebesar 567 dan 472MPa terjadi  
pada spesimen A1 dengan arus 600  
Amper, dengan kecepatan pengelasan 7  
mm/detik dan masukan panas 2 kJ/mm.  
Hal tersebut jika dibandingkan tegangan  
tarik dan tegangan luluh yang terjadi  
pada logam induk yaitu 489 MPa dan  
366 MPa.



Gambar 13. Grafik kekuatan tarik daerah las.

Pengujian Tarik, Pada Tabel 4.  
Tabel dan Gambar grafik hasil pengujian  
tarik pada daerah las.

Tabel 4. hasil uji tarik rata-rata pada daerah las

Spes. kJ/mm	P <sub>max</sub> (kgf)	P <sub>yield</sub> (kgf)	σ <sub>max</sub> (Mpa)	σ <sub>yield</sub> (Mpa)	E (%)
BM	5248.35	3924.00	489.73	366.77	21.73
A(2)	6042.96	4453.74	539.69	397.73	25.43
B(3)	5542.65	4385.07	507.42	402.72	25.13
C(4)	5591.70	3992.67	519.51	370.99	22.17
A1(2)	6311.10	5251.62	567.64	472.34	22.82
B1(3)	5611.32	4368.72	500.34	389.54	25.56
C1(4)	5388.96	3910.92	496.50	360.33	25.82

## KESIMPULAN

Pertama, dengan adanya kenaikan masukan panas, maka struktur mikro akan didominasi oleh ferit batas butir dan ferit Widmanstatten serta meningkatkan ukuran butir (*grain boundary ferit*) hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang semakin lambat.

Kedua, nilai kekerasan tertinggi di daerah las sebesar 164,98VHN terjadi pada spesimen A dengan arus 400A, kecepatan pengelasan 7mm/detik dan masukan panas 2,0kJ/mm, hal tersebut dapat terjadi karena pendinginan yang terjadi sangat cepat.

Ketiga, pada tegangan tarik dan tegangan luluh tertinggi sebesar 567 dan 472MPa terjadi pada spesimen A1 dengan arus 600Amper, kecepatan pengelasan 7mm/detik dan masukan panas 2 kJ/mm. Dibanding dengan tegangan tarik dan tegangan luluh yang terjadi pada logam induk yaitu 489MPa dan 366MPa.

## SARAN

Hasil penelitian Pengaruh Arus, Kecepatan Pengelasan dan Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanis Logam Las dan HAZ pada Pengelasan SAW Baja Karbon ASTM A 29, dapat disarankan sebagai berikut: Berdasarkan data penelitian ini sebaiknya dipakai metode spesimen A dengan arus 400 Amper, kecepatan pengelasan 7mm/detik dan masukan panas 2,0 kJ/mm, hal tersebut dapat terjadi karena pendinginan yang terjadi sangat cepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Grong, O., dan Matlock, D.K., 1986, *Microstructural Development in Mild and Low Alloy Steel Weld Metals*, International Metal Review, Vol 31 (1) pp 27-48.
- Gunaraj, V, and Murugan, N., 2002, "Prediction of Heat-Affected Zone Characteristics in Submerged Arc Welding of Structural Steel Pipes" *Welding Journal*, pp 94-S – 910 S
- Horrison, P.L., dan Farrar, R.A., 1981, Influence of Oxygen-rich on the Phase Transformation in High Strength Low Alloy (HSLA) Steel

- Weld Metals, Journal of Material Science, 16, pp 2218-2226.
- Jang, J., dan Indachoea, J.E., 1987, *Inclusion Effect on Submerged Arc Weld Microstructure*, Journal of Material Science, 22, pp 689-700
- Johnson, M.Q., Evans, G.M and Edwards, G.R., 1985, *The Influences of Addition and Interpass Temperatur on the Microstructures and Mechanical Properties of High Strength SMA Weld Metals*, ISIJ International vol 35 No. 10, pp 1222-1231.
- Suharno, Ilman, M.N dan Jamasri., 2004, Pengaruh Masukan Panas pada Pengelasan Busur Terendam Terhadap Ketangguhan dan Suhu Transisi Baja SM 490, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, ISBN: 979- 98888-0-8, pp.hal. 36-42.

**PENGARUH KONSENTRASI ELEKTROLIT DAN WAKTU ANODISASI TERHADAP KETAHANAN AUS, KEKERASAN SERTA KETEBALAN LAPISAN OKSIDA PADUAN ALUMINIUM PADA MATERIAL PISTON**

**Bambang Wahyu Sidharta<sup>1</sup>**

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

Masuk: 7 April 2014, revisi masuk : 15 Juli 2014, diterima: 24 Juli 2014

**ABSTRACT**

*Aluminum alloys used in the manufacture of automotive parts, such as piston, wherein the component is fast moving parts, which would have to meet certain physical and mechanical properties such as wear resistance and hardness. To improve the physical and mechanical properties such as wear resistance and hardness in aluminum alloy, then the anodizing process was chosen, because this process will increase the hardness and wear resistance of the metal. The increasing of hardness and wear of the aluminum alloy is due to the aluminum oxide layer formed on the anodizing process. The purpose of this study was to determine the effect of electrolyte concentration and time of anodizing process against hardness and wear resistance, as well as the thickness of the oxide film on aluminum alloy as the piston material. The process of anodizing of aluminum alloys performed at different electrolyte concentrations, i.e. 15, 20 and 25% vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sulfuric acid) with the addition of 6% wt. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (oxalic acid) at each concentration of sulfuric acid. The length of the anodizing time for each electrolyte concentration of 3, 5 and 7 minutes, while the electric voltage used is 24 volts. From this research, the best results obtained by anodizing using electrolyte 15% vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 6% wt. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> for 7-minute process that increase the material hardness from 115 to 190 VHN; and the best specific wear (W<sub>s</sub>) 7.15 x 10<sup>-5</sup> mm<sup>2</sup>/kg and the thickest oxide layer 83.81 μm.*

**Keywords:** aluminum alloy, anodizing, the wear rate, anodizing time

**INTISARI**

Paduan aluminium digunakan dalam pembuatan komponen otomotif, diantaranya piston, dimana komponen ini merupakan komponen yang bergerak, yang tentunya harus memenuhi sifat fisis dan mekanis tertentu seperti ketahanan aus dan kekerasan. Untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis seperti ketahanan aus dan kekerasan pada paduan aluminium, maka dilakukan proses *anodizing*. Proses ini akan meningkatkan kekerasan paduan aluminium sehingga ketahanan aus dari logam ini juga akan meningkat. Peningkatan kekerasan serta keausan pada paduan aluminium ini terjadi karena adanya lapisan oksida aluminium yang terbentuk pada proses *anodizing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi elektrolit dan waktu proses *anodizing* terhadap kekerasan, keausan serta ketebalan lapisan oksida pada paduan aluminium sebagai material piston. Proses *anodizing* paduan aluminium dilakukan pada konsentrasi elektrolit yang berbeda, yaitu 15, 20 dan 25% vol. asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan penambahan 6% wt. asam oksalat H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pada setiap konsentrasi asam sulfat. Lamanya proses *anodizing* untuk setiap konsentrasi elektrolit sebesar 3, 5 dan 7 menit, sedangkan tegangan listrik (voltase) yang digunakan adalah 24 volt. Dari penelitian ini didapatkan hasil yang cukup signifikan, dimana hasil *anodizing* yang terbaik didapatkan dengan menggunakan elektrolit 15% vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 6% wt. H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan waktu proses selama 7 menit yang menghasilkan perubahan kekerasan material dari 115 VHN menjadi 190 VHN; nilai keausan spesifik (W<sub>s</sub>) terbaik sebesar 7,15 x 10<sup>-5</sup> mm<sup>2</sup>/kg serta ketebalan lapisan oksida tertinggi 83,81 μm.

**Kata kunci :** paduan aluminium, *anodizing*, laju keausan, waktu *anodizing*

---

<sup>1</sup> [bwahvusidharta@vahoo.co.id](mailto:bwahvusidharta@vahoo.co.id)

## PENDAHULUAN

Salah satu perbaikan dan penyempurnaan pada suatu produk adalah dengan proses *anodizing*. Dengan ini proses *anodizing* akan diperoleh suatu material seperti material baru yang mempunyai sifat yang lebih baik, misal: meningkatnya ketahanan aus, meningkatnya ketahanan panas, meningkatnya kekerasan, meningkatnya ketahanan korosi. Disamping memperbaiki sifat material suatu produk, proses *anodizing* ini juga memperindah tampilan suatu produk.

Logam aluminium sudah digunakan pada komponen-komponen otomotif, diantaranya piston, dimana komponen ini merupakan komponen yang bergerak, yang tentunya harus memenuhi sifat fisis dan mekanis tertentu seperti ketahanan aus, ketahanan panas dan kekerasan. Logam aluminium dipilih karena mempunyai sifat yang baik antara lain: ringan, kekuatan tinggi dan ulet, mudah difabrikasi, mampu bentuk serta ketahanan korosi yang baik. Sehingga dari sifat-sifat tersebut aluminium mempunyai variasi sifat mekanik dan fisis yang baik, tapi masih perlu ditingkatkan.

Tujuan piston dalam sebuah silinder mesin adalah: Pertama, mengubah volume dari isi silinder, perubahan volume ini diakibatkan karena piston bergerak dari satu ujung silinder ke ujung silinder yang lain. Piston menerima tekanan dari fluida dan tekanan tersebut bila dikalikan luas penampang silinder, menjadi gaya (*linear*). Kedua, membuka atau menutup saluran gas yang ada di dinding silinder. Ketiga, Kombinasi dari kedua hal di atas.



Gambar 1. Piston 4-langkah

Dengan fungsi tersebut, maka piston harus terpasang dengan rapat dalam silinder. Untuk itu perlu satu atau beberapa *ring* (cincin) dipasang pada piston agar lebih rapat dengan silinder untuk mengurangi atau meniadakan kebocoran. Pada silinder dengan temperatur kerja menengah ke atas, bahan ring terbuat dari logam, disebut dengan ring piston (*piston ring*). Sedangkan pada silinder dengan temperatur kerja rendah, umumnya bahan ring terbuat dari karet, disebut dengan ring sil (*seal ring*).

Piston pada mesin juga dikenal dengan istilah torak. Torak berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima tekanan atau gaya hasil pembakaran dalam ruang bakar. Piston terhubung ke poros engkol (*crankshaft*) melalui setang piston (*connecting rod*). Di bawah ini adalah gambar dari piston untuk mesin 4 langkah :

Proses *anodizing* merupakan salah satu proses perlakuan permukaan yang dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat dari suatu logam induk (*substrate*) diantaranya adalah ketahanan terhadap keausan, meningkatkan kekerasan serta bertujuan untuk memperindah penampilan (*decorative*) dari *substrate* itu sendiri, dimana biaya yang diperlukan pada proses *anodizing* ini relatif murah. Dalam penelitian ini proses *anodizing* dilakukan pada logam aluminium yang digunakan sebagai bahan pembuatan komponen otomotif, khususnya piston mesin sepeda motor 4-langkah. Proses ini dipilih karena kebutuhan atau permintaan dan berdasarkan literatur yang ada anodisasi ini mampu meningkatkan ketahanan aus serta ketahanan panas. Dalam aplikasinya material piston tersebut membutuhkan sifat yang tahan terhadap keausan dan ketahanan panas karena beroperasi dengan tingkat gesekan yang tinggi yang pasti rentan terhadap keausan, disamping kebutuhan akan suatu penampilan yang menarik agar pembeli tertarik.

Dalam percobaan *anodizing* aluminium ini yang menggunakan Pb sebagai katodanya, dengan larutan elektrolit campuran: asam sulfat  $H_2SO_4$  dan asam oksalat  $H_2C_2O_4$  dengan perbandingan berat 6%. Dengan mengubah konsen-

trasi larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> serta waktu *anodizing* kita dapat mengetahui pengaruh variabel-variabel tersebut dalam membentuk lapisan oksida pada permukaan substrat. Pada percobaan ini tegangan yang digunakan adalah 24volt, dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 15, 20 dan 25 % volume dan dengan waktu selama 3, 5 dan 7 menit.

#### METODE

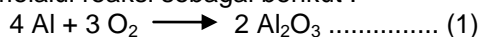
Batasan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut : Satu, spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah piston sepeda motor 4-langkah yang bukan produk OEM (*Original Equipment Manufacturer*) atau dengan perkataan lain merupakan piston produk imitasi. Produk OEM dibeli untuk digunakan sebagai pembanding.

Dua, konsentrasi campuran elektrolit asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan asam oksalat H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, antara 15, 20 dan 25 % volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> serta satu macam konsentrasi asam oksalat, yaitu 6 % wt H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, dengan waktu proses anodisasi 3, 5 dan 7 menit.

Tiga, pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kekerasan, uji keausan dan pengukuran ketebalan lapisan oksida.

Aluminium memperlihatkan ketahanannya terhadap korosi dengan sangat baik dan penggunaannya sebagai salah satu logam komersial utama untuk membentuk lapisan oksida penghalang yang terikat kuat pada permukaannya. Apabila lapisan tersebut rusak, maka akan terbentuk kembali secara langsung di lingkungan manapun. Pada permukaan aluminium yang terabrasi dan terekspos oleh udara, ketebalan lapisan oksida hanya sekitar 1 nm, namun demikian, lapisan tersebut masih sangat efektif melindungi aluminium dari korosi.

Logam aluminium mempunyai nilai elektropositif yang cukup tinggi, sehingga ia akan dapat mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan oksida yang tipis pada permukaannya melalui reaksi sebagai berikut :



Pada umumnya, komponen otomotif dalam hal ini piston yang dibuat di negeri ini menggunakan bahan baku dari

paduan aluminium ADC12 (*Aluminium Die Casting* dengan kadar Si maksimum 12%), yaitu suatu paduan antara Al-Si-Cu-Mg-Zn serta unsur lainnya seperti terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi kimia paduan aluminium ADC12 (JIS H5302)

Si	Cu	Mg Max.	Zn Max.	Mn Max.	Fe Max.	Ni Max.
9,6 s/d 12,0	1,5 s/d 3,5	0,3	1	0,5	0,9	0,5

Lapisan oksida ini memiliki ketebalan antara 0,1 – 0,4 x 10<sup>-6</sup> inci sampai dengan 0,25 – 1 x 10<sup>-2</sup> mikron. Lapisan ini akan tetap stabil pada kondisi pH antara 4,5 sampai 7 sebagaimana ditunjukkan pada diagram Pourbaix (Gambar 2). Lapisan oksida tersebut juga meningkatkan sifat ketahanan korosi dari aluminium karena lapisan ini berfungsi sebagai lapisan protektif yang menghalangi oksigen bereaksi lebih lanjut dengan aluminium.

Lapisan oksida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dihasilkan dari proses kimia dan elektrokimia, sehingga dengan proses tersebut akan dihasilkan lapisan oksida dengan ketebalan mencapai 500 kalinya. Anodisasi merupakan proses konversi lapisan permukaan aluminium menjadi lapisan aluminium oksida yang memiliki porositas (berpori). Sifat lapisan itu sendiri adalah *inert*, persenyawaan yang stabil dan sebagai lapisan sifat tersebut akan mempengaruhi kestabilan permukaan aluminium. Lapisan aluminium oksida ini sendiri memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan logam induknya, nilai kekerasan ini berhubungan dengan ketahanan terhadap abrasi yang sangat dibutuhkan pada komponen dengan kinerja yang tinggi.

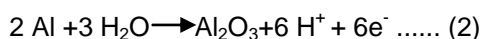
Karena sebagian besar pabrikan piston yang ada di Indonesia merupakan relokasi pabrik komponen otomotif yang ada di Jepang, maka mereka banyak menggunakan bahan baku yang berasal dari Jepang (dengan sebagian kecil pasokan dari dalam negeri) dimana standar yang digunakan berdasarkan JIS (*Japan Industrial Standard*) H5302. Adapun padanan spesifikasi paduan

aluminium JIS H5302 dengan standar-standar lainnya (berdasarkan standar *North American Die Casting Association*) adalah paduan aluminium 383.

Paduan aluminium 383 atau ADC12 akan memperbaiki ketahanan terhadap retak panas (*hot cracking*) yaitu kekuatan pada temperatur tinggi, hal ini sesuai dengan karakteristik komponen piston yang bekerja pada temperatur tinggi. Selain itu, untuk mencegah korosi lingkungan pada paduan aluminium ini, dapat dicapai dengan pengecatan, anodisasi, *chromating* dan *iridite coatings*.

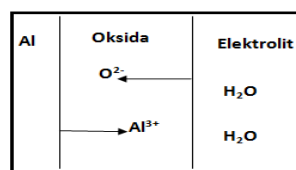
Anodisasi aluminium adalah metode elektrokimia untuk mengubah aluminium menjadi oksida aluminium ( $Al_2O_3$ ) pada permukaan yang akan dilapisi. Hal ini dapat dicapai dengan membuat benda kerja sebagai anoda yang kemudian dicelupkan dalam sel elektrolit yang sesuai. Walaupun sebagian logam dapat dianodisasi, termasuk aluminium, titanium dan magnesium, tetapi hanya aluminium yang banyak digunakan dalam industri anodisasi (ASM Handbook vol.2, 1980).

Mekanisme dari proses anodisasi merupakan pembentukan lapisan oksida, yang membuat proses ini mirip dengan proses mekanisme korosi pada logam. Dapat dilihat pada diagram Pourbaix aluminium bahwa pada pH dan potensial tertentu dari logam aluminium mampu teroksidasi menjadi bentuk ion sehingga logam ini dapat berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Reaksi pembentukan lapisan oksida pada aluminium adalah :



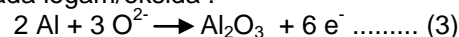
Logam aluminium pada sel anodisasi diposisikan sebagai anoda sehingga pada akhirnya logam inilah yang akan teroksidasi. Katoda yang digunakan adalah elektroda *inert*. Katoda dan anoda dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang bersifat asam maupun basa, hal ini dimaksudkan agar pH aluminium berada pada daerah yang rentan terhadap proses oksidasi. Agar terjadi aliran arus pada sel percobaan, maka katoda dan anoda dihubungkan

pada sumber arus searah (DC) yaitu *rectifier*, dimana aluminium dihubungkan dengan kutub positif dan katoda berupa elektroda *inert* dihubungkan pada kutub negatif. Pada saat *rectifier* diaktifkan, maka arus akan mengalir dari kutub positif dan hal ini akan menyebabkan terjadinya pelepasan elektron pada aluminium, yang menyebabkan aluminium teroksidasi dan berikatan dengan oksigen serta membentuk lapisan oksida. Ilustrasi terjadinya lapisan oksida dapat dilihat pada Gambar 3.

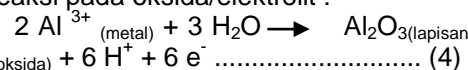


Gambar 3 Ilustrasi transpor ion ke lapisan oksida

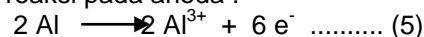
Reaksi yang terjadi pada anoda : Reaksi pada logam/oksida :



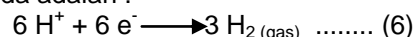
Reaksi pada oksida/elektrolit :



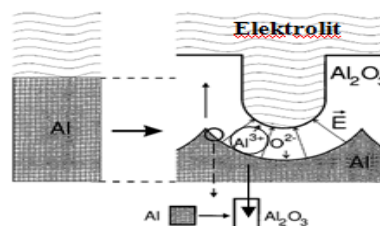
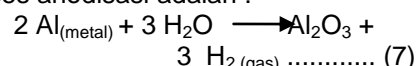
Total reaksi pada anoda :



Sedangkan reaksi yang terjadi pada katoda adalah :



Sehingga total reaksi yang terjadi pada proses anodisasi adalah :

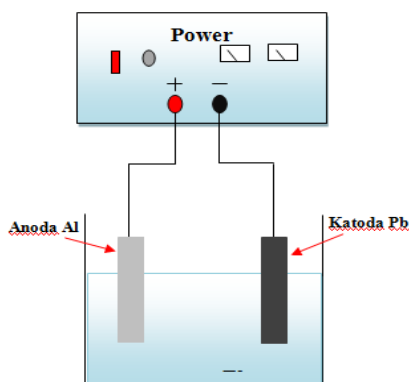


Gambar 4 Skema pembentukan lapisan oksida pada permukaan aluminium (<http://ecs.skku.ac.kr/research/nanowire/>)

Berdasarkan spesifikasi dari MIL-A-8625, anodisasi dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan larutan yang dipakai, yaitu :



Tipe I . Menggunakan asam kromat  $\text{CrO}_3$  sebagai elektrolit, akan menghasilkan lapisan oksida yang relatif tipis, fleksibel serta ketahanan terhadap korosi yang baik. Konsentrasi dari asam kromat yang digunakan berkisar antara 2% hingga 15%.



Gambar 5 Rangkaian sel anodisasi

Tipe II. Menggunakan asam sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebagai elektrolit, akan menghasilkan lapisan oksida yang lebih tebal dan relatif lebih baik dibandingkan dengan tipe I. Konsentrasi larutan yang digunakan antara 8 – 35% berat.

Tipe III. Tipe ini juga menggunakan asam sulfat sebagai elektrolitnya, hanya saja temperaturnya lebih rendah antara  $-5$  hingga  $+10^\circ\text{C}$ , dengan konsentrasi larutan yang digunakan antara 15 – 35% berat. Tipe ini juga dikenal sebagai *hard anodizing*. Lapisan oksida yang dihasilkan relatif lebih tebal dan lebih baik dibandingkan dengan tipe I dan tipe II, sehingga ketahanan korosi dan ketahanan ausnya juga lebih baik.

Selain ketiga tipe anodisasi di atas, juga ada anodisasi yang menggunakan elektrolit campuran yaitu antara asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan asam oksalat ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), yang banyak digunakan untuk mendapatkan hasil lapisan oksida yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan asam sulfat sebagai elektrolit (LeBlanc, R). Metode ini menggunakan asam sulfat 15 – 20% serta penambahan asam oksalat lebih kurang 10% sebagai elektrolitnya. Temperatur operasi yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan tipe II, yaitu antara  $20 - 25^\circ\text{C}$ . Metode ini juga

menggunakan tegangan listrik yang lebih besar yaitu antara 20 – 25 volt (Aluminium Handbook 2, 2003 dan <http://surtec.com.pdf>), sedangkan rapat arus yang dipakai antara  $1-2 \text{ A/dm}^2$ .

Proses anodisasi mempunyai tujuan, antara lain (Aluminium Handbook 2, 2003 dan ASM Handbook vol. 13, 1987) : Satu, meningkatkan ketahanan korosi dari proses anodisasi, lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam lebih tahan terhadap serangan korosi dalam lingkungan air garam serta atmosfer. Lapisan oksida yang terbentuk akan melindungi logam dibawahnya dengan bertindak sebagai penghalang (barrier) dari serangan lingkungan yang lebih korosif.

Dua, meningkatkan sifat adhesive lapisan tipis oksida yang dihasilkan dari anodisasi menggunakan asam fosfat dan kromat dapat meningkatkan kekuatan ikatan dan ketangguhan, biasanya digunakan pada industri penerbangan.

Tiga, meningkatkan ketahanan aus (*wear resistant*)/*durability* proses *hard anodizing* dapat menghasilkan lapisan oksida dengan ketebalan 25 – 100 mikron. Lapisan tersebut, dengan kekerasan inheren aluminium oksida yang cukup tebal dapat digunakan untuk aplikasi di bawah kondisi ketahanan abrasi. Lapisan oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ini memiliki kekerasan yang tinggi (sebanding dengan *sapphire*) atau paling keras setelah intan.

Empat, isolator listrik lapisan oksida memiliki resistivitas yang tinggi khususnya lapisan oksida yang porinya tertutup.

Lima, dapat melekat pada *plating* berikutnya pori dari lapisan anodik oksida dapat mendukung proses *electroplating*, biasanya asam yang digunakan sebagai elektrolit pada proses ini adalah asam fosfat.

Enam, aplikasi dekorasi/tampilan pada permukaan logam, lapisan oksida yang terbentuk memiliki tampilan yang mengkilap, dimana pada aluminium tampilan oksida yang alami sangat diinginkan. Selain itu, lapisan oksida yang terbentuk dapat diberi warna dengan cara atau metode lain. Pewarnaan orga-

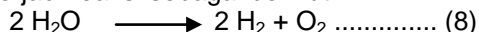
nik akan diserap pada lapisan pori untuk menghasilkan warna tertentu, dan pigmen yang mengendap di dalam pori akan menghasilkan warna yang stabil.

Tujuh, ketahanan panas/*heat resistance* oksida aluminium tahan temperatur tinggi. Ketahanan panas dari komponen yang dianodisasi hanya terbatas pada temperatur lebur dari aluminiumnya sendiri atau kekuatan mekanik pada temperatur tinggi.

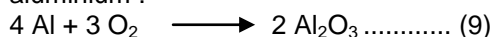
*Delapan, toxicity* aluminium yang dianodisasi secara umum dikenal sebagai material yang aman untuk aplikasi medis dan juga untuk makanan serta minuman.

Lapisan oksida hasil proses anodisasi mempunyai struktur yang berbeda dengan lapisan oksida yang terbentuk secara alami, dimana lapisannya memiliki struktur pilar hexagonal berpori yang memiliki karakteristik yang unik sehingga meningkatkan sifat mekanis permukaan aluminium.

Ketika komponen yang akan dianodisasi dicelupkan ke dalam elektrolit asam sulfat dengan arus DC, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Oksigen yang dihasilkan di luar komponen yang dianodisasi akan bereaksi dengan permukaan aluminium yang reaktif membentuk oksida aluminium :



Pada awal ketika arus dialirkan ke elektrolit, maka akan terbentuk *non-porous dielectric undercoating* yang tipis, dikenal sebagai lapisan dasar (*barrier layer*). Lapisan ini akan tumbuh secara proporsional dengan tegangan yang diberikan hingga mencapai ketebalan sekitar 0,02  $\mu\text{m}$ . Lapisan ini mempunyai resistansi elektrik yang sangat ekstrim. Pada tegangan anodisasi 12 – 20 volt, dengan tegangan yang konstan maka rapat arus secara teoritis akan turun secara cepat, dan pertumbuhan lapisan akan terhenti. Dengan adanya pemanasan karena energi listrik dan kemampuan elektrolit yang digunakan untuk menyerap lapisan, maka akan menyerang titik paling lemah dari kisi

kristal dan pori-pori akan tercipta membentuk struktur *honeycomb* dari oksida aluminium (Alwitt, R.S. 2009).

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang dianodisasi tergantung dari jenis larutan yang digunakan sebagai elektrolit, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan mempunyai struktur yang porous atau berpori berstruktur hexagonal, dengan pori di tengahnya.

Pada permukaan lapisan oksida yang terbentuk dalam proses anodisasi, terdapat jutaan sel per  $\text{cm}^2$ , dimana ukurannya merupakan fungsi dari tegangan proses tersebut (Lowenheim, F.A., 1978). Ukuran pori dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis elektrolit, temperatur serta hubungan antara tegangan dan arus yang dipakai. Struktur dari lapisan oksida yang terbentuk pada *anodizing* yang menggunakan asam fosfat, asam sulfat, asam kromat dan asam oksalat sebagai elektrolitnya, hanya berbeda pada ukuran pori dan selnya.

Secara umum lapisan oksida hasil dari proses anodisasi memiliki karakteristik sebagai berikut : Satu, keras, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) memiliki kekerasan sebanding dengan *sapphire*. Dua, insulatif dan tahan terhadap beban. Tiga, transparan. Empat, tidak ada serpihan (*flake*) pada permukaannya

Lapisan oksida yang terbentuk dari proses ini akan meningkatkan ketahanan abrasif, kemampuan insulator elektrik logam, serta kemampuan untuk menyerap zat pewarna (*dye stuff*) untuk menghasilkan variasi tampilan warna pada permukaan hasil anodisasi. Aluminium serta paduan-paduannya mempunyai sifat tahan terhadap korosi atmosferik karena adanya lapisan oksida protektif yang dengan cepat terbentuk ketika logam aluminium terekspos dengan udara.

Terbentuknya lapisan oksida pada permukaan logam yang dianodisasi tergantung dari jenis larutan yang digunakan sebagai elektrolit, lapisan dasar oksida (*barrier type oxide film*) dan

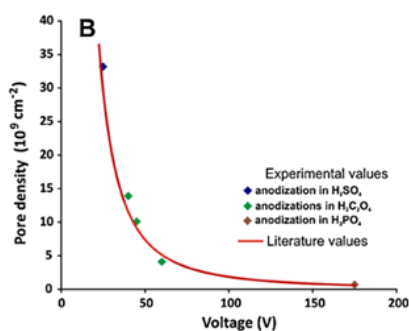
lapisan pori oksida (*porous oxide film*) dapat terbentuk selama proses anodisasi. Lapisan oksida yang dihasilkan mempunyai struktur yang porous atau berpori berstruktur hexagonal, dengan pori di tengahnya.

Lapisan dasar merupakan lapisan yang tipis dan padat, yang berfungsi sebagai lapisan pori dan logam dasar (*base metal*). Lapisan tersebut memiliki sifat yang melindungi dari korosi lebih lanjut dan tahan terhadap arus listrik. Struktur berpori yang timbul pada lapisan oksida merupakan hasil dari kesetimbangan antara reaksi pembentukan dan pelarutan lapisan oksida. Pada awalnya lapisan pori yang terbentuk mempunyai bentuk silinder yang memanjang namun karena lapisan ini kemudian bersinggungan dengan oksida-oksida lainnya yang berada disisi-sisinya, maka lapisan oksida tersebut bertransformasi menjadi bentuk saluran heksagonal yang memanjang (Sheasby dan Pinner, 2001).

Ketebalan lapisan film hasil proses anodisasi akan bertambah sejalan dengan waktu yang digunakan. Akan tetapi, laju pertambahan ketebalan lapisan oksida karena proses anodisasi juga tergantung dari beberapa faktor seperti konsentrasi, temperatur, tegangan dan rapat arus serta jenis paduan logam.

Pertama, Konsentrasi Elektrolit pada umumnya, larutan elektrolit yang digunakan pada proses anodisasi adalah asam kromat dan asam sulfat. Akan

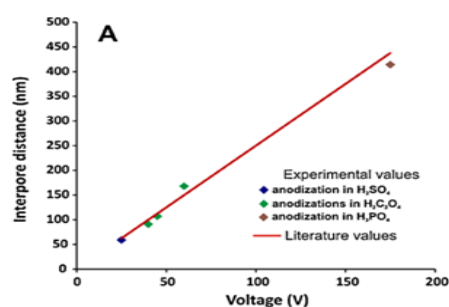
Gambar 6A Pengaruh tegangan pada anodisasi, pengaruh tegangan pada jarak antar pori



Gambar 6 B Pengaruh tegangan pada anodisasi, pengaruh tegangan pada kerapatan pori (<http://www.springerimages.com/Images/Chemistry/>)

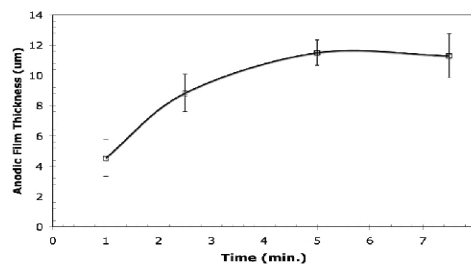
tetapi, selain ke dua asam di atas, asam oksalat dan asam fosfat juga dapat digunakan untuk proses anodisasi. Peningkatan konsentrasi dalam hubungannya dengan karakteristik lapisan, mempengaruhi kehilangan logam (*metal loss*) yang terjadi pada proses anodisasi. Peningkatan konsentrasi yang berlebih akan mengakibatkan terjadinya pelarutan lapisan film, untuk itu diperlukan komposisi konsentrasi larutan elektrolit yang tepat untuk mendapatkan lapisan film yang optimal.

Kedua, Efek tegangan pada proses anodisasi dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan yang dipakai pada proses anodisasi maka jarak antar pori semakin besar (Gambar 6 A), akan tetapi semakin besar tegangan yang digunakan pada proses anodisasi, maka kerapatan pori akan berkurang (Gambar 6 B).



Gambar 6 A Pengaruh tegangan pada anodisasi, pengaruh tegangan pada jarak antar pori.

Ketiga, Efek waktu pada proses anodisasi dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu proses anodisasi yang digunakan, maka semakin tebal lapisan anodik yang terbentuk.

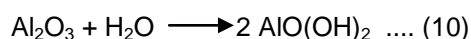


Gambar 7 Pengaruh waktu anodisasi pada ketebalan lapisan anodik (<http://www.pfonline.com/articles/>)

Berdasarkan *European Standard EN 12373-Part 1:2001*, *sealing* didefinisikan sebagai perlakuan pada lapisan oksidasi anodik aluminium, mengurangi porositas dan kapasitas absorpsi dari lapisan dengan menggunakan proses *hydrothermal* setelah proses anodisasi selesai dilakukan (Sheasby dan Pinner, 2001).

Ada dua jenis proses *sealing* yang berbeda, ditambah kombinasi dari dua jenis proses *sealing* yaitu : Satu, *sealing* dengan air panas (*hot water sealing*). Dua proses *sealing* dingin (*cold sealing process*). Tiga, kombinasi a dan b (*cold and hot water sealing*). Empat, *sealing* dengan air panas (*hot water sealing*)

Selama proses *sealing*, lapisan aluminium oksida akan terhidrasi. Oksida akan berubah menjadi  $\text{AlOOH}$ . Karena perubahan semakin bertambah, maka pori akan tertutup, dimana efek ini yang diharapkan. Selanjutnya lapisan oksida tidak akan mampu mengadsorb *dyes*. Reaksi yang terjadi tidak hanya di pori, juga terjadi pada permukaan lapisan oksida. Temperatur yang digunakan pada proses ini adalah antara  $96 - 98^{\circ}\text{C}$ . Pada komponen tidak akan terjadi akumulasi residu kering pada permukaannya dan dapat segera di kemas setelah komponen kering. Ginsberg dan Wefers meneliti pembentukan kristal berbentuk jarum dengan menggunakan mikroskop elek-tron. Kristal-kristal terlihat seperti serat yang tumbuh secara normal dan terdiri dari  $\gamma\text{-AlOOH}$ . Setelah beberapa lama kristal-kristal akan membentuk lapisan koheren dimana arah pertumbuhan menuju ke dalam permukaan. Pembentukan *boehmite* dalam *sealing* air panas adalah sebagai berikut :



Proses *sealing* dingin (*cold sealing process*), Dalam proses ini larutan mengandung ion-ion nikel dan fluor, dimana ion-ion ini bersama dengan aluminium akan membentuk senyawa yang kompleks. Waktu yang digunakan dalam proses adalah 0,8–1,2 menit/ $\mu\text{m}$  dan temperatur yang dipakai antara  $26-30^{\circ}\text{C}$ . Kelebihan dari proses ini adalah

komponen aluminium mempunyai sifat kekerasan serta anti korosif yang baik. Kualitas yang diharapkan dapat dicapai setelah penyimpanan 48 jam.

Kombinasi a dan b (*cold and hot water sealing*), dalam proses *sealing* kombinasi a dan b, langkah pertama adalah "*cold sealing*" terlebih dahulu, dilanjutkan dengan *rinsing* dua kali, dan diakhiri dengan "*hot water sealing*".

Kelebihan dari proses kombinasi ini adalah : 1. Kualitas *sealing* langsung dapat diperiksa setelah proses selesai. 2. Waktu *sealing* yang lebih singkat dibandingkan bila hanya menggunakan proses *hot water sealing*, sebagai contoh adalah 10 menit proses *cold sealing* dan kemudian 10 menit lagi untuk proses *hot water sealing* sehingga terbentuk *seal* yang diinginkan. 3. Mencegah pembentukan retak pada lapisan oksida, dimana hal ini akan terbentuk selama proses *cold sealing* sebagai proses dasar, jika fluktuasi temperatur sangat besar.

## PEMBAHASAN

Pengujian kekerasan bahan bertujuan untuk menentukan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis apabila bahan tersebut diberi beban dari luar. Pengujian kekerasan bahan pada penelitian ini menggunakan metode indentasi mikro Vickers, dimana pada permukaan material diberi beban sebesar 10 gram. Indentor berbentuk piramida intan dengan sudut antara permukaan berlawanan  $136^{\circ}$ .

Nilai kekerasan Vickers dapat dinyatakan dengan rumus (ASM Metals Handbook vol. 8) :

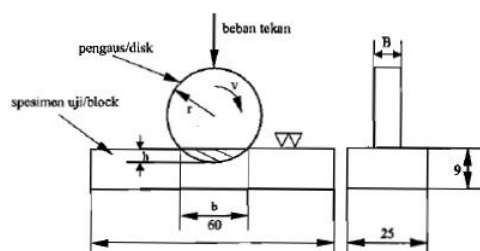
$$\text{VHN} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

dimana: P=beban terpasang (gram)  
d=diagonal bekas injakan penetrator ( $\mu\text{m}$ )



Gambar 8 Alat uji *micro hardness tester*

Prinsip pengujian keausan dilakukan dengan cara menggesekkan piringan berputar terhadap spesimen. Spesimen untuk uji keausan berbentuk pelat dengan ukuran 30 x 20 x 4 mm. Pengujian keausan dilakukan dengan mesin uji *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine* tipe OAT-U. Pengujian keausan mengacu pada metode Reiken Ogoshi dengan lebar piringan pengaus 3 mm, jari-jari pengaus 14,4 mm, beban tekan pada pengaus 2,21 kg, jarak tempuh selama proses pengausan 100 mm, dengan waktu pengausan 41,4 detik. Lebar keausan pada permukaan spesimen diukur dengan bantuan mikroskop optik.



Gambar 9 Prinsip pengausan *disk on block*

Laju keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan/pengurangan material (massa, volume atau ketebalan) tiap satuan panjang luncuran atau satuan waktu (Malau dan Khasani, 2008). Prinsip pengausan spesimen dengan *disk on block* dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Laju keausan dinyatakan dengan

$$W = \frac{V_i - V_f}{t} = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (11)$$

dimana:  $V_i$ = volume awal spesimen ( $\text{mm}^3$ ),  $V_f$ = volume akhir spesimen setelah pengausan ( $\text{mm}^3$ ),  $t$  = waktu atau lama pengausan (menit),  $V$ = volume gerusan yang hilang ( $\text{mm}^3$ ).

Volume gerusan hilang ( $V$ ) pada spesimen uji (*block*) ditentukan dengan persamaan 12.

$$V = B \left[ r^2 \sin^{-1} \left( \frac{b}{2r} \right) - \frac{b}{2} \sqrt{r^2 - \frac{b^2}{4}} \right] \dots\dots(12)$$

dimana  $B$  = tebal disk (mm),  $r$  = radius *disk* (mm) dan  $b$  = lebar keausan yang diperoleh dari pengamatan melalui mikroskop pada bekas gerusan atau alur.



Gambar 10 Alat uji keausan *disk on block*

Keausan dapat juga diungkapkan dengan keausan spesifik. Keausan spesifik dihitung berdasarkan lebar keausan benda uji yang termakan oleh pengaus yang berputar. Keausan spesifik ( $W_s$  dalam  $\text{mm}^2/\text{kg}$ ) dinyatakan dengan

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P_0 \cdot l_0} \dots\dots\dots (13)$$

dimana:  $B$ = lebar disk (piringan) pengaus (mm),  $b$ = lebar keausan pada benda uji (mm),  $r$ = radius piringan pengaus (mm),  $P_0$ = beban tekan pada saat pengausan (kg) dan  $l_0$ = jarak tempuh dari proses pengausan (mm).

Tabel 2 Hasil uji komposisi paduan aluminium bahan piston

Si	C	Mg	Zn	Mn	Fe	Ni	Sn
12,	1,	<0,	0,03	0,02	0,7	0,02	<0,
5	3	05	16	38	40	95	05

Tabel 3 Komposisi kimia paduan aluminium ADC12 (JIS H5302)

Si	Cu	Mg Ma	Zn Max.	Mn Ma	Fe Ma	Ni Ma	Sn Ma
9,6	1,5	x.	x.	x.	x.	x.	x.
-	-	0,3	1,0	0,5	0,9	0,5	0,2
12,	3,5						

Pengukuran ketebalan lapisan oksida pada permukaan spesimen didapatkan dengan mengukur ketebalan

lapisan yang dilakukan dengan menggunakan alat uji FE\_SEM (*Field Emission Scanning Electron Microscopy*), dengan merk FEI model Inspect F50. Dari pengujian komposisi terhadap material piston didapatkan hasil seperti yang ada pada Tabel 2.

Bila dibandingkan dengan komposisi paduan aluminium ADC12, maka komposisi Si paduan aluminium bahan piston melebihi standar JIS H5302, begitu pula dengan kadar Cu yang berada di bawah standar JIS H5302.

Pengujian kekerasan bahan pada penelitian ini menggunakan metode indentasi mikro Vickers, dimana pada permukaan material diberi beban sebesar 50 gram. Indentor berbentuk piramida intan dengan sudut antara permukaan berlawanan  $136^\circ$ .

Nilai kekerasan Vickers dapat dinyatakan dengan rumus (ASM Metals Handbook vol. 8) :

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2} \dots \dots (14)$$

dimana: P = beban terpasang (gram)  
d = diagonal bekas injakan penetrator ( $\mu m$ )

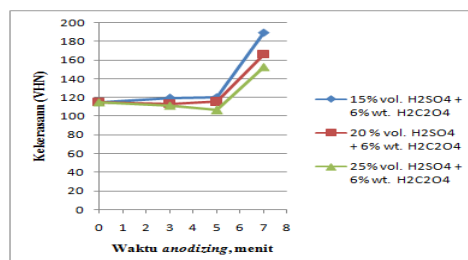
Dari hasil uji kekerasan pada material piston OEM (*Original Equipment Manufacturer*) didapatkan hasil VHN rata-rata sebesar 105,8277, sedangkan hasil uji kekerasan pada material sebelum dilakukan proses anodisasi VHN rata-rata adalah 115,1908.

Dari data-data hasil uji kekerasan didapatkan tabel 6 , yaitu tabel uji kekerasan dari proses anodisasi menggunakan 3 (tiga) jenis elektrolit yang berbeda. Pada Grafik 1 merupakan grafik antara kekerasan VHN dengan waktu *anodizing*.

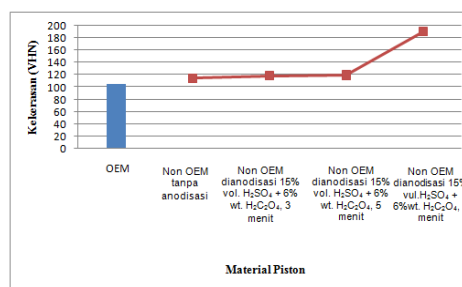
Pada Grafik 1 terlihat bahwa nilai kekerasan material yang terbaik setelah proses *anodizing* adalah pada material yang dianodisasi menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ , dengan waktu proses 7 menit.

Sedangkan grafik 2 merupakan grafik perbandingan kekerasan antara material piston OEM dengan raw material tanpa anodisasi dan material piston

setelah dianodisasi dengan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  selama 7 menit.

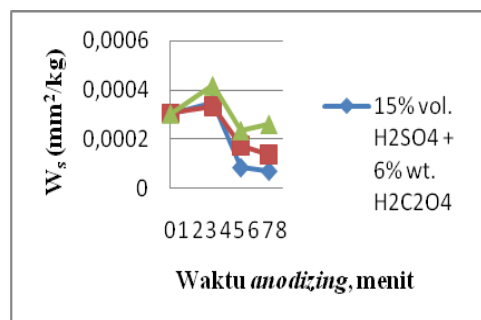


Grafik 1 Hasil uji kekerasan dengan menggunakan tiga jenis elektrolit yang berbeda



Grafik 2 Perbandingan kekerasan material antara piston OEM, piston non OEM tanpa anodisasi dan piston non OEM setelah dianodisasi.

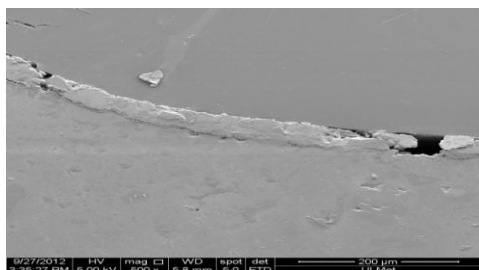
Dengan menggunakan persamaan (13), didapatkan keausan spesifik ( $W_s$ ) untuk material tanpa dan dengan *anodizing* dengan menggunakan elektrolit yang berbeda. Uji keausan spesifik material tanpa proses *anodizing* didapatkan  $W_s$  rata-rata non OEM setelah dianodisasi sebesar 0,003018923  $mm^2/kg$ . Grafik 3 merupakan hasil uji keausan dari spesimen yang telah dianodisasi.



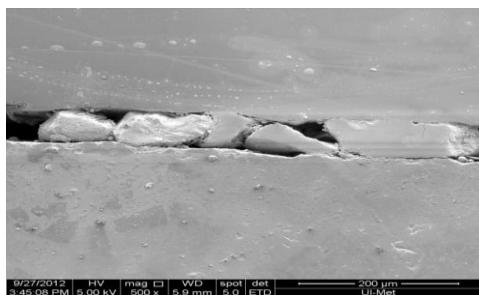
Grafik 3 Hasil uji keausan

Dari Grafik 3 dapat dinyatakan bahwa nilai uji keausan yang terbaik dihasilkan dari proses anodisasi material menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ , dengan waktu proses 7 menit. Material paduan aluminium mengalami penurunan nilai keausan spesifik ( $W_s$ ) dari  $3,04 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$  (sebelum proses anodisasi) menjadi  $7,15 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$  (setelah proses anodisasi selama 7 menit). Dengan berkurangnya nilai keausan spesifik material paduan aluminium ini, menjadikan material lebih tahan aus dibandingkan bila tidak dilakukan proses *anodizing*.

Adapun hasil uji ketebalan lapisan oksida adalah sebagai berikut :



Gambar 11 Ketebalan lapisan oksida hasil *anodizing* menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  dengan waktu 3 menit (FE\_SEM 500x)



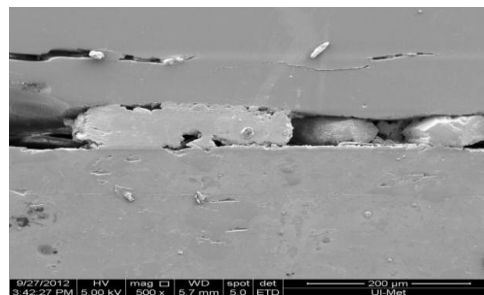
Gambar 12 Ketebalan lapisan oksida hasil *anodizing* menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  dengan waktu 5 menit (FE\_SEM 500x)

Tabel 4 merupakan hasil uji dari ketebalan rata-rata yang menggunakan FE\_SEM untuk *anodizing* dengan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ .

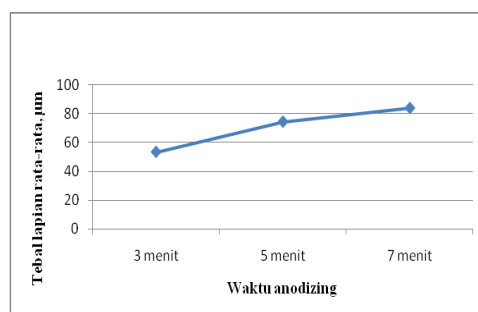
Dari Grafik 4 didapatkan ketebalan lapisan oksida tertinggi pada *anodizing* dengan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$ , waktu proses 7 menit, adalah 83,81  $\mu\text{m}$ .

Tabel 4 Hasil uji ketebalan lapisan oksida

Waktu anodisasi (menit)	Tebal lapisan rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
3	53,33
5	74,29
7	83,81



Gambar 13 Ketebalan lapisan oksida hasil *anodizing* menggunakan elektrolit 15% vol.  $H_2SO_4$  + 6% wt.  $H_2C_2O_4$  dengan waktu 7 menit (FE\_SEM 500x)



Grafik 4 Hasil uji ketebalan

## KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan, hasil penelitian dan data-data yang didapatkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Dari ketiga macam konsentrasi elektrolit yang digunakan pada proses anodisasi yaitu : campuran asam oksalat ( $H_2C_2O_4$ ) 6% wt. dan konsentrasi asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) 15, 20 dan 25% vol., maka asam sulfat 15% merupakan konsentrasi yang terbaik dibandingkan dengan 2 (dua) konsentrasi lainnya, sedangkan waktu proses yang terbaik adalah 7 menit dibanding dengan 2 (dua) waktu anodisasi yang lain. Bila dibandingkan dengan *raw material*, maka : pertama, akan terjadi kekerasan material mening-

kat dari 115 VHN menjadi 190 VHN. Kedua, nilai keausan spesifik ( $W_s$ ) dari material sebelum anodisasi ( $3,04 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$ ) menurun menjadi  $7,15 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Ketiga, ketebalan lapisan oksida yang tertinggi adalah sebesar  $83,81 \text{ }\mu\text{m}$ .

#### SARAN

Dalam menghasilkan produk dari material paduan aluminium yang dianodisasi disarankan untuk menggunakan proses dengan elektrolit 15% vol.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 6% wt.  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  dengan waktu 7 menit.

Untuk mendapatkan nilai kekerasan, keausan spesifik serta ketebalan lapisan yang lebih optimal, disarankan untuk meneliti proses anodizing dengan penggunaan elektrolit yang sama tetapi dengan waktu proses anodizing yang lebih dari 7 menit, atau konsentrasi elektrolit kurang dari 15% vol. asam sulfat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aluminium-Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, 2003, Aluminium Handbook 2, Forming, Casting, Surface Treatment, Recycling and Ecology, Dusseldorf.
- Alwitt, R.S., 2009, Anodizing, <http://electrochem.cwru.edu/encycl/art-a02-anodizing.htm>
- ASM, ASM Handbook vol. 2, 1980, Heat Treating, Cleaning and Finishing, 8<sup>th</sup> edition, ASM International Park, Ohio.
- ASM, ASM Handbook vol. 8, 2000, Mechanical Testing and Evaluation, 9<sup>th</sup> edition, ASM International Park, Ohio.
- ASM, ASM Handbook vol. 13, 1987, Corrosion, 9<sup>th</sup> edition, ASM International Park, Ohio.
- LeBlanc, R, The Effect of Anodizing to Minimize Friction and Wear of Aluminum Surfaces, <http://www.ewp.rpi.edu/pdf>
- Lowenheim, F.A., 1978, Electroplating, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Malau, V., dan Khasani, 2008, Karakterisasi Laju Keausan dan Kekerasan Dari Pack Carburising Pada Baja Karbon AISI 1020, Media Teknik No.3 Tahun XXX Edisi Agustus.
- Sheasby, P.G., and Pinner, R., 2001, The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys, Volume 1 & 2, Sixth Edition, ASM International & Finishing Publications Ltd., UK. <http://ecs.skku.ac.kr/research/nanowire/>



## SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN PRODUK UNGGULAN DAERAH MENGGUNAKAN METODE *ENTROPY* DAN *ELECTRE II* (STUDI KASUS: DINAS KOPERASI, INDUSTRI DAN PERDAGANGAN KABUPATEN LAMONGAN)

Eko Handoyo<sup>1</sup>, Andharini Dwi Cahyani<sup>2</sup>, Rika Yunitarini<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo Madura

Masuk: 9 Juni 2014, revisi masuk : 18 Juli 2014, diterima: 29 Juli 2014

### ABSTRACT

*Competition superior product in the future become more and more stringent with the increasing pace of economic development, industrial growth and technological progress. This competition makes each industry should be more careful in formulating policy formulation stratgi. Making the decision to get a superior product that suits your needs and abilities required an accurate and effective decisions so that no one and minimize the loss in terms of cost and time. This study uses the entropy method and elactre II. Research with this method of ranking the results based on the amount of gain dominance resulted in ranking the more partial and sensitive than perangkian based level. Criterion in this system is the turnover, labor, investment value, the target market, the amount of raw materials and the number of firms in a superior product. This study matches the accuracy of the system reaches 30%.*

**Keywords:** *Decision Support System, Featured Products, Entropy, ELECTRE II.*

### INTISARI

Kompetisi produk unggulan daerah semakin kedepannya menjadi semakin ketat dengan meningkatnya laju perkembangan ekonomi, pertumbuhan industri dan kemajuan teknologi. Persaingan ini membuat setiap industri harus lebih jeli dalam merumuskan rumusan stratgi kebijakan. Pengambilan keputusan untuk mendapatkan produk unggulan yang sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan diperlukan suatu keputusan yang akurat dan efektif agar tidak salah dan meminimalisir kerugian dalam dalam segi biaya dan waktu. Penelitian ini menggunakan metode *entropy* dan *electre II*. Penelitian dengan metode ini mendapatkan hasil perangkian berdasarkan jumlah dominasi menghasilkan perangkian yang lebih parsial dan sensitif dibandingkan perangkian berdasarkan level. Kriteria dalam sitem ini adalah omset, tenaga kerja, nilai investasi, target pasar, jumlah bahan baku dan jumlah perusahaan dalam satu produk unggulan. Penelitian ini mendapatkan hasil akurasi sistem yang mencapai 30%.

**Kata kunci:** Sistem Pendukung Keputusan, Produk Unggulan, Entropy, Electre II.

### PENDAHULUAN

Kabupaten Lamongan adalah salah satu kabupaten yang terletak di daerah pertumbuhan ekonomi yang baik. Wilayahnya yang sebagian besar terdiri dari daratan dan perairan mendorong kegiatan ekonomi penduduk memanfaatkan dari sektor pertanian dan kelautan. Pertumbuhan sektor ekonomi daerah yang sehat tidak bisa didorong dari satu sektor, tetapi juga dari sektor lain. Dalam mendukung pertumbuhan ekonomi da-

rah, diperlukan kebijakanyang baik dan tepat baik dari Pemerintah Daerah maupun pihak terkait lainnya. Industri adalah salah satu sektor ekonomi penting yang perlu perhatian lebih dari pemerintah daerah. Industri diharapkan menciptakan produk-produk yang mampu bersaing di pasar nasional maupun tingkat internasional.

Persaingan dalam perdagangan internasional (atau pasar pada umumnya) akan ditentukan pada keunggulan

---

<sup>1</sup>[eko.kurro.solid@gmail.com](mailto:eko.kurro.solid@gmail.com)

yang dimiliki atau keunggulan produk yang dihasilkan. Dalam konteks pengembangan keunggulan tersebut pemerintah mulai mengembangkan konsep produk unggulan. Proses ini dilakukan dengan mengidentifikasi produk-produk sebagai proses pengembangan sumber daya lokal dan optimasi atas potensi ekonomi daerah.

Permasalahan terjadi dalam penentuan produk unggulan daerah yang struktur permasalahannya belum jelas. Diperlukan suatu sistem pendukung keputusan pemecahan masalah dalam memilih produk unggulan daerah untuk menentukan prioritas terbaik. Dalam penelitian ini digunakan metode *Electre II* dengan pembobotan berbasis *entropy* yang di harapkan mampu memberikan jawaban atas masalah-masalah yang terjadi dalam pemilihan produk unggulan daerah.

Penelitian yang berhubungan dengan Pemilihan produk unggulan pernah dilakukan oleh Setia Kurniawan (2012). Dalam penelitian tersebut menggunakan data produk unggulan daerah Bankalan dengan variabel kriterinya adalah omset, tenaga kerja, target pasar, asal bahan baku, jumlah bahan baku, dan jumlah perusahaan. Dimana dalam penelitian ini menggunakan satu metode yaitu *fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)* dengan tingkat akurasi aplikasi mencapai 20 %.

Penelitian yang berhubungan dengan metode *entropy* pernah dilakukan oleh Jamilah dan S.Hartini(2012). Dalam penelitian ini memberikan sebuah keputusan terhadap pemilihan subkontrak dan dengan menggunakan metode *entropy*. Sistem pengambilan keputusan dapat menjadi alternatif bagi pihak perusahaan untuk memilih subkontrak yang akan memproduksi sarung tangan. dimana dalam penelitian ini menggunakan kriteria kualitas, ketepatan waktu, harga, service. Terdapat perbedaan pada bobot yang dihasilkan dengan menggunakan metode *entropy* dengan bobot awal karena pada bobot *entropy* data yang mempunyai range nilai yang besar dan mempunyai variasi nilai yang tinggi.

Penelitian yang berhubungan dengan metode *entropy* dan *Electre II*

pernah dilakukan oleh Arif Junaidi dkk (2011). Dalam penelitiannya didapatkan beberapa hasil dengan menggunakan metode *Entropy* dan *Electre II* hasil perankingan berdasarkan jumlah dominasi menghasilkan perankingan yang lebih parsial dan sensitif dibandingkan dengan perankingan berdasarkan level atau tingkatan. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa kriteria biaya, partisipasi masyarakat, jenis jembatan, tingkat kerusakan, manfaat ekonomi, manfaat sosial. Berdasarkan analisis sensitifitas terhadap beberapa nilai *threshold* perankingan menggunakan metode *Electre II* berdasarkan jumlah dominasi dan berdasarkan level dalam permasalahan studi kasus ini, hasil perankingan berdasarkan jumlah dominasi menghasilkan perankingan.

#### METODE

Bobot adalah tingkat kepentingan relatif dari beberapa kriteria yang berada dalam prioritas yang sama. Dalam pembuatan derajat *outranking* dari setiap alternatif membutuhkan koefisien bobot untuk tiap kriteria. Namun apabila terdapat beberapa pengambil keputusan (*decision maker*), pembobotan kriteria mungkin akan menjadi sulit karena setiap pengambil keputusan mempunyai preferensi yang berbeda-beda terhadap suatu kriteria. Bobot tiap kriteria yang berbeda-beda terhadap suatu kriteria ditentukan melalui opini *respondens* atau pengambil keputusan. Rentang nilai dan metode pemberian nilai yang luas namun efektif diantara kriteria, misalnya 1–10, 1 1-100.

Konsep utama pembobotan *entropy* adalah pengukuran  $j$  meleui fungsi tertentu sesuai dengan kualitas informasi yang diberikan. Penilaian bobot kriteria  $j$  dilakukan melalui pengukuran *dispersi*  $D_j$ .

Langkah-langkah tahapan yang digunakan dalam metode *entropy* adalah sebagai berikut: Pertama, semua pengambil keputusan harus memberikan nilai yang menunjukkan kepentingan suatu kriteria tertentu terhadap pengambilan keputusan. Tiap pengambil keputusan boleh menilai sesuai preferensinya masing-masing. Metode penilaian ini menggunakan angka integer ganjil antara 1-10

dengan range score yaitu 1,3,5,7, dan 9. Angka tersebut menunjukkan tingkat kepentingan tiap kriteria, mulai dari angka 1 sangat tidak penting atau sangat tidak memuaskan, sampai angka 9 sangat penting atau memuaskan. Skala penilaian tersebut merupakan skala perbandingan yang umumnya sering dipakai dalam penilaian atribut kualitatif yang selalu subjektif. seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Intensitas Kepentingan

Insentitas kepentingan	Keterangan
1	Sangat tidak penting
3	Kurang penting
5	Cukup penting
7	Penting
9	Sangat penting

Kedua, Kurangkan tiap angka tersebut dengan nilai paling ideal, hasil pengurangan tersebut dinyatakan dengan  $k_{ij}$ . Ketiga, Bagi tiap nilai ( $k_{ij}$ ) dengan jumlah total nilai dalam semua kriteria dengan rumus (1).

$$a_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij}} \dots\dots\dots(1)$$

untuk  $m > 1$

dimana :

$m$  = jumlah pengambil keputusan

$n$  = jumlah kriteria

Menghitung nilai *entropy* untuk tiap kriteria dengan rumus (2).

$$E_j = \left( -\frac{1}{\ln(m)} \right) \times \sum_j a_{ij} \ln(a_{ij}) \dots(2)$$

dimana :  $E_j$  = nilai bobot *entropy*

Menghitung *dispersi* tiap kriteria dengan rumus (3).

$$D_i = 1 - E_j \dots\dots\dots(3)$$

dimana :  $D_i$  = nilai *dispersi entropy*

Keempat, karena diasumsikan total bobot adalah 1, maka untuk mendapatkan bobot tiap kriteria, nilai dispersi harus dinormalisasikan dahulu dengan rumus (4).

$$W_j = \frac{D_j}{\sum D_j} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :  $W_j$  = Hasil bobot *entropy*

Salah satu kelebihan dari pendekatan *entropy* adalah kemampuannya dalam mengakomodasi nilai bobot yang berasal dari beberapa pembuat keputusan.

*ELECTRE (Elimination and Choice Translation Reality)* merupakan salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria berdasarkan pada konsep *outranking* dengan menggunakan perbandingan berpasangan dari alternatif-alternatif berdasarkan setiap kriteria yang sesuai.

Metode ini digunakan pada kondisi dimana alternatif yang kurang sesuai dengan kriteria dieliminasi, dan alternatif yang sesuai dapat dihasilkan. Jadi, Electre digunakan untuk kasus yang mempunyai banyak *alternative* dengan sedikit kriteria. Suatu alternatif dikatakan mendominasi alternatif yang lainnya jika satu atau lebih kriterianya melebihi (dibandingkan dengan kriteria dari alternatif yang lain) dan sama dengan kriteria lain yang tersisa. Metode ini merupakan metode *Electre* yang didesain untuk masalah perankingan. Pembentukan prosedur utamanya adalah kriteria nyata.

Tahap-tahap *Electre* :Pertama, normalisasi matrik keputusan dalam tahap ini semua atribut diubah ke nilai yang *comparable*. Dapat dilakukan dengan rumus (5).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \dots\dots\dots(5)$$

untuk  $i=1,2,3,\dots,m$  dan  $j=1,2,3,\dots,n$ .

dimana :  $I$  : banyak alternatif

$J$  : banyak criteria

$r_{ij}$  : normalisasi matrik keputusan

Sehingga didapat :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Pada tahap kedua, pembobotan matriks yang telah dinormalisasi

Dilakukan dengan mengalikan tiap kolom dalam matrik R dengan bobot untuk tiap kriteria yang sesuai, yang

mana bobot tersebut ditentukan oleh pengguna. Rumusnya (6) – (8).

$$V = W \times R \dots\dots\dots (6)$$

$$RW = \begin{bmatrix} W_1 r_{12} & W_2 r_{12} & \dots & W_n r_{1n} \\ W_1 r_{21} & W_2 r_{22} & \dots & W_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_1 r_{m1} & W_2 r_{m2} & \dots & W_n r_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

dimana W adalah

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & w_n \end{bmatrix}, \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{dan } \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

dimana: V : matrik dinormalisasi  
W : bobot *entropy*

Tahap ketiga, Menentukan *concordance* dan *discordance* set. Untuk setiap pasang alternatif k,l (k,l = 1,2,3,...,m;k ≠ l) maka kumpulan kriteria j dibagi menjadi dua subset yaitu *concordance* dan *discordance*. Dengan rumus(9) dan (10).

*Concordance* :

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \text{ untuk } j = 1,2,3,..,n \dots\dots\dots (9)$$

*Discordance* :

$$D_{kl} = \{j, y_{kj} < y_{lj}\} \text{ untuk } j = 1,2,3,..,n \dots\dots\dots (10)$$

Menghitung matrik *concordance* dan *discordance* Untuk menentukan matrik *concordance* maka dilakukan penjumlahan dari bobot-bobot yang termasuk dalam subset *concordance* dengan rumus (11) dan (12)

$$C_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} W_j \dots\dots\dots (11)$$

Sehingga didapat matrik *concordance*

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & - & c_{23} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \dots & - \end{bmatrix}$$

Sedangkan untuk mendapatkan matrik *discordance* dilakukan dengan rumus :

$$D_{kl} = \frac{\{\max(v_{km} - v_{lm} - \dots) : m, n \in D_{kl}\}}{\{\max(v_{km} - v_{lm} - \dots) : m, n = 1,2,3, \dots\}} \dots\dots\dots (12)$$

Sehingga matrik *discordance* yang didapat adalah :

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & - & d_{23} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & - \end{bmatrix}$$

Tahap keempat, menentukan matrik dominan *concordance* dan *discordance* dengan menggunakan rumus (13) dan (15).

*Concordance*, Matrik dominan *concordance* didapat dengan membandingkan nilai tiap-tiap matrik *concordance* dengan nilai *threshold*

$$C_{kl} \geq \underline{c}$$

Dengan nilai *threshold*( $\underline{c}$ ) :

$$\underline{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}}{m \cdot (m-1)} \dots\dots\dots (13)$$

Dan nilai F dari tiap elemen matrik *concordance* didapat dengan :

$$F_{kl} = 1, \text{ jika } C_{kl} \geq \underline{c} \text{ dan } F_{kl} = 0, \text{ jika } C_{kl} < \underline{c}$$

*Discordance*, dan nilai matrik dominan pada matrik *discordance* juga didapat dengan bantuan nilai *threshold* :

$$\underline{d} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}}{m \cdot (m-1)} \dots\dots\dots (14)$$

$$g_{kl} = 0, \text{ jika } C_{kl} \geq \underline{d} \text{ dan } g_{kl} = 1, \text{ jika } C_{kl} < \underline{d}$$

Selanjutnya tahap kelima, menentukan *agregate dominance*

Menentukan matrik *agregate dominance* dengan mengalikan matrik F dan G. Menggunakan rumus (15).

$$e_{kl} = F_{kl} \times g_{kl} \dots\dots\dots (15)$$

Dan tahap keenam, eliminasi *alternative* yang *less favorable*

Matrik E/e menunjukkan urutan *alternative* yang memenuhi kriteria. Yaitu bila  $e_{kl}$  bernilai 1 maka menunjukkan alternatif Ak merupakan pilihan yang lebih baik daripada alternative Al. Bila dalam matrik E/e tidak ditemukan nilai 1. Artinya semua *alternative* saling mendominasi. Dan pengambilan keputusan dilakukan dengan mengambil nilai dari matrik V(matrik ternormalisasi).

**PEMBAHASAN**

Analisa sistem ini menggunakan data uji coba dari data IKM tahun 2012 yang keseluruhan data tersebut sebanyak 240 data IKM. Dimana data tersebut akan di lakukan akumulasi data menjadi 25 produk unggulan seperti pada Gambar 1.

Nama Produk	Onset	Jumlah Tenaga Kerja	Target Pasar	Investasi	Jumlah Bahan Baku	Jumlah Perusahaan
Anyamany Bando	Rp. 150.000.000	80	Regional	Rp. 1.540.844.100	Rp. 12.200.000	2
Anyamany Pandan	Rp. 3.075.000.000	110	Local	Rp. 6.170.000	Rp. 645.000.000	3
Bahan Bangunan	Rp. 6.021.183.000	81	Local	Rp. 1.017.140.000	Rp. 300.000.000	12
Batik	Rp. 7.242.283.000	75	Local	Rp. 208.500.000	Rp. 1.201.200.000	5
Bordir	Rp. 2.008.000.000	800	Local	Rp. 601.200.000	Rp. 312.000.000	10
Depo Air Minum	Rp. 130.225.000	14	Local	Rp. 341.000.000	Rp. 44.000.000	3
Enceng Gondok	Rp. 100.000.000	15	Regional	Rp. 180.100	Rp. 15.000.000	1
ES Batu	Rp. 100.000.000.000	54	Local	Rp. 1.000.000.000	Rp. 2.000.000.000	8
Gerabah	Rp. 700.000.000	42	Regional	Rp. 170.000.000	Rp. 65.000.000	3
Jamur	Rp. 3.000.000.000	30	Local	Rp. 40.000.000	Rp. 100.000.000	3
Kapur	Rp. 11.200.040.000	100	Local	Rp. 200.000.000	Rp. 1.100.000.000	20
Kerajinan Kulit	Rp. 4.750.000.000	100	Local	Rp. 200.000.000	Rp. 800.000.000	10
Kerajinan Seng	Rp. 2.340.750.000	80	Local	Rp. 180.000.000	Rp. 300.000.000	10
Kerajinan Tempurung	Rp. 1.910.000.000	67	Regional	Rp. 350.700.000	Rp. 100.000.000	3
Konveksi	Rp. 8.200.000.000	100	Local	Rp. 100.000.000	Rp. 500.000.000	7
Makanan Hasil Olahan	Rp. 6.000.000.000	220	Local	Rp. 1.300.000.000	Rp. 1.100.000.000	30
Mebel	Rp. 11.870.000.000	220	Local	Rp. 2.100.000.000	Rp. 7.810.000.000	34
Minyak	Rp. 500.000.000	170	Local	Rp. 100.000.000	Rp. 50.000.000	3
Peranginan	Rp. 21.000.000.000	80	Local	Rp. 300.000.000	Rp. 3.000.000.000	4
Peranginan Emas	Rp. 570.000.000	26	Local	Rp. 200.100.000	Rp. 100.000.000	4
Pupuk	Rp. 6.000.000.000	400	Local	Rp. 1.000.000.000	Rp. 1.000.000.000	20
Rokok	Rp. 10.470.000.000	200	Local	Rp. 1.200.000.000	Rp. 2.000.000.000	7
Rosum	Rp. 2.000.000.000	240	Local	Rp. 1.000.000.000	Rp. 840.000.000	8
Tenun kat	Rp. 5.200.000.000	800	Nasional	Rp. 1.500.000.000	Rp. 800.000.000	10
Tikar Lipat	Rp. 30.000.000.000	1100	Regional	Rp. 100.000.000	Rp. 5.000.000.000	7

Gambar 1. Akumulasi data produk unggulan.

Dari data uji coba di atas telah di lakukan di dapatkan hasil perangkaian dengan kriteia seperti pada Gambar 2.

No	Nama	Jabatan	Onset	Tenaga Kerja	Target Pasar	Investasi	Jumlah Bahan Baku	Jumlah Perusahaan	Aksi
1	Dra H Basuki	Kepala Diskomprindak	3	5	7	3	5	9	Detail Update
2	Budi Santoso SH	Kepala Bidang Promosi	3	5	9	5	5	7	Detail Update
3	Dra Nisa	Kasi Industri	5	5	9	5	5	9	Detail Update

Gambar 2. kriteria.

Dari Gambar 2 maka akan di dapatkan hasil bobot entropy seperti pada Gambar 3.

Onset	Tenaga Kerja	Target Pasar	Investasi	Jumlah Bahan Baku	Jumlah Perusahaan
0,11132914747677	0,1364069115308	0,2458978295007	0,1239596401533	0,1364069115308	0,2458978295007

Gambar 3. Hasil bobot entropy.

Dari proses pembobotan maka akan dilakukan proses perangkaian yaitu merenginkan data produk pada Gambar 1 dan bobot entropy pada gambar 3. Maka akan di dapatkan hasil perangkaian *electre II* seperti pada Gambar 4.

HASIL DARI SISTEM MAKA DIPEROLEH PRODUK UNGGULAN DAERAH TERBAIK

- 1 Tenun Ikat
- 2 Tikar Lipat
- 3 Bordir
- 4 Gerabah
- 5 Enceng Gondok
- 6 Kerajinan Kulit
- 7 Kerajinan Seng
- 8 Minyak
- 9 Kapur
- 10 Anyaman Pandan
- 11 Mebel
- 12 Makanan Hasil Olahan
- 13 Kerajinan Tempurung
- 14 Jamu
- 15 Anyaman Bambu
- 16 Pupuk
- 17 Konveksi
- 18 Pengrajin Emas
- 19 Depo Air Minum
- 20 Bahan Bangunan
- 21 Rosum
- 22 Batik
- 23 Pengering Ikan
- 24 Rokok
- 25 Es Batu

Gambar 4. Hasil Perangkaian *electre II*.

Untuk mendapatkan nilai tingkat akurasi dari sistem pemilihan produk unggulan ini di dapatkan dengan cara membandingkan hasil perangkaian produk unggulan dari sistem dengan hasil perangkaian dari dinas kopersai, industri dan perdagangan kabupaten lamongan. Seperti pada Tabel 2,

Tabel 2. Perbandingan Rangking Produk Unggulan.

Perangkaian Sistem	Perangkaian Diskoprindak	Keterangan
1 Tenun Ikat	1 Tenun Ikat	Sama
2 Tikar Lipat	2 Tikar Lipat	Sama
3 Bordir	3 Bordir	Sama
4 Gerabah	4 Anyaman Pandan	Tidak Sama
5 Enceng Gondok	5 Anyaman Bambu	Tidak Sama
6 Kerajinan Kulit	6 Batik	Tidak Sama
7 Kerajinan Seng	7 Konveksi	Tidak Sama
8 Minyak	8 Kerajinan Tempurung	Tidak Sama
9 Kapur	9 Enceng Gondok	Tidak Sama
10 Anyaman Pandan	10 Makanan Hasil Olahan	Tidak Sama

Dari perbandingan data hasil di atas antara data produk unggulan dari dinas koperasi, industri dan perdagangan kabupaten lamongan dengan hasil perengkingan oleh sistem di dapatkan akurasi kecocokan hanya 30%. Karena ada 3 produk yang mengalami kecocokan yang sama yaitu pada produk Tenun ikat, Tikar Lipat, dan Bordir.

#### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dihasilkan beberapa kesimpulan, antara lain :

Pertama, penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem pendukung keputusan yang dapat merekomendasikan produk unggulan daerah yang sesuai dengan kriteria yang ada.

Kedua, berhasil menerapkan metode *entropy* dan *electre II* untuk merekomendasikan pemilihan produk unggulan daerah kepada dinas terkait.

Ketiga, dengan menggunakan sistem ini, proses seleksi bisa dilakukan dengan cepat karena data dengan jumlah yang besar dapat ditangani oleh sistem.

Keempat, berdasarkan perbandingan 10 produk unggulan hasil uji coba menggunakan aplikasi SPK menggunakan metode *Entropy* dan *electre II* dengan produk unggulan versi pemerintah daerah Lamongan ditemukan Kelima, jenis produk yang sama yaitu tenun ikat, tikar lipat dan bordir. Sehingga tingkat akurasi data perhitungan dari aplikasi SPK menggunakan metode *entropy* dan *electre II* mencapai 30%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Kurniawan, Setia(2012) Sistem pendukung keputusan penentuan prioritas produk unggulan daerah menggunakan metode fuzzy analytical hierarchy process (FAHP). Jurnal Sistem informasi dan RPL Vol 1 No 1, November 2012. Universitas Trunojoyo madura.
- Jamilah, Hartini.S. (2012) Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Subkontrak Menggunakan Metode Entropy dan TOPSIS, *IJCCS*, Vol.5 No.2, 2012.
- Junaidi, Arif Implementasi Metode Entropi Dan Electre II Untuk Menentukan Prioritas Pembangunan Kembali Jembatan Yang Rusak Akibat Bencana Banjir (Studi Kasus Di Kabupaten Trenggalek). ITS, 2011.

**SISTEM KUNCI ELEKTRONIS DENGAN PEREKAM WAKTU AKSES  
BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51**

**Sigit Priyambodo<sup>1</sup>, Anik Heironi<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 Mei 2014, revisi masuk : 17 Juni 2014, diterima: 1 Juli 2014

**ABSTRACT**

*The development in technology, especially in electronic technology. Every technology in many fields of study mostly need electronic device. Even door lock incorporate electronic technology to junction better. To make electronic key system follow few steps. First, the planning to design electronic and mechanic system of the door lock. Second, design the hardware and drill the PCB, Then assemble the electronic components. Third, design of the software use algoritm from system. Fourth, flash the assembler program into the IC AT89C51 and set it to hardware, next test the completed system. The result, shows that the system can be applied to the door lock system with time recording access. It uses Real Time Clock (RTC), Line Port Terminal (LPT), IC AT89C51 and handphone siemens M35i as the interface system*

**Keywords:** PCB, IC AT89C51, Real Time Clock, Line Port Terminal.

**INTISARI**

Perkembangan teknologi saat ini, khususnya teknologi elektronika mengalami peningkatan yang sangat pesat. Setiap teknologi di bidang apapun hampir seluruhnya membutuhkan peralatan elektronis. Seperti kunci pintu yang bisa menggunakan teknologi elektronis sebagai pengontrol sistemnya. Untuk membuat sistem kunci elektronis terdapat beberapa tahapan. Pertama, membuat rencana desain sistem elektronis dan mekanis kunci pintu. Kedua, desain perangkat-keras dan melakukan pengeboran PCB, diteruskan memasang komponen elektronis. Ketiga desain perangkat-lunak program dengan menggunakan algoritma sistem. Keempat, isikan program perancangan ke dalam IC AT89C51 dan letakkan ke perangkat keras, selanjutnya coba sistem lengkapnya. Hasilnya, sistem dapat diaplikasikan untuk sistem kunci pintu dengan perekam waktu akses. Sistem ini menggunakan RTC, LPT, IC AT89C51 dan telpon genggam siemens M35i sebagai sistem antarmukanya.

**Kata kunci:** PCB, IC AT89C51, RTC, LPT.

**PENDAHULUAN**

Sejalan dengan pesatnya pembangunan dan perkembangan teknologi sekarang khususnya teknologi elektronik telah mencapai kemajuan yang sangat pesat, berbagai teknologi dalam bidang apapun hampir semua memerlukan peralatan-peralatan elektronik.

Masalah keamanan merupakan masalah yang sangat riskan, karena berhubungan dengan privasi dan *safety*. Tanpa adanya sistem pengamanan ini yang memadai ,privasi dan *safety* akan suatu kegiatan akan menjadi gangguan. Seperti bila suatu individu maupun ins-

tansi ingin menjaga keamanan di dalam rumah, kantor, ruang pribadi atau laboratorium agar tidak bisa diakses oleh pengguna yang tidak mempunyai akses keamanan. Kadang kita menyimpan suatu dokumen atau barang berharga di ruang pribadi yang hanya ingin kita saja atau orang yang kita beri kepercayaan yang punya akses membuka ruangan itu, maka kita membutuhkan sistem keamanan yang handal, dinamis dan sesuai kebutuhan untuk mengamankan ruangan.

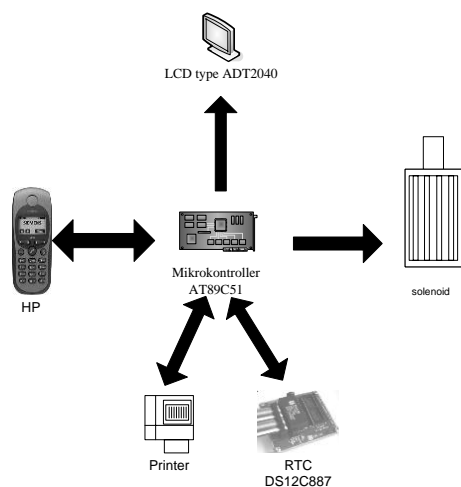
Dalam kehidupan sehari-hari peralatan-peralatan elektronik juga sangat membantu. Seperti halnya peralat-

an-peralatan pengaman pada rumah dan perkantoran yang mengaplikasikan komponen-komponen elektronika yang dapat membantu mengkodekan sistem pengamanan kunci elektronik. Di mana sistem akan mengidentifikasi kode dari *misscall list* bentuk data serial. Data serial tersebut akan dibaca oleh mikrokontroler dan diartikan fungsinya sebagai bentuk sinyal kendali pengalamatan ke mikrokontroler. (Nawan, 2003).

Berdasarkan alasan yang telah dikemukakan, penulis ingin merancang bangun suatu sistem pengaman elektronis yang terintegrasi dengan teknologi mikrokontroler sebagai pengendali atau otak dari sistem, dan menggunakan kartu untuk sebagai kartu akses pengganti kunci manual guna dapat mengatasi kekurangan yang ada pada sistem kunci biasa, dalam mengamankan ruang-an atau bangunan. Dengan judul: sistem kunci elektronis dengan perekam waktu akses berbasis mikrokontroler AT89C51”.

### METODE

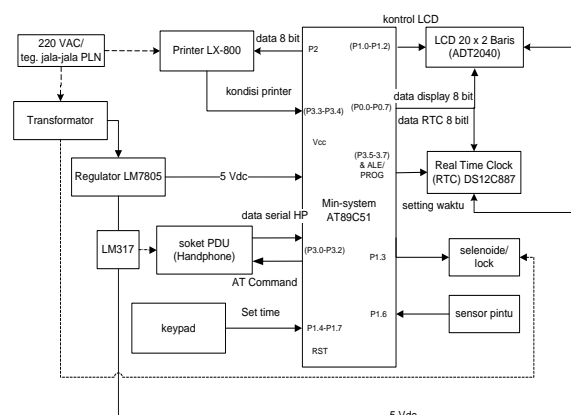
Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari alat ini yang direncanakan serta analisisnya, penulis menggunakan pendekatan baik melalui literatur maupun analisa–analisa rangkaian alat secara langsung. Intinya mewujudkan suatu penulisan yang konseptual sehingga mudah untuk dipahami dan dimengerti dan mendapatkan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan. (Plant, 2005).



Gambar 1. Deskripsi perancangan sistem

Tabel 1. Spesifikasi komponen sistem kunci elektronik dengan perekam waktu akses berbasis AT89C51

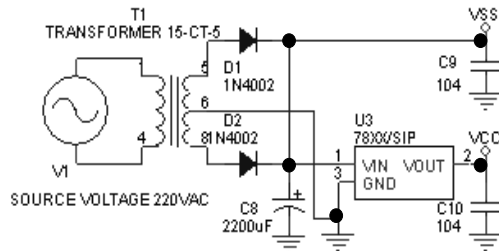
Item	Quantity	Reference	Part
1	2	C2,C1	10µF
2	2	C3,C4	30pF
3	1	C5	100µF
4	1	C6	1000µF
5	3	C7, C9, C10	104
6	1	C8	2200µF
7	3	D1, D2, D4	IN4002
8	1	D3	LED
9	1	J1	CON17
10	2	J2, J3	CON2
11	1	J5	CON4
12	1	LS1	Solenoid
13	1	P1	DB25
14	1	Q1	C1815
15	1	Q2	C1061
16	1	RV1	1k Potensio
17	3	R1, R3	10k SIP 9
18	2	R2, R4	8k2
19	2	R6, R8	1k
20	1	R7	240
21	1	R9	POT
22	1	SW1	SET
23	1	SW2	ENTER
24	1	SW3	UP
25	1	SW4	DOWN
26	1	SW5	RESET
27	1	SW6	SW KEY-Y1011
28	1	T1	Transformer CT
29	1	U1	DS12887
30	1	U2	AT89C51
31	1	U3	LM78XX/SIP
32	1	U4	LM317/CYL SOURCE VOLTAGE 220VAC
33	1	V1	220VAC
34	1	Y1	11.0592MHz



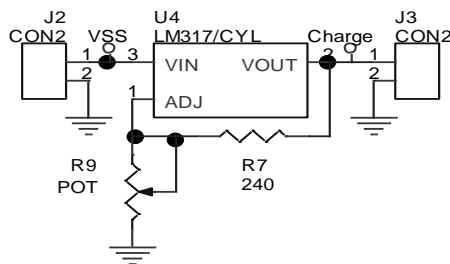
Gambar 2. Diagram blok perancangan perangkat keras



Unit catu daya dan *charger*, bagian Catu daya, *regulator*, dan *charger* terdiri dari penyearah D<sub>1</sub> dan D<sub>2</sub>, *regulator* +5V U<sub>3</sub> tipe 78XX, serta kondensator *filter* C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub> dan C<sub>10</sub>. Skematik bagian catu daya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Unit Catu Daya



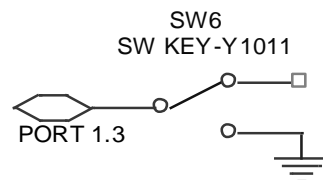
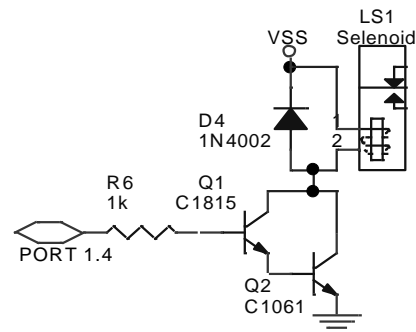
Gambar 4. Unit *Charger* Handphone

Unit kontrol pada mekanis pintu, selenoid digunakan sebagai kontrol mekanis kunci, pada selenoid diberi tegangan maka kumparan pada tubuh selenoid akan membentuk medan magnet di dalam sehingga posisi mekanik as selenoid akan tertarik ke dalam. Untuk mengetahui kondisi pintu dalam keadaan tertutup atau tidak maka diberi sensor.

Jadi sebelumnya tegangan pada *port* 1.4 diberi tegangan *pull-up* sehingga di *port* 1.4 mikro terbaca "1" atau kondisi *high*. Saat sensor aktif tegangan *port* 1.4 yang jenuh akan teralirkan langsung ke *ground* dan akan menyebabkan terbaca logika "0" (*low*) pada *port* 1.4 yang kemudian memberitahu ke program untuk melakukan *jump* ke program kondisi pintu tertutup.

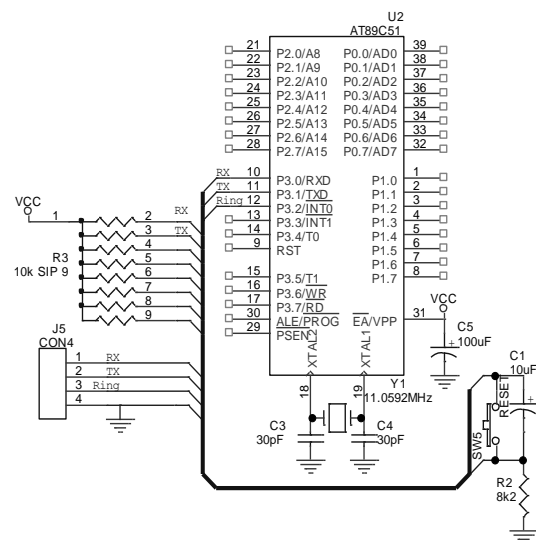
Fungsi kedua transistor adalah sebagai saklar, dimana saat tegangan basis Q1 mendapat logika "1" dari mikro. Maka kaki kolektor dan emitor Q1 terhubung, tegangan dari emitor Q1 akan merelay basis Q2 untuk berfungsi seba-

gai saklar tertutup dan tegangan dari VSS dapat mengalir melewati lilitan selenoid dan mengaktifkan selenoid



(a) (b)

Gambar 5. Skematik (a) Unit Kontrol Selenoid. (b) Sensor



Gambar 6. Skematik Antar muka Handphone (soket PDU)

Unit antar muka handphone, sistem antar muka berfungsi untuk mengambil data pada Handphone (HP) yang nanti akan digunakan sebagai data *user*. Data yang diambil berupa data serial

yang akan dikirim melalui *port RX* dari Mikrokontroler. Di sini digunakan soket PDU untuk antar muka ke HP jenis Siemens M35i, pemilihan jenis Siemens karena penggunaan *AT-Command*-nya lebih mudah dipelajari. Rangkain sistem antar muka dapat dilihat Gambar 6.

Saat program *running* maka proses ketika handphone mendapatkan *misscall*, maka sistem handphone akan mengumpukan tegangan ke pin *ring* pada soket PDU yang akan terbaca sebagai logika "1" di mikrokontroler, selanjutnya program akan memanggil data dari handphone dengan menggunakan nama panggilan data yang dituju berupa nama *AT-Command*-nya. Data yang dikirim melalui *port TX* berupa data serial yaitu berupa pulsa-pulsa dengan frekuensi yang sangat tinggi. Sebagai penerima adalah *port RX*, yang seperti TX jua menerima data dalam bentuk data serial. Dengan menggunakan *baudrate* mode 1 maka kecepatan *baudrate*-nya.

$$\text{Baudrate Mode 1} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times (\text{laju limpahan Timer 1})$$

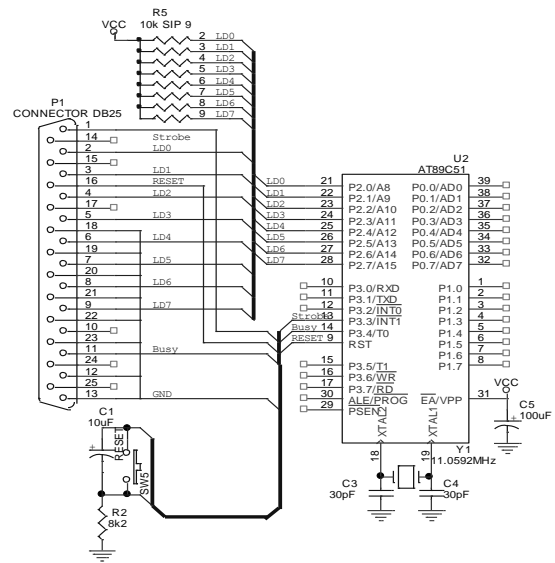
Dengan  $SMOD=1$ , diinginkan *baudrate* 19200, maka

$$19200 = \frac{2^1}{32} \times \text{Laju limpahan}$$

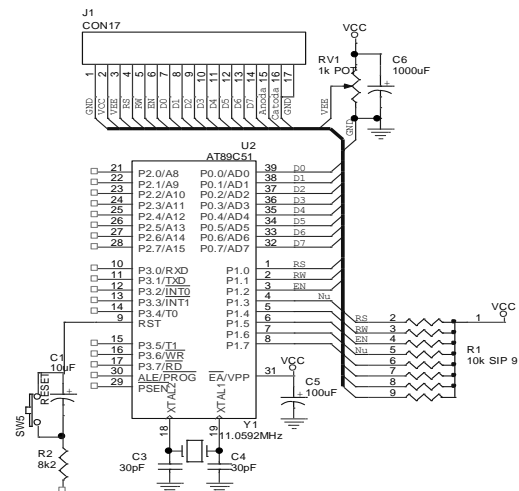
*Timer1*: Laju limpahan  $Time1=16 \times 19200 = 307.200$  kali/detik. Unit antar muka printer Gambar 7.

Sebelum pengprint-nan harus dilihat dulu kondisi printer, sinyal *busy* harus dideteksi terlebih dahulu sampai nilainya setara dengan logika 0. Setelah ; itu sinyal *strobe* dengan pulsa negatif digunakan untuk menandai dimulainya proses print karakter. Penggunaan *pull-up* pada sistem transfer data 8 bit adalah untuk memperkuat tegangan yang lewat sehingga sesuai dengan tegangan data bit mikro.

Unit penampil (*display*), pada Gambar 8 ini memperlihatkan gambar rangkaian unit penampil. Pada sistem penampil yang digunakan adalah penampil dalam bentuk LCD matriks.



Gambar 7. Skematik Unit Antar muka Printer LX 800.

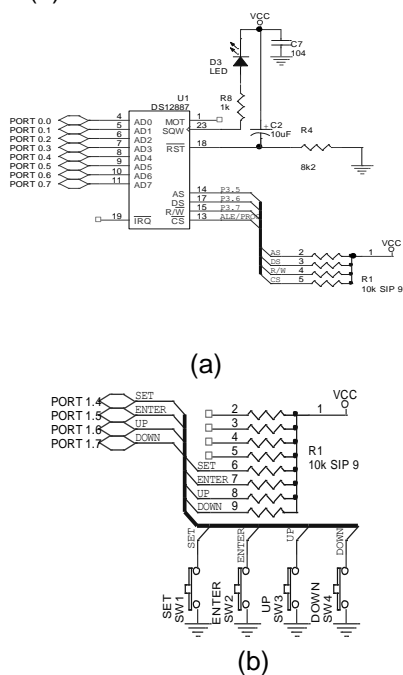


Gambar 8. Rangkaian Antar Muka ini adalah dari ADT2040 ke AT89C51

Modul LCD dapat dihubungkan langsung ke pin mikrokontroler tanpa membutuhkan IC perantara lainnya sehingga antar muka komponen menjadi lebih sederhana. Proses transfer data tampilan diatur oleh Mikrokontroler AT89C51. LCD pada perancangan alat digunakan sebagai penampil, dalam bentuk tulisan: pemilihan beban maksimal, daya yang terpasang, serta jenis gangguan yang terjadi (*overload current* dan *short current*). Pertama, Pin R/W

berfungsi sebagai pengendali data yang menyatakan apakah data tersebut akan ditulis atau dibaca. Kedua, Pin RS berfungsi sebagai penentu jenis data yang dikirim ke Modul LCD. Dan ketiga, Pin LCD EN berfungsi sebagai pin yang mengaktifkan pulsa kendali pada kontroler LCD agar menerima data yang dikirim.

Unit perhitungan waktu, rangkaian unit sistem perhitungan waktu berfungsi sebagai penunjuk waktu real yang dipakai pada sistem yang dapat menunjukkan detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun. RTC didesain memiliki 128 lokasi RAM yang terdiri dari 15 byte untuk data waktu serta kontrol, dan 113 byte sebagai RAM yang dapat digunakan sebagai RAM pada umumnya. RTC DS 12C887 menggunakan bus yang termultipleks hal ini untuk menghemat pin. Pewaktuan yang digunakan untuk mengakses RTC dapat menggunakan pewaktuan intel atau pewaktuan motorola. RTC juga dilengkapi dengan pin IRQ untuk kemudahan dalam proses. Berikut skematik unit sistem perhitungan waktu dengan kontrol setting waktu yang menggunakan keypad seperti pada Gambar 9 (b).



Gambar 9. Rangkaian (a) Unit Sistem Perhitungan Waktu dan (b) Set-time (Keypad)

Bus yang ter-multiplex menghemat penggunaan pin karena informasi address dan data waktu menggunakan jalur sinyal yang sama. Alamat muncul pada bagian pertama dari bus cycle dan dengan pin yang sama pula digunakan untuk data pada bagian kedua dari bus cycle. Multipleksing antara data dan address tidak memperlambat waktu akses dari RTC karena perubahan dari address menuju data dilakukan pada akses RAM internal pada RTC. Address harus valid saat terjadi falling edge pada AS/ALE, yang kemudian RTC akan melatch address dari AD0 sampai AD6. Data valid yang akan dituliskan ke RTC harus valid dan dijaga stabil pada pin DS dan WR diberi pulsa. Pada proses pembacaan, RTC menghasilkan output 8 bit data pada pin DS dan RD diberi pulsa. Bus akan menjadi high impedance saat pulsa low diberikan pada pin DS (motorola) atau pulsa high diberikan pada pin RD (intel).

Sistem reset RTC tidak berpengaruh terhadap jam, kalender atau RAM. Pada penyalaan RTC, pin reset dapat dijaga low untuk beberapa saat untuk menstabilkan catu daya. Lamanya waktu pin reset diberikan low tergantung dari aplikasi yang digunakan. Akan tetapi jika reset digunakan saat power up (penyalaan), waktu reset dijaga low harus melebihi 200 ms untuk meyakinkan bahwa timer internal dari RTC untuk penyalaan telah cukup.

Proses setting waktu RTC diatur menggunakan keypad dengan mengambil status data bit port 1.4, port 1.5, port 1.6 dan port 1.5. Sebagai contoh: pada keypad SET ditekan maka arus jenuh yang ada pada port 1.4 akan mengalir sehingga akan menimbulkan detak pulsa yang kemudian akan diartikan oleh program pada mikrokontroler AT89C51 sebagai logika high atau 1, kemudian akan terjadi runtun run program. Pada display akan ditampilkan menu pengaturan waktu.

Pengaturan keypad hanya digunakan pada setting awal atau untuk perubahan waktu, karena di dalam RTC DS12C887 telah terintegrasi dengan internal baterai. Ketika sistem utama po-

wer alat diputus, perhitungan waktu RTC tidak perlu di-setting ulang.

Pin kendali yang terdapat pada rangkaian RTC adalah sebagai berikut : Pertama-tama, Pin R/W berfungsi sebagai pengendalai data yang menyatakan apakah data tersebut akan ditulis atau dibaca. Kedua, Pin AS berfungsi sebagai penentu alamat data. Kemudian ketiga, Pin DS berfungsi pada proses penulisan, pulsa positif pada DS akan me-latch data yang ditulis. Dan keempat, Pin CS berfungsi sebagai pin untuk mengakses bus cycle RTC. Saat VCC dibawah 4,25 volt, RTC secara internal menghalangi akses dengan cara secara internal tidak mengaktifkan input CS. Proses ini akan melindungi baik data RTC maupun data pada RAM saat tidak ada catu daya.

Perancangan Perangkat Lunak, atau program ditulis dalam bahasa assembler MCS 51 yang merupakan bahasa standar untuk mikrokontroler produksi Atmel. Kemudian dari bahasa assembler tersebut harus diubah ke dalam bentuk ekstensi HEX. Hal ini karena IC hanya dapat menerima data dalam bentuk HEX.

Sebelum merancang perangkat lunak ada hal-hal dasar yang harus diketahui bagi perancang agar hasil rancangan menjadi optimal. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu:

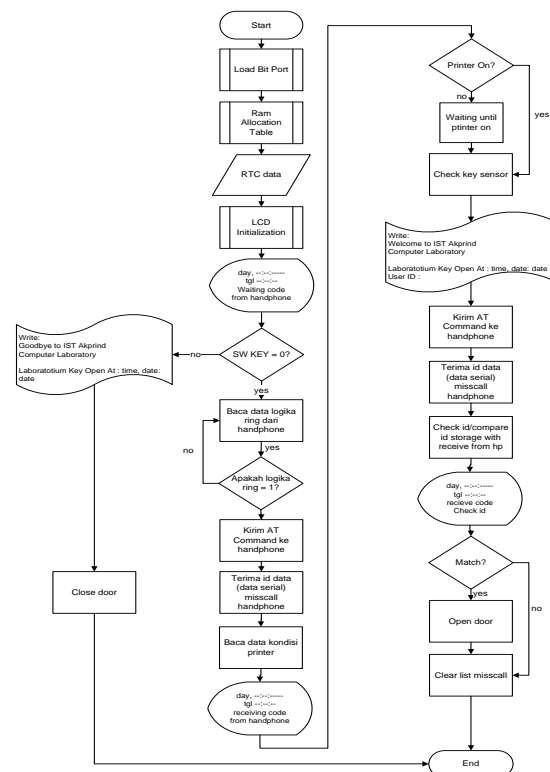
Pertama adanya Ide dalam, pemrograman pada software tidak bisa dilakukan tanpa adanya ide pembuatan dengan jelas. Pada tahap ide segala komponen ide dikumpulkan, misalkan: berapa jumlah input sistem dan dalam wujud apa, berapa jumlah output sistem yang akan dikontrol, dan lain-lain.

Kedua dibuat, Algoritma Program Ide yang kita dapatkan dijabarkan dalam wujud diagram proses (flowchart) sebagai algoritma pemrograman yang akan kita lakukan, tahap algoritma sangat penting karena tanpa ada flow-chart pada pemrograman yang rumit akan sulit menjabarkan dari ide ke bahasa rakitan (assembler) apalagi bagi pemula.

Program data yang diambil dari handphone yang ditampilkan ini pada display sebagai nilai pembanding, kemudian di-compare dengan data yang

tersimpan pada program. Sebelumnya data dari handphone dipanggil dengan AT-Command-nya. Berikut flowchart Keseluruhan sistem kunci elektronik dengan perekam waktu akses. Proses dan tahap-tahap perancangan perangkat lunak (software) dijelaskan menggunakan algoritma sebagai berikut:

- Step 1. Load bit port mikro
- Step 2. Identifikasi memory RTC
- Step 3. Inisialisasi memory mikro
- Step 4. Inisialisasi LCD
- Step 5. Inisialisasi RTC
- Step 6. Format tampilan waktu
- Step 7. Jalankan rutin display data rtc ke lcd
- Step 8. Jalankan rutin tampilan lcd setiap ada perubahan kondisi
- Step 9. Baca kondisi logika sensor pintu, apakah = 1? Jika tidak terus ke proses step 10, jika ya langsung lompat ke proses step 12
- Step 10. Subrutin untuk menjalankan proses print "Word\_Goodbye" sebanyak 1 karakter melalui port data. Dan pintu tertutup.
- Step 11. Selesai (End)



Gambar 10. Flowchart sistem

- Step 11. Baca kondisi pin *ring*, apakah = 1? Jika ya jalankan ke pro-ses selanjutnya
- Step 12. Kirim AT *Command* untuk pembacaan *list misscall*
- Step 13. Baca *list misscall* dari hand-phone
- Step 14. Baca kondisi printer siap atau tidak? Jika siap jalankan proses *step 14* , jika tidak jalankan proses *step 13*
- Step 15. Tunggu sampai printer siap
- Step 16. Subrutin untuk menjalankan proses print "Word\_Welcome" sebanyak 1 karakter melalui *port data*
- Step 17. Kirim AT *Command* untuk pembacaan *list misscall*
- Step 18. Terima dan baca *list misscall* dari handphone
- Step 19. Bandingkan *id* pembacaan *list miscall* dengan *id* yang sudah diprogram
- Step 20. Jika tidak sama, selesai
- Step 21. Jika sama *id* pembacaan dan *id* terprogram maka lanjutkan proses
- Step 22. Jalankan proses pembuka pintu
- Step 23. Selesai (*End*), kembali ke proses *step 8*

### PEMBAHASAN

Pengujian LCD ADT2040, Sebagaimana hasilnya diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tegangan pada LCD

Pin Mikrokontroler	Tegangan Logika High	Teg. Logika Low	Keterangan
P0.0 (D0)	+4,4V	+0,2V	
P0.1 (D1)	+4,4V	+0,2V	
P0.2 (D2)	+4,4V	+0,2V	
P0.3 (D3)	+4,4V	+0,2V	
P0.4 (D4)	+4,4V	+0,2V	
P0.5 (D5)	+4,4V	+0,2V	
P0.6 (D6)	+4,4V	+0,2V	
P0.7 (D7)	+4,4V	+0,2V	
P1.0 (RS)	+4,9V	+0,2V	
P1.1 (RW)	+4,9V	+0,2V	
P1.2 (EN)	+4,9V	+0,2V	

Tegangan dari masukan dari pin mikrokontroler telah mencukupi tegangan yang dibutuhkan oleh LCD untuk

pembacaan logika *high* dan *low*. Sesuai dengan *datasheet* dari LCD ADT2040 tegangan akan terbaca *high* oleh pin 8 bit dan driver kontrol LCD bila bernilai +2,2

volt, dan terbaca *low* bila +0,6 volt. Jadi

sistem keluaran dari mikro-kontroler telah mencukupi tegangan dari pembacaan LCD.

Kondisi pengaturan pin RS dan EN(CS) memiliki prasyarat tegangan  $V_{IH}=2,2V-5V$ ,  $V_{IL}=0,6V$ ,  $V_{OH}=2,4V$ ,  $V_{OL}=0,4V$ . Dengan ketentuan ini, saluran I/O mikrokontroler U2 dapat digunakan untuk pengemudian secara langsung (*Direct point*).

Pengujian *keypad*, hasil pengujian tegangan pada pin *keypad* terlihat pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan pada Keypad

Pin Mikrokontroler	Tegangan Logika High	Teg. Logika Low	Keterangan
P1.4	+5V	+0,6V	SET
P1.5	+5V	+0,6V	ENTER
P1.6	+5V	+0,6V	UP
P1.7	+5V	+0,6V	DOWN

Di dalam sistem rangkaian alat, saluran I/O untuk SW *up* & SW *down* telah dilengkapi dengan R *pull-up* sebesar 1KΩ. (Siemens AG ICmobile Mobile Devices, 2001). Pemasangan R *pull-up* ini akan mengubah nilai nominal  $V_{IH}$  menjadi sebesar

$$V_{IL} = 0.2 VCC - 0.1$$

$$V_{IH} = 0.2 VCC + 0.9$$

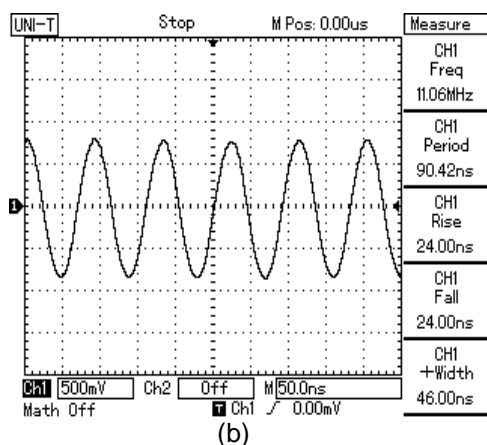
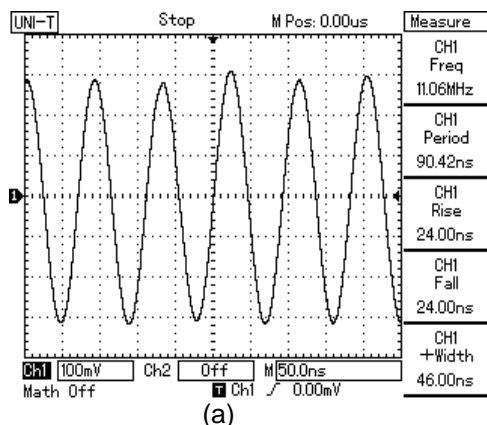
$$I_{IL} = -50 \mu A$$

$$I_{TL} = -750 \mu A \text{ (transisi dari logika 0 ke logika 1)}$$

$$I_{LI} = -10 \mu A \text{ untuk } 0 < V_{IN} < VCC$$

$$I = V/R = 5V/1K = 0,005A = 5mA$$

Pada Gambar 11a. terlihat bahwa frekuensi yang digunakan adalah sebesar 11,06 MHz. Gelombang keluaran XTAL2 lebih besar daripada XTAL1 yang menunjukkan bahwa sistem *clock* dari mikrokontroler telah bekerja dengan baik.



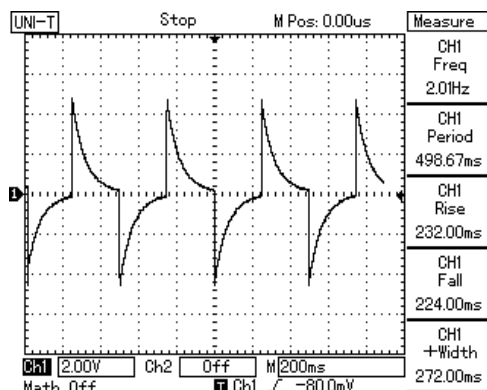
Gambar 11. Pengujian a). XTAL2 (Keluaran). b) XTAL1(Masukan)

Pengujian dari mikrokontroler AT89C51, kondisi logika H & L standar masukan mikrokontroler hanya mempunyai rentang sebesar 1V (tabel pengujian nomor baris 1 dan 2). Kondisi ini mengakibatkan saluran masukan mikrokontroler sangat rentan terhadap sinyal atau picu luar yang tidak dikehendaki.

Pengujian pembentuk pewaktuan RTC, jenis komponen RTC yang digunakan adalah RTC produksi Dallas DS12C887. RTC tersebut berfungsi melakukan perhitungan waktu. (Application Note 95,1998). Pada Gambar 4.4, gelombang pada titik keluaran SQW adalah:

Berdasarkan Gambar 12, gelombang pembacaan pada pin SQW mempunyai frekuensi 2 Hertz dengan periode 498,67ms. Khusus pengaturan pin SQW hanya digunakan sebagai bentuk indikasi sistem rangkaian RTC telah berjalan sesuai register perintah

yang dikirim oleh mikrokontroler. Dalam perancangan alat pin ini akan menghasilkan gelombang kotak dengan frekuensi 2Hz (led indikator akan dihidup matikan dengan frekuensi ini).



Gambar 12. Gelombang pada SQW (pengamatan menggunakan Oscilloscope UT2025B)

Dapat terlihat pada Gambar 12 gelombang SQW merupakan berbentuk gelombang kotak yang tidak sempurna. Bila gelombang pada SQW tidak ada maka perhitungan waktu pada RTC pasti tidak berjalan.

Pengujian transformator, jenis transformator (trafo) yang digunakan adalah trafo *step-down*. Trafo tersebut berfungsi menurunkan daya keluaran variak. Berdasarkan tabel pengujian :

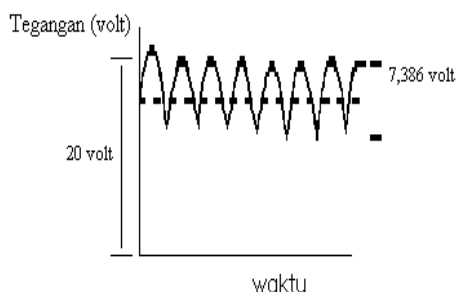
Tabel 4. Pengujian Catu Daya

No	Test Point	Tegangan (V)	Ket
1	Keluaran D1 dan D2	20	VSS Out
2	Keluaran U3	5	VCC Out

Berdasarkan Tabel 4. tegangan keluar yang dihasilkan oleh catu daya adalah 20 volt dan tegangan yang telah diregulasi oleh LM7805 adalah +5 volt.

Riak yang besar akan menyebabkan *noise* bagi pembacaan data keluaran variak. Dari hasil perhitungan tegangan riak, nilai tegangan riak pada tegangan maksimum adalah 6,429 volt dengan faktor riak 32,145 %. Semakin kecil tegangan atau arus yang mengalir,

maka semakin kecil tegangan riak dan faktor riak yang dihasilkan. Semakin besar kapasitas kapasitor, maka semakin kecil riak.



Dari hasil pengukuran diperoleh,  $V_m=20$  volt,  $V_r= 7,386$  volt.

$$V_{dc} = 20 - \frac{7,386}{2} = 16,307 \text{ volt}$$

$$V_{rms} = \frac{V_r}{2\sqrt{3}} = \frac{7,386}{2\sqrt{3}} = 5,224 \text{ volt}$$

$$r = \frac{5,224}{20} = 0,2612 = 26,12\%$$

Tabel 5. Pengujian Catu Daya

No	Test Point	Tegangan	
		(V)	Ket
1	Keluaran D1 dan D2	20	VSS Out
2	Keluaran U3	5	VCC Out

Keluaran D1 dan D2 merupakan tegangan DC kasar yang digunakan secara langsung sebagai *pointer* tegangan VSS. *Pointer* ini digunakan sebagai sumber tegangan dan arus rangkaian *regulator* U3, rangkaian *driver* selenoid, dan rangkaian *charger*. Dengan banyaknya kebutuhan arus dan tegangan yang stabil, level tegangan masukan *regulator* U3 harus diposisikan mendekati taraf maksimum masukan ( $8 \leq V_{IN} \leq 12$ ). Tetapi karena faktor kebutuhan *driver* selenoid mencapai 13,5 volt dengan arus 1,2A, hal ini mengharuskan *regulator* U3 menerima tegangan masukan sebesar 20V saat selenoid *off* dan 13,5V saat selenoid *on*. Permasalahan ini dapat mengakibatkan

Gambar 13. Keluaran kapasitor pada tegangan maksimum.

Pengujian penyearah dan pengujian filter, berfungsi menghilangkan riak yang terbentuk akibat perubahan ac ke dc. Semakin besar kapasitor yang dipasang, maka semakin kecil riak yang terbentuk sesuai. Akan tetapi semakin besar nilai kapasitor, akan menghasilkan waktu tunda yang besar akibat adanya pengisian dan pengosongan kapasitor.

Sinyal keluaran filter dengan kapasitor 2200  $\mu\text{F}$  diberikan dalam Gambar 13.

*regulator* U3 berada dalam status *Quiescent Current Change* sebesar  $5 \text{ mA} \leq I_o \leq 1\text{A}$ . Oleh karena itu penggunaan transformator T1 tidak boleh kurang dari total penarikan arus. Bila terjadi faktor kekurangan arus maka sistem akan *error*, untuk menjadikan sistem normal kembali harus dilakukan *reset* ulang pada sistem mikrokontrolernya.

Keluaran *regulator* U3 dapat dipertahankan stabil +5V selama tidak terjadi *Quiescent Current Change* yang mengakibatkan penarikan arus secara berlebihan terhadap arus keluaran lilitan sekunder transformator T1.

## KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil analisa dan pengukuran, kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Pertama, mode port paralel printer tidak berpengaruh pada kemampuan transfer data *bi-directional* secara software. Mode EPP dapat melakukan transfer data *bi-directional* secara langsung dengan mikrokontroler tanpa ada antar muka apapun, dengan menggunakan resistor *pull-up*.

Kedua, dari sistem RTC adalah sistem untuk perhitungan waktu nyata. Jika dihubungkan dengan mikrokontroler AT89C51 menggunakan sistem *bus* Intel, maka pin pengatur MOT (pin 1) harus dikondisikan dalam keadaan *Floating* (tidak boleh dihubungkan ke VCC secara langsung).

Ketiga adalah merupakan, kendali mikrokontroler dapat beroperasi pada pengontrolan LCD dan RTC tanpa

menggunakan resistor *pull-up*. Hal tersebut karena adanya kecukupan tegangan yang dibutuhkan oleh LCD dan RTC untuk melakukan pembacaan tegangan keluaran dari mikrokontroler, baik kondisi logika "*high*" atau pun "*low*".

Keempat, pada parameter kendali LCD optimal adalah logika *high* = 2,2 volt dan logika *low* = 0,6 volt. Tanggapan langkah sistem RTC untuk logika *high* = 0,8 volt dan logika *low* = 0,8 volt.

Kelima, penggunaan resistor *pull-up* dapat memperbaiki kekurangan tegangan pada pembacaan logika "*high*" dan "*low*" dari antar muka dan driver pada sistem

#### DAFTAR PUSTAKA

- Nawan, Paulus Andi, 2003, Teknik Antar dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Application Note 95, 1998, DS12C887 Real Time Clock Datasheet, Dallas Semiconductor. [Http://:www.dalsemi.com](http://www.dalsemi.com).
- Plant, Malcom and Stuart Jan, Dr. 2005. "*Ilmu Teknik Instrumentasi*". Edisi Ketujuh, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Siemens AG ICmobile Mobile Devices, 2001, AT Command Set Reference Manual GSM 07.07, GSM 07.05 for The Siemens Mobile Phone M35i, SW Development Data Services, Grillparzerstrasse 12a, D-81675 Munich.



**lbM KELURAHAN GULUREJO (KAWASAN PENGRAJIN BATIK) UNTUK  
MENGATASI MASALAH PENCEMARAN LINGKUNGAN AKIBAT LIMBAH CAIR  
BATIK**

**Yuli Pratiwi<sup>1</sup>, Gatot Santoso<sup>2</sup>, Joko Waluyo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, <sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin,  
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 16 April 2014, revisi masuk : 8 Juli 2014, diterima: 28 Juli 2014

**ABSTRACT**

*Batik wastewater in the hamlet Mendiro and Sembungan, Village Gulurejo, District LendahKulonProgo Regency is still a problem for batik craftsmen and society. Contamination of well water and river water in the Village Gulurejo due batik effluent, causing adverse health effects and cause a skin disease such aslitchingand other skin disorders.The purpose of this lbM program is to increase knowledge about the technology and batik effluent treatment procedures batik so that the quality of effluent discharged to the environment according to the Liquid Waste Quality Batik is valid and does not pollute the environment. To achieve these objectives there should be a batik wastewater treatment equipment that is easy in operation and can be used interchangeably by batik craftsmen. Achieved results or findings is the realization of sewage treatment plants in the form of batik assemblies elektrokoagulan engineering technology with a method that is effective, efficient, easy in operation and requires a power source of120 watts. Wastewater treatment plant that includes batik: batik waste tank capacity of 500 liters; elektrokoagulan tub capacity of 100 liters; 2 bath deposition capacity of 4,000 liters; 3 bath filtration capacity of 6000 liters which includes coral filter media, split and sand & activatedcharcoal.*

**Keywords:** *craftsmen, batik, wastewater, pollution.*

**INTISARI**

Limbah cair batik di Pedukuhan Mendiro dan Sembungan, Kelurahan Gulurejo, Kecamatan Lendah Kabupaten Kulonprogo masih menjadi problem bagi pengrajin batik dan masyarakat. Terkontaminasinya air sumur maupun air sungai di Kelurahan Gulurejo akibat limbah cair pengrajin batik, menyebabkan dampak buruk terhadap kesehatan dan berakibat timbulnya penyakit kulit seperti gatal gatal dan gangguan kulit lainnya. Tujuan program lbM ini adalah meningkatkan pengetahuan pengrajin batik tentang teknologi dan prosedur pengolahan limbah cair batik sehingga kualitas limbah cair yang dibuang ke lingkungan sesuai Baku Mutu Limbah Cair Batik yang berlaku serta tidak mencemari lingkungan. Guna tercapainya tujuan tersebut harus ada alat pengolahan limbah cair batik yang mudah dalam operasionalnya dan bisa digunakan oleh pengrajin batik secara bergantian. Hasil atau temuan yang dicapai adalah terwujudnya instalasi pengolahan limbah cair batik berupa rakitan teknologi rekayasa dengan metode elektrokoagulan yang efektif, efisien, mudah dalam operasionalnya dan membutuhkan sumber daya listrik 120 watt. Instalasi pengolahan limbah cair batik yang meliputi: bak penampung limbah batik kapasitas 500 liter; bak elektrokoagulan kapasitas 100 liter; 2 bak pengendapan kapasitas 4.000 liter; 3 bak filtrasi kapasitas 6000 liter yaitu meliputi media filter koral, split serta pasir & arang aktif.

**Kata kunci:** pengrajin, batik, limbah cair, pencemaran.

**PENDAHULUAN**

Limbahcair batik merupakan bagian dari industri batik yang selama ini selalu menjadi persoalan karena

tergolong dalam limbah B3 (Sarto, 1994). Sudah menjadi kenyataan, sebagian sebagian besar pelaku industri enggan untuk mengolah limbahnya, hal ini

<sup>1</sup>[tiwiyul@yahoo.co.id](mailto:tiwiyul@yahoo.co.id),  
<sup>2</sup>[gatsan@akprind.ac.id](mailto:gatsan@akprind.ac.id),

dikarenakan untuk proses pengolahan limbah selalu dibutuhkan biaya yang tidak murah.

Belum lagi kesulitan-kesulitan teknik dalam proses pengolahan yang terkadang tidak terjangkau pemecahannya bagipelaku industri, sehingga mereka memilih untuk tidak mengolah limbah dan membuang begitu saja tanpa memikirkan dampaknya.

Wilayah Pedukuhan Mendiro dan Pedukuhan Sembungan di wilayah Kelurahan Gulurejo, Kecamatan Lendah, Kabupaten Kulon Progo, Propinsi DIY sebagian wilayahnya berada di kawasan bantaran Sungai Progo. Jumlah KK di Pedukuhan Mendiro sebanyak 354 KK dengan jumlah jiwa 1.923 orang dan Pedukuhan Sembungan sebanyak 163 KK dengan jumlah jiwa 934 orang. Dari kedua wilayah mitra sebagian besar masyarakatnya masih tidak aman dari pencemaran limbah batik. Jumlah pengrajin batik di Pedukuhan Mendiro ada 3, sedangkan di Pedukuhan Sembungan ada 5 pengrajin.

Limbah cair batik di Pedukuhan Mendiro dan Sembungan, Kelurahan Gulurejo, Kecamatan Lendah Kabupaten Kulonprogo masih menjadi problem bagi pengrajin batik dan masyarakat, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 yang merupakan hasil analisis kualitas air limbah batik.

Tabel 1. Hasil analisis kualitas limbah cair batik mitra

No.	Parameter	Hasil Analisa	Baku MutuLimbah Cair Industri Batik*
1.	COD	1800 mg/L	100 mg/L
2.	BOD	960 mg/L	50 mg/L
3.	TSS	540mg/L	200 mg/L
4.	TDS	1672 mg/L	1000 mg/L
5.	Ph	13	6 - 9
6.	Suhu	30°C	± 3°C

\*Keputusan Gubernur DIY Nomor 7 Tahun 2010.

Dari data analisis pada Tabel 1, menunjukkan secara estetika limbah tidak layak sebagai air limbah yang siap dibuang ke

lingkungan karena berwarna keruh dan pekat. Hal ini didukung data analisis TSS dan TDS yang melebihi Baku Mutu Limbah Batik menurut Keputusan Gubernur DIY Nomor 7 Tahun 2010, sedangkan secara kimiawi kandungan COD, BOD dan pH yang melebihi ambang batas akan menyebabkan kerusakan lingkungan apabila dibuang ke lingkungan (Soemirat, 2003 & Manahan, 1992).

Terkontaminasinya air sumur maupun air sungai di Kelurahan Gulurejo akibat limbah cair pengrajin batik, menyebabkan dampak buruk terhadap kesehatan dan berakibat timbulnya penyakit kulit seperti gatal gatal dan gangguan kulit lainnya ( Suara Merdeka, 2013).

Untuk pengrajin batik dengan modal usaha cukup besar permasalahan tersebut di atas dapat diatasi, dengan cara membuat instalasi pengolahan limbah cair batik, sedangkan pengrajin batik yang modal usahanya masih kecil sudah pasti merasa keberatan. Padahal pengrajin batik di kelurahan Gulurejo, sebagian besar adalah pengrajin dengan modal kecil.

Untuk mengatasi hal tersebut, perlu penerapan teknologi pengolahan limbah cair batik dengan pengadaan instalasi dan pengelolaan secara mandiri sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal dan keberlanjutan oleh masyarakat sebagai mitra. Peran serta mitra akan sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan teknologi yang akan diterapkan di masyarakat. Di samping itu mitra juga memandang teknologi ini akan benar-benar bermanfaat, terutama untuk mengolah limbah cair batik yang dihasilkan dari kawasan pengrajin batik di Kelurahan Gulurejo, baik di Pedukuhan Mendiro maupun Pedukuhan Sembungan. Hal lain yang mendukung pemanfaatan teknologi ini adalah, bahwa melalui mitra pengrajin dapat menyampaikan perlunya instalasi pengolahan limbah cair batik di kawasan pengrajin batik di Pedukuhan Mendiro dan Sembungan, Kelurahan Gulurejo, agar tingkat kesehatan masyarakat dapat tercapai.

Tujuan dan Urgensi Pengabdian Masyarakat, membuat alat instalasi pengolahan limbah cair batik berupa

rakitan teknologi rekayasa dengan metode elektrokoagulan. Dengan adanya alat ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan pengrajin batik mitra tentang teknologi dan prosedur pengolahan limbah cair batik, sehingga kualitas limbah cair yang dibuang ke lingkungan sesuai Baku Mutu Limbah Cair Batik yang berlaku dan tidak mencemari lingkungan.

Target dan Temuan/Inovasi, agar pencemaran lingkungan yang terjadi di kawasan pengrajin batik Kelurahan Gulurejo terutama di Dukuh Mendiro dan Sembungan dapat diminimalisasi, maka dilakukan rancang bangun instalasi pengolahan limbah cair batik. Alat ini terdiri dari: bak penampung limbah batik kapasitas 500 liter; bak elektrokoagulan kapasitas 100 liter; 2 bak pengendapan kapasitas 4.000 liter; 3 bak filtrasi volume 6000 liter; yaitu meliputi media filter koral, split serta pasir dan arang aktif.

Untuk mengoperasikan instalasi ini, membutuhkan sumber daya listrik sebesar 120 watt, dan mampu mengolah limbah cair batik sebanyak 100 Liter/jam.

Pengolahan limbah cair batik dengan metode elektrokoagulan diharapkan bias menjawab persoalan yang dihadapi industri batik dalam pengolahan limbahnya, karena dengan metode ini proses pengolahan menjadi sederhana dan murah. Prinsip kerjanya adalah limbah cair batik, dalam hal ini zat pewarna tekstil setelah dipakai dalam proses pencelupan ditampung dalam bak penampung limbah. Dari bak penampung dialirkan dengan debit tertentu sesuai dengan waktu tinggal yang diharapkan ke dalam bak elektrokoagulan. Di dalam unit initerjadi proses elektrokimia, yaitu limbah batik dilewatkan lempeng-lempeng logam sebagai anoda dan katoda yang dialiri arus listrik sehingga timbul gelembung-gelembung udara dan terbentuk flok-flok (Eckenfelder, 2000 dan Hammer, 2004).

Setelah terbentuk flok, limbah dialirkan ke dalam bak pengendapan, flok akan mengikat zat pewarna sehingga dalam unit ini zat pewarna akan terpisah dari air dan mengendap. Air yang sudah terpisah dengan zat pewarna

perlu diproses lebih lanjut dengan filtrasi, dengan tujuan air kembali menjadi air baku yang memenuhi ambang batas air baku. Endapan akan menjadi lumpur, dengan periode waktu tertentu diambil dari bak sedimentasi dan limbah padat ini juga perlu diolah lebih lanjut (Metcalf & Eddy, 2003).

Pada proses filtrasi digunakan media yang mudah didapat dan murah harganya, dalam hal ini sebagai tahap awal penyaringan digunakan media batu koral 30 mm, pada tahap ini air dibersihkan dari kotoran yang berukuran besar sehingga tidak mengganggu pada proses penyaringan berikutnya. Setelah air tebebas dari kotoran, air masih perlu difilter kembali yaitu tahap penyaringan berikutnya dengan menggunakan media split 10 mm dengan tujuan air menjadi lebih jernih. Sebagai langkah terakhir agar air menjadi bersih dan jernih dan tidak bau digunakan media pasir dan arang aktif (Davis & Conwell, 1991).

## METODE

Materi pengabdian masyarakat dilakukan di Dukuh Mendiro dan Sembungan, Kelurahan Gulurejo, Kecamatan Lendah, Kabupaten Kulon Progo, karena pada daerah tersebut ada sejumlah pengrajin batik yang belum mengelola air limbahnya dengan benar karena berwarna keruh dan pekat. Hal ini masih menjadi problem bagi pengrajin batik dan masyarakat, karena dapat mengkontaminasi air sumur maupun air sungai di Kelurahan Gulurejo, sehingga menyebabkan dampak buruk terhadap kesehatan dan berakibat timbulnya penyakit kulit seperti gatal-gatal dan gangguan kulit lainnya.

Solusi yang dilakukan terhadap permasalahan tersebut di atas adalah melalui pendekatan dengan pemerintah Kelurahan Gulurejo dan dengan masyarakat pengrajin batik di Pedukuhan Mendiro dan Sembungan untuk mensinergikan kegiatan-kegiatan dalam program pemerintah desa khususnya yang berkaitan dengan permasalahan untuk menanggulangi pencemaran lingkungan akibat limbah cair batik. Terutama untuk pengrajin batik yang kesulitan mengolah limbah cair batik di Pedukuhan Mendiro

dan Sembungan, Kelurahan Gulurejo, yaitu mengolah limbah cair batik menggunakan metode elektrokoagulasi yang bisa digunakan oleh pengrajin secara bersama-sama.

Alat Pengabdian Masyarakat ini, alat yang dipergunakan adalah instalasi pengolahan limbah cair batik dengan metode elektrokoagulasi. Instalasi pengolahan limbah cair ini dapat mengolah limbah cair batik dengan efektif, efisien dan mudah dalam operasionalnya. Jadi instalasi pengolahan limbah cair batik ini merupakan pemecahan masalah yang harus dibuat, dan diharapkan akan dipergunakan sebagai contoh yang dapat diterapkan di daerah lain di Indonesia.

Tahapan Pengabdian masyarakat, pembuatan instalasi pengolahan limbah cair batik diawali dengan cara mengadakan pengamatan ke lokasi. Kemudian mengadakan wawancara dengan pengrajin batik. Selanjutnya mengidentifikasi permasalahan limbah cair yang dihadapi pengrajin batik, kemudian dirumuskan permasalahan sebagai berikut: Pertama, instalasi pengolahan limbah cair yang bagaimanakah yang dapat dipergunakan untuk mengolah limbah cair batik, sehingga hasil pengolahannya tidak mencemari lingkungan karena sudah sesuai Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik yang berlaku. Kedua, bagaimana caranya agar masyarakat pengrajin batik mengerti dan memahami tentang teknologi pengolahan limbah cair batik.

## PEMBAHASAN

Tahap pembuatan instalasi pengolahan limbah cair batik adalah untuk memecahkan permasalahan yang dialami oleh pengrajin batik di Pedukuhan Mendiro dan Sembungan, Kelurahan Gulurejo, yaitu agar limbah yang dihasilkan sesuai dengan baku mutu limbah cair batik menurut Keputusan Gubernur DIY Nomor 7 Tahun 2010.

Tahap pengerjaan pembuatan pengolah limbah batik dengan elektrokoagulasi adalah sebagai berikut: Pertama, bak penampung limbah terbuat dari plat stainless steel, dengan dimensi panjang 1.000 mm, lebar 1.000 mm, dan tinggi 500 mm. Bak ini berfungsi untuk

menampung limbah sebelum masuk proses koagulasi.



Gambar 1. Bak penampungan

Kedua, bak elektrokoagulan, bak ini terbuat dari plat stainless steel dengan dimensi panjang 2.000 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 500 mm. Di dalam bak ini perlu waktu tinggal untuk memberikan kesempatan terjadinya proses elektro-kimia, sehingga terbentuk flok.



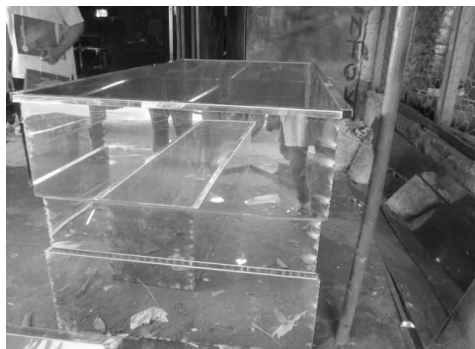
Gambar 2. Bak elektrokoagulan

Ketiga, bak pengendapan terbuat dari plat stainless steel, di dalam bak penampungan perlu waktu yang cukup, sehingga diperlukan dimensi yang lebih besar. Bak ini terbuat dari pelat stainless steel dengan menggunakan dimensi panjang 2.000 mm, lebar 2.000 mm dan tinggi 1.000 mm.



Gambar 3. Bak pengendapan

Kelima, bak filtrasi terdiri dari 3 bak yang terbuat dari plat stainless steel, di mana masing-masing bak berdimensi panjang 2.000 mm lebar 1.000 mm dan tinggi 1.000 mm. Bak pertama dengan media filter koral, bak kedua dengan media split dan bak ketiga menggunakan media pasir dan arang aktif.



Gambar 4. Bak filtrasi

Keenam, instalasi elektrokoagulan merupakan instalasi pengolahan limbah cair yang dilengkapi rangkaian elektronik yang terdiri dari 18 lempeng katoda-anoda dengan boks travo penye-arah untuk merubah arus listrik AC

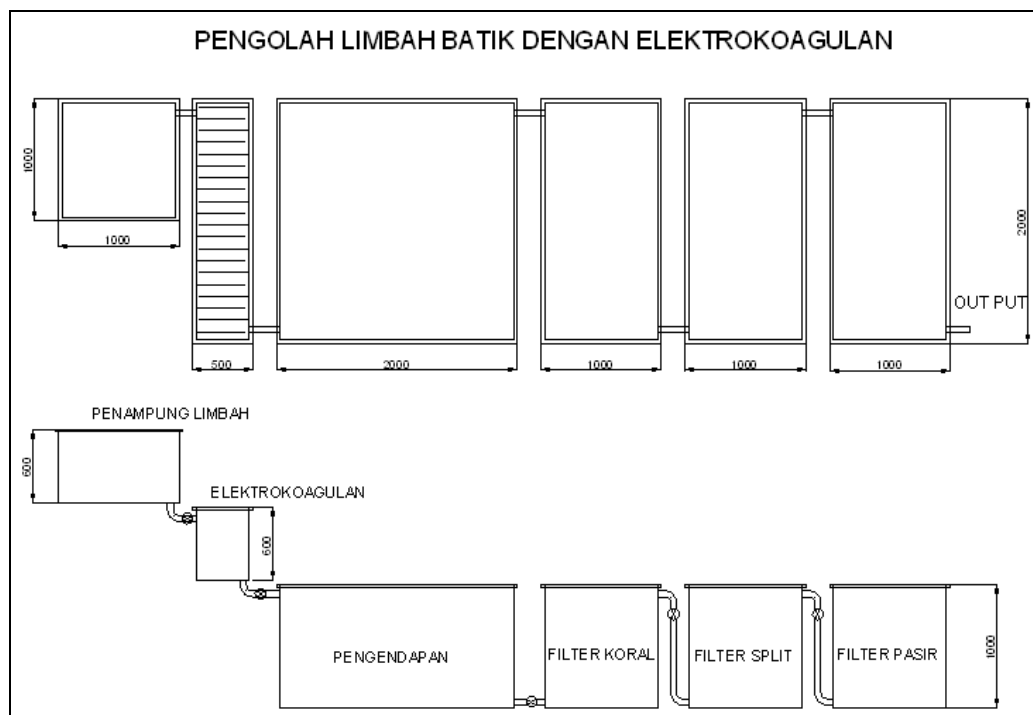
menjadi DC dengan output tegangan 24 Volt dan arus 5 Ampere.

Ketuju, perakitan dalam perakitan diperlukan ketepatan ukuran pada proses manufaktur, sehingga didapatkan unit atau sistem yang sempurna baik dalam bentuk maupun performance.

Kedelapan, uji coba dalam melakukan uji coba perlu pengamatan dan pendataan secara detail, hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi yang jelas sebagai dasar proses penyempurnaan, jika dimungkinkan perlu adanya dokumentasi sehingga memudahkan dalam pengkajian permasalahan.

Dan yang kesembilan penyempurnaan, setelah dilakukan uji coba, bisa diketahui bagian-bagian yang masih terdapat kekurangan-kekurangan, sehingga proses penyempurnaan bisa dilakukan. Penyempurnaan meliputi memperbaiki kelemahan maupun menambah dalam bentuk pengembangan.

Gambar 5. Memperlihatkan bagian instalasi pengolahan limbah cair batik yang dirancang seperti urutan proses pengolahan batik.



Gambar 5. Bagian instalasi pengolahan limbah cair batik



Gambar 6. Instalasi pengolahan limbah cair batik yang sudah terpasang di lokasi mitra pengrajin batik di Kelurahan Gulurejo, Kecamatan Lendah Kulon Progo

Cara Kerja Instalasi Pengolahan Limbah Cair Batik yang sudah terpasang di lokasi mitra pengrajin batik di Kelurahan Gulurejo, Kecamatan Lendah Kulon Progo yaitu: Pertama, limbah cair batik yang mengandung zat pewarna, setelah dipakai dalam proses pencelupan ditampung dalam bak penampung limbah.

Kedua, selanjutnya limbah di-alirkan ke dalam bak elektokoagulan sampai penuh. Proses elektrokoagulasi diaktifkan dengan menghidupkan tombol on pada panel travo, dan berlangsung kurang lebih 1 jam. Di dalam unit ini terjadi proses elektrokimia yaitu limbah cair batik dilewatkan lempeng-lempeng logam sebagai anoda dan katoda yang dialiri arus listrik sehingga timbul gelembung-gelembung udara dan terbentuk flok-flok (Eckenfelder, 2000 dan Hammer, 2004).

Ketiga, setelah terbentuk flok, limbah dialirkan ke dalam bak pengendapan, flok akan mengikat zat pewarna sehingga dalam unit ini zat pewarna akan terpisah dari air dan mengendap. Waktu tinggal di bak pengendapan kurang lebih 40 jam agar flok yang terbentuk dapat mengendap.

Keempat, ketika limbah cair batik di bak pengendapan sudah penuh, maka akan terjadi *overflow* dan limbah cair yang sudah terpisah dengan endapan akan mengalir menuju bak filtrasi. Di bak filtrasi limbah cair

batik akan melalui tiga tahap penyaringan yang meliputi: koral, split, serta pasir dan arang aktif.

Kelima, endapan akan menjadi lumpur, dengan periode waktu tertentu, diambil dari bak sedimentasi dan limbah padat ini juga perlu diolah lebih lanjut (Metcalf & Eddy, 2003).

Keenam, pada proses filtrasi digunakan media yang mudah didapat dan murah harganya, dalam hal ini sebagai tahap awal penyaringan digunakan media batukoral 30 mm, pada tahap ini air dibersihkan dari kotoran yang berukuran besar, sehingga tidak mengganggu pada proses penyaringan berikutnya.

Dan Ketujuh, setelah air limbah terbebas dari kotoran, air masih perlu difilter kembali yaitu tahap penyaringan berikutnya dengan menggunakan media split 10 mm bertujuan agar air menjadi lebih jernih. Sebagai langkah terakhir agar air menjadi bersih dan jernih dan tidak bau digunakan media pasir dan arang aktif (Davis & Conwell, 1991).

Data Hasil Instalasi pengolahan limbah cair batik dengan metode elektrokoagulasi yang dilengkapi proses pengendapan dan filtrasi adalah merupakan metode yang tidak menggunakan bahan kimia, katalis maupun suhu tinggi.

Karena elektroda yang digunakan dapat berfungsi sebagai katalis dan tempat oksidasi, jadi metode ini hanya membutuhkan arus atau potensial dalam jumlah yang kecil. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Angga Arifianto dkk (2014) seperti di bawah ini.

Tabel 2. Hasil analisis kadar COD, warna, TDS dengan variasi voltase dan waktu kontak 9 menit

Voltase (volt)	Parameter		
	COD (mg/L)	Warna (PtCo)	TDS (mg/L)
0	235,33	215,66	2.118,66
20	212,66	164,33	1.816,66
40	189,66	117,33	1.649,33
60	153,66	73,66	1.434,66
80	126,33	49,66	1.341,33
100	100,00	43,00	1.292,66
Baku Mutu*	100	100	1000

\*Baku Mutu Limbah Cair Batik menurut Keputusan Gubernur DIY Nomor 7 Tahun 2010

Data hasil analisis kadar COD, warna dan TDS dengan menggunakan variasi voltase dan waktu kontak hanya 9 menit seperti tertera di tabel 2, ternyata hasilnya sudah sesuai dengan Baku Mutu Limbah Cair Batik menurut Keputusan Gubernur DIY Nomor 7 Tahun 2010. Karena semakin besar voltase yang digunakan dengan waktu kontak yang semakin lama akan meningkatkan kualitas limbah cair batik dan endapan atau flok yang dihasilkan akan semakin banyak, seperti instalasi pengolahan limbah cair batik yang sudah berhasil dibuat untuk pengrajin batik di Kelurahan Gulurejo dengan waktu kontak selama kurang lebih 1 jam dan proses pengolahannya dilengkapi proses-proses lain seperti pengendapan dan filtrasi.

Pengolahan dengan metode elektrokoagulasi menghasilkan gumpalan padat dan selanjutnya dapat dilanjutkan dengan unit *solid separation*. Tidak diperlukannya bahan kimia koagulan membuat produk padatan yang relatif lebih kecil. Perlu diperhatikan bahwa, logam yang digunakan sebagai elektroda akan terkikis karena proses oksidasi. Selain itu, konsumsi energi listrik perlu dipertimbangkan. Namun demikian, metode ini dapat mereduksi kebutuhan lahan dan zat kimia yang diperlukan dalam pengolahan.

Konstanta adsorpsi zat warna merupakan fungsi kesebandingan dari voltase yang diberikan, dengan kata lain laju adsorpsi zat warna sebanding dengan voltase elektrolisis besi. Proses ini terjadi karena adanya perbedaan muatan pada kedua partikel tersebut (zat warna dan besi hidroksida). Semakin

besar tegangan yang diberikan semakin besar arus yang mengalir pada larutan, sehingga menyebabkan semakin cepat reaksi pembentukan hidroksida koagulan.

Penurunan konsentrasi warna, COD dan TDS dalam limbah cair batik terjadi karena reaksi antara spesies aktif dengan senyawa organik menjadi molekul air. Sebagian besar spesies aktif yang terbentuk merupakan oksidator kuat. Diantara spesies aktif yang terbentuk, radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) dan Hidrogen Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) merupakan spesies yang berperan penting dalam penguraian senyawa organik dalam limbah cair (Tchobanoglous, 2003). Senyawa organik yang terkandung dalam limbah akan terurai menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Pemeliharaan dan Perawatan Instalasi Pengolahan Limbah Cair Batik, berdasarkan pada Gambar 1, maka program pemeliharaan dan perawatan instalasi pengolahan limbah cair batik sebagai berikut:

Pertama, bak penampung limbah ini terbuat dari pelat stainless steel, agar tidak cepat berkarat akibat kontak dengan limbah cair batik maka harus dibersihkan secara rutin dari kotoran dan endapan yang terbentuk termasuk menjaga saluran pipa agar tidak terjadi sumbatan.

Kedua, bak elektrokoagulan terbuat dari bahan stainless steel untuk menjaga agar tidak cepat berkarat, maka flok yang terbentuk harus diambil secara berkala, karena di bak elektrokoagulan terjadi proses elektrokimia antara limbah cair batik dan lempeng-lempeng anoda dan katoda yang pada akhirnya terbentuk flok. Rangkaian elektrik di bak ini harus dioperasional sesuai prosedur dan dijaga supaya tidak kena air agar tidak terjadi hubungan singkat.

Ketiga, bak filtrasi terbuat dari pelat stainless steel, maka untuk menghindari cepat berkarat maka endapan yang terbentuk harus diambil secara rutin termasuk menjaga agar instalasi pipa tidak tersumbat. Hal lain yang harus diperhatikan adalah media penyaringan yang digunakan seperti batu koral, pasir dan arang aktif, kalau sudah jenuh maka harus dibersihkan atau diganti.

Keempat, bak pengendapan terbuat dari bahan stainless steel agar tidak mudah berkarat maka endapan yang terbentuk harus diambil secara rutin, termasuk menjaga saluran pipa agar tidak tersumbat.

Kelima, sistem perpipaan secara keseluruhan harus dijaga agar tidak terjadi penyumbatan, kalau terjadi kebocoran harus segera diperbaiki. Keenam, sistem elektrik harus dirawat agar tidak terjadi hubungan singkat dan diusahakan agar tidak kena air.

## KESIMPULAN

Instalasi pengolahan limbah cair batik dengan teknologi elektrokoagulan memiliki kapasitas 100 liter/jam dilengkapi dengan bak penampung, bak elektrokoagulasi, dan bak filtrasi yang sudah dibuat, dapat menghasilkan limbah cair batik pengrajin mitra sesuai dengan baku mutu limbah cair batik menurut Keputusan Gubernur DIY No-mor 7 Tahun 2010 sehingga sudah tidak mencemari lingkungan.

Pembinaan tentang pengolahan limbah cair batik terhadap mitra pengrajin batik sebaiknya dilakukan secara berkesinambungan, agar pengrajin batik dapat mengoperasikan dan merawat instalasi pengolahan limbah cair batik tersebut dengan benar, sehingga usia pakai alat tersebut dapat maksimal serta pencemaran lingkungan dapat diminimasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angga Arifianto, Sri. 2014. *Pengaruh Voltase Dan Waktu Kontak Elektrolisis Terhadap Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand, Warna Dan Total Dissolved Solids Limbah Cair Batik*. Jurusan Teknik Lingkungan IST AKPRIND Yogyakarta.
- Davis, ML. dan Conwell, DA. 1991. *Introduction To Environmental Engineering*. McGraw-Hill International Edition. Singapore.
- Eckenfelder. 2000. *Industrial Water Pollution Control*. 3<sup>th</sup> ed. McGraw Hill Book Co. Singapore.
- Hammer, M.J. 2004. *Water and Wastewater Technology*. 5<sup>th</sup> ed. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River. New Jersey.
- Manahan, S.E. 1992. *Toxicological Chemistry*. 2<sup>nd</sup> Edition. Lewis Publishers. Tokyo.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 5<sup>th</sup> ed. McGraw Hill Book Co New York.
- Peraturan Gubernur DIY No. 7 Tahun 2010 *Tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik*.
- Sarto.1994. *Pengolahan Limbah Cair Secara Kimia (Netralisasi, Koagulasi dan Flokulasi)*. Kursus Singkat Pengelolaan Limbah Cair. Pusat Penelitian Lingkungan- Hidup UGM. Yogyakarta.
- Soemirat. J., 2003, *Toksikologi Lingkungan*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta,
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. dan Stensel, H. D. (2003). "Waste Water Engineering: Treatment and Reuse". Metcalf & Eddy Inc., New York.



## IDENTIFIKASI DAGING SEGAR DAN BUSUK MENGUNAKAN SENSOR WARNA RGB DAN pH METER DIGITAL

Prastyono Eko Pambudi<sup>1</sup>, Edhy utanta<sup>2</sup>, Mujiman<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Teknik Elektro, <sup>2</sup>Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 Mei 2014, revisi masuk : 12 Juni 2014, diterima: 24 Juli 2014

### ABSTRACT

*The high demand and limited availability meat in the market cause the price to be expensive, and increasingly traders that rotten the meat mix into the fresh meat. To avoid the risk, people should know the characteristics of rotten meat and fresh. This research was development of previous research that develops a tool to identify the fresh meat and rotten with RGB color sensor. This research developed a tool to identify fresh meat and rotten using a digital pH meter sensor based on value of acidic, basic, or neutral. pH meter works based on pH sensor, the glass electrode. Digital pH meter works by comparing the potential difference at the sensor electrode with Hions at the meat. By using Op-Amp as a voltage amplifier with higher input impedance, then it can be display a signal voltage (mV) that converted to digital format by the ADC (Analog to Digital Converter) that it can be displayed and read able on the LCD screen.*

**Keywords:** acidic, basic, digital pH Meter, fresh meat, glass electrode, rotten meat.

### INTISARI

Tingginya kebutuhan daging dan terbatasnya ketersediaan daging di pasaran, menyebabkan harga daging menjadi mahal dan semakin banyak pedagang daging nakal yang mencampurkan daging busuk ke dalam daging segar. Untuk menghindari resiko, masyarakat sebagai konsumen harus mewaspadainya dan mengetahui karakteristik daging busuk dan perbedaannya dengan daging segar. Penelitian ini merupakan kelanjutan hasil penelitian sebelumnya yang berhasil mengembangkan alat identifikasi daging segar dan busuk berdasarkan sensor warna RGB. Penelitian ini merancang alat identifikasi daging sebagai alat bantu untuk konsumen pada umumnya dan petugas instansi terkait pada khususnya dalam mengidentifikasi daging yang beredar di pasaran, apakah daging yang dijual oleh pedagang benar-benar daging segar atau daging busuk. Peralatan dikembangkan berdasarkan sensor pH meter digital, yaitu alat pengukur pH yang digunakan untuk mengetahui apakah daging dalam keadaan segar ataukah sudah busuk berdasarkan pada nilai asam, basa, atau netral. pH meter digital bekerja menggunakan sensor pH berupa elektroda gelas. Prinsip kerja pH meter digital adalah membandingkan perbedaan potensial dari elektroda pada sensor dengan ion elektron khususnya H<sup>+</sup> pada daging yang diukur. Dengan menggunakan penguatan tegangan Op-Amp yang memiliki impedansi input tinggi dapat ditampilkannya sinyal berupa tegangan (mV) yang diubah ke bentuk digital menggunakan Analog to Digital Converter sehingga nilai penguatan pH dapat ditampilkan dan terbaca pada layar LCD/peraga (*display*).

**kata kunci:** asam, daging busuk, daging segar, pH Meter Digital, elektroda gelas.

### PENDAHULUAN

Daging merupakan salah satu produk pangan asal hewani yang mempunyai gizi tinggi karena mengandung karbohidrat, protein, lemak, vitamin dan mineral. Daging adalah bagian yang diperoleh dari pemotongan ternak baik ternak besar seperti sapi, kerbau, kuda,

maupun Ternak kecil seperti kambing, domba maupun ternak unggas, dan lain-lain. Namun demikian daging yang tidak sehat bila dikonsumsi dapat menyebabkan berbagai macam penyakit seperti keracunan bagi yang mengkonsumsi, untuk itu perlu diketahui jenis dan kriteria daging yang sehat dan segar serta layak

dikonsumsi. Secara umum daging yang sehat dan baik adalah daging yang berasal dari ternak yang sehat, disembelih di tempat pemotongan resmi, kemudian diperiksa, diangkat dengan kendaraan khusus dan dijual di pasar maupun di supermarket atau di los daging pasar yang bersih dan higienis.

Tingginya kebutuhan masyarakat terhadap daging pada setiap harinya dan tingginya harga daging, serta langkanya daging di pasaran menyebabkan semakin banyak pedagang daging nakal mencoba mencampurkan daging segar dengan daging yang sudah rusak. Hal ini dilakukan untuk memperoleh keuntungan yang lebih besar, walaupun dengan cara yang tidak dibenarkan atau tidak halal, sehingga merugikan konsumen. Kondisi tersebut menjadi alasan diperlukannya perangkat alat bantu untuk dapat mendeteksi kondisi daging yang dikonsumsi oleh masyarakat. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, yaitu membuat alat identifikasi daging segar dan busuk menggunakan pH meter digital. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan rancangan teknologi sederhana untuk identifikasi daging segar dan busuk menggunakan sensor warna RGB dan kadar pH pada daging dengan sensor elektroda gelas. Hasil rancangan alat diharapkan dapat membantu masyarakat atau petugas dari instansi terkait untuk mengidentifikasi kondisi daging dipasaran, apakah layak konsumsi atau tidak layak konsumsi, dengan cara melihat nilai kekuatan warna dan kadar pH pada daging.

Biasanya pengukuran pH secara analog dilakukan dengan menggunakan *kertas lakmus* yang dicelupkan ke dalam larutan. Kemudian kertas tersebut akan berubah warna menjadi warna-warna tertentu. Warna *kertas lakmus* yang telah berubah tersebut kemudian dibandingkan dengan pengukur pH/kertas pH yang terdiri dari beberapa warna yang menandakan nilai pH. Setiap larutan memiliki nilai pH yang berbeda, tergantung dari larutan itu sendiri. Untuk larutan kadar *asam* memiliki nilai di bawah 7 dan larutan kadar *basa* memiliki nilai di atas 7. Nilai pH 7 adalah netral, berarti larutan tersebut tidak terdapat bahan atau

senyawa yang berifat *asam* maupun *basa* (Day dan Underwood 2002).

Penelitian dan publikasi tentang penggunaan sensor warna pernah dilakukan oleh Singh, dkk. (2003) yang meneliti perbandingan deteksi wajah yang dikendalikan oleh *background* warna menggunakan ruang warna RGB, YcbCr, dan HSI. Penggunaan sistem warna ini lebih efisien meskipun belum mampu memberikan hasil yang terbaik. Santosa (2007) meneliti tentang pembuatan robot mesin *sortir* dengan *embedded system*. Hasil yang diperoleh dari adalah berupa alat *scanning* warna dan mekanisme *sortir* benda setelah di-*scan*. Robot ini digunakan sebagai alat bantu untuk menyeleksi warna suatu benda, sehingga warna setiap benda yang disensor akan terlihat nilai RGB-nya. Nilai yang didapat akan dicocokkan dengan tabel data yang ada dengan batasan nilai tertentu untuk masing-masing nilai R, G, dan B. Dari hasil sensor dapat diketahui nilai warnanya. Benda yang sudah disensor akan diletakkan pada tabung dengan warna tertentu sesuai dengan warna benda. Tabung-tabung akan menyesuaikan pada posisi tertentu sesuai dengan nilai warna benda dengan cara digerakan oleh motor *servo*. Penentuan gerak motor *servo* diperoleh dengan cara mengatur jarak *pulsa* sesuai dengan tabung yang dibuat. Antara tabung yang satu dengan lainnya akan mempunyai jarak *pulsa* yang berbeda. Penelitian Indrajaya (2002) berhasil mengembangkan prototipe alat pencampur cat otomatis. Prototipe ini terdiri atas sebuah *konveyor* untuk menggerakkan kontainer, *solenoida* untuk membuka dan menutup *valve* pada tangki, sensor *infra-red* LED sebagai *proximity switch*, dan motor DC untuk mengangkat dan menurunkan timbangan A dan timbangan B, menggerakkan lengan Z, dan mengaduk cat. Sistem kerja dari prototipe ini adalah mengisikontainer dengan cat yang terdapat pada tangki A dan tangki B. Metode yang dipakai untuk mendapatkan perbandingan warna cat tertentu dilakukan dengan cara menimbang berat masing-masing warna cat dengan suatu *transducer* LVDT, sesuai dengan *setting point* yang di-*input*-kan. Berdasarkan

hasil pengujian, sistem dapat mencampurkan dua warna cat sesuai dengan *setting point* yang di-inputkan meskipun warna cat hasilpencampuran kurang bagus, hal ini disebabkan karena sistem masih memiliki *error*.

Penelitian penggunaan sensor warna RGB juga dilakukan oleh Pambudi dkk. (2013) dengan mengembangkan alat untuk identifikasi daging segar dan busuk dengan menggunakan sensor warna RGB TCS3200-DB. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi pembacaan warna sangat tergantung pada faktor teknis (letak sensor); hasil yang diperoleh melalui perubahan bilangan biner menjadi bilangan desimal pada *levelling* uC diperoleh hasil daging sapi segar adalah memiliki nilai R (*Red*) terbesar: 58; G (*Green*): 3-38, dan 3-29; nilai B (*Blue*): 427 dan 4-25; apabila hasil *levelling* uC daging sapi memiliki nilai  $R > 58$ ,  $G > 38$ , dan  $B > 29$ , maka kemungkinan besar daging tersebut telah busuk atau tidak layak dikonsumsi.

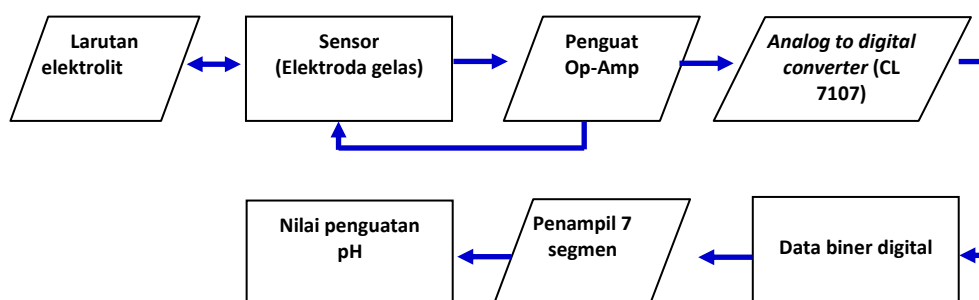
Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian Pambudi dkk. (2013) sebelumnya identifikasi daging segar atau busuk akan diukur berdasarkan gabungan dua parameter, yaitu kekuatan warna RGB dan kadar pH pada daging. Alat pH meter digital bekerja berdasarkan prinsip, bahwa setiap daging/larutan akan memberikan bentuk tegangan yang berbeda dari kadar ion-ion yang ada dalam daging/larutan. Hal ini akan ditangkap pada sebuah sensor yang berupa sel elektroda untuk memberikan input sinyal *analog* yang akan diproses menjadi sinyal digital. Alat pH meter digital bekerja dengan dasar sensor, salah satunya adalah pH meter digital dengan sensor pH berupa elektroda gelas. Prinsip kerja dari pH meter digital yaitu memanfaatkan perbandingan

beda potensial dari elektroda yang ada pada sensor dengan ion elektron khususnya ion  $H^+$  pada larutan yang diukur, kemudian dikonversi menjadi bentuk digital dan ditampilkan pada layar LCD/peraga (*display*).

## METODE

Langkah dalam penelitian ini diawali dengan identifikasi spesifikasi kebutuhan alat yang akan dibuat, yaitu sebagai berikut: Pertama-tama diperlukan komponen rangkaian catu daya yang berfungsi untuk memberikan *supply* tegangan dan arus pada rangkaian. Kedua, diperlukan alat pengindra berupa sensor yang peka untuk mendeteksi pH. Ketiga, diperlukan komponen pengendali yang berfungsi untuk mengendalikan alat pendeteksi secara keseluruhan. Dan yang keempat, diperlukan komponen penampil nilai digital yang sederhana dan informatif.

Dalam konsep perancangannya, alat pH meter digital diharapkan dapat memenuhi standar pengukuran pH dengan memperhatikan aspek-aspek yang terkait dalam proses pengukurannya. Rancangan alat dibuat sedemikian rupa agar dalam penggunaannya dapat dilakukan secara mudah dan memberikan hasil yang akurat. Hasil identifikasi spesifikasi kebutuhan alat yang dirancang adalah sebagai berikut: Pertama, elektroda gelas selektif ion, sebagai sensor yang digunakan dalam pengukuran pH. Kedua, IC tipe ICL 7107, dengan sistem  $3\frac{1}{2}$  digit *analog to digital converter*. Ketiga, penampil nilai hasil penguatan sensor pH indikator asam atau basa dengan bentuk visual bilangan desimal. Diagram blok alat pH meter digital yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok pH meter

## PEMBAHASAN

Pada penelitian Pambudi dkk (2013), alat bekerja berdasarkan sensor warna yang mendapat pantulan cahaya dari obyek benda berwarna, kemudian sensor akan mendeteksi benda berwarna tersebut. IC TCS3200-DB disusun secara *array* dengan konfigurasi: 16 *photodiode* untuk mem-*filter* warna merah, 16 *photodiode* untuk mem-*filter* warna hijau, 16 *photodiode* untuk mem-*filter* warna biru, dan 16 *photodiode* tanpa *filter*. *Photodiode* akan mengeluarkan arus yang besarnya sebanding dengan kadar warna dasar cahaya yang menyimpannya. Arus ini kemudian dikonversikan menjadi sinyal kotak dengan frekuensi sebanding dengan besarnya arus untuk dikirim ke uC sebagai data *input*. Dalam uC sinyal kotak akan dicacah sesuai dengan jumlah sinyal kotak yang dihasilkan dari pembacaan warna menggunakan fitur *counter* yang terdapat dalam uC, selanjutnya hasil pencacahan dikonversikan menjadi bilangan desimal untuk ditampilkan pada penampil LCD.

Penelitian lanjutan ini identifikasi daging sebar dan busuk didasarkan pada hasil sensor pengukuran warna RGB dan digabungkan dengan sensor pH yang diinformasikan untuk ditampilkan pada penampil LCD. Rancangan alat pH meter digital menggunakan rangkaian pH meter digital yang dibuat menggunakan pencahuan daya dengan tegangan yang stabil. Saat ini sudah banyak dikenal komponen seri sebagai *regulator* tegangan tetap positif dan negatif. Komponen ini biasanya sudah dilengkapi dengan pembatas arus (*current limiter*) dan pembatas suhu (*thermal shutdown*). Komponen ini memiliki tiga *pin* dan dengan menambah beberapa komponen saja sudah dapat menjadi rangkaian catu daya yang terregulasi dengan baik, misalnya IC7805 adalah *regulator* untuk mendapat tegangan positif 5 volt, IC7809 adalah *regulator* untuk mendapat tegangan positif 9 volt. Sedangkan seri IC 7905 dan IC 7909 berturut-turut adalah *regulator* tegangan negatif 5 volt dan negatif 9 volt.

pH meter digital merupakan alat ukur yang memiliki derajat pengukuran cukup baik. Alat ini bekerja berdasarkan keluaran elektroda saat bereaksi dengan

larutan yang menghasilkan beda potensial pada larutan dan elektroda gelas, menjadi sebuah kadar pH sebenarnya dari larutan yang diukur. Untuk hal ini diperlukan dua rangkaian, yaitu: Pertama, penguatan tegangan sensor (elektroda gelas) menggunakan Op-Amp, ke dua pengkonversi tegangan *analog* ke digital menggunakan ICL 7107 *digital to analog converter*.

Sensor yang digunakan (elektroda gelas) memiliki tingkat keluaran tegangan berdasarkan perbedaan potensial pada larutan elektrolit (asam atau basa) yang diukur dengan kawat elektroda inti dan elektroda referensi. Pada prinsipnya pengukuran kadar pH dengan menggunakan elektroda gelas adalah pengukuran konsentrasi ion  $H^+$ . Larutan tersebut memberikan tegangan keluaran yang sangat kecil saat membran elektroda dan elektroda referensi pada elektroda gelas atau biasa disebut elektroda kombinasi dimasukkan ke dalam larutan. Hal ini membutuhkan bentuk penguatan tegangan saat pengukuran agar tegangan output sebelum masuk ke visual meter (ICL 7107) dapat diterima secara benar pada input *converter* dengan tampilan tegangan yang sesuai dengan indikator pH.

Penguatan tegangan pada penelitian ini menggunakan rangkaian yang sudah terintegrasi (IC) untuk memperbesar tegangan input. Op-Amp sering digunakan untuk memperkuat tegangan kecil walaupun dengan impedansi yang tinggi. Op-Amp yang digunakan menggunakan spesifikasi khusus, yaitu memiliki input masukan yang sangat tinggi mencapai  $10^{09}$ - $10^{12}$  Ohm. Dikarenakan rangkaian pengukuran pH Meter dengan perbedaan tegangan pada elektroda terhadap larutan memiliki sifat resistansi tinggi. Walaupun resistansi dari gelas elektroda dan larutan sudah kecil, tetapi resistansi rangkaian masih tetap tinggi. Kondisi ini merupakan pengukuran yang sangat tinggi pada voltmeter biasa.

Elektroda gelas yang dimasukkan ke dalam larutan atau ditempelkan pada daging akan menghasilkan beda tegangan yang kemudian dikuatkan dengan Op-Amp. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa tegangan output

dari elektroda gelas sangat berpengaruh terhadap temperatur. Tegangan pada elektroda gelas yang telah diberikan penguatan, dan output yang keluar dari penguatan Op-Amp sesuai dengan tegangan yang diinginkan berdasarkan indikator kadar pH yang sebenarnya, sehingga kemudian dilakukan konversi tegangan, dari bentuk tegangan *analog* ke bentuk digital menggunakan *analog to digital converter* 3½ digits melalui ICL 7107.

Pengambilan sample uji awalnya dilakukan dengan menggunakan larutan elektrolit yang termasuk jenis larutan asam kuat atau lemah, atau larutan basa kuat atau lemah. Pengujian dilakukan menggunakan sampel bentuk tegangan dari *simulator* dan larutan yang memiliki kadar pH tertera (sudah diketahui). Hal ini untuk memudahkan mengetahui kesalahan dari pH meter digital yang dirancang. Dalam hal ini, terdapat dua macam larutan dengan pH tertera (disebut juga larutan *buffer*), yaitu:

Pertama, larutan *buffer solution*, merupakan larutan standar internasional yang dibuat oleh pabrikan dan telah memiliki lisensi teruji. Biasanya larutan ini digunakan untuk kalibrasi alat ukur pH meter digital.

Kedua, larutan *buffer universal*, biasanya dibuat oleh praktikan di laboratorium sebagai larutan penyangga dalam reaksi kimia. Namun larutan dengan kadar pH ini tidak dapat digunakan sebagai kalibrasi pH meter digital, karena tidak memiliki standarisasi internasional, walaupun nilai yang ditampilkan sama atau mendekati kadar pH dari larutan *buffer solution*. Untuk keperluan penelitian ini dapat digunakan larutan *buffer solution* dengan kadar pH 4 dan pH 7.

Sebuah piranti ukur harus memiliki tingkat kalibrasi yang akurat agar dapat menghasilkan data pengukuran yang tepat. Kalibrasi alat pH meter digital yang dirancang dilakukan menggunakan larutan netral dengan kadar pH=7 atau *buffer solution* pH 7. Di samping itu juga diuji menggunakan *buffer solution* pH pH=1, pH=4, dan lainnya, dengan asumsi bahwa pengukuran kadar pH memiliki batasan nilai antara 1-14.

Telah diketahui bahwa nilai yang akan diukur dalam penelitian ini adalah merupakan hasil dari proses reaksi antara sensor elektroda gelas yang terjadi pada daging/larutan elektrolit dan hasil pengamatan zat yang dapat memberikan ion hidrogen (asam) atau zat yang dapat menerima ion hidrogen (basa). Begitu banyaknya larutan elektrolit yang ada, maka kalibrasi yang cukup sederhana dapat dilakukan dengan cara pengukuran larutan dengan pH netral ICL 7107 karena dapat mengukur sinyal *analog* yang diterima dengan baik hanya dengan satu kalibrasi pada larutan. Tetapi hasil dari kalibrasi larutan netral tersebut masih harus dibandingkan dengan alat ukur pH meter yang lain untuk mendapatkan nilai *error* yang terjadi selama pengukuran dengan cara melakukan beberapa kali ujicoba. Jika nilai *error* telah memenuhi batasan yang ditetapkan, baru dilakukan pengukuran dengan jenis larutan yang lainnya sesuai dengan sampel larutan yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap kali pengukuran kadar pH larutan dapat dilakukan perbandingan nilai hasil pengukuran dengan nilai dari alat ukur pH lainnya.

Pengambilan data pengukuran pH meter digital dilakukan dengan cara menghadirkan pembanding berupa pH meter digital pabrikan yang dijual di pasaran yang memiliki karakteristik teruji dengan tingkat akurasi sekitar 0,01 pH, sehingga diharapkan mendapat hasil yang baik. Analisis dilakukan untuk memperoleh tingkat *error* pada alat yang dirancang. Kalibrasi pH meter digital dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

Pertama dilakukan pengukuran temperatur larutan kalibrasi dan larutan yang akan diukur (diusahakan memiliki temperatur yang sama) dengan cara mengatur (*adjustment*) temperatur pada alat sesuai dengan temperatur pada larutan.

Kedua, memasukkan elektroda gelas pada *buffer solution* pH 7 dengan cara mengatur (*adjustment*) pada alat sesuai dengan nilai kadar pH = 7.

Ketiga, memasukkan elektroda gelas pada *buffer solution* pH 4 dengan

cara mengatur (*adjustment*) pada alat sesuai dengan nilai kadar pH = 4.

Keempat, melakukan pengukuran kadar pH pada larutan *sample* yang akan diukur. Temperatur larutan juga sangat mempengaruhi hasil pengukuran pH, apabila temperatur larutan berubah, maka kadar pH juga akan berubah. Dengan alasan tersebut, maka pengukuran lebih baik dilakukan dalam temperatur yang sama (misal: 30°C atau suhu ruangan).

Metode pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran pH pada alat uji yaitu daging sapi SNI dan daging sapi non SNI dalam kondisi segar dan busuk. Pengujian kadar pH daging dilakukan dengan cara sebagai berikut: pertama penyiapan peralatan ukur, pasang baterai 1x9V dan menyalakan alat ukur pH, dan menekan serta menahan tombol pH/mV selama 3 detik untuk mengkonfigurasi unit ukuran yang diinginkan (°C atau °F) dan modus pH. Kedua, menghubungkan alat pengecekan suhu ke alat ukur dan elektroda pH, lepaskan botol pelindung dari elektroda. Di dalam botol penyimpanan terdapat cairan KCL, jangan dibuang cairan tersebut karena dapat digunakan untuk penyimpanan kembali setelah pengujian. Jika cairan KCL habis, maka tambahkan beberapa *buffer* 4.00. Bilas elektroda dan alat pengecekan suhu dengan air bersih dan dilap hingga kering. Ketiga, celupkan elektroda dan alat pengecekan suhu ke dalam larutan *buffer* 7.00, gerakkan elektroda secara perlahan dan tunggu hingga tampilan stabil. Tekan dan tahan tombol CAL sampai 'CAL' muncul dalam tampilan dan kemudian 7.00 berkedip. Ketika kedipan berhenti dan menampilkan 'SA' kemudian 'END', maka kalibrasi telah selesai dan dapat dilakukan pengukurankembali. Ikon 'SA' tidak akan muncul jika kalibrasi gagal dilaksanakan. Keempat, bilas elektroda dan alat pengecekan suhu dengan air bersih dan dilap hingga kering. Celupkan elektroda dan alat pengecekan suhu ke dalam larutan *buffer* 4.00 atau 10.00, gerakkan elektroda secara perlahan dan tunggu hingga tampilan stabil. Tekan dan tahan tombol CAL sampai 'CAL' muncul

dalam tampilan dan kemudian 4.00 dan 10.00 berkedip. Ketika kedipan berhenti dan menampilkan '%' (persentase kemiringan) kemudian 'SA' dan 'END' maka kalibrasi telah selesai dan dapat dilakukan pengukurankembali. Ikon 'SA' tidak akan muncul jika kalibrasi gagal dilaksanakan. Kelima, bilas elektroda dan alat pengecekan suhu dengan air bersih dan dilap hingga kering. Buka dudukan elektroda A, pasang *stainless steel blade* penetrasi dan memasang bagian A lagi. Pemasangan *stainless steel blade* harus dilakukan secara hati-hati agar tidak patah. Keenam, gunakan pisau untuk memotong daging dan biarkan elektroda masuk ke dalam daging, masukkan juga alat pengecekan suhu ke dalam meteran, tunggu sampai tampilan stabil dan kemudian baca kadar pH daging. Dan terakhir adalah, pengujian, lepaskan *stainless steel blade* dan bersihkan elektroda dengan air bersih dan dilap hingga kering dengan menggunakan kertas lembut, dan kemudian simpan elektroda dalam botol pelindung.

Pengamatan pada Daging Sapi Non SNI Segar dan Busuk, pada pengamatan ini dilakukan deteksi warna RGB pada daging sapi, baik kondisi segar maupun kondisi busuk yaitu daging yang telah disimpan pada kondisi ruang selama 2 hari tanpa melalui proses pembekuan atau pendinginan. Deteksi warna RGB dilakukan untuk mengetahui nilai RGB yang terkandung dalam warna sampel daging sapi yang diuji. Pengukuran kadar pH juga dilakukan yaitu dengan cara menusukkan alat pH meter pada sampel daging sapi yang diuji. Hasil pengamatan pada daging sapi non SNI segardapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengamatan pada daging sapi non SNI segar

No	Red filter	Green filter	Blue filter	Clear filter	Kadar pH
1	71	32	39	39,5	4,89
2	79	35,5	44	38	4,75
3	74	31,5	37,5	39	4,73
4	72	33	40,5	40	4,72
5	75	34	42,5	41	4,76

Hasil pengamatan pada sampel daging sapi busuk, tidak terjadi perubahan

warna daging yang signifikan, sehingga daging masih memiliki warna yang mirip dengan daging segar. Perbedaan hanya terjadi dari segi bau yang khas daging busuk. Komposisi warna RGB pada sampel daging sapi busuk mendekati komposisi warna RGB daging segar, seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengamatan pada daging sapi non SNI busuk

No	Red filter	Green filter	Blue filter	Clear filter	Kadar pH
1	64	34	43	42	3,63
2	63	35	45	45	3,45
3	63,5	33,5	40,5	43	3,37
4	65	35	43	47	3,42
5	65	36	45	46	3,32

Hasil pengukuran pH pada daging non SNI segar menunjukkan sifat asam yang masuk katagori asam lemah (kadar pH 4,7-4,9), sedangkan pada daging non SNI busuk menunjukkan kadar pH yang lebih kecil, yaitu masuk dalam kategori asam kuat, dengan kadar pH 3,3-3,6. Pengamatan pada Daging Sapi SNI Segar dan Busuk

Hasil pengamatan pada sampel daging sapi SNI segar ditampilkan pada Tabel 3. Pada daging sapi SNI segar perbandingan nilai *filter* merah dengan *filter* lain sangat signifikan. Warna daging berwarna merah darah sehingga menyebabkan nilai *filter* merah tinggi, sedangkan hasil pengukuran pH menunjukkan daging bersifat asam lemah dengan kadar pH 5,80-5,89.

Tabel 3. Pengamatan pada daging sapi SNI segar

No	Red filter	Green filter	Blue filter	Clear filter	Kadar pH
1	51,5	21,5	26,5	28	5,89
2	53	22	27	28,5	5,83
3	54	23	28,5	29,5	5,80
4	54,5	23	28,5	29	5,87
5	55	24	28	30	5,83

Pada daging sapi SNI busuk, warna yang dimiliki sama dengan warna daging ketika masih segar, sehingga jika diidentifikasi berdasarkan warna saja ketelitian yang diperoleh masih rendah, seperti tampak pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengamatan pada daging sapi SNI busuk

No	Red filter	Green filter	Blue filter	Clear filter	Kadar pH
1	62,5	32,5	39	39	3,89
2	62	32	38	38,5	3,74
3	61,5	32,5	37	38,5	3,77
4	65	34	40	40	3,87
5	65,5	33	40	40	3,82

Nilai yang terukur dari program untuk setiap warna RGB berkisar dari 0-255, warna hitam nilai RGB semuanya mendekati 0, sedangkan warna mendekati putih nilai RGB semakin besar mendekati 255. Kekurangan dari alat ini ialah jarak pengukuran efektifnya tidak lebih dari 2CM (sampel daging harus diletakkan tepat di titik fokus sensor). Perubahan jarak akan menyebabkan pembacaan berubah dan dapat menyebabkan kesalahan pembacaan.

Dari hasil pengamatan, proses identifikasi pada daging segar, alat telah mampu mengidentifikasi dengan baik, sehingga rentang nilai yang digunakan untuk acuan identifikasi telah sesuai. Hal ini ditunjukkan dengan hasil pengukuran tidak mempunyai rentang nilai yang lebar, pada daging sapi non SNI nilai R berkisar antara 71-79, nilai G berkisar antara 31,5-35,5, dan nilai B berkisar antara 37,5-42,5; sedangkan kadar pH berkisar antara 4,72-4,89 sehingga merupakan asam dan termasuk dalam kadar asam lemah (Tabel 2). Pada daging sapi segar SNI nilai R berkisar antara 51,5-55, nilai G berkisar antara 21,55-24, dan nilai B berkisar antara 26,5-28,5; sedangkan untuk kadar pH berkisar antara 5,80-5,89 sehingga merupakan asam dan termasuk dalam kadar asam lemah (Tabel 3). Pada daging sapi busuk SNI nilai R berkisar antara 61,5-65,5, nilai G berkisar antara 32-34, dan nilai B berkisar antara 37-40; sedangkan kadar pH berkisar antara 3,74-3,89 sehingga merupakan asam dan termasuk dalam kadar asam kuat (Tabel 4).

Pada dasarnya sifat daging sapi mempunyai kadar pH asam, hal ini ditunjukkan dari hasil pengukuran menggunakan pH meter digital, di mana daging segar maupun daging busuk bersifat asam. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa daging yang semakin busuk akan

memiliki kadar pH yang semakin asam, termasuk dalam kategori asam kuat dengan kadar pH kurang dari 4. Tentunya daging yang semakin bersifat asam tidak layak lagi untuk dikonsumsi oleh manusia.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan yaitu tegangan pada elektroda gelas yang telah melewati rangkaian penguat-an OP-AMP dapat menentukan indikator pH daging.

Temperatur daging/larutan uji, mempengaruhi nilai pH, apabila temperatur lebih tinggi/naik maka nilai pH akan berubah.

Larutan *buffer solution* pH=4 atau pH=7 dapat menentukan ketepatan/presisi hasil pengukuran nilai pH.

Besar kecilnya konsentrasi  $H^+$  pada daging/larutan uji sangat menentukan output tegangan yang dikonversikan menjadi nilai pH pada daging/larutan.

Pada dasarnya daging mempunyai kadar pH asam, hal ini ditunjukkan dari data pengukuran pada daging segar dan busuk semuanya bersifat asam, daging yang lebih busuk akan mempunyai sifat yang lebih asam dengan nilai pH<4.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Day Jr.R.A. dan Anderwood, Al., 2002, Analisis Kimia Kuantitatif, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Indrajaya, R., 2002, Pembuatan Prototipe Alat Pencampur Cat Berbasis MCS-51, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Santosa, B.S., 2007, *Scanning Warna Dengan TCS230 Color Sensor pada Mesin Sortir*, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta.
- Singh, S.Kr., Chauhan, D.S., Vatsa, M., dan Singh, R., 2003, A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, p. 227-234.
- Pambudi, P.E., Sutanta, E., Sidarto, dan Mujiman, 2013, Identifikasi Daging Segar Menggunakan Sensor Warna RGB TCS3200-DB, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Dirjen Dikti Kemdiknas



## ANALISIS KERUSAKAN POROS *BRINE INJECTION PUMP*

Ratna Kartikasari<sup>1</sup>, Antony<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta

Masuk: 4 Maret 2014, revisi masuk : 13 Juni 2014, diterima: 19 Juli 2014

### ABSTRACT

*PT. Geo Dipa Energy Dieng unit is one form of industry exploiting geothermal steam(vapor) that uses a brine injection pump. Brine injection pump is a pump for injecting brine into injection wells. Pump using the VC type is the type of pump that has suction and discharge nozzle head. The problems that always arise in the operation of the brine injection pump shaft is break age of component made of stainless steel SS420 in a relatively short time. This study aims to determine the cause of brine injection pump shaft break age in a very short time. Stages of an analysis performed distorting the chemical composition using spectrometry and EDAX, macro-photo on fracture surfaces, and micro-photo on the area closest to the fracture surface using SEM. The results showed that the initial damage occurs precisely in the initial crack. Furthermore, the crack propagation occurs according to the loading pattern until the ductile tearing occurs before fracture. Generally, the pattern of fracture indicates sinter-crystalline pattern at the beginning of the trans-crystalline cracks and any subsequent stages until fracture occurs. SEM indicates the presence of Cr carbides with elongated patterns that indicate the cause of fracture. This causes the carbide concentration to be as vulnerable to corrosive environments, so that when the Cl-ions contained in the brine contact aggressively in this area then began collaborating between corrosion and dynamic load causes the initial crack and followed by crack propagation that very fast into the brittle fracture pattern.*

**Keywords:** shaft, brine injection pump, Cr carbide, corrosion, brittle fracture

### INTISARI

PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng merupakan salah satu industri pengeksploitasi panas bumi berbentuk *steam* (uap) yang menggunakan *brine injection pump*. *Brine injection pump* adalah pompa untuk menginjeksikan *brine* ke sumur injeksi. Pompa menggunakan tipe VC yaitu tipe pompa yang memiliki *suction nozzles* dan *discharge head*. Permasalahan yang selalu timbul dalam pengoperasian *brine injection pump* ini adalah patahnya komponen poros yang terbuat dari baja tahan karat SS 420 dalam waktu yang relatif singkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab dari patahnya poros *brine injection pump* dalam waktu yang sangat singkat. Tahapan analisis yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometri dan EDAX, foto makro pada permukaan patahan dan foto mikro pada daerah terdekat dengan permukaan patahan menggunakan SEM. Hasil penelitian menunjukkan awal kerusakan terjadi tepat di daerah *initial crack*. Selanjutnya terjadi penjarangan retak yang mengikuti pola pembebanan hingga akhirnya terjadi pola *ductile tearing* sebelum patah. Secara umum pola patahan menunjukkan adanya pola interkristalin pada awal retak dan transkristalin, selanjutnya hingga terjadi patahan. Hasil foto SEM menunjukkan adanya karbida-karbida Cr dengan pola memanjang yang mengindikasikan penyebab patahan. Konsentrasi karbida ini menyebabkan adanya daerah yang rentan terhadap lingkungan korosif, sehingga ketika ion Cl<sup>-</sup> agresif yang terdapat *brine* kontak, maka dimulailah peristiwa korosi yang berkolaborasi dengan beban dinamis menyebabkan *initial crack* dan perambatan retak yang sangat cepat sehingga muncullah pola patah getas.

**Kata kunci :**poros, *brine injection pump*, karbida Cr, korosi, patah getas

---

<sup>1</sup>[kartikafajar@yahoo.com](mailto:kartikafajar@yahoo.com)

## PENDAHULUAN

Pada industri panas bumi *steam* yang keluar dari sumur disalurkan dalam separator *steam* dipisahkan dari *brine* (air garam) sehingga memungkinkan didapat *steam* murni untuk memutar turbin dan menjalankan generator sehingga menghasilkan listrik, sedangkan *brine* akan diinjeksikan ke sumur injeksi dengan alat *Brine Injection Pump* untuk menghasilkan *steam* kembali.

*Brine Injeksi Pump* adalah alat jenis pompa vertikal tipe VC dengan *impeller* yang terdiri dari *bowl-bowl* yang memompa atau mengangkat *brine*. *Brine* yang akan diinjeksikan memiliki tekanan awal 18 bar pada *suction* dan 36 bar pada *discharge* dengan suhu antara 150<sup>o</sup>–180<sup>o</sup> serta memiliki kandungan kimia Cl, SiO<sub>2</sub>, boron, Ca, Mg, dimana kandungan SiO<sub>2</sub> mencapai 1000 ppm dengan ph awal antara 6,7–7, selanjutnya PH dikendalikan antara 4,8–5,2, agar pompa terhindar dari korosi dan scalling. Karena korosi akan terjadi pada pH kurang dari 4,8 sedangkan scalling terjadi pada pH lebih besar dari 5,2 yang akan mengakibatkan terjadinya pengecilan penampang ini sampai dengan penyumbatan pada lintasan pipa di sepanjang jalur menuju sumur injeksi. Untuk mencegah terjadinya *scalling* dilakukan dengan cara menekan laju reaksi pembentukan SiO<sub>4</sub> dengan injeksi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98 % pada jalur *brine*.

Permasalahan yang selalu timbul dalam pengoperasian *Brine Injection Pump* adalah kerusakan berulang yang terjadi pada poros dalam waktu yang relatif singkat. Kerusakan berupa Patahnya poros *brine injection pump* yang terbuat dari bahan SS 420. Akibatnya kerugian yang harus ditanggung perusahaan harganya relatif mahal. Oleh karena itu diperlukan analisis penyebab terjadinya kerusakan yang terus berulang untuk mencari pemecahan permasalahan pada poros *brine injection pump*. Dugaan sementara adalah adanya *over load* yang disebabkan oleh pengecilan penampang pada pipa penyaluran *brine* akibat terjadinya *scalling*. Dugaan lain adalah terjadinya sensitisasi pada SS 420 mengingat *brine*

melalui pipa-pipa dan masuk ke separator, didalam separator *steam* dipisahkan mengandung klorida mengandung klorida, yang akan menyebabkan terjadinya patah secara dini.

## METODE

Analisis kerusakan poros *brine injection pump* yang terbuat dari SS 420 dimulai dengan uji komposisi kimia untuk memastikan kadar unsur-unsur yang dikandungnya. Uji komposisi kimia dilakukan di PT Itokoh Ceperindo menggunakan alat uji komposisi spektrometer. Selanjutnya dilakukan analisis fisual permukaan patah dan foto makro menggunakan SEM dengan perbesaran 10x untuk melihat dan mengklasifikasi pola patahan. Langkah berikutnya adalah uji foto struktur mikro menggunakan SEM dengan perbesaran 2000x, 4000x dan 7500x pada daerah sedikit dibawah permukaan patah untuk melihat kemungkinan terjadinya sensitisasi poros *Brine Injection Pump* tipe VC ini.

## PEMBAHASAN

Hasil uji komposisi kimia poros *brine injection pump* yang mengalami patah menggunakan spectrometer di PT. Itokoh Ceperindo terlihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa poros *brine injection pump* mengandung unsur utama Fe sebesar 80,8% dan unsur paduan utama Cr sebesar 16,023%, C sebesar 0,362% dan Mo sebesar 1,1%. Berdasarkan jenis dan kadar unsur-unsur yang terkandung menunjukkan bahwa bahan poros *brine injection pump* adalah baja tahan karat seri 420 (SS 420) dengan tambahan Mo sebesar 1,1%. SS 420 adalah baja tahan karat yang dapat dikeraskan, setelah anil SS 420 berstruktur ferit dan karbida, struktur ini akan berubah setelah celup menjadi martensit. Ketahanan korosi SS Unsur-unsur yang sengaja ditambahkan secara keseluruhan secara keseluruhan mempengaruhi sifat SS 420 secara umum lebih rendah jika dibanding SS seri 300. (Alok Nayar, 2002). Unsur Carbon (C) meningkatkan kemampuan keraskan dan kekuatan tetapi dapat menurunkan mampu tempa dan keliatan.

Akan tetapi unsur C dapat memberikan pengaruh yang negatif pada saat proses pemanasan yaitu terjadinya peristiwa sensitisasi pada baja sehingga mengakibatkan menurunnya kualitas baja tersebut, hal ini terjadi karena unsur C dapat mendukung terbentuknya karbidakrom. Unsur Chromium (Cr) pada

poros dapat meningkatkan kemampuan kekerasan, keuletan, ketahanan aus, ketahanan korosi, ketahanan pada suhu tinggi dan ketahanan terhadap asam. Unsur tambahan yang diberikan untuk meningkatkan kualitas tertentu.

Tabel 1. Komposisi Kimia poros *brine injection pump*

Unsur	Fe	C	Cr	Mo	Si	Mn	Mo	Cu	Ti	V	W	S	P
Komposisi (% berat)	88,80	0,36	16,02	1,10	0,54	0,42	0,50	0,05	0,01	0,08	0,03	0,02	0,02

Pada Gambar 2-5 terlihat jelas pola pembebanan dinamis yang terus berulang pada poros di daerah patahan yang menjadi *initial crack*, sehingga permukaan patahan mengalami patah campuran berupa patah ulet dan patah getas interkristalin. Menurut mekanisme patahan, terjadinya patah campuran tidak hanya diakibatkan geseran, tetapi juga karena lepasnya kisi kristal logam atau batas butir. Patahan pada *initial crack* adalah patahan getas interkristalin dan diikuti oleh patahan transkristalin.

Fenomena perambatan retak cukup jelas terlihat dari *initial crack* kemudian menjalar mengikuti garis penalaran sehingga penalaran retak mempunyai arah dan pola dari jenis pembebanan, yaitu berupa beban puntir sampai akhirnya patah (*end crack*) yang ditandai dengan adanya *ductile tearing* pada poros. Pada permukaan patahan terdapat beberapa daerah yang membentuk *cleavage* yaitu daerah yang mengalami pergeseran sepanjang bidang kisi kristal yang pada permukaan ditandai dengan bentuk permukaan yang halus

Pada permukaan patahan juga menunjukkan telah terjadinya deposit pada bahan akibat dari unsur kandungan dalam *brine injeksi pump*, deposit terjadi pada saat peristiwa perambatan retak pada daerah patah getas adalah Mo, P, S, W, Mn, dimana masing-masing dari unsur tersebut memberikan pengaruh yang berbeda. Penambahan unsur Mo berfungsi membentuk lapisan stabil di permukaan baja untuk mencegah terjadinya korosi sumuran. Penambahan unsur P berperan pada saat *casting* yaitu unsur P dapat mengikat udara dan

mempercepat laju pendinginan. Penambahan unsur S meningkatkan sifat mekanis, penambahan unsur W meningkatkan ketahanan pada suhu tinggi dan penambahan unsur Mn dalam jumlah kecil dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan, keuletan, serta membentuk Mn-S yang dapat meminimalisasi kegetasan dan kerapuhan pada bahan.

Analisis hasil uji photo makro poros *brine injection pump* juga daerah-daerah permukaan patahan yang kasar.



Gambar 1. Permukaan patah poros *brine injection pump*

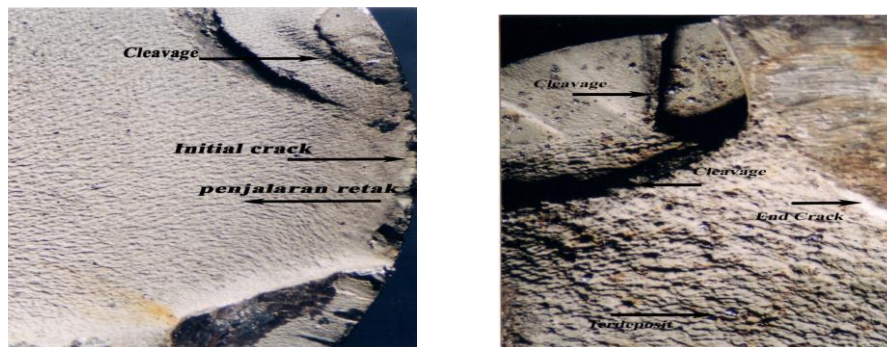
Kisi kristal yang pada permukaan ditandai dengan bentuk permukaan yang halus.

Analisis secara visual pada permukaan patahan baja SS 420 Gambar 1, menunjukkan bahwa terdapat permukaan patahan yang halus dan terdapat ini disebabkan mekanisme penalaran retak yang terjadi setelah terjadinya *initial crack* yang disebabkan oleh terjadinya korosi oleh lingkungan korosif seperti khlor, sulfur, dan  $H_2SO_4(98\%)$  yang sengaja ditambahkan sebagai inhibitor. Lingkungan korosif merusak lapisan pasif

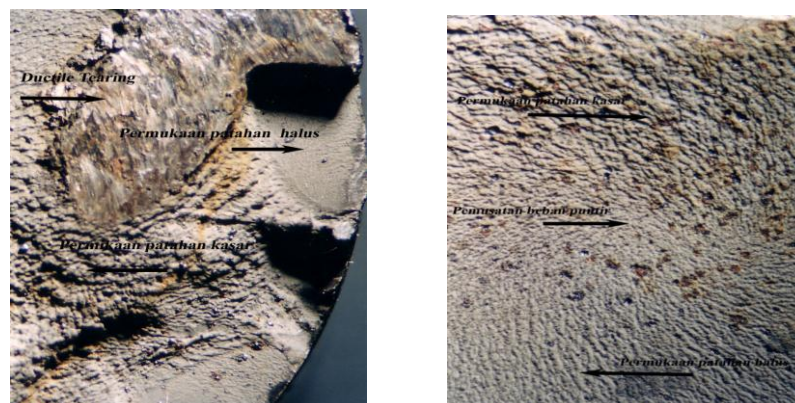
baja SS 420 dan pada daerah dengan potensial yang paling rendah akan menjadi awal terjadinya korosi (*initial crack*). Pada saat poros mendapat beban mekanis maka penjalaran retak dimulai dan akhirnya patah.

Analisis hasil uji struktur mikro menggunakan SEM, hasil uji struktur mikro poros *brine injection pump* terlihat pada Gambar 6. Karbida Cr terlihat mengumpul di daerah batas butir diantara struktur martensit. Pembentukan karbida terjadi karena temperatur proses

masuk dalam daerah terjadinya sensitisasi baja krom (Smallman dan Bishop, 1985). Sehingga terjadilah perpindahan unsur Cr di daerah sekitar batas butir menuju batas butir untuk berikatan dengan C yang telah meningkat reaktifitasnya terhadap Cr membentuk karbida Cr ( $Cr_{23}C_6$ ). Daerah yang kekurangan Cr ini akan menjadi rentan terhadap lingkungan korosif maupun beban mekanis (Tata Surdia, 2000).



Gambar 2. Struktur makro memperlihatkan *initial crack* pada permukaan patahan, *cleavage* dan penjalaran retak.



Gambar 3. Struktur makro menunjukkan *end crack* setelah penjalaran retak, *cleavage* dan daerah yang terdeposit.

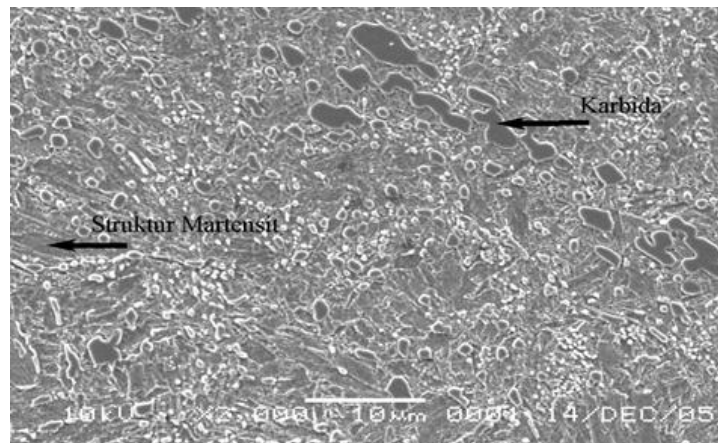
Pada saatnya daerah ini akan menjadi awal terjadinya crack (*initial crack*). Adanya unsur klor akan mempercepat terjadinya kerusakan poros *brine injection pump*. Penjalaran retak selanjutnya akan mengikuti pola interkristalin yaitu mengikuti pola pembentukan karbida atau daerah yang kekurangan Cr. Akibat beban dinamis

pada poros yang berstruktur martensit akan menyebabkan pola patahan poros *brine injection pump* menjadi transkristalin. Sehingga pola patahan poros menjadi dominan patahan transkristalin walaupun dimulai dengan interkristalin.

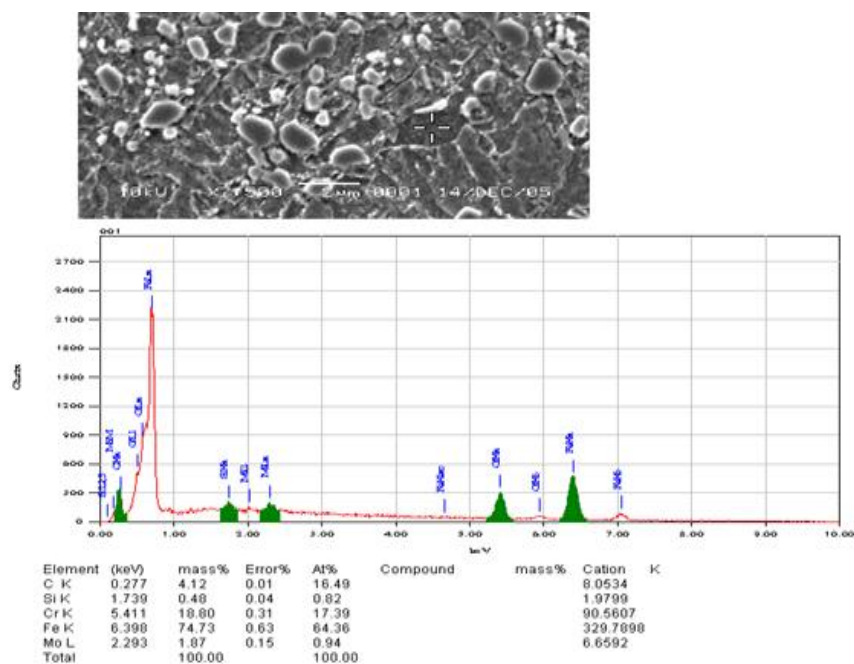
Analisis hasil uji EDS poros *brine injection pump*, uji EDS dilakukan untuk

mengetahui komposisi pada masing-masing fasa yang terdapat dalam baja SS 420. Hasil uji EDS terlihat pada Gambar 7 dan 8. Uji EDS dilakukan di dua daerah yaitu di daerah martensit dan karbida. Hasil uji EDS di daerah karbida (Gambar 8) menunjukkan kadar unsur utamanya adalah Fe dengan kandungan 78,60%, *chromium* sebesar 15,60%, *carbon* 3,34%, Mo 1,84%, dan Si sebesar 0,64%. Pada daerah yang berstruktur martensit (Gambar 7) menunjukkan Fe sebagai unsur utama sebesar 81,02%, *chromium* 14,75%, *carbon* 3,15%, Si 0,54% dan S sebesar

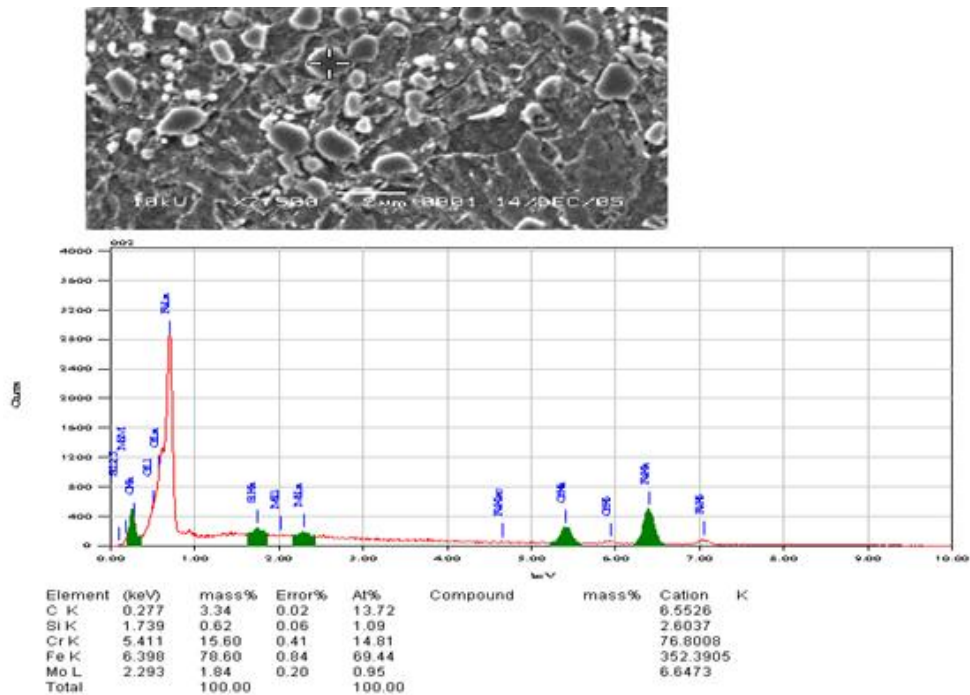
0,53%. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan komposisi di dua fasa. Kadar Cr terlihat lebih rendah di daerah martensit, dengan demikian *initial crack* akan dimulai pada daerah yang kekurangan Cr yaitu di daerah martensit (Budinski, 1989).



Gambar 6. Hasil uji struktur mikro poros *brine injection pump* menggunakan SEM



Gambar 7. Hasil uji EDS pada daerah martensit



Gambar 8. Hasil uji EDS pada daerah karbida

## KESIMPULAN

Patahnya poros *brine injection pump* disebabkan adanya sensitisasi yang terjadi pada poros yang terbuat dari SS 420. *Initial crack* terjadi pada daerah yang kekurangan Cr, penjalaran retak awal berpola interkristalin, sedangkan pada tahapan selanjutnya penjalaran retak berpola transkristalin yang dipercepat oleh adanya beban dinamis.

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada PT Geodipa Energi Unit Dieng yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alok Nayar, 2002, The Metal Data Book, Mc Graw-Hill Int, New Delhi  
 ASM Handbook, 1992, Metallography and Microstructures, Volume 9, United States of America  
 ASM Metal Handbook, 2002, Failure Analysis and Prevention, Volume 11, United States of America

Avner.S.H., 1987, Introduction to Physical Metallurgy, Mc Graw-Hill Int, ed II., London

Budinski, K.G., 1989, Engineering Materials properties and selection, ed III, United States of America

Colangelo dan Heiser, 1989, Analysis of Metallurgical Failures, ed II, Jhon Wiley and Sons

Smallman, R.E., dan Bishop, R.J., 1985, Metalurgi fisik moderen dan Rekayasa Material, ed IV, terjemahan oleh : Sriati Djaprie, PT Gramedia, Jakarta

Spot, M.H., 1978, Design Of Machine Element, 5<sup>th</sup> Prentice Hall, Inc, EngleWood Cliffs, New Jersey

Tata Surdia dan Saito., 1995, Pengetahuan Bahan Teknik, PT PrandyaParamita, Jakarta

Van Vlack, 1983, Ilmu dan Teknologi Bahan, ed IV, terjemahan oleh : Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta

## MICROCONTROLLER SEBAGAI PENGENDALI WAKTU PENYIRAMAN PADA TANAMAN BUAH-BUAHAN SISTEM TABULAPOT

Tri Watiningsih<sup>1</sup>, Yohana Nursuwening<sup>2</sup>, Reni Sulistiyowati AM<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Masuk: 6 Mei 2014, revisi masuk : 15 Juni 2014, diterima: 19 Juli 2014

### ABSTRACT

Availability of land plants is the reason why they do not want to plant crops, especially fruits such as guava, kedondong and others, as academics eager to implement and introduce tabulapot plants that need hygienic fruits can be realized. Along with the question, it is necessary for the introduction of increased community participation in meeting the needs of their own fruits the land more hygienic through Research Lecturer Restoration "555 timer IC with Timer part of Viewer In tabulapot plants" and utilize the former cans or buckets of used as media cropping so as to implement the principles of the 3Rs. Technology is one of the breakthroughs that more and more developed by the designers of automated tools as a replacement for the operation of a manual system to an automated system, all work will work automatically with an error rate that can be as small as possible. Besides, the technology is expected to replace automated tool as an object or function of the human actors on each machine. Housing average land trying to take advantage of the narrow yard of his home for growing useful plants, including plants tabulapot, to overcome the problem of narrow land and water provision, which the working principle of a tub of water pumped into the potted plants automatically using a 555 timer IC , with automatic watering tabulapot expected to overcome the above problems from manual to automatic watering.

**Keywords:** *pool, tabulapot, waterpumps, mikrokontroller, Sevensegmen*

### INTISARI

Ketersediaan lahan tanaman menjadi alasan kenapa mereka tidak mau menanam tanaman terutama buah-buahan seperti jambu, kedondong dan lain-lain, sebagai akademisi berkeinginan untuk menerapkan dan mengenalkan tanaman Tabulapot sehingga kebutuhan akan buah-buahan yang higienis dapat terwujud. Sejalan dengan dimaksud, maka perlu peningkatan partisipasi masyarakat untuk pengenalan dalam pemenuhan kebutuhan akan buah-buahan dilahan sendiri yang lebih higienis dan memanfaatkan bekas kaleng atau ember bekas sebagai media tanamnya sehingga dapat menerapkan prinsip 3R dalam menangani sampah dikehidupan keseharian di lingkup terkecil. Reduce :Meminimalisasi barang/ material yang digunakan. Reuse:Hindari pemakaian barang sekali pakai , Recycle : Sebisa mungkin, mendaur ulang barang yang tidak berguna lagi dan beralih fungsi menjadi barang lain. Teknologi adalah salah satu terobosan yang semakin banyak dikembangkan oleh para perancang alat otomatis sebagai pengganti bekerjanya sistem manual ke sistem otomatis, semua pekerjaan akan bekerja secara otomatis dengan tingkat kesalahan yang dapat ditekan sekecil mungkin. Disamping itu teknologi alat otomatis diharapkan dapat menggantikan fungsi manusia sebagai obyek atau pelaku pada setiap mesin. Diperumahan rata-rata memanfaatkan lahan yang sempit dihalaman untuk ditanami tumbuhan yang bermanfaat, diantaranya tanaman Tabulapot, untuk mengatasi masalah lahan yang sempit dan pemberian air, yang pada prinsip kerja dari air bak dipompa ke pot tanaman secara otomatis dengan menggunakan microcontroller, dengan adanya penyiram tanaman tabulapot otomatis diharapkan mampu mengatasi masalah diatas dari penyiraman manual menjadi otomatis.

**Kata kunci :** Kolam, Tabulapot, Pompa air, Mikrokontroller, Sevensegmen,

---

<sup>1</sup>[tri\\_cadipa@yahoo.com](mailto:tri_cadipa@yahoo.com),

<sup>2</sup>[Yohana\\_kober@yahoo.com](mailto:Yohana_kober@yahoo.com).

## PENDAHULUAN

Tanaman buah dalam pot biasa disebut tabulapot. Tabulapot membutuhkan tempat yang tidak terlalu besar dan juga hanya sedikit berbeda cara perawatannya dengan tanaman buah yang ditanam di tanah pada umumnya.

Tabulapot selain dapat digunakan untuk menghasilkan keuntungan juga dapat digunakan sebagai *hiasan rumah*. Karena ukuran tabulapot biasanya tidak melebihi ukuran rumah maka dapat ditaruh di depan atau halaman rumah yang kecil sekalipun. Istilah Tabulapot dikenal beberapa tahun terakhir. Tabulapot sebenarnya merupakan akronim atas sederet kata "Tanaman Buah di Dalam Pot". Salah satu buah yang paling sering ditanam dengan medium tabulapot adalah mangga *cultivationwerespotted* atau budi daya tanaman dengan media tanah.

Teknik NFT (*Nutrient Film Technique*), merupakan salah satu teknik yang paling berhasil dan banyak digunakan karena memiliki efisiensi tinggi pada saat digunakan pada penanaman, budidaya Tabulapot. Selain itu lahan tanam untuk teknik NFT tidak mudah rusak, mudah dibersihkan (terbuat dari plastik PVC) dan dapat dikonfigurasi sebagai sistem penyiraman yang tidak memungut kembali kelebihan aliran larutan hara (*drain to wash*) maupun sistem penyiraman yang mensirkulasikan kembali kelebihan larutan hara (*aquaponic*). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, kondisi ini lebih banyak disebabkan spesifikasi teknik talang PVC khusus untuk NFT tidak dipublikasikan secara luas dan tidak dijual secara bebas. (Paulus., 2003). Selain itu, hal penting yang mempengaruhi hasil teknik ini adalah penggunaan *timer standar* (sebagai pengatur metode penyiraman otomatis), sehingga proses penyiraman tanaman tidak dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman itu sendiri (terjadi pemborosan air dan nutrisi).

Sistem penyiraman tanaman secara otomatis pada dasarnya merupakan salah satu bentuk aplikasi rangkaian elektroniks ke dalam sistem penyiraman tanaman untuk lahan terbuka maupun tertutup dan tidak ditentukan berdasar

jenis tanaman yang dibudidayakan. Sistem ini menerapkan pengamatan secara terus menerus (24 jam per hari) terhadap status kelembaban media tanam yang dipakai. Adapun data perubahan kelembaban media tanam akibat proses fotosintesis tanaman dan penguapan dikonversi ke bentuk sinyal listrik menggunakan sensor kelembaban yang digunakan juga sebagai data eksekusi pengaturan pompa sirkulasi penyiraman. Sebagai bentuk uji coba sistem secara lengkap, desain alat digunakan bersama teknik Tabulapot NFT yang telah dimodifikasi dan disesuaikan sehingga kemampuan dan efisiensi teknik tersebut dapat ditingkatkan secara signifikan.

Sistem ini menerapkan pengamatan secara terus menerus (24 jam per hari) terhadap status kelembaban media tanam yang dipakai. Data perubahan kelembaban media tanam akibat proses fotosintesis tanaman dan penguapan yang telah dikonversi ke bentuk sinyal digunakan sebagai data eksekusi pengaturan pompa sirkulasi penyiraman. Sebagai bentuk uji coba sistem secara lengkap, desain alat menjalani reset yang telah dimodifikasi dan disesuaikan agar kemampuan dan efisiensi teknik tersebut dapat ditingkatkan secara signifikan.



Gambar 1. Bentuk motor DC (*Innovative Electronics*)

## METODE

*Pulsa with modulation (PWM)*, dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor dan untuk menghindarkan rangkaian mengkonsumsi daya berlebih. PWM dapat mengatur kecepatan motor karena tegangan yang diberikan dalam selang waktu tertentu saja. PWM ini dapat dibangkitkan melalui *software*.



Lebar pulsa PWM dinyatakan dalam Duty Cycle. Misalnya duty cycle 10 %, berarti lebar pulsa adalah 1/10 bagian dari satu periode penuh (Gouzali, 2003).

Berikut adalah rumusan frekuensi sinyal keluaran pin *output compare* OC1A/OC1B dengan menggunakan timer/counter1 :

Mode Phase Correct PWM

$$f_{OC1A\_PCP} = \frac{f_{OSC}}{2 * N * (1 + TOP)} \dots\dots\dots(1)$$

$$f_{OC1B\_PCP} = \frac{f_{OSC}}{2 * N * (1 + TOP)} \dots\dots\dots(2)$$

$$D = \frac{OCR1A + OCR1B}{TOP} * 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:  $f_{OC1A\_PCP}$  = frekuensi output OC1A mode PCP  
 $f_{OC1B\_PCP}$  = frekuensi output OC1B mode PCP  
 $f_{OSC}$  = frekuensi kristal/ osilator  
 $D$  = *duty cycle*  
 $N$  = skala clock (Tabel 2.1)  
 $TOP$  = nilai maksimum counter (TCNT1)

Mode CTC

$$f_{OC1A\_CTC} = \frac{f_{OSC}}{2 * N * (1 + OCR1A)} \dots\dots\dots(4)$$

$$f_{OC1B\_CTC} = \frac{f_{OSC}}{2 * N * (1 + OCR1B)} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:  $f_{OC1A\_CTC}$  = frekuensi output OC1A mode CTC  
 $f_{OC1B\_CTC}$  = frekuensi output OC1B mode CTC  
 $f_{OSC}$  = frekuensi Kristal/ osilator  
 $N$  = skala clock (Tabel 2.1)  
 $OCR1A$  = isi register OCR1A  
 $OCR1B$  = isi register OCR1B

Mode Fast PWM

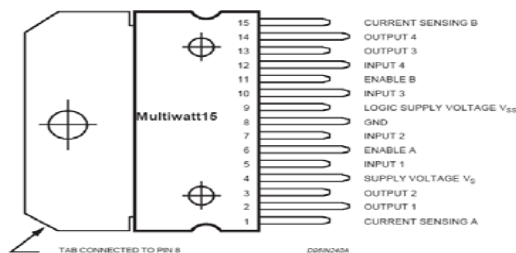
$$f_{OC1A\_FastPWM} = \frac{f_{OSC}}{N * (1 + TOP)} \dots\dots\dots(6)$$

$$f_{OC1B\_FastPWM} = \frac{f_{OSC}}{N * (1 + TOP)} \dots\dots\dots(7)$$

Kete Keterangan:  $f_{OC1A\_PCP}$  = frekuensi output OC1A mode PCP  
 $f_{OC1B\_PCP}$  = frekuensi output OC1B mode PCP  
 $f_{OSC}$  = frekuensi kristal/ osilator  
 $D$  = *duty cycle*  
 $N$  = skala clock (Tabel 2.1)  
 $TOP$  = nilai maksimum counter (TCNT1)

IC L298 sudah mencukupi digunakan sebagai rangkain *driver*. Cukup

dihubungkan ke mikrokontroler dan diberi tegangan sebesar 7 volt dengan arus minimal 2 ampere rangkaian *driver* berbasis L298 sudah dapat digunakan. Selain itu, *supply* IC L298 dapat diberi tegangan sampai 50 Volt (Data Sheet L298).



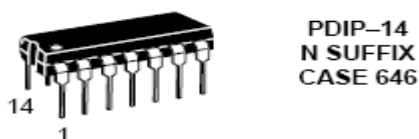
Gambar 2. Konfigurasi pin IC L298 (Data sheet L298)

Untuk menjalankan motor, pin *enable* A dan *enable* B pada IC L298 harus diberi logika 1. Current sensing A dan current sensing B dihubungkan ke *ground*. Input 1 dan input 2 masing-masing berlogika 1 dan 0, output 1 dan output 2 dihubungkan ke motor.

Led Super Bright Merah dan Photo Dioda, Led super bright merah dan photo dioda dapat digunakan sebagai sensor halangan. Photo dioda bekerja jika mendapat cahaya. Prinsip kerjanya yaitu led super bright memancarkan cahaya ke photo dioda sehingga photo dioda menjadi aktif. Jika mendeteksi adanya halangan, maka photo dioda akan berlogika low dan jika tidak ada halangan maka photo dioda akan berlogika high. Logika high dan low inilah yang harus dibaca mikrokontroler untuk mengambil keputusan. Disamping itu, digunakan rangkaian op-amp IC LM 324 sebagai penguat keluaran photo dioda.

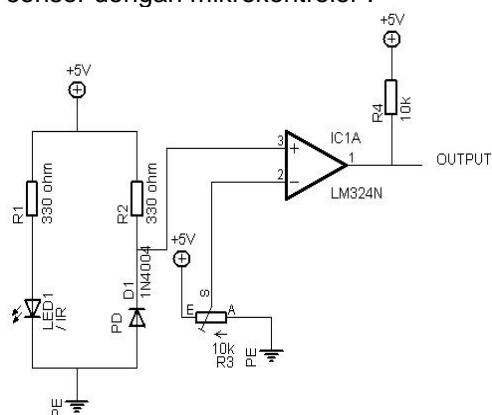
Rangkaian Sensor dan Komparator , komparator berfungsi untuk membandingkan *input* yang diterima dari sensor dengan tegangan *referensi*. Jika *input* dari sensor lebih besar dari input tegangan *referensi*, maka *output* akan berlogika *high*. Sebaliknya, jika tegangan *referensi* lebih besar dari *input* sensor, maka *output* akan berlogika *low*. Komparator *konvensional* umumnya dapat menggunakan IC LM 324 atau LM 339 yang merupakan sebuah penguat opera-

sional *op-amp* (Ibrahim., KF, 1996). Perbedaan *input* positif dan *input* negatif menyebabkan keluaran pada pin *output*. Perbedaan ini diatur menggunakan potensiometer dimana pada penerapan pada robot dipasang sensor *Led super bright* dan *Photo dioda*.



Gambar 3. IC LM 324 (Data sheet LM324)

Sensor *analog* dalam aplikasi selalu berhadapan dengan berbagai macam gangguan. Selain itu sensor memiliki impedansi dan jangkauan tegangan *output* yang tidak selalu kompatibel dengan perangkat data yang digunakan. Sensor garis yang *output*-nya *analog* perlu dikuatkan agar jangkauannya maksimal. Untuk itu diperlukan perlakuan penyesuaian sinyal antara sensor dengan mikrokontroler.



Gambar 4. Rangkaian sensor garis menggunakan IC LM 324

Bahasa Pemrograman ATmega 8535, pemrograman mikrokontroler ATmega8535 dapat menggunakan *low level language (assembly)* dan *high level language (C, Basic, Pascal, JAVA, dll)* tergantung *compiler* yang digunakan. Bahasa *Assembler* mikrokontroler AVR memiliki kesamaan instruksi, sehingga jika pemrograman satu jenis mikrokontroler AVR sudah dikuasai, maka akan dengan mudah menguasai

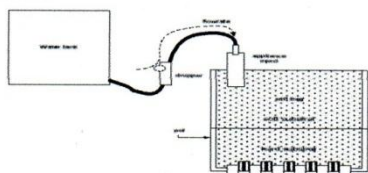
pemrograman keseluruhan mikrokontroler jenis mikrokontroler AVR. Namun bahasa *assembler* relatif lebih sulit dipelajari dari pada bahasa C.

Untuk pembuatan suatu proyek yang besar akan memakan waktu yang lama serta penulisan programnya akan panjang. Sedangkan bahasa C memiliki keunggulan dibanding bahasa *assembler* yaitu *independent* terhadap *hardware* serta lebih mudah untuk menangani *project* yang besar. Bahasa C memiliki keuntungan-keuntungan yang dimiliki bahasa *assembler* (bahasa mesin), hampir semua operasi yang dapat dilakukan oleh bahasa mesin, dapat dilakukan dengan bahasa C dengan penyusunan program yang lebih sederhana dan mudah. Bahasa C terletak diantara bahasa pemrograman tingkat tinggi dan *assembly* (Bejo,2007).

Hal-hal yang merugikan dalam bercocok tanam seperti kekeringan media tanam, terhambatnya proses pertumbuhan tanaman karena pupuk tidak merata, pemborosan pupuk dan air, serta pemakaian listrik yang berlebihan akibat pompa sirkulasi yang hidup terus-menerus ditiadakan. Tabulapot sendiri terdiri dari beberapa teknik yang mana setiap teknik memiliki keunggulan masing-masing, adapun teknik Tabulapot itu diantaranya adalah : Tabulapot substrat dan tabulapot NFT.

Teknik substrat merupakan teknik dasar sistem bercocoktanam secara tabulapot. Teknik ini tidak menggunakan air sebagai media, tetapi menggunakan media padat selain tanah (batu apung, pasir, serbuk gergaji atau gambut) untuk menyerap, menyediakan nutrisi air dan oksigen, serta untuk mendukung akar tanaman (sumber : Jean Baussingault, Budidaya Tanaman Dengan Pasir Dan Arang, Perancis). Hal penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan sistem ini adalah :a) Ukuran partikel dan jenis substrat harus disesuaikan dengan jenis tanaman yang akan dibudidayakan. b) Sterilisasi substrat yang akan digunakan. c) Sistem irigasi yang mendukung *substrat (ebb and flow* atau *dropper*) dan harus memiliki saluran *drainase* yang baik.

Teknik tabulapot substrat juga dapat digunakan untuk penyemaian tahap 2 (dari kecambah sepanjang 2 cm sampai ke tunas sepanjang 5cm). Perhatikan Gambar 5. Sumber : Imai, Non Circulating Hidroponic System, Tainan, TAIWAN AVRDC, 1986.



Gambar 5. Teknik Tabulapot Substrat

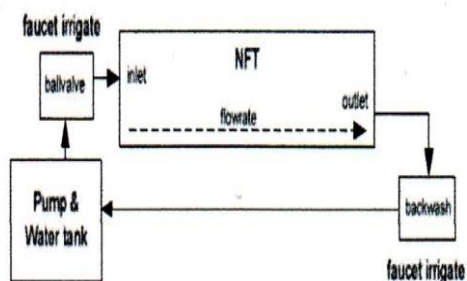
Dalam pengujian ini disebutkan keuntungan yang didapat dalam penggunaan teknik ini meliputi: satu, Ideal digunakan untuk lahan tidak rata tanaman dapat memperoleh air sesuai kebutuhan. Dua, Daun tanaman tidak basah sehingga mengurangi serangan cendawan. Tiga, Biaya operasional dan pemeliharaan relatif rendah karena otomatisasi penuh. Empat, pengelolaan lahan atau tanaman dapat terus berlangsung, karena sistem irigasi yang digunakan terfokus pada setiap tanaman. Lima, distribusi nutrisi dan air berlangsung disekitar zona tanaman, sehingga penggunaannya sangat efisien. Enam, Tidak terjadi kehilangan air akibat aliran permukaan maupun pengaruh angin.

Teknik NFT (*Nutrient Film Technique*), merupakan budidaya tanaman secara tabulapot yang meletakkan akar tanaman pada lapisan air yang dangkal, tersirkulasi (*drain to wash* atau *aquaponic*) dan mengandung nutrisi sesuai kebutuhan tanaman. Dengan demikian akar tanaman dapat berkembang dalam larutan nutrisi tersebut. Mengingat bahwa kelebihan air dan nutrisi dalam talang NFT dapat mengurangi jumlah oksigen diseliling akar tanaman, maka lapisan nutrisi dalam sistem NFT ditentukan maksimal setinggi 3-4 mm .

Hal penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan sistem ini adalah : a). Kemiringan talang NFT disemua lajur tanam harus seragam (sumber acuan : 1-50). b) Kecepatan aliran air dan nutrisi yang masuk melalui saluran *inlet* tidak

boleh terlalu cepat karena harus disesuaikan dengan kemiringan talang (sumber acuan : *emitter* dalam *faucet irrigate* dapat diganti dengan kran tipe *ballvalve* untuk *inlet* dan kran tipe *backwash* untuk *outlet*). c) Styrofoam tempat tanaman cukup tebal dan harus mudah dibersihkan.

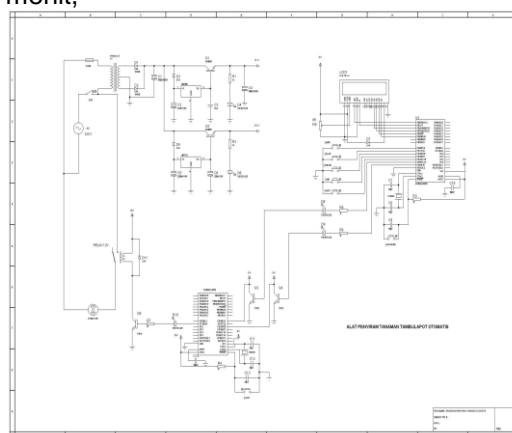
Adapun gambar teknik tabulapot dengan menggunakan NFT dan Aquaponik seperti Gambar 6 oleh: Pinus Lingga, Desain Hidroponik NFT, Penerbit Swadaya, Jakarta, 2003.



Gambar 6. Teknik Tabulapot NFT Dan Aquaponik

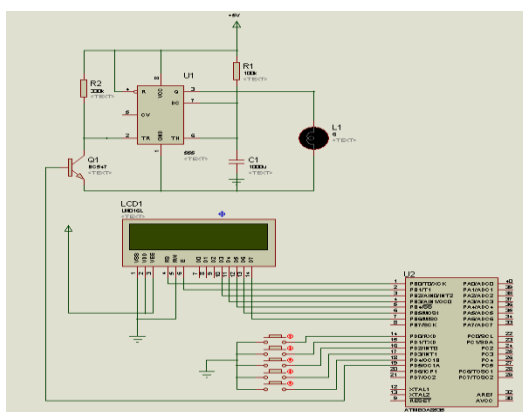
## PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, program yang digunakan adalah program yang dibuat dengan program aplikasi preteus dengan menggunakan bahasa pemrograman C. Bahasa C merupakan bahasa yang mendukung mikrokontroler. Setting Waktu Pada tabulapot selama 2 menit,



Gambar 7. Skema Rangkaian Mikrokontroler ATmega 8535

Dalam Skema rangkaian mikrokontroler ATmega8535 terdiri dari: Pertama, rangkaian Minimum System, dimana pada rangkaian ini berfungsi untuk membangkitkan tegangan dan menjalankan sebuah IC mikrokontroler. Kedua, mikrokontroler ATmega8535, dimana mikrokontroler ini berfungsi sebagai pengendali Tabulapot. Keempat, output (Tabulapot), dimana pada bagian output ini sebagai indikator hasil dari program yang telah di input ke mikrokontroler ATmega8535.



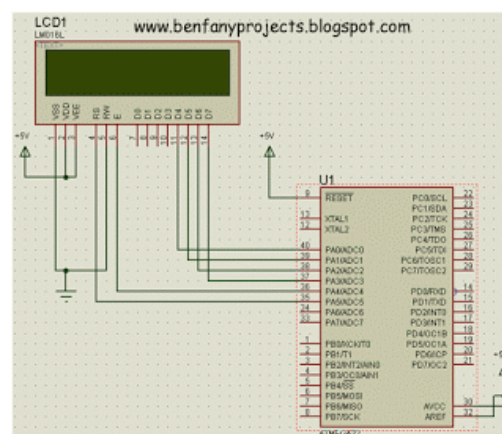
Gambar 8. Skema Rangkaian Sistem Tabulapot

Minimum sistem ATMEL 8535 merupakan rangkaian mikrokontroler dalam konfigurasi paling sederhana. Sistem ini hanya memerlukan osilator eksternal yang disusun menggunakan Kristal 11,059Mhz, kapasitor C2 dan C3. Sedangkan untuk rangkaian reset hanya memerlukan saklar mikro S2, kondensator C1 dan resistor R1. Dalam perancangan alat digunakan untuk mengendalikan 1 buah pompa dan 1 *display* LCD berdasarkan data masukan dari 3 buah sensor kelembaban dan 1 sensor di *water tank*.

Kondensator C5 digunakan untuk pemfilteran tegangan catuan yang masuk ke pin 40 (Vcc) dan pin 31 (EA). Sedangkan variabel resistor R4 digunakan untuk pengaturan level kontras tampilan LCD. Display LCD, alat menggunakan LCD TM162ABC tipe 2 x 16 baris sebagai tampilan utamanya. Konfigurasi yang diperlukan dalam pengaturan LCD tersebut terdiri dari 8 jalur data (DB0-B-71DB7), 1 jalur RS (*register*

*select*), 1 jalur R/W (*read/write*), dan 1 jalur E (*enable*). Dengan demikian diperlukan 11 saluran untuk berhubungan dengan mikrokontroler. Perhatikan konfigurasi pemasangan LCD TM162 ABC, dengan mikrokontroler.

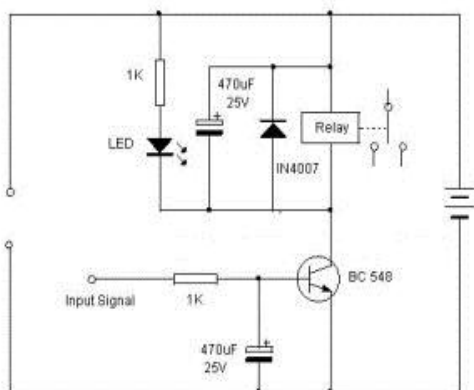
Sensor kelembaban dan sensor *water tank* digunakan sebagai rangkaian penghasil pulsakendali untuk port P2.0, P2.1, P2.2 dan P2.3. Karena secara prinsip keempat rangkaian identik, maka pembahasan langkah kerja sensor cukup satu bagian saja. Pada saat *probe* sensor mendeteksi keberadaan air di media tanam dan *watertank*, kondisi ini akan mengakibatkan probe sensor terhubung singkat secara listrik (memanfaatkan sifat menghantarair), sehingga pin 2 U4 akan mendapat tegangan +. Perubahan status tegangan ini akan dibaca oleh rangkaian komparator U4 sebagai bentuk trigger di pin 2 (kaki *inverting*) dan dibandingkan dengan tegangan Vref di pin 3 (kaki non *inverting*). Dengan menggunakan data tabel hasil pengujian freerunning LM741 dibawah, maka tegangan disalurkan keluaran U4 dapat digunakan untuk mengendalikan transistor Q1 dan Q2.



Gambar 9. Rangkaian Koneksi Display LCD

Hal penting yang harus diperhatikan dalam rangkaian ini adalah variabel resistor R1 yang berfungsi sebagai pengatur kepekaan sensor dan nilai resistor R5 yang berfungsi sebagai resistor basis Rangkaian *driver relay* menggunakan U3 ULN2003 sebagai komponen intinya. Komponen ini merupakan

penggabungan 7 buah transistor dalam satu substrat dan dilengkapi dengan 2 buah diode pengamanan untuk setiap transistor internalnya (proteksi CE dan C ke Com/Vdd). Dengan demikiansaluran keluaran IC ini dapat ditambahi beban yang bersifat induktif maupun resistif secara langsung. Dalam perancangan alat, U3 digunakan untuk mengendalikan relay 1 sampai dengan relay 4 berdasar tegangan kontrol keluaran port P3.1, P3.2, P3.3 dan P3.4.

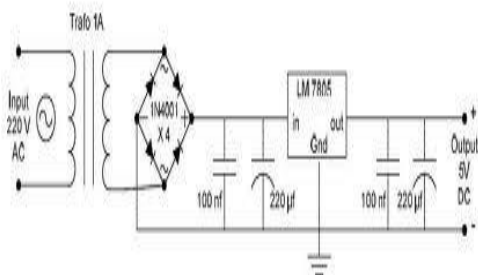


Gambar 10. Rangkaian *Driver Relay*

Pada saat port kontrol berstatus clear (logika low), tegangan VOL sebesar 0,45v dengan arus IOL sebesar 1,6mA disalurkan tersebut tidak akan mencukupi untuk mengendalikan basis transistor *internal* U4. Kondisi ini akan menyebabkan transistor kehilangan tegangan acuan basis dan beradadalam kondisi cutoff. Dengan demikian tegangan tembus kumparan relay yang terdapat disalurkan keluaran U4 akan tetap berada dalam level tinggi atau sesuai Vcc, sehingga relay terkontrol diposisitersebut berada dalam keadaan mati (status saklar NC=*Normaly Close*). Berdasarkan proses ini, pompa tidak akan mendapatkan hubungan ke saluran tegangan 220VAC (pompa mati) Pada saat port kontrol berstatus set (logika *high*), tegangan VOH sebesar 2,4V akan disalurkan ke basis transistor *internal* U4 melalui R12. Dengan tegangan tersebut yg mengakibatkan transistor internal berada dalam keadaan saturasi, sehingga tegangan tembus *relay* yang terdapat disalurkan keluaran U4 disalurkan sepenuhnya ke saluran Vss.

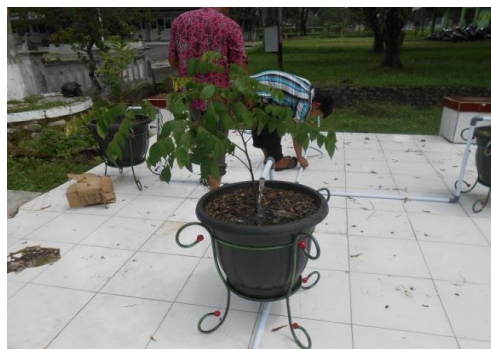
Kondisi ini mengakibatkan relay terkontrol berada dalam keadaan hidup (status saklar :NO=*Normaly Open*).

Berdasarkan proses ini, pompa akan mendapatkan hubungan ke saluran tegangan 220VAC (pompa hidup). Catu daya, tegangan AC keluaran *transformator* T1 disearahkan menggunakan D1 dan D2 untuk menghasilkan tegangan DC disaluran keluaran penyearah. Untuk proses pemfilteran tegangan DC keluaran penyearah dilakukan dengan memasang kondensator C7. Tegangan DC yang sedang dihaluskan ini digunakan sebagai sumber catuan 12 Vdc dan sumber tegangan masukan regulator 7805. Adapun kondensator C6 yang terpasang disaluran keluaran U2, berfungsi sebagai *filter* tegangan DC 5V.



Gambar 11. Rangkaian Catu daya

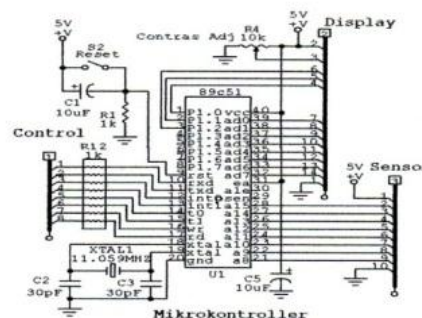
*Transformator* yang digunakan dalam pembuatan catu daya alat merupakan transformator tanpa tap tengah dengan tegangan keluaran 12Vac. Nilai ini disebut sebagai VM yang merupakan tegangan pada lilitan sekunder, oleh sebab itu tegangan *reverse* pada dioda yang tidak konduksi (tidak menghantar) adalah 2VM.



Gambar 12. Irigasi penyiraman Tabulapot

Dalam penelitian ini pembuatan tabulapot dan instalasi irigasi dengan penggunaan pipa paralon seperti pada Gambar 12.

Dari hasil penelitian yang dilakukan dihasilkan tanaman tabulapot yang diberi timer penyiraman secara otomatis lebih efektif terutama bagi masyarakat yang sibuk dan tidak ada waktu untuk bercocok tanam, teknologi microcontroller pada budidaya buah-buahan sistem tabulapot sangat cocok terutama untuk daerah perumahan yang lahannya sangat sempit tetapi menginginkan menanam buah-buahan untuk kepentingan sendiri, selain itu menambah asri disekitar halaman rumah dan terciptalah *go green*. Pembahasan ini berisi perancangan-perancangan, baik perancangan software maupun hardware. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*).

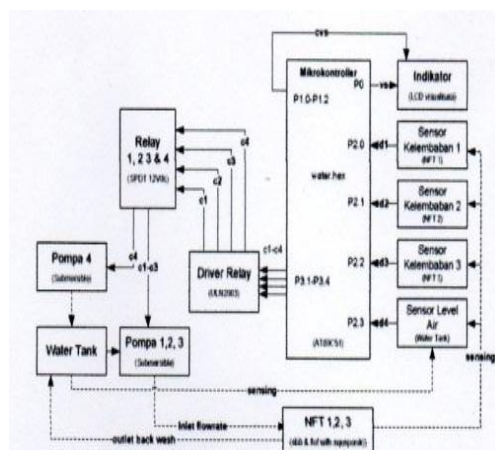


Gambar 14. Rangkaian Sistem Minimum ATME8535

Kondensator C5 digunakan untuk pemfilteran tegangan catuan yang masuk ke pin 40 (Vcc) dan pin 31 (EA). Sedangkan variabel resistor R4 digunakan untuk pengaturan level kontras tampilan LCD. Display LCD, alat menggunakan LCD TM162ABC tipe 2 x 16 baris sebagai tampilan utamanya. Konfigurasi yang diperlukan dalam pengaturan LCD tersebut terdiri dari 8 jalur data (DB0-DB7), 1 jalur RS (*register select*), 1 jalur R/W (*read/write*), dan 1 jalur E (*enable*).

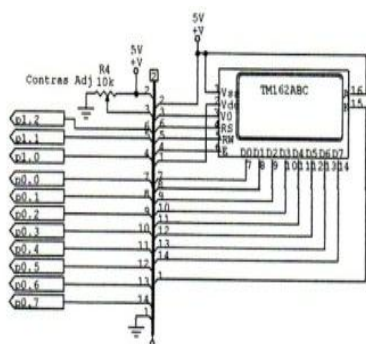
Dengan demikian diperlukan 11 saluran untuk berhubungan dengan mikrokontroller. Perhatikan konfigurasi pemasangan LCD TM162ABC, dengan mikrokontroller. Lihat Gambar 3 Sensor kelembaban dan sensor *water tank* digunakan sebagai rangkaian penghasil pulsa kendali untuk port P2.0, P2.1, P2.2 dan P2.3. Karena secara prinsip keempat rangkaian identik, maka pembahasan langkah kerja sensor cukup satu bagian saja.

Pada saat *probe* sensor mendeteksi keberadaan air di media tanam dan *watertank*, kondisi ini akan mengakibatkan probe sensor terhubung singkat secara listrik (memanfaatkan sifat menghantar air), sehingga pin 2 U4 akan mendapat tegangan +. Perubahan status tegangan ini akan dibaca oleh rangkaian komparator U4 sebagai bentuk trigger di pin 2 (kaki *inverting*) dan dibandingkan dengan tegangan  $V_{ref}$  di pin 3 (kaki non *inverting*). Dengan menggunakan data tabel hasil pengujian free running LM741 dibawah, maka tegangan disalurkan keluaran U4 dapat digunakan untuk mengendalikan transistor Q1 dan Q2.

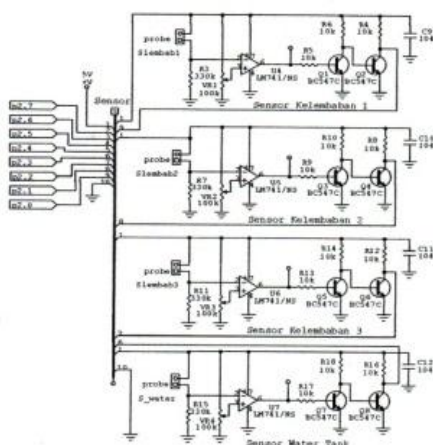


Gambar 13. Blok Diagram *Automatic Watering Plant*

Minimum sistem ATME8535 merupakan rangkaian mikrokontroller dalam konfigurasi paling sederhana. Sistem ini hanya memerlukan osilator eksternal yang disusun menggunakan kristal 11,059Mhz, kapasitor C2 dan C3. Sedangkan untuk rangkaian reset hanya memerlukan saklar mikro S2, kondensator C1 dan resistor R1. Dalam perancangan alat, sistem ini digunakan untuk mengendalikan 1 buah pompa dan 1 *display* LCD berdasarkan data masukan dari 1 buah sensor kelembaban dan 1 sensor di *water tank*.

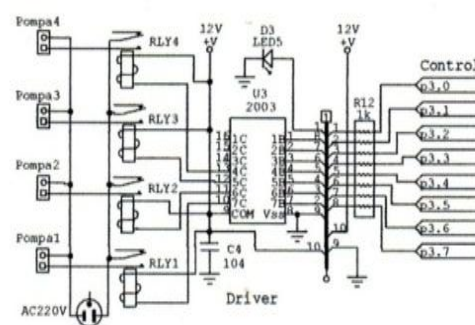


Gambar 15. Rangkaian Koneksi *Display* LCD



Gambar 16. Rangkaian Sensor Kelembaban Dan *Sensor Water Tank*

Hal penting yang harus diperhatikan dalam rangkaian ini adalah variabel resistor R1 yang berfungsi sebagai pengatur kepekaan sensor dan nilai resistor R5 yang berfungsi sebagai resistor basis Rangkaian *driver relay* menggunakan U3 sebagai komponen intinya. Komponen ini merupakan penggabungan 7 buah transistor dalam satu substrat dan dilengkapi dengan 2 buah diode pengaman untuk setiap transistor internalnya (proteksi CE dan C ke Com/Vdd). Dengan demikian saluran keluaran IC ini dapat ditambahi beban yang bersifat induktif maupun resistif secara langsung. Dalam perancangan alat, U3 digunakan untuk mengendalikan relay 1 sampai dengan relay 4 berdasar tegangan kontrol keluaran port P3.1, P3.2, P3.3 dan P3.4.



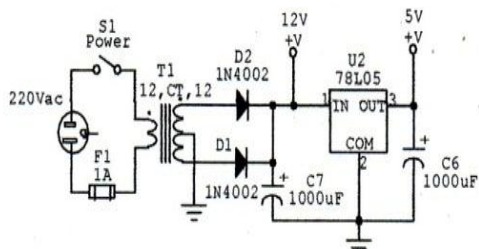
Gambar 17. Rangkaian *Driver Relay*

Pada saat port kontrol berstatus clear (logika low), tegangan VOL sebesar 0,45v dengan arus IOL sebesar 1,6mA disalurkan tersebut tidak akan mencukupi untuk mengendalikan basis transistor *internal* U4. Kondisi ini akan menyebabkan transistor kehilangan tegangan acuan basis dan berada dalam kondisi cutoff. Dengan demikian tegangan tembus kumparan relay yang terdapat disalurkan keluaran U4 akan tetap berada dalam level tinggi atau sesuai Vcc, sehingga relay terkontrol diposisi tersebut berada dalam keadaan mati (status saklar NC=*Normaly Close*). Berdasarkan proses ini, pompa tidak akan mendapatkan hubungan ke saluran tegangan 220VAC (pompa mati).

Pada saat port kontrol berstatus set (logika *high*), tegangan VOH sebesar 2,4V disalurkan tersebut akan disalurkan ke basis transistor *internal* U4 melalui R12. Tegangan tersebut akan mengakibatkan transistor internal berada dalam keadaan saturasi, sehingga tegangan tembus *relay* yang terdapat disalurkan keluaran U4 disalurkan sepenuhnya ke saluran Vss. Kondisi ini mengakibatkan relay terkontrol berada dalam keadaan hidup (status saklar NO=*Normaly Open*).

Berdasarkan proses ini, pompa akan mendapatkan hubungan ke saluran tegangan 220VAC (pompa hidup). Catu daya, tegangan AC keluaran *transformator* T1 disearahkan menggunakan D1 dan D2 untuk menghasilkan tegangan DC disalurkan keluaran penyearah. Untuk proses *filteran* tegangan DC keluaran penyearah dilakukan dengan memasang kondensator C7. Tegangan DC yang sudah dihaluskan ini digunakan

sebagai sumber catuan 12 Vdc dan sumber tegangan masukan regulator 7805. Adapun kondensator C6 yang terpasang disaluran keluaran U2, berfungsi sebagai *filter* tegangan DC 5V.



Gambar 18. Rangkaian Catudaya

*Transformator* yang digunakan dalam pembuatan catudaya alat merupakan transformator tanpa tap tengah dengan tegangan keluaran 12Vac. Nilai ini disebut sebagai VM yang merupakan tegangan pada lilitan sekunder, oleh sebab itu tegangan *reverse* pada dioda yang tidak konduksi (tidak menghantar) adalah 2VM.

Perangkat Lunak, penentuan program aplikasi dan *flowchart* sistem dapat ditentukan menggunakan prosedur inialisasi kebutuhan sistem yang telah dibuat dan dicantumkan dalam tabel 1 di bab II, dengan tetap memperhatikan status aktif saluran mikrokontroler.

## KESIMPULAN

Berdasar hasil pengujian dan analisis alat secara parsial maupun secara lengkap, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : Pertama, *Teknik Tabulapot NFT terbukti dapat digabung dengan teknik Ebb and Flow* sehingga dapat ditanami anak semai mulai umur 2 minggu keatas meskipun harus dilengkapi dengan teknik aquaponik untuk penyempurnaan sirkulasi penyiramannya.

Kedua, teknik hidroponik NFT model baru yang merupakan modifikasi penuh, terbukti dapat diintegrasikan kedalam sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler ATMEL8535

Ketiga, metode pengaturan penyiraman otomatis yang diatur berdasar kebutuhan tanaman, terbukti lebih efektif dan hemat (listrik maupun pupuk) dibandingkan metode penyiraman lainnya.

Keempat, berdasarkan desain rangkaian, alat dapat digunakan dalam sistem penyiraman otomatis nontabulapot (lahan terbuka) maupun tabulapot (lahan tertutup) yang memerlukan penggunaan pompa air standart.

Untuk mencapai kesempurnaan desain sisten penyiraman otomatis, langkah pengembangan alat dapat dilakukan pada : Keakuratan sensor kelembaban media tanam dapat ditingkatkan dengan mengganti jenis sensor yang telah digunakan dengan piranti khusus pengukur kelembaban (tensiometer).

Untuk membentuk sistem Tabulapot terpadu yang lebih lengkap, variable pemrograman sistem penyiraman otomatis dapat ditambah dengan sensor suhu air di water tank, sensor peka cahaya

## DAFTAR PUSTAKA

- Gouzali ,S, 2003, *Sistem Telekomunikasi di Indonesia*, Alfabeta, Bandung
- Ibrahim .K.F, 1996, *Teknik Digital*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Shoji, S, Suhana, 1991, *Buku Pagangan Teknik Telekomunikasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Paulus.A.N, 2003, *Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta
- Tiur L.H. Simanjuntak, 2002, *Dasar-dasar Telekomunikasi*, PT Alumni, Bandung.



## PENGUKURAN KESEIMBANGAN LINTASAN PRODUKSI KERAMIK DENGAN METODE HELGESON DAN BIRNIE DI PT.XYZ

Tuti Sarma Sinaga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Masuk: 3 Mei 2014, revisi masuk : 16 Juni 2014, diterima: 2 Juli 2014

### ABSTRACT

*This research addressed the issue of the PT. XYZ production line balancing which produces powder and ceramic. The completion time of the production line is important because there are differences in the capacity of the machines, especially on powder machine and press machines. This approach is done by using the Helgeson and Birnie method by considering the activities processing time on the production floor. This method increase Balance Delay of powder process at point 0.3333 and Balance Delay of ceramics process in Press A1 and A2 in the Press is 0.1968 and 0.2185. The level of powder process efficiency is 65.82%, while level of powder process efficiency is in Press A1 is 80.31%. The level of efficiency in the production of ceramics in Press A1 is 74.07%*

**Keywords:** line balancing, efficiency, Ranked Positional Weight, presendence diagram

### INTISARI

Penelitian ini mencoba menyelesaikan masalah keseimbangan lintasan produksi di PT. XYZ yang menghasilkan *powder* dan keramik. Penyelesaian keseimbangan lintasan produksi di perusahaan ini menjadi penting karena adanya perbedaan kapasitas mesin, khususnya pada mesin pembuat *powder* dan mesin *press*. Pendekatan dilakukan dengan menggunakan metode Helgeson and Birnie dengan mempertimbangkan waktu proses pada setiap aktifitas di lantai produksi. Metode ini ternyata dapat meningkatkan kesetimbangan lintas produksi dengan tingkat *Balance Delay* pada mesin *powder* sebesar 0,3333 dan *Balance Delay* pada produksi keramik di *Press A1* dan di *Press A2* ialah 0,1968 dan 0,2185. Tingkat efisiensi proses yang dicapai adalah pada produksi *powder* ialah 65,82% , sedangkan efisiensi di mesin *Press A1* ialah 80,31% . Tingkat efisiensi pada produksi keramik di mesin *Press A2* ialah 74,07% .

**Kata Kunci :** Kesetimbangan lintasan, efisiensi, pemboboan rangking posisi, diagram presenden

### PENDAHULUAN

Menurut Bedworth (1982) lintasan produksi adalah urutan proses pengerjaan yang dipecahkan ke dalam elemen-elemen kerja yang ditetapkan pada stasiun kerja yang disusun dalam sebuah rangkaian fleksibel sehingga dapat dilakukan dengan mudah. Proses penyeimbangan lintasan produksi pada serangkaian stasiun kerja (mesin dan peralatan) perlu dilakukan dalam proses pembuatan produk dengan tujuan membentuk dan menyeimbangkan beban kerja yang dialokasikan pada tiap-tiap stasiun kerja. Jika tidak dilakukan keseimbangan lintasan maka dapat mengakibatkan ketidakefisienan dan menu-

runkan tingkat fleksibilitas lantai produksi.

Saat ini PT.XYZ yang memproduksi keramik juga menghadapi masalah keseimbangan lintasan produksi dikarenakan adanya perbedaan antara kapasitas mesin dan peralatan produksi yang dipergunakan dalam pabrik terutama pada proses proses *powder* dan *press*.

Menurut Gaspersz (1998), fokus penyeimbangan lintasan adalah pada upaya meminimumkan waktu menganggur (*idle time*) dan menyeimbangkan waktu senggang (*balance delay*) sehingga permasalahan ini dicoba diselesaikan dengan metode *Ranked Positional Weight* (RPWM). Menurut Tam (1999) model ini dikembangkan oleh

Helgesson-Birnie pada tahun 1961. Dyah (2008) menjelaskan pula bahwa metode ini dianggap mampu memecahkan permasalahan pada keseimbangan lini dan menemukan solusi dengan cepat.

Tujuan penerapan line balancing dengan metode Helgesson-Birnie di perusahaan XYZ adalah : Satu, menilai waktu siklus produksi. Dua, menilai *balance delay* sehingga diketahui sudah atau tidak seimbang lintasan produksi. Tiga, menilai tingkat efisiensi untuk mengetahui waktu menganggur mesin pada lintasan produksi.

Sumanth (1985) menyatakan bahwa efisiensi adalah perbandingan dari hasil aktual yang diperoleh terhadap hasil standar yang diharapkan. Efisiensi menggambarkan baik tidaknya penggunaan sumber daya dalam mencapai tujuan. Tingkat efisiensi yang ideal sangat sulit dicapai maka dikenal istilah efisiensi relatif. Suatu unit dikatakan efisien relatif bila unit tersebut memiliki efisiensi lebih baik dari unit lainnya.

Menurut Breginski dkk (2011) efisiensi lintasan produksi dan minimasi biaya operasi dapat dilakukan dengan line balancing. Sritomo (1996) menjelaskan Prosedur *line balancing* bertujuan untuk meminimalkan harga *balance delay* dari lintasan untuk nilai waktu siklus yang ditetapkan. Jumlah ini diharapkan akan bisa pula meminimalkan jumlah stasiun kerja. Prosedur dasar yang dilakukan adalah dengan menambahkan elemen-elemen aktivitas dengan setiap stasiun kerja sampai jumlahnya mendekati sama, tetapi tidak melebihi harga waktu siklus.

Biasanya akan dijumpai hambatan-hambatan dari elemen-elemen aktivitas yang ditempatkan dalam suatu stasiun kerja. Untuk itu yang terpenting ialah tetap memperhatikan "*the precedence constraint*". *Precedence constraint* (atau dapat diistilahkan dengan ketentuan hubungan suatu aktivitas untuk mendahului aktivitas lain) bisa digambarkan dalam bentuk "*precedence diagram*", dimana secara sederhana diagram ini akan dapat dimanfaatkan sebagai prosedur dasar untuk mengelompokkan elemen-elemen aktivitas. Langkah-langkah yang diambil dalam

metode ini adalah sebagai berikut.:

Pertama, buat *precedence diagram* untuk setiap proses.

Kedua, tentukan bobot posisi untuk masing-masing elemen kerja yang berkaitan dengan waktu operasi untuk waktu pengerjaan yang terpanjang dari mulai operasi permulaan hingga sisa operasi sesudahnya.

Ketiga, membuat rangking tiap elemen pengerjaan berdasarkan bobot posisi di langkah b. Pengerjaan yang mempunyai bobot terbesar diletakkan pada rangking pertama. Keempat, tentukan waktu siklus (CT).

Kelima, pilih elemen operasi dengan bobot tertinggi, alokasikan ke suatu stasiun kerja. Jika masih layak (waktu stasiun < CT), alokasikan operasi dengan bobot tertinggi berikutnya, namun lokasi ini tidak boleh membuat waktu stasiun > CT.

Keenam, bila alokasi suatu elemen operasi membuat waktu stasiun > CT, maka sisa waktu ini (CT - ST) dipenuhi dengan alokasi elemen operasi dengan bobot paling besar dan penambahannya tidak membuat ST < CT.

Dan yang ketujuh, jika elemen operasi yang jika di alokasikan untuk membuat ST < CT sudah tidak ada kembali ke langkah e.

## METODE

Langkah-langkah pemecahan masalah line balancing dengan menggunakan metode Helgesson-Birnie di industri keramik ini adalah: Satu, melakukan survey pendahuluan dengan tujuan untuk mengenal kondisi lingkungan kerja perusahaan agar dapat dijadikan kerangka dasar pemikiran pada tahap selanjutnya. Data yang diambil antara lain adalah data elemen kerja, data waktu proses dan data hasil produksi. Dua, selanjutnya dilakukan perhitungan waktu siklus dengan menggunakan metode waktu baku. Tiga, menyusun diagram *precedence*. Empat, membuat matrik *precedence* untuk melihat hubungan antar elemen kerja Lima, penentuan ranking untuk setiap elemen kerja. Keenam, melakukan perhitungan *balance delay* dan efisiensi dengan

rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{n.Sm - \sum_{i=1}^n Si}{n.Sm} \dots\dots\dots(1)$$

dan

$$Eff = \frac{\sum_{i=1}^n Si}{n.C} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- D = *Balance Delay*
- Sm= Wkt paling maksimum dlm WC
- N = Jumlah stasiun kerja
- Si = Waktu masing-masing WC  
(*i=1,2,3,...,n*)
- C = waktu siklus

**PEMBAHASAN**

Perhitungan waktu siklus dapat dihitung dari data produksi ini jumlah *powder* dan keramik yang dihasilkan pershiftnya. Jumlah actual *powder* yang dihasilkan sebanyak 7,9 ton dengan 8 jam per shift maka diperoleh: Total produksi keramik/jam =  $\frac{7,9 \text{ Ton}}{8 \text{ jam}} = 0,9875 \text{ Ton/jam}$

Waktu siklus untuk mesin *powder* =  $\frac{60 \times 60}{0,9875}$   
= 3645,569 detik/Ton = 3646 detik/Ton

Dengan cara yang sama ini diperoleh waktu siklus untuk mesin press A1 diperoleh waktu siklus 3840 detik/ palet dan untuk mesin press A2 sebesar 4115 detik/palet.

Tabel 1. Matriks *Precedence* mesin *Powder*

Elm	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	-1	1	1	1	1	1	1
4	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
5	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
6	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
7	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
8	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1

Matrik *precedence* produksi *powder* dan keramik di dihasilkan dengan

melihat hubungan pada gambar diagram *presendence*. Hasil untuk mesin *powder* dapat dilihat pada Tabel 1. Matrik *pre-sence* juga dibuat untuk mesin press A1 dan A2..

Ranking Setiap Elemen Kerja, setelah matriks *precedence* dibuat, bobot dari setiap elemen kerja dapat diperoleh dari penjumlahan waktu pengerjaan elemen kerja lainnya yang memiliki nilai +1 pada masing-masing baris, Hasil dari perhitungan secara keseluruhan, maka dapat diperoleh *ranking* dari nilai bobot elemen kerja yang telah dilakukan.

Contoh perhitungan bobot : Pada elemen kerja 1 di Matriks *Precedence* Produksi *Powder*, dapat terlihat bahwa nilai hubungan antar elemen 1 dan elemen lainnya mendapat nilai 1 maka bobot elemen 1 = jumlah waktu elemen kerja yang mendapat nilai 1. Untuk bobot elemen 1 = 1500 + 2400 + 3000 + 900 + 1500 + 1800 + 3600 = 15900

Dengan cara yang sama dapat dilakukan untuk perhitungan bobot elemen lainnya. Hasil rekapitulasi perhitungan bobot elemen produksi *powder* dan keramik dapat dilihat pada Tabel 2., Tabel 3. dan Tabel 4.

**Penentuan *work center***

Penentuan *work center* dilakukan dari elemen yang mempunyai bobot paling tinggi di tempatkan pada stasiun 1, kemudian dipilih dengan bobot terbesar berikutnya dan dilakukan pemeriksaan terhadap *precedence*. Waktu pengerjaan di elemen tersebut harus lebih kecil atau sama dengan waktu siklus yang masih tersedia.

Tabel 2. Pembobotan Elemen Kerja Produksi *Powder*

Pering kat	Elemen Kerja	Waktu EK (det)	Bobot
1	1	1500	15900
2	2	2400	14400
3	3	3000	12000
4	4	1200	9000
5	5	900	7800
6	6	1500	6900
7	7	1800	5400
8	8	3600	3600

Tabel 4. Pembobotan Elemen Kerja Mesin Press A1

Peringkat	Elemen Kerja	Waktu EK (det)	Bobot
1	1	2400	14940
2	2	960	11700
3	4	300	11580
4	6	300	11280
5	8	300	10980
6	9	420	10680
7	11	420	10260
8	12	480	9840
9	13	720	9360
10	14	1200	8640
11	15	540	7440
12	16	900	6900
13	17	3300	6000
14	18	2700	2700
15	10	120	420
16	3	120	300
17	5	120	300
18	7	120	300

Tabel 3. Pembobotan Elemen Kerja Mesin Press A2

Peringkat	Elemen Kerja	Waktu EK (det)	Bobot
1	1	3000	14760
2	2	1500	10380
3	4	300	10260
4	6	300	9960
5	8	300	9660
6	9	360	9360
7	11	360	9000
8	12	300	8640
9	13	480	8340
10	14	900	7860
11	15	360	6960
12	16	900	6600
13	17	3600	5700
14	18	2100	2100
15	10	120	360
16	3	120	300
17	5	120	300
18	7	120	300

Contoh perhitungan waktu kumulatif dan waktu *work center* pada *work center* 1 adalah : Satu, waktu sisa elemen 1 = Waktu siklus – Waktu elemen 1 = 3646 – 1500 = 2146 detik.

Dua, waktu sisa elemen 2 =

Waktu kumulatif elemen 1 – Waktu elemen 2 = 2146 – 2400 = -254

Tiga, apabila Perhitungan waktu elemen kumulatif bernilai negatif maka waktu elemen tersebut dipindahkan ke *work center* selanjutnya.

Empat, waktu *work center* 1 = Jumlah Waktu kumulatif elemen yang bernilai Positif di *work center* 1 = 2146 detik

Dengan cara yang sama dapat dilakukan untuk perhitungan waktu sisa dan waktu *work center* pada *work center* selanjutnya. Rekapitulasi perhitungan waktu sisa dan waktu *work center* pada *work center* selanjutnya pada produksi powder dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pembentukan Stasiun Kerja Produksi Powder dengan Metode Helgeson dan Birnie

No. EK	Cek	Waktu Elemen (detik) (T)	Waktu Sisa (detik) (C-T)	Ket	Waktu WC (det)
<i>Work center I</i>					
1	√	1500	2146	Masuk	1500
2	√	2400	-254	Keluar	
<i>Work center II</i>					
2	√	2400	1246	Masuk	2400
3	√	3000	-1754	Keluar	
<i>Work center III</i>					
3	√	3000	646	Masuk	3000
4	√	1200	-554	Keluar	
<i>Work center IV</i>					
4	√	1200	2446	Masuk	2400
5	√	1200	1246	Masuk	
6	√	1500	-254	Keluar	
<i>Work center V</i>					
6	√	1500	2146	Masuk	1500
7	√	2400	-254	Keluar	
<i>Work center VI</i>					
7	√	2400	1246	Masuk	2400
8	√	3600	-2354	Keluar	
<i>Work center VII</i>					
8	√	3600	46	Masuk	3600

Hal yang sama dilakukan untuk pembentukan stasiun kerja untuk mesin press A1 dan A2. Perhitungan *Balance Delay* dan *Effisiensi*, *balance Delay* memberikan gambaran keseimbangan dari lintasan produksi sudah tercapai atau belum. Jika *balance delay* (D) > 1, maka lintasan produksi yang ditetapkan

belum seimbang. Tetapi apabila *balance delay* ( $D$ ) < 1, maka lintasan produksi sudah mencapai keseimbangan. Sedangkan efisiensi merupakan peminimalan waktu kosong dari stasiun kerja.

Hasil perhitungan *balance delay* produksi powder adalah :

$$D = \frac{n.Sm - \sum_{i=1}^n Si}{n.Sm}$$

$$Si = 1500 + 2400 + 300 + 2400 + 1500 + 2400 + 3600$$

$$n.Sm = 7 \times 3600$$

sehingga  $D = 0,3333$

Efisiensi dihitung dengan rumus:

$$Eff = \frac{\sum_{i=1}^n Si}{n.C} \times 100\%$$

$$= \frac{16800}{7 \times 3646} \times 100\% = 65,82\%$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu kosong} &= 100\% - \text{Efisiensi} \\ &= 100\% - 65,82\% \\ &= 34,18\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama *balance delay* dan efisiensi mesin press A1 adalah :

$$D = 0,1968$$

$$Eff = 80,31\%$$

$$\text{Waktu kosong} = 19,69\%$$

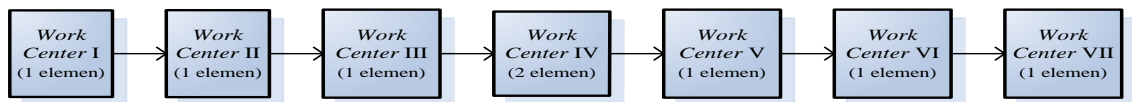
Sedangkan *Balance Delay* dan Efisiensi produksi keramik Press A2

$$D = 0,2185$$

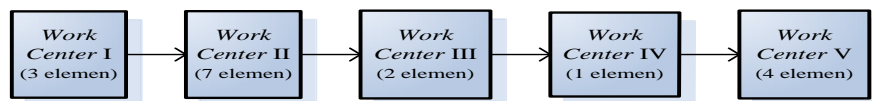
$$Eff = 74,07\%$$

$$\text{Waktu kosong} = 25,93\%$$

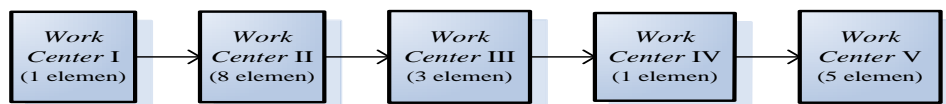
Hubungan Antar Stasiun Kerja, berdasarkan pembagian *work center* menurut Helgeson dan Birnie, maka dapat ditentukan hubungan tiap *work center* yang sesuai dengan keterkaitan setiap elemen kerja dalam *work center* tersebut. Gambar hubungan antar stasiun kerja produksi powder dan keramik dapat dilihat pada Gambar 1., Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 1. Stasiun Kerja Produksi Powder yang Terbentuk dengan Metode Helgeson dan Birnie



Gambar 2. Stasiun Kerja Produksi Keramik Press A1 yang Terbentuk dengan Metode Helgeson dan Birnie



Gambar 2. Stasiun Kerja Produksi Keramik Press A2 yang Terbentuk dengan Metode Helgeson dan Birnie

Dari metode Helgeson dan Birnie dikerjakan dengan membagi-bagi semua elemen kerja ke dalam stasiun kerja dengan prinsip pembagian yang didasarkan atas hubungan kerja yang dilihat dari nilai bobot. Bobot elemen kerja diurutkan berdasarkan yang terbesar hingga terke-

cil, dilakukan rangking pada elemen kerja tersebut berdasarkan elemen kerja dengan bobot terbesar menjadi rangking pertama dan selanjutnya. Jumlah *work centers* pada produksi powder semula ada 2 dan setelah dilakukan pengolahan data dengan metode Helgeson dan

*Birnie* jumlah *work centers* terbentuk menjadi 7. Jumlah *work centers* pada mesin *Press A1* semula ada 4 menjadi 5 dan jumlah *work centers* pada *Press A2* berubah dari 4 menjadi 5. Terjadi penambahan jumlah *work centers* dari sebelum dan sesudah pengolahan data untuk menyeimbangkan jalur proses produksi.

Waktu siklus yang digunakan pada produksi *powder* ialah 3646 detik/Ton dan waktu siklus yang digunakan pada mesin *Press A1* dan di *Press A2* ialah 3840 detik/Palet dan 4115 detik/Palet. Jumlah *work center* yang diperoleh metode *Helgeson* dan *Birnie* pada produksi *powder* ialah 7 *work centers*, pada mesin *Press A1* dan *Press A2* masing-masing 5 *work centers*.

*Balance Delay* yang diperoleh dari metode *Helgeson* dan *Birnie* pada mesin *powder* ialah 0,3333, pada mesin *Press A1* sebesarnya 0,1968 di *Press A2* ialah 0,2185. Tingkat efisiensi dan waktu kosong yang diperoleh dari metode *Helgeson* dan *Birnie* pada mesin *powder* ialah 65,82% dan 34,18%. Tingkat efisiensi dan waktu kosong pada mesin *Press A1* ialah 80,31% dan 19,68%. Sedangkan tingkat efisiensi dan waktu kosong yang diperoleh dari metode *Helgeson* dan *Birnie* pada mesin *Press A2* ialah 74,07% dan 25,93%.

#### KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari pengolahan data keseimbangan lintasan produksi di PT. XYZ adalah adanya penambahan *work centre* di dalam proses di mesin *powder*, *Press1* dan *Press2* akibat pengelompokan elemen kerja untuk menyeimbangkan lintasan. Selain itu penelitian ini juga mampu menghitung efisiensi produksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bedworth, D. Integrated Production Control System. New York: John Willey and Sons Inc. 1982.
- Breginski, RB, MG Clato and JL Sass Jr, Assembly Line Balancing Using Eight Heuristic, 22<sup>nd</sup> International Conference on Production Research, Iguazu Falls, Brazil 2013
- Vincent Gaspersz, Dr, D.Sc., CFPIM, CIQA, 1998. *Production Planning And Inventory Control: Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II dan JIT Menuju Manufacturing 21*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Dyah, Saptanti., 2008 "Perbandingan Metode Ranked Positional Weight dan Kilbridge Wester Pada Permasalahan Keseimbangan Lini Lintasan Produksi Berbasis Single Model". Bandung: ITB.
- Sumanth, D.J., 1985 *Productivity Engineering dan Management*, McGraw-Hill, Inc, USA
- Tam, Paul Wim Ming, 1999, The use of enhanced positional weight method for constrained resources project scheduling, Canadian Journal of Civil Engineering, 26.2, 42-247
- Sritomo, 2008, *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya: Guna Widya. 2008.

## SISTEM REKOMENDASI: BUKU ONLINE DENGAN METODE COLLABORATIVE FILTERING

Moh. Irfan<sup>1</sup>, Andharini Dwi C<sup>2</sup>, Fika Hastarita R.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo Madura

Masuk: 5 April 2014, revisi masuk : 19 Juni 2014, diterima: 7 Juli 2014

### ABSTRACT

The book is a source of information regarding all aspects of life, especially education. However, low interest in reading among the public is a major issue in education today. Recommendation systems can help recommend the reader to more easily obtain information about the books to be read. Therefore, in this study made an online book recommendation system using Collaborative Filtering. Collaborative Filtering is one of the methods that can be used in making the recommendation system. The results of this study showed that the average value of the MAE (Mean Absolute Error) on trial 1 (1.064) is smaller than 2 trials (1.21), 4 trials (2,474) and test 5 (3.526). This shows that the more the amount of data used and if there is a user who has never rate a, then the resulting system is relatively inaccurate and generate recommendations if using Collaborative Filtering bad.

**Keywords:** recommendation system, Collaborative Filtering, Online Book.

### INTISARI

Buku merupakan sumber informasi semua aspek kehidupan khususnya pendidikan. Namun rendahnya minat baca dikalangan masyarakat menjadi persoalan penting di dunia pendidikan saat ini. Sistem rekomendasi dapat membantu merekomendasikan para pembaca agar lebih mudah mendapatkan informasi mengenai buku yang akan dibaca. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat sistem rekomendasi buku online menggunakan metode *Collaborative Filtering*. *Collaborative Filtering* adalah salah satu metode yang dapat digunakan dalam membuat sistem rekomendasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata nilai MAE (*Mean Absolute Error*) pada uji coba 1 (1,064) lebih kecil daripada uji coba 2 (1,21), uji coba 4 (2,474) dan ujicoba 5 (3,526). Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah data yang digunakan dan jika terdapat user yang belum pernah merating, maka sistem yang dihasilkan relatif tidak akurat dan menghasilkan rekomendasi yang buruk jika menggunakan *Collaborative Filtering*.

**Kata Kunci :** Sistem Rekomendasi, *Collaborative Filtering*, Buku Online

### PENDAHULUAN

Buku merupakan informasi segala kebutuhan yang diperlukan, dimulai dari iptek, seni budaya, ekonomi, politik, sosial dan pertahanan keamanan dan lain-lain. Upaya membaca buku membuka wawasan dunia intelek sehingga dapat mengubah masa depan serta mencerdaskan akal, pikiran dan iman. Dengan membaca buku, selain pengetahuan akan semakin bertambah, pribadi akan semakin kaya, yang kesemuannya jelas akan menurunkan

efek negatif terhadap anak-anak, yakni kenakalan. Sedangkan anak yang tidak terbina minat bacanya sejak dini akan menghadapi peluang yang semakin kecil untuk mengembangkan pengetahuan setinggi-tingginya. Namun berdasarkan laporan Bank Dunia, Indonesia merupakan negara yang memiliki minat baca sangat rendah. Hal tersebut sungguh disayangkan, mengingat sebagai negara besar, Indonesia memiliki potensi besar untuk menjadi negara yang unggul.

<sup>1</sup> [irfan09017@gmail.com](mailto:irfan09017@gmail.com)

<sup>2</sup> [andharini.dwi.cahyani@gmail.com](mailto:andharini.dwi.cahyani@gmail.com)

Rendahnya minat baca di kalangan masyarakat menjadi persoalan penting di dunia pendidikan saat ini. Untuk itu diperlukan sebuah sistem yang dapat membantu merekomendasikan para pembaca agar lebih mudah mendapatkan informasi buku-buku yang akan dibaca selanjutnya.

Sistem rekomendasi sendiri telah digunakan secara luas oleh hampir semua area bisnis dimana seorang konsumen memerlukan informasi untuk membuat suatu keputusan. Terdapat dua pendekatan yang umumnya digunakan dalam membuat sistem rekomendasi, yaitu *content based filtering* dan *collaborative filtering*. *Content based filtering* merupakan metode yang bekerja dengan mencari kedekatan suatu item yang akan direkomendasikan ke *user* dengan *items* yang telah diambil oleh pengguna sebelumnya berdasarkan kemiripan antar kontennya. Namun, sistem rekomendasi berbasis konten ini masih memiliki kelemahan, yaitu karena semua informasi dipilih dan direkomendasikan berdasarkan konten, maka pengguna tidak mendapatkan rekomendasi pada jenis konten yang berbeda. Selain itu, sistem rekomendasi ini kurang efektif untuk pengguna pemula, karena pengguna yang masih pemula tidak mendapat masukan dari pengguna sebelumnya. (Li, 2002)

Pendekatan lain untuk menutupi kelemahan dari *content based filtering* dikembangkan, yaitu *collaborative filtering*. Sistem *collaborative filtering* adalah metode yang digunakan untuk memprediksi kegunaan item berdasarkan penilaian pengguna sebelumnya.

*Collaborative Filtering* dapat digunakan untuk membuat sistem rekomendasi, akan tetapi perhitungan dalam algoritma sangat bergantung pada hasil rekomendasi. Seperti halnya skenario yang digunakan dalam perhitungan similarity, antara metode pearson correlation dan adjusted cosine similarity memberikan hasil yang berbeda. Berdasarkan beberapa kelebihan dari metode *collaborative filtering*, pada penelitian ini metode ini diterapkan pada pembuatan sistem rekomendasi buku online menggunakan

dataset buku book crossing dengan dilihat akurasi menggunakan beberapa skenario, yaitu dengan menggunakan cold start problem dan non-cold start problem pada perhitungan prediksinya.

## METODE

Sistem rekomendasi merupakan sebuah (web) alat personalisasi yang menyediakan pengguna sebuah informasi daftar item-item yang sesuai dengan keinginan masing-masing pengguna. Sistem rekomendasi menyimpulkan preferensi pengguna dengan menganalisis ketersediaan data pengguna, informasi tentang pengguna dan lingkungannya. Oleh karena itu sistem rekomendasi akan menawarkan kemungkinan dari penyaringan informasi personal sehingga hanya informasi yang sesuai dengan kebutuhan dan preferensi pengguna yang akan ditampilkan di sistem dengan menggunakan sebuah teknik atau model rekomendasi.

Ada beberapa metode atau teknik yang digunakan dalam sistem rekomendasi. Setiap metode disesuaikan dengan permasalahan dalam menghasilkan sebuah informasi yang sesuai. Metode atau pendekatan yang dipilih pada sistem rekomendasi bergantung pada permasalahan yang akan diselesaikan, teknik rekomendasi yang berbeda-beda digunakan untuk aplikasi yang berbeda, dasar dari suatu tujuan dan objektif dari sebuah aplikasi. Dari penelitian terbaru metode atau teknik rekomendasi memiliki beberapa sejumlah kemungkinan klasifikasi. (Uyun, 2011)

Sistem *collaborative filtering* adalah metode yang digunakan untuk memprediksi kegunaan item berdasarkan penilaian pengguna sebelumnya, misalnya cara pemberian *rating* terhadap suatu *item* (Lam, 2004). Metode ini merekomendasikan item-item yang dipilih oleh pengguna lain dengan kemiripan model item dari pengguna saat ini. Walaupun dalam beberapa riset *collaborative filtering* terbukti dapat menutupi beberapa kekurangan pendekatan *content based* dan banyak



diimplementasikan dalam aplikasi nyata, namun pendekatan ini memiliki beberapa kekurangan, antara lain: (Uyun, 2011)

*Cold-start problem*, karena pendekatan *collaborative filtering* melakukan prediksi berdasarkan *rating* yang diberikan user pada *item*, maka menjadi suatu masalah ketika suatu item baru masuk ke dalam sistem dan belum di-*rating* sama sekali oleh user. Akibatnya item tersebut tidak akan pernah direkomendasikan kepada user.

*Sparsity*, untuk ukuran data yang besar, banyak *item* yang baru sedikit di-*rating* oleh user, akibatnya *item* tersebut memiliki nilai prediksi yang relatif tidak akurat dan menghasilkan rekomendasi yang buruk.

Salah satu metode sistem rekomendasi adalah *collaborative filtering*. Berikut ini adalah tahap-tahap memberikan rekomendasi menggunakan *collaborative filtering*.

Dasar perhitungan *similarity* pada *item-based collaborative filtering* antara dua buah *item*  $i$  dan  $j$  adalah dengan mencari user mana saja yang telah memberi *rating* pada *item*  $i$  dan  $j$  lalu gunakan metode perhitungan *similarity*. Pada ICHM terdapat dua buah matriks, matriks *group-rating* dan matriks *item-rating*, maka perhitungan *similarity* juga dilakukan untuk masing-masing matriks lalu hasilnya digabungkan untuk perhitungan prediksi.

Metode *pearson correlation-based similarity* merupakan metode perhitungan berbasis korelasi yang paling banyak diimplementasikan untuk perhitungan nilai *similarity*. Korelasi Pearson mengukur seberapa besar hubungan linear antara dua variabel. Koefisien korelasi Pearson berasal dari model regresi linier yang memiliki asumsi yaitu bahwa hubungan antara dua variabel harus linier, dengan kesalahan harus independen dan memiliki distribusi probabilitas dengan mean 0 dan varians (berdistribusi Normal (0,1)). (Li, 2002) Metode *pearson correlation-based similarity* ditunjukkan oleh Persamaan

$$sim(k,l) = \frac{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_k)(R_{u,l} - \bar{R}_l)}{\sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_k)^2} \sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,l} - \bar{R}_l)^2}}$$

Keterangan:

$sim(k,l)$  adalah nilai *similarity* antara *item*  $k$  dan *item*  $l$

$m$  adalah jumlah total *user* yang merating *item*  $k$  dan *item*  $l$

$\bar{R}_k$  dan  $\bar{R}_l$  adalah *rating* rata-rata pada *item*  $k$  dan *item*  $l$

$R_{u,k}$  dan  $R_{u,l}$  adalah *rating* yang diberikan oleh *user*  $u$  kepada *item*  $k$  dan *item*  $l$

*Adjust Cosine Similarity*. *Cosine similarity* merupakan metode yang sering digunakan untuk menghitung kesamaan pengguna, tetapi metode ini memiliki satu kekurangan. Perbedaan skala *rating* antara berbagai pengguna akan menghasilkan *similarity* yang sangat berbeda. Sebagai contoh, user A merating buku terbaik dengan *rating* 4 dan tidak pernah member *rating* 5 pada buku apapun, dan member *rating* 1 pada buku terjelek, tidak sesuai dengan tingkat standar *rating* yaitu 2. Tetapi user B selalu merating sesuai dengan tingkat standar, member *rating* 5 pada buku terbaik, dan 2 pada buku yang jelek. Jika menggunakan *cosine similarity*, keduanya sangat berbeda. *Adjusted cosine similarity* mengatasi kelemahan dari *cosine similarity*. (Djamal, 2010)

Metode *Cosine similarity* dapat ditunjukkan oleh Persamaan

$$sim(k,l) = \frac{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_u)(R_{u,l} - \bar{R}_u)}{\sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_u)^2} \sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,l} - \bar{R}_u)^2}}$$

Keterangan:

$sim(k,l)$  adalah nilai *similarity* antara *item*  $k$  dan *item*  $l$

$m$  adalah jumlah total *user* yang merating *item*  $k$  dan *item*  $l$

$\bar{R}_u$  adalah *rating* yang diberikan oleh *user*  $u$  pada semua *item*

$R_{u,k}$  dan  $R_{u,l}$  adalah *rating* yang diberikan oleh *user*  $u$  kepada *item*  $k$  dan *item*  $l$

Menghitung Prediksi dengan Non Cold Start Problem. Metode *weighted average of deviation* yang didapat dari rata-rata *item* yang telah dirating merupakan metode yang digunakan untuk prediksi *rating* pada *item*  $k$  yang

telah dirating. Rumus berikut ini merupakan perhitungan prediksi rating pada item  $l$  untuk user  $u$ .

$$P_{u,k} = \bar{R}_k + \frac{\sum_{l=1}^n (R_{u,l} - \bar{R}_l) \times \text{sim}(k,l)}{\sum_{l=1}^n |\text{sim}(k,l)|}$$

Keterangan:

$P_{u,k}$  adalah prediksi rating item  $k$  untuk user  $u$

$n$  adalah jumlah rated item user  $u$

$\bar{R}_{u,l}$  adalah rating dari user  $u$  untuk item  $l$

$\bar{R}_k$  dan  $\bar{R}_l$  adalah rating rata-rata untuk item  $k$  dan item  $l$

$\text{Sim}(k,l)$  adalah nilai similarity antara item  $k$  dengan seluruh rated item active user

Cold Start Problem. Metode perhitungan prediksi pada non cold-start problem yaitu weighted average of deviation masih kurang dapat diimplimentasikan pada masalah item baru yang belum dirating karena  $\bar{R}_k$  yang merupakan nilai rata-rata pada item  $k$  akan bernilai nol (karena belum ada yang memberi rating). Oleh karena itu digunakan metode weighted sum untuk menghitung prediksi rating pada kasus item baru. Berikut rumus perhitungannya pada persamaan

$$P_{u,k} = \bar{R}_k + \frac{\sum_{l=1}^n R_{u,l} \times \text{sim}(k,l)}{\sum_{l=1}^n |\text{sim}(k,l)|}$$

Keterangan:

$P_{u,k}$  adalah prediksi rating item  $k$  untuk user  $u$

$n$  adalah jumlah rated item user  $u$

$\bar{R}_{u,l}$  adalah rating diberikan user  $u$  kepada item  $l$

$\text{Sim}(k,l)$  adalah nilai similarity antara item  $k$  dengan seluruh rated item ke- $l$

Akurasi sistem rekomendasi dilihat berdasarkan nilai mean absolute error (MAE)., yaitu rata-rata dari error yang di absolutkan. Dimana error merupakan selisih dari nilai rating sebenarnya dengan nilai rating hasil prediksi. Berikut adalah perhitungan MAE yang ditunjukkan oleh Persamaan.

$$MAE = \frac{\sum_{u=1}^N |P_{u,i} - R_{u,i}|}{N}$$

Dimana  $P_{u,i}$  adalah prediksi rating user  $u$  untuk item  $i$  dan  $R_{u,i}$  adalah nilai rating sebenarnya yang telah diberikan oleh user  $u$  untuk item  $i$ .

## PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa pengujian, hasil pengujian yang diperoleh tersebut adalah sebagai berikut:

Pada uji coba 1 dilakukan pengujian dengan data yang digunakan sebanyak 5 user dan 5 buku dengan besarnya rating yang bervariasi. Dari hasil uji coba 1 dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi yang dihasilkan oleh sistem cukup akurat dan sama hasilnya dengan prediksi manual yang dihitung oleh Microsoft Excel, ini juga di buktikan oleh kecilnya MAE yang diberikan oleh sistem.

Tabel 1 Tabel rating user terhadap buku

		User				
		1	2	3	4	5
Buku	1	3	0	8	4	5
	2	5	8	7	3	7
	3	7	4	0	7	6
	4	8	7	9	9	8
	5	10	3	8	3	7

Langkah pertama adalah mencari nilai rata-rata rating dari setiap buku.

Tabel 2 Tabel rata-rata rating

		User					rata-rata rating
		1	2	3	4	5	
Buku	1	3	0	8	4	5	4
	2	5	8	7	3	7	6
	3	7	4	0	7	6	4,8
	4	8	7	9	9	8	8,2
	5	10	3	8	3	7	6,2

Langkah kedua adalah mencari nilai rating – (rata-rata rating) lalu dikuadratkan.

Langkah ketiga adalah mencari jumlah dari nilai rating-(rata-rata rating)<sup>2</sup> perbuku dan selanjutnya diakarkan. Terlihat seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Tabel jumlah rating-  
(rata-rata rating)<sup>2</sup> perbuku

Sum (rata-rata rating) <sup>2</sup> )	Akar (rating-(rata- rata rating) <sup>2</sup> )	Sum (rata-rata rating) <sup>2</sup> )
34	5,830952	
16	4	
34,8	5,899152	
2,8	1,67332	
38,8	6,228965	

Langkah keempat menghitung *similarity* antar buku dengan persamaan rumus dibawah. Terlihat seperti pada Tabel 5.

$$sim(k,l) = \frac{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_k)(R_{u,l} - \bar{R}_l)}{\sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_k)^2} \sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,l} - \bar{R}_l)^2}}$$

Keterangan:

*sim(k,l)* adalah nilai *similarity* antara *item k* dan *item l*

*m* adalah jumlah total *user* yang *merating item k* dan *item l*

$\bar{R}_k$  dan  $\bar{R}_l$  adalah *rating* rata-rata pada *item k* dan *item l*

$R_{u,k}$  dan  $R_{u,l}$  adalah *rating* yang diberikan oleh *user u* kepada *item k* dan *item l*

Tabel 4 Tabel similarity

Sim(1,1)	1
sim(1,2)	-0,085749293
sim(2,3)	-0,593305566
sim(3,4)	-0,182349202
sim(4,5)	0,17269415
sim(1,3)	-0,494219459
sim(1,4)	0,819920062
sim(1,5)	0,468051455
sim(2,4)	-0,597614305
sim(2,5)	0,080270162
sim(3,5)	-0,103413708

Setelah diketahui nilai dari *similarity* antar buku, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai prediksi buku terhadap user. Hasil dari prediksi manual dapat diimplimentasi kedalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil prediksi manual uji coba 1 menggunakan M. Excel

Hasil Prediksi	User				
	1	2	3	4	5
1	3,86	1,8	6,71	3,41	4,185
2	5,23	7,39	7,3	3,86	6,163
Buku 3	6,03	5,02	1,55	5,49	4,82
4	8,13	6,00	9,88	8,79	8,178
5	7,83	3,43	8,60	4,26	6,852

Tabel 6 Hasil MAE sistem uji coba 1  
MAE

Buku 1	1,07
Buku 2	0,57
Buku 3	1,24
Buku 4	0,48
Buku 5	0,92

ID	BookRating	ISBN	BookRating	User_ID
1	3.86509	2740230	3.86509	7
2	1.81802	2740230	1.81802	8
3	6.71447	2740230	6.71447	9
4	3.41705	2740230	3.41705	10
5	4.18538	2740230	4.18538	11
6	5.23843	20199090	5.23843	7
7	7.39075	20199090	7.39075	8
8	7.3455	20199090	7.3455	9
9	3.86154	20199090	3.86154	10
10	6.16378	20199090	6.16378	11
11	6.03501	20437501	6.03501	7
12	5.02754	20437501	5.02754	8
13	1.55463	20437501	1.55463	9
14	6.55493	20437501	6.55493	10
15	4.8279	20437501	4.8279	11
16	8.13968	60013117	8.13968	7
17	6.0065	60013117	6.0065	8
18	9.8837	60013117	9.8837	9
19	8.79117	60013117	8.79117	10
20	8.17895	60013117	8.17895	11
21	7.83867	60168013	7.83867	7
22	3.43959	60168013	3.43959	8
23	8.6046	60168013	8.6046	9
24	4.26506	60168013	4.26506	10
25	0.654384	60168013	0.654384	11

Gambar 1. Hasil prediksi sistem uji coba

Pada uji coba 2 dilakukan uji coba dengan data sebanyak 5 user dan 5 buku dengan besarnya rating yang bervariasi dan terdapat user baru yang belum pernah merating sama sekali. Dari hasil uji coba 2 dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi yang dihasilkan oleh sistem cukup akurat dan sama hasilnya dengan prediksi manual yang dihitung oleh Microsoft Excel, ini juga dibuktikan oleh kecilnya MAE yang diberikan oleh sistem. Apabila ada salah satu user yang belum pernah merating sama sekali maka sistem tetap akan memberikan rekomendasinya terhadap user tersebut berdasarkan hasil dari nilai rating yang diberikan oleh user lain yang telah merating.

Tabel 7 Tabel rating user terhadap buku uji coba 2

	User				
	1	2	3	4	5
1	3	0	8	4	0
2	5	8	7	3	0
Buku 3	7	4	0	7	0
4	8	7	9	9	0
5	10	3	8	3	0

Langkah pertama adalah mencari nilai rata-rata rating dari setiap buku. Terlihat seperti pada Tabel 8 dibawah ini

Tabel 8 Tabel rata-rata rating

	User					rata-rata rating
	1	2	3	4	5	
1	3	0	8	4	0	3
2	5	8	7	3	0	4,6
Buku 3	7	4	0	7	0	3,6
4	8	7	9	9	0	6,6
5	10	3	8	3	0	4,8

$$sim(1,2) = \frac{(3-3)(5-4,6) + (0-3)(8-4,6) + (8-3)(7-4,6) + (4-3)(3-4,6) + (0-3)(0-4,6)}{\sqrt{((3-3) + (0-3) + (8-3) + (4-3) + (0-3))^2} \sqrt{((5-4,6) + (8-4,6) + (7-4,6) + (3-4,6) + (0-4,6)^2)}} \\ sim(1,2) = \frac{(0) + (-10,2) + (12) + (-1,6) + (13,8)}{(\sqrt{(0) + (-3) + (5) + (1) + (-3)}) \sqrt{((0,4) + (3,4) + (2,4) + (-1,6) + (-4,6))}} \\ sim(1,2) = \frac{14}{\sqrt{44} \times \sqrt{41,2}} \quad sim(1,2) = \frac{14}{6,63325 \times 6,41872} \\ sim(1,2) = 0,328816112$$

Langkah kedua adalah mencari nilai rating - (rata-rata rating) lalu dikuadratkan.

Langkah ketiga adalah mencari jumlah dari nilai rating-(rata-rata rating)<sup>2</sup> per buku dan selanjutnya diakarkan. Terlihat seperti pada Tabel 9. dibawah ini

Tabel 9 Tabel jumlah rating-(rata-rata rating)<sup>2</sup> per buku

Sum (rating-(rata-rata rating) <sup>2</sup> )	Akar (rating-(rata-rata rating) <sup>2</sup> )
44	6,63325
41,2	6,418723
49,2	7,014271
57,2	7,563068
66,8	8,173127

Langkah keempat menghitung *similarity* antar buku dengan persamaan rumus (2.1). Terlihat seperti pada tabel 4.10

$$sim(k,l) = \frac{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_k)(R_{u,l} - \bar{R}_l)}{\sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,k} - \bar{R}_k)^2} \sqrt{\sum_{u=1}^m (R_{u,l} - \bar{R}_l)^2}}$$

Keterangan:

$sim(k,l)$  adalah nilai *similarity* antara *item k* dan *item l*

$m$  adalah jumlah total *user* yang merating *item k* dan *item l*

$\bar{R}_k$  dan  $\bar{R}_l$  adalah *rating* rata-rata pada *item k* dan *item l*

$R_{u,k}$  dan  $R_{u,l}$  adalah *rating* yang diberikan oleh *user u* kepada *item k* dan *item l*

Tabel 10 Tabel similarity

Sim(1,1)	1
sim(1,2)	0,328816112
sim(2,3)	0,115497394
sim(3,4)	0,531579889
sim(4,5)	0,672987635
	-
sim(1,3)	0,107463533
sim(1,4)	0,657793514
sim(1,5)	0,627139777
sim(2,4)	0,704497544
sim(2,5)	0,545166541
sim(3,5)	0,289559158

Setelah diketahui nilai dari similarity antar buku, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai prediksi buku terhadap user. Dapat diimplimentasi kedalam Tabel 11

Tabel 11 Hasil prediksi manual uji coba 2 menggunakan M. Excel

Hasil Prediksi	User				
	1	2	3	4	5
1	4,450	1,974	6,587	3,205	-1,217
2	6,312	5,25	7,2	4,537	-0,325
Buku 3	6,386	3,994	2,789	4,836	-0,659
4	8,559	6,550	8,736	7,308	1,8456
5	7,142	4,339	7,421	4,97	0,1192

ID_BookRating	ISBN	BookRating	User_ID
1	2740230	4.45089	2
2	20199090	6.31265	2
3	20437501	6.386	2
4	60013117	8.5593	2
5	60168013	7.14293	2
6	2740230	1.97445	3
7	2740230	6.58722	4
8	2740230	3.20519	5
9	2740230	-1.21775	6
10	20199090	5.2534	3
11	20199090	7.222	4
12	20199090	4.53727	5
13	20199090	-0.325328	6
14	20437501	3.99455	3
15	20437501	2.78901	4
16	20437501	5.4895	5
17	20437501	-0.659678	6
18	60013117	6.55042	3
19	60013117	8.73623	4
20	60013117	7.30835	5
21	60013117	1.84565	6
22	60168013	4.33974	3
23	60168013	7.42113	4
24	60168013	4.9769	5
25	60168013	0.523982	6

Gambar 2. Hasil prediksi sitem uji coba 2

Tabel 12 Hasil MAE dari uji coba 2

MAE	
Buku 1	1,37
Buku 2	1,23
Buku 3	1,12
Buku 4	0,96
Buku 5	1,46

Pada uji coba 3 dilakukan pengecekan terhadap sistem dengan menggunakan perbandingan terhadap perhitungan manual pada Microsoft Excel. Data yang digunakan sebanyak 5 user dan 6 buku dengan besarnya rating yang bervariasi dan terdapat buku baru yang belum pernah dirating sama sekali. Dari hasil uji coba 3 dapat disimpulkan bahwa apabila terdapat buku baru dan belum pernah dirating sama sekali oleh user maka buku tersebut tidak akan direkomendasikan oleh sistem.



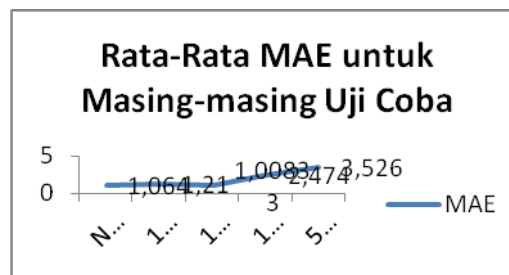
Gambar 3. Buku baru tidak pernah dirating

Pada uji coba 4 dilakukan pengecekan terhadap sistem dengan menggunakan data yang digunakan sebanyak 10 user dan 5 buku dengan besarnya rating yang bervariasi. Dari hasil uji coba 4 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak user yang menggunakan sistem maka hasil dari prediksi yang dihasilkan kurang akurat.



Gambar 4 Hasil prediksi kurang akurat

Pada uji coba 5 dilakukan pengecekan terhadap sistem dengan menggunakan data yang digunakan sebanyak 5 user dan 10 buku dengan besarnya rating yang bervariasi. Pada Tabel 4.27 digambarkan besarnya rating yang diberikan oleh user terhadap 5 buah buku. Dari hasil uji coba 5 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak data, dalam hal ini adalah buku yang digunakan sebanyak 10 dan jika dibandingkan dengan percobaan 1 yaitu 5 buku maka hasil rekomendasi yang dihasilkan kurang baik.



Gambar 5 Hasil MAE uji coba 1,2,3,4 dan 5

## KESIMPULAN

Metode *collaborative filtering* dapat diimplementasikan dalam pembuatan sistem rekomendasi buku dengan melihat kedekatan buku berdasarkan nilai rating. Metode ini lemah ketika diimplementasikan pada buku baru yang belum pernah dirating sama sekali. Hasil prediksi *rating* setiap buku untuk masing-masing user dengan menggunakan metode *collaborative filtering* kurang baik. Hal ini ditunjukkan berdasarkan rata-rata nilai MAE (*Mean Absolute Error*) buku pada uji coba 1 yakni 1,064 lebih kecil dari pada uji coba 2 yakni 1,21, uji coba 4 yakni 2,474 dan ujicoba 5 yakni 3,526. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah data yang digunakan dan jika terdapat user yang belum pernah merating, maka sistem yang dihasilkan relatif tidak akurat dan menghasilkan rekomendasi yang buruk. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya, metode *collaborative filtering* diharapkan agar diimplementasikan pada data yang memiliki *item* yang banyak dirating oleh user. Apabila terdapat data yang banyak dan memiliki *item* baru yang sedikit dirating oleh user, maka diharapkan menggunakan metode yang lebih baik dari *collaborative filtering*, misalnya adalah ICHM (*Item-Based Clustering Hybrid Method*). ICHM (*Item-Based Clustering Hybrid Method*) adalah salah satu metode yang menggunakan pendekatan *hybrid* atau menggabungkan kedua pendekatan yaitu *Content Based Filtering* dan *Collaborative Filtering*.

## DAFTAR PUSTAKA

Djamal, A Rhamadanus. Maharani, Warih dan Kurniati, Angelina

- Prima (2010). *Analisis dan Implementasi Metode Item-Based Clustering Hybrid Pada Recomennder Sytem.*
- Lam, S. And Riedl, J. (2004). Shilling recommender systems for fun and profit. In *Proceedings of the 13th International WWW Conference.* New York..
- Li, Qing and Kim, Byeong Man 2002. *An Approach for Combining Content-based and Collaborative Filters.* Departement of Computer Sciences, Kumoh National Institute of Technology.
- Sarwar, Badrul et al. 2001. *Item-based Collaborative Filtering Recommender System Algorithm.* GroupLens Research Group/Army HPC Research Center, Department of Computer Science and Engineering, University of Minnesota. Mienneapolis.
- Uyun, S. Fahrurrozi, I. dan Mulyanto, A. 2011. *Item Collaborative Filtering untuk Rekomendasi Pembelian Buku secara Online.* JUSI, Vol. 1, No. 1 ISSN 2087-8737

## PERBANDINGAN METODE SOM (SELF ORGANIZING MAP) DENGAN PEMBOBOTAN BERBASIS RBF (RADIAL BASIS FUNCTION)

Andharini Dwi Cahyani<sup>1</sup>, Bain Khusnul Khotimah<sup>2</sup>, Rafil Tania Rizkillah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo, Madura

Masuk: 16 April 2014, revisi masuk : 12 Juni 2014, diterima: 8 Juli 2014

### ABSTRACT

*In many clustering systems many methods was used to cluter-ization, one of which is the SOM (Self Organizing Maps). In our study we used two approaches. The first approach was a lawyer-cluster's using SOM-RBF used in the training data and could be expected to result in better cluster. And the second approach clustering was used of SOM. Comparison of both methods is based on the application of the data derived from the dataset movielens.org site. Comparative assessment using three scenarios, namely the MSE as a stop condition on the running time, the MSE as the stop condition of the epoch and the learning rate, and MSE as the stop condition of the actual value of the MSE. With this running time is detected which is more rapid approach to the time span for extracting training data. Based on the results of experiments performed using 500 data, which is applied to clusters 3 and 4 lead to the conclusion that the first approach has the value of MSE is actually closer to the absolute value of MSE as compared to the second approach.*

**Keywords:** SOM, Running Time, Clustering, SOM-RBF

### INTISARI

Pada sistem *clustering* banyak metode yang digunakan untuk *cluter*-isasi, salah satunya adalah SOM (*Self Organizing Maps*). Dalam penelitian ini kami menggunakan 2 pendekatan. Pendekatan yang pertama adalah *peng-cluster-an* menggunakan SOM-RBF yang digunakan pada pelatihan data dan diduga dapat menghasilkan *cluster* yang lebih baik. Dan pendekatan kedua *peng-cluster-an* menggunakan SOM. Perbandingan kedua metode didasarkan pada penerapan pada data yang berasal dari dataset situs *movielens.org*. Penilaian perbandingan menggunakan 3 skenario, yaitu MSE sebagai kondisi stop terhadap *running time*, MSE sebagai kondisi stop terhadap *epoch* dan *learning rate*, dan MSE sebagai kondisi stop terhadap nilai MSE yang sebenarnya. Dengan *running time* tersebut terdeteksi pendekatan yang lebih cepat rentang waktunya untuk mengekstraksi data latih. Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan menggunakan 500 data, yang diterapkan pada 3 dan 4 *cluster* menghasilkan kesimpulan bahwa pendekatan pertama mempunyai nilai MSE sebenarnya yang lebih mendekati nilai absolut MSE dibandingkan dengan pendekatan kedua.

**Kata Kunci :** SOM, Running Time, Clustering, SOM-RBF.

### PENDAHULUAN

Sebagai sumber ilmu yang mudah didapatkan, buku tidaklah asing lagi bagi kehidupan kita. Kita dapat mengetahui segala pengetahuan dar membaca buku. Namun kesadaran terhadap minat baca di masyarakat

Indonesia masih kurang. Dapat dilihat dari perpustakaan, atau  $\text{p}$  peminjaman buku lainnya. Hanya beberapa orang yang membaca buku, serta meminjamnya. Para ahli yang melakukan penelitian, berpendapat bahwa hanya sekitar 10% masyarakat



Indonesia yang dapat mengakrabkan dirinya dengan kebiasaan membaca. Sisanya mereka sangat jarang sekali membaca.

Dalam upaya meningkatkan kesadaran minat untuk membaca buku, diperlukan adanya teknik khusus dalam hal membaca dan peminjaman buku. Yakni dengan adanya sistem yang dapat membantu seseorang mempermudah menemukan buku yang lain, yang disebut dengan sistem rekomendasi. Pada sistem perkomendasi terdapat metode yang dapat menghasilkan sebuah rekomendasi, salah satunya adalah *clustering*. Banyak metode yang digunakan untuk *clustering*, salah satunya adalah SOM (*Self Organizing Maps*).

Dalam penelitian menggunakan 2 pendekatan. Pendekatan yang pertama adalah *peng-cluster-an* menggunakan SOM-RBF yang digunakan pada pelatihan data dan diduga dapat menghasilkan *cluster* yang lebih baik. Dalam pendekatan kedua, menggunakan metode SOM, dengan interaksi fitur didalamnya menggunakan *unsupervised learning*. Perbandingan kedua metode didasarkan pada penerapan pada data latih yang berasal dari database. Penilaian perbandingan menggunakan *running time*. Dimana dengan *running time* tersebut terdeteksi pendekatan manakah yang lebih cepat rentang waktunya untuk mengekstraksi data latih.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah : (1). Cara mencari *centroid* pada metode *Self Organizing Map*. (2). Bagaimana cara menerapkan pendekatan metode SOM-RBF dan pendekatan metode SOM untuk pola *Clustering* pada sistem.(3). Bagaimana cara membandingkan 2 pendekatan dengan menggunakan *running time*. Penelitian ini bertujuan untuk : (1). Mencari *centroid* pada metode *Self Organizing Map*.(2). Penerapan pendekatan metode SOM-RBF dan pendekatan metode SOM pada sistem.(3). Membandingkan 2 pendekatan dengan *running time*.

Beberapa pembatasan dalam

penelitian ini adalah : (1). Menggunakan 2 pendekatan, yakni pendekatan pertama dengan metode SOM-RBF dan pendekatan kedua dengan menggunakan metode SOM. (2).Sistem menggunakan *PHP Web*. (3). Data yang digunakan merupakan sample dataset yang berasal dari situs internet, yaitu *movielens.org*. (4). Data yang digunakan sebanyak 500 data, dengan 3 kriteria. Yaitu, frekuensi peminjaman buku, tahun penerbitan buku, serta harga sewa tiap buku.

Dalam Kaira [Kahira,2012], menggunakan metode SOM dan *K-Means* untuk memperoleh karakteristik data ketahanan pangan kabupaten di wilayah Provinsi Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur. Dari hasil percobaan menggunakan SOM, ditemukan bahwa *clustering* data ketahanan pangan yang memiliki *index davies bouldin* minimal adalah ukuran *cluster* 3, *learning rate* 0.5, penurunan *learning rate* 1, *epoch* 100 menghasilkan *index davies bouldin* sebesar 2.696. Dari hasil percobaan yang ada, dapat disimpulkan bahwa Provinsi Nusa Tenggara Timur berada pada *cluster* yang memiliki status rawan pangan. Provinsi Nusa Tenggara Barat termasuk dalam *cluster* dengan kondisi yang agak rawan pangan. Provinsi Bali berada pada *cluster* dengan kondisi ketahanan pangan terjamin. Riyandwayana, 2012 mengatakan dalam penelitiannya menggunakan metode SOM untuk mengklaster data pada Badan Perpustakaan Dan Kearsipan (BAPERSIP) Provinsi Jawa Timur. Dari hasil implementasi, data dapat ter-*cluster* dengan 3 kriteria, yaitu PNS, Mahasiswa, Swasta.

Damayanti dalam penelitiannya menggunakan metode SOM berbasis RBF untuk mengolah data penyakit jantung yang terjadi pada frekuensi, keteraturan, tempat asal denyut atau konduksi impuls listrik jantung. Metode yang digunakan jaringan saraf *Radial Basis Function (RBF)* dan *Kohonen Self Organizing Maps (SOM)* sebagai salah satu metode diagnosis kelainan jantung dari rekaman ECG. Dalam berisi fitur

yang diambil dari teknik *preprocessing*. Penilaiannya terletak pada akurasi pengenalan rata-rata dan jumlah pelatihan sampel yang diperlukan. Dalam Penelitian ini juga melakukan analisis kesalahan untuk menentukan benar tidaknya menggabungkan pengklasifikasi.

## METODE

*Radial Basis Function (RBF)* ini pertama kali diteliti oleh Powell pada tahun 1985 yang dikenalkan sebagai solusi dari masalah '*real multivariate interpolan sistem*'. Konstruksi bentuk dasar dari *Radial Basis Function (RBF)* mempunyai 3 layer dengan aturan yang berbeda. Layer pertama disebut *input layer* yang disusun sebagai *source nodes (sensory unit)*. Layer kedua hanya berisi *hidden layer* pada jaringan, melakukan perpindahan *input space* ke *hidden space*. Pada kebanyakan aplikasi *hidden space* mempunyai dimensi yang tinggi. Layer ketiga adalah *output layer* yang merupakan *linear layer* [Damayanti, 2012]. Algoritma *Radial Basis Function (RBF)* [Jarrah, 2011], adalah :  
Langkah 1 : Inialisasi center dan Lebar (standar deviasi) secara random  
Langkah 2 : Hitung Nilai Fungsi Gauss, seperti pada persamaan:

$$\phi_{ij}(\|x - c_i\|) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_j^2}\right)$$

Dengan  $x$  adalah input,  $c_i$  pusat data ke- $i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  dan  $\sigma_j^2$  adalah standar deviasi ke- $j$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  dengan  $n$  adalah banyak pusat data [Heriyanto, 2013].

Selain fungsi *Gaussian*, fungsi aktivasi lain yang berbasis radial dan yang biasa diterapkan sebagai berikut [Riyandwayana, 2012] :

### 1. *Multi-Quadric Function*

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{1/2}$$

parameter  $\sigma > 0$

### 2. *Generalized Multi-Quadric Function*

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^\beta$$

parameter  $\sigma > 0, 1 > \beta > 0$

### 3. *Inverse Multi-Quadric Function*

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{-1/2}$$

parameter  $\sigma > 0$

### 4. *Generalized Inverse Multi-Quadric Function*

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^\alpha$$

parameter  $\sigma > 0, 1 > \alpha > 0$

### 5. *Thin Plate Spline Function*

$$\varphi(r) = r^2 \ln(r)$$

### 6. *Cubic Function*

$$\varphi(r) = r^3$$

### 7. *Linier Function*

$$\varphi(r) = r$$

Langkah 3 : Nyatakan ke dalam matriks  $G$  dengan baris dan kolom.

Langkah 4 : Hitung keluaran bobot dengan rumus berikut.:

$$W = G^+ d = (G^T G)^{-1} G^T d$$

Dengan  $\bar{w}$  adalah matriks bobot pelatihan,  $\Phi^+$  adalah pseudo invers matriks Gaussian, dan  $d$  adalah vektor target (center).

Langkah 5 : Menghitung output RBF dengan menggunakan persamaan.:

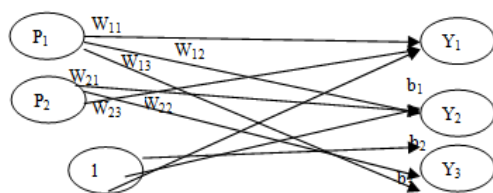
$$y(x) = \sum_{i=1}^j w_i G(\|x - c_i\|) + b$$

Self Organizing Map (SOM) merupakan perluasan dari jaringan kompetitif yang sering disebut dengan jaringan kohonen. Jaringan ini menggunakan metode *unsupervised learning*, yang artinya suatu lapisan yang berisi neuron-neuron akan menyusun dirinya sendiri berdasarkan input nilai tertentu dalam suatu kelompok. Selama proses tersebut, *cluster* yang memiliki jarak paling dekat dengan pola input akan terpilih sebagai pemenang dan beserta neuron tetangganya akan memperbaiki bobotnya. SOM memperlihatkan karakteristik :

1. Kompetisi, yaitu setiap vektor bobot saling berlomba untuk menjadi simpul pemenang.

2. Kooperasi, yaitu setiap simpul pemenang bekerjasama dengan lingkungannya.
3. Adaptasi, yaitu perubahan simpul pemenang dan lingkungannya

Metode SOM bertujuan untuk mengkluster suatu vektor-vektor input berdasarkan bagaimana mereka mengelompok sesuai dengan karakteristik inputnya. *Learning SOM* bekerja dengan cara menggabungkan proses *competitive layers* dengan topologi vektor-vektor input yang dimasukkan dalam proses iterasi. Jaringan SOM terdiri dari 2 lapisan (*layer*), yaitu lapisan input dan lapisan output. Setiap *neuron* dalam lapisan *input* terhubung dengan setiap *neuron* pada lapisan *output*. Setiap *neuron* dalam lapisan *output* merepresentasikan kelas dari *input* yang diberikan. Selama proses penyusunan diri, *cluster* yang memiliki vektor bobot paling cocok dengan pola *input* (memiliki jarak paling dekat) akan terpilih sebagai pemenang. *Neuron* menjadi pemenang beserta *neuron-neuron* tetangganya akan memperbaiki bobot-bobotnya. Apabila kita ingin membagi data-data menjadi *k-cluster*, maka lapisan kompetitif akan terdiri atas k buah neuron (Gambar 1).



Gambar 1. Jaringan Kohonen SOM

Seperti yang diperlihatkan dalam gambar 1, dimisalkan bahwa terdapat 2 unit *input* (P1 dan P2), yang akan dibentuk kedalam 3 *cluster neuron* lapisan *output* (Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>). Selanjutnya *neuron-neuron* tersebut akan memperbaiki bobotnya masing-masing, sebagai bobot W<sub>ij</sub>. Dalam hal ini, bobot W<sub>ij</sub> mengandung pengertian bobot yang menghubungkan neuron ke-j pada

lapisan input menuju neuron ke-i lapisan *output* [Faza, 2012].

Berikut algoritma SOM yang akan diterapkan pada program adalah [Faza, 2012] :

Step-0 Inisialisasi bobot W<sub>ij</sub>. Tetapkan parameter cluster (m) dan parameter laju peatihan (α).

Step-1 Selama syarat berhenti salah, lakukan langkah-langkah dibawah ini :

Langkah (i). Untuk setiap vektor masukan X, lakukan beberapa langkah dibawah ini :

Langkah (a). Untuk Setiap j, hitung *Euclidean Distance* dengan persamaan (5):

$$D(j) = \sum_i (w_{ij} - x_i)^2 \dots\dots\dots(5)$$

Langkah (b). Cari indeks j sedemikian sehingga D(j) minimum

Langkah (c). Untuk semua unit j didalam ketetanggan j, dan untuk semua l, hitunglah:

$$w_{ij(\text{baru})} = w_{ij(\text{lama})} + \alpha [x_i - w_{ij(\text{lama})}] \dots\dots(6)$$

Rumus (6) merupakan rumus untuk memperbarui bobot.

Langkah (ii). Perbarui laju belajar.

Langkah (iii). Kurangi jari-jari ketetanggan topologis dengan pencacahan tertentu.

Langkah (iv). Uji syarat berhenti. Bila benar, maka berhenti.

*MSE (Mean Squared Error)* adalah metode lain untuk mengevaluasi metode peramalan. Masing-masing kesalahan atau sisa dikuadratkan. Kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah observasi. Pendekatan ini mengatur kesalahan peramalan yang besar karena kesalahan-kesalahan itu dikuadratkan. Suatu teknik yang menghasilkan kesalahan moderat mungkin lebih baik untuk salah satu yang memiliki kesalahan kecil tapi kadang-kadang menghasilkan sesuatu yang sangat besar. Berikutini rumus untuk menghitung MSE [FMIPA UNS, 2012] :

$$MSE = \sum_{t=1}^n \frac{(y - y')^2}{n} \dots\dots\dots(7)$$

Perhitungan *Mean Squared Error* (*MSE*) berfungsi sebagai pengukur kesalahan pembentukan bobot akibat

keacakan data selama proses *training*, dimana keacakan data ini akan mempengaruhi akurasi data yang dihasilkan. Selain itu *MSE* juga berfungsi sebagai ambang batas pada proses komputasi. Dengan menggunakan fungsi akar kuadrat dari *Euclidean Distance* antara bobot awal *epoch* dengan *epoch* sampai memenuhi nilai optimal yang telah ditentukan (Wahyuningrum, 2012).

### PEMBAHASAN

Pada uji coba ini, peneliti menggunakan 500 data untuk mengetahui perbandingan antara dua pendekatan, yaitu pendekatan pertama dengan metode *SOM-RBF* dan pendekatan kedua dengan metode *SOM* saja. Serta dengan kondisi stop yaitu  $MSE \leq 0.001$ .

Uji coba ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pendekatan manakah yang lebih baik. Uji coba dilakukan pada 3 skenario, yaitu : (1). Menggunakan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap *running time*. (2). Menggunakan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap *epoch* dan *learning rate*. (3). Menggunakan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap *MSE* yang sebenarnya.

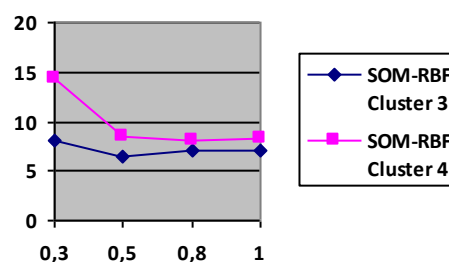
Pada uji coba ini data yang digunakan adalah data yang sama sebanyak 500 data. Dan akan dilakukan pada 3 skenario. Kriteria yang digunakan sama seperti pada sistem, yaitu frekuensi peminjaman buku, tahun penerbit buku, dan harga sewa buku. Jumlah *cluster* dan bobot awal yang sama dengan batasan jumlah *cluster* yang digunakan adalah 3 dan 4 *cluster*. Kondisi stopnya adalah  $MSE = 0.001$ . Dan *learning rate* dibatasi antara 0.3, 0.5, 0.8, dan 1.

Pada Tabel 1 menunjukkan tentang hasil uji coba skenario pertama dengan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap *running time*. Jadi pada skenario ini membandingkan antara pendekatan pertama dan kedua berdasarkan *running time*.

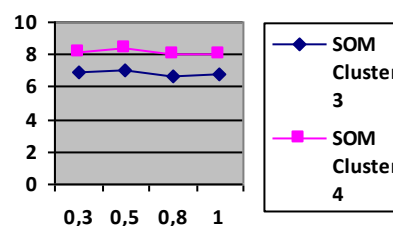
Skenario 1, Proses menggunakan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap *running time*.

Tabel 1. Hasil uji coba skenario 1

Learning rate	Cluster			
	SOM-RBF		SOM	
	3	4	3	4
0.3	8.1707 s	14.371 s	6.8605 s	8.1407 s
0.5	6.5311 s	8.3941 s	7.0558 s	8.3855 s
0.8	7.1383 s	8.1351 s	6.6406 s	8.0376 s
1	7.0149 s	8.3505 s	6.8438 s	7.9801 s
Average	7.2138 s	9.8128 s	6.8501 s	8.1359 s



Gambar 2. Hasil uji coba skenario 1 SOM-RBF



Gambar 3. Uji coba skenario 1 SOM

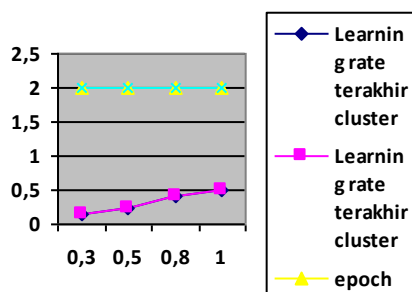
Pada Gambar 2 menunjukkan dari hasil uji coba skenario 1 pada pendekatan pertama dan Gambar 3 menunjukkan dari hasil uji coba skenario 1 pada pendekatan kedua. Menurut grafik pada pendekatan pertama dan kedua terlihat bahwa semakin banyak *cluster* yang dihasilkan, maka waktu yang dibutuhkan juga semakin lama. Jika dirata-rata dan dibandingkan antara kedua pendekatan tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk *running time* pendekatan pertama membutuhkan waktu yang lebih lama daripada pendekatan kedua. Dikarenakan pada pendekatan pertama membutuhkan proses yang lebih banyak dari pendekatan kedua.

Skenario 2, diuji coba proses menggunakan parameter MSE sebagai kondisi stop terhadap *epoch* dan *learning rate*.

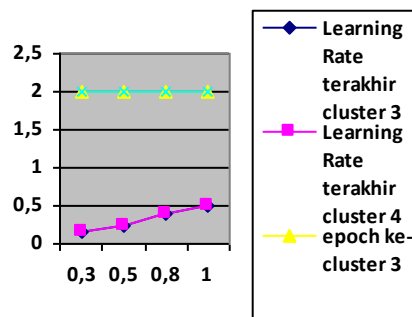
Tabel 2 Hasil uji coba skenario 2

Learning Rate	Cluster	Learning Rate terakhir		Jatuh pada epoch ke-	
		SOM-RBF	SOM	SOM-RBF	SOM
0.3	3	0.15	0.15	2	2
	4	0.15	0.15	2	2
0.5	3	0.25	0.25	2	2
	4	0.25	0.25	2	2
0.8	3	0.4	0.4	2	2
	4	0.4	0.4	2	2
1	3	0.5	0.5	2	2
	4	0.5	0.5	2	2

Pada Tabel 2 menunjukkan tentang hasil uji coba skenario kedua dengan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap *epoch* dan *learning rate*. Jadi pada skenario ini membandingkan antara pendekatan pertama dan kedua berdasarkan jatuh pada *epoch* keberapakah ketika kondisi stop terpenuhi, dan berapa *learning rate* terakhir ketika kondisi stop terpenuhi.



Gambar 4. Hasil uji coba skenario 2 pendekatan SOM-RBF



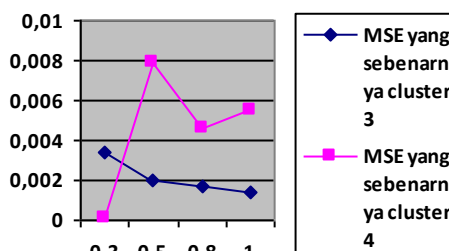
Gambar 5 Uji coba skenario 2 pendekatan SOM

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik hasil uji coba skenario 2 pendekatan pertama, dan Gambar 5 menunjukkan grafik hasil uji coba skenario 2 pendekatan kedua. Menurut grafik pada pendekatan pertama dan kedua tidak terlihat perbedaan antar cluster. Pada tiap *cluster* masing-masing pendekatan *learning rate* terakhir saat kondisi stop terpenuhi tidak ada perbedaan. Pada semua *cluster* berakhir pada *learning rate* kedua dan *epoch* kedua. Jika ditarik kesimpulan, untuk skenario 2, antara pendekatan pertama dan kedua berbanding lurus.

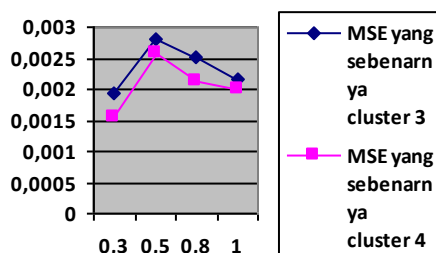
Tabel 3 Hasil uji coba skenario 3

Learning Rate	Cluster	MSE yang sebenarnya	
		SOM-RBF	SOM
0.3	3	0.003371	0.0019
	4	0.000105	0.0015
0.5	3	0.002024	0.0028
	4	0.007938	0.0025
0.8	3	0.001698	0.0020
	4	0.004627	0.0021
1	3	0.001376	0.0021
	4	0.005487	0.0019
Average	-	0.003328	0.0021

Pada Tabel 3 menunjukkan hasil uji coba skenario 3 dengan parameter *MSE* sebagai kondisi stop terhadap nilai *MSE* yang sebenarnya. Pada pendekatan pertama dan kedua. Jadi, pada skenario ini pada pendekatan pertama dibandingkan dengan pendekatan kedua berdasarkan nilai *MSE* yang sebenarnya.



Gambar 6. Hasil uji coba skenario SOM-RBF



Gambar 7. Hasil uji coba skenario 3 SOM

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik hasil uji coba skenario 3 pada pendekatan pertama, dan Gambar 7 menunjukkan grafik hasil uji coba skenario 3 pendekatan kedua. Menurut grafik pendekatan pertama dan kedua menunjukkan perbedaan yang cukup banyak. Nilai MSE yang sebenarnya pada pendekatan pertama antar cluster terdapat perbedaan yang cukup banyak pula. Begitu juga dengan pendekatan kedua. Jika dirata-rata dan dibandingkan, pendekatan pertama mempunyai nilai MSE yang lebih besar dari pendekatan kedua.

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembuatan penelitian ini adalah pada sistem ini, menggunakan 2 pendekatan dimana pada pendekatan pertama menggunakan perpaduan metode SOM-RBF, sedangkan pada pendekatan kedua menggunakan metode SOM saja. Penentuan nilai *centroid* dengan 2 kali iterasi, yang menghasilkan nilai yang optimal pada cluster. Pendekatan pertama pada sistem ternyata tidak lebih efisien dari pendekatan kedua jika dilihat dari segi *running time*-nya. Dikarenakan adanya perbedaan proses pada kedua pendekatan tersebut. Yakni, pada pendekatan pertama mengalami proses yang cukup panjang jika dibandingkan dengan pendekatan kedua. Ketika ujicoba dilakukan, dengan parameter *learning rate* 1, 0.8, 0.5, dan 0.3. Dan dengan 3,4, 5 cluster, serta kondisi stop MSE 0.001. Terlihat perbedaan yang cukup signifikan dr kedua perbedaan tersebut. Dilihat dari segi kenaikan

*running time* pada tiap *learning rate*, pendekatan kedua menaikkan *running time*-nya lebih stabil. Dibandingkan dengan pendekatan kedua, yang perbedaan antar cluster di tiap *learning rate* perbedaan *running time*-nya cukup jauh.

Aplikasi yang dibuat pada Tugas Akhir ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut dengan diharapkan ada penambahan parameter untuk lebih meningkatkan fungsi pada kedua pendekatan. Diharapkan ada penelitian dengan metode lain yang lebih baik dari penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Kahira, Ulfa. *Integrasi Self Organizing Maps dan Algoritma K-Means Untuk Clustering Data Ketahanan Pangan Kabupaten di Wilayah Provinsi Bali, Nusa Tenggara Timur, dan Nusa Tenggara Barat*. Institut Pertanian Bogor. 2012
- Riyandwayana, Ananda dkk. *Pengembangan Sistem Rekomendasi Peminjaman Buku Berbasis Web Menggunakan Metode Self Organizing Maps Clustering Pada Badan Perpustakaan Dan Kearsipan (BAPERSIP) Provinsi Jawa Timur*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. 2012
- Damayanti, Auli. *Pendekatan ARRYTHMIA Hasil ECG Menggunakan Radial Basis Function Dan Kohonen Self Organizing Maps*. Universitas Airlangga. 2012
- Baboo, S. Santosh. *Combining Self Organizing Maps and Radial Basis Function Network for Tamil handwritten Character Recognition*. University for women, Coimbatore, India. 2009
- Faza, Ahmad. *Klasterisasi Teks Informasi Beasiswa Menggunakan Self Organizing Maps (SOM)*. Universitas Trunojoyo Madura. 2012.
- [http://www.proweb.co.id/articles/web\\_application/PHP\\_adalah.html](http://www.proweb.co.id/articles/web_application/PHP_adalah.html), diakses pada tanggal 03 Juni 2013

<http://kc99lounge.blogspot.com/2010/07/data-mining.html>, diakses pada tanggal 10 Juli 2013

Kelompok 2. *Metode Peramalan 2011*. Jurusan Matematika FMIPA UNS.2011

Wahyuningrum, Rima Tri, dkk. *Pengenalan Pola Senyum Menggunakan Self Organizing Maps (SOM) Berbasis Ekstraksi Fitur Two-Dimensional Principal Component Analysis (2DPCA)*. Universitas Trunojoyo.2012

Jariah, Ainun, dkk. *Pengenalan Pola Tanda Tangan Menggunakan Metode Moment Invariant Dan Jaringan Syaraf Radial Basis Function (RBF)*. Universitas Yogyakarta.2011

Heriyanto, Dwi N. *Penerapan Metode Radial Basis Function Dengan K-Means Cluster Untuk Peramalan Kebutuhan Straw*. Universitas Trunojoyo.2013

<http://movielens.org>

## REDUCING DEFECTIVE OF ROLL M-70 PRODUCT ON CASTING PROCESS

Sukirman<sup>1</sup>, Enden Primandhika<sup>2</sup>, Huda Muhamad B<sup>3</sup>, Deros B.M<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Faculty of Industrial Technology, Chemical Engineering Department  
Universitas Islam Indonesia

<sup>3,4</sup> Faculty of Engineering and Built Environment, Mechanical and Materials  
Engineering Department, Universiti Kebangsaan Malaysia

Masuk: 6 Mei 2014, revisi masuk : 11 Juni 2014, diterima: 4 Juli 2014

### ABSTRACT

Statistical process control (SPC) is a method of monitoring the production process with the goal of maintaining product quality during the production process. Thus, once the problems (variables) have resulted, the repair process can be immediately identified and carried out. However, in some cases, the application of SPC is not maximized. This was caused by the lack of a systematic procedure that was used to guide the operator in applying statistical process control. Therefore, this study offers a systematic procedure to guide the operator in applying SPC. Systematic procedure is performed with the literature study and direct observation in manufacturing companies. In order to apply statistical process control, several statistical tools are accommodated according to their needs and objectives. Thus, it results systematic application of SPC procedure which consists of 15 steps and is divided into two concepts. Indicator is applied to determine the systematic procedure to qualify whether the test is applicable and can improve the ability of the process. Definition of applicable is able to guide the operator in applying SPC and stabilize the process. Systematic procedure have undergone testing at the casting factory. Systematic procedures otherwise applicable and may improve the ability of the improved process.

**Keywords :** Statistical process control, Design of Experiment, defective

### INTISARI

Statistical Process Control (SPC) adalah metode pemantauan proses produksi dengan tujuan menjaga kualitas produk selama proses produksi. Dengan demikian, setelah masalah (variabel) telah diidentifikasi, maka proses perbaikan dapat segera diidentifikasi. Namun, dalam beberapa kasus, penerapan SPC belum maksimal. Hal ini disebabkan oleh kurangnya prosedur yang sistematis yang digunakan untuk memandu operator dalam menerapkan pengendalian proses statistik. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan prosedur sistematis untuk memandu operator dalam menerapkan SPC. Prosedur yang sistematis dilakukan dengan studi literatur dan observasi langsung di perusahaan manufaktur. Dalam rangka menerapkan pengendalian proses statistik, beberapa alat statistik yang ditampung sesuai dengan kebutuhan dan tujuan mereka. Dengan demikian, hasil aplikasi sistematis prosedur SPC yang terdiri dari 15 langkah dan dibagi menjadi dua concepts. Indikator diterapkan untuk menentukan prosedur sistematis untuk lolos apakah tes ini berlaku dan dapat meningkatkan kemampuan proses. Definisi yang berlaku adalah mampu membimbing operator dalam menerapkan SPC dan menstabilkan proses. Prosedur yang sistematis telah menjalani pengujian di pabrik pengecoran. Prosedur sistematis dinyatakan berlaku dan dapat meningkatkan kemampuan proses perbaikan.

**Kata Kunci :** Statistical process control, Design of Experiment, defective.



## INTRODUCTION

Quality control (QC) is an important function and critical success factor for the companies as it deals with product inspection before the product is shipped to customers. For this reason, an increasing emphasis on quality should be done continuously by reducing the defect rate. Hence, monitor and build quality into the process are ways to eliminate defects. Statistical process control (SPC) is one of the tools widely used in QC to monitor whether the production process is in control through the use of statistical control chart.

Montgomery, 2008 described that control chart used to the simplicity of its implementation and the ease of interpretation of the process status (in control or out of control). However, traditional control charts currently can show problems of performance or practical implementation, Other researchers also propose a systematic procedure concerning the application of SPC are Laosiritaworn and Bunjongjit, 2010. This research generates a systematic procedure for applying control chart. However, as a supporter of the application of SPC control charts, design of experiments required.

Design of Experiments (DoE) method, has been widely used by many researchers. Eriksoon , 2008 used any kind of experimental subjects that have emerged on system to check the theoretical results and also to obtain some practical information or to optimize its operation.

This research only showed the optimal results on the variable of parameter factor while other treatments such as calculation loss function have not been discussed. Based on those researches, it will be conducted further research with a systematic procedure concerning the application of SPC that is applicable and comprehensive so easily understood by operators on the production floor.

Several researches concerning to the quality improvement gathered more attentions in recent years. Due to the difficulties of control system in those

industries, many methods are developed to maintain the production process. Mares and Sokolowski , 2010 mentioned that the integration of Statistical Process Control methods was developed to analyze casting component properties.

In the current Quality control, control chart as a featured tool of statistical process control has been used extensively by practitioners to monitor and even reduce process variation by identifying and eliminating sources of variation Montgomery, 2008. Yamamoto, H., et al , 2010 mentioned the P control chart is often used in manufacturing processes as a control tool for monitoring product qualities. Wu, et al. 2009 proposed the use of an np x chart to monitor a process mean by attribute inspection as an alternative to the use of an x chart. Tuerhong et al., 2014 proposed control charts can efficiently handle mixed data. Ho Wu and Chang, 2004 applied the Taguchi method to optimize the process parameters for the die casting of thin-walled magnesium alloy parts in computer, communications and consumer electronics industries.

Muzammil, et al, 2003 made a study for optimization of Gear Blank Casting Process by Using Taguchi's Robust Design Technique. In this study they demonstrated that casting process involve a large number of parameters affecting the various casting quality features of the product. The reduction in the weight of the casting as compared to the target weight was taken to be proportional to the casting defects. NoorulHaq, et al , 2009 in their study demonstrates optimization of CO<sub>2</sub> casting process parameters by using Taguchi's design of experiments method. The effect of the selected process parameters on casting defects and subsequent setting of the parameters are accomplished by using Taguchi's parameter design approach.

## METHODOLOGY

The objective of this paper is a program development on quality improvement based on SPC and also

optimizing the process parameters on casting process including optimum levels using Taguchi method while quality loss function are needed to balance the cost and quality of a product. The case study is conducted in a job foundry in Klaten, Central Java.

Research Model, The model of this research is the application of SPC to identify the defect in milling process in order to improve the performance for increasing quality of products. The model uses a formula that has been built by Laosiritaworn and Bunjongjit, 2010

Research Design, To solve the problem, this research applies SPC under systematic procedure. Systematic design is a systematic procedure in flowchart form that developed in order to facilitate the operator in applying statistical process control. The systematic flowchart is shown in Figure 3.1.

In these cases, the product or component are classified as conforming or non-conforming. Control charts for these features are called control charts for attributes. They demonstrate the data process collecting such as: amount of production, product accepted, and reject product number, then identify and categorize the data into attribute or variable data.

Determine Stastitcal Control Chart, Hence, the data is attribute, need to differensial between the different type of control chart is required to measure proportion of rejected product in sample.

It already mentioned that p -chart control has been applied to measure the proportion of items in a sample that are defective. The purpose of this analysis is to compute the upper and lower control limits with formula is the p chart shown in Eq

$$UCL = \bar{p} + z\sigma, LCL = \bar{p} - z\sigma$$

Where,  $z$  = standard normal variable  
 $\bar{p}$  = mean value of sample proportion defective

$z\sigma$  = the standard deviation of the average proportion defective

As with the other charts,  $z$  is selected to be either 2 or 3 standard

deviations, depending on the amount of data that wish to be captured in the control limits. Usually, however, they are set at 3. The sample standard deviation is computed as follows:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Where  $n$  is the sample size.

To all processing of 27 reject data, so the result of fraction defective, upper control limit and lower control limit which will be inserted and calculated into the Minitab software are shown in Figure 1

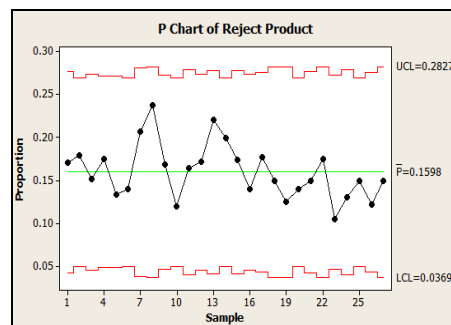


Figure 1: p -chart graph

In Figure 4.2, it is showed that when the control limit and part of rejected samples mapped, there was no input data which was out of control however there are still many defects. So, this research will try to reduce the number of existing defects and make a high quality improvement but firstly, it is needed to identify the factors that cause product defect which will be explained in the next sub-section.

Identifying root cause, The purpose of this analysis is to identify the possible causes. The primary factors will become a parameter to determine the optimum setting. Based on the Figure. 2, there are four factors that affect the occurrence of product defects i.e. material, method, molding, production process.

As the core of this research, the production process has the most significant effect on the occurrence of defective products produced. This defect is caused by four factors: pouring time, pouring temperature, permeability, and

water content. Therefore, Design of Experiment (DoE) will be applied to determine the optimum settings to these

factors by considering the value of the parameter of each level.

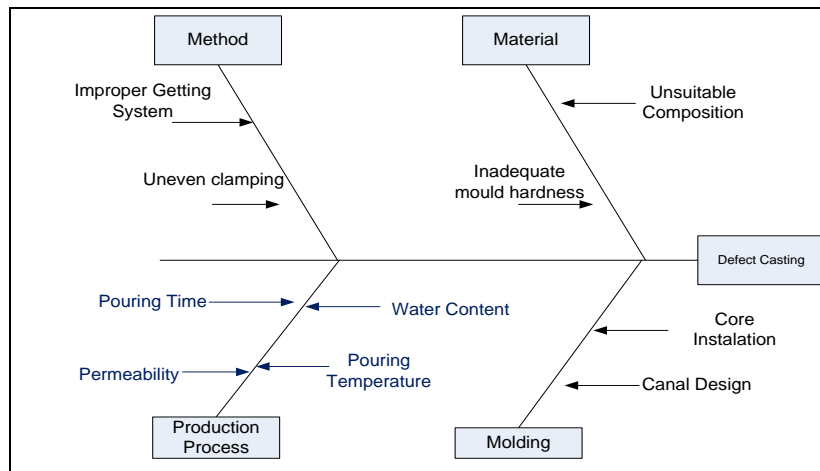


Figure 2: Ishikawa Diagram

The Taguchi method can be applied by using eight experimental steps that can be grouped into three major categories as follows Phadke, 1989:

Planning the experiment:

1. Identify the main function of casting process.
2. Identify the quality characteristic to be observed and the objective function to be optimized.
3. Identify the control factors and their alternate levels.
4. Identify noise factors and the testing conditions of the process.
5. Design the matrix experiment and define the data analysis procedure.

Performing the experiment:

1. Conduct the matrix experiment.
2. Analyzing and verifying the experimental results:
3. Analyzing the data, determining the optimum levels for the control factors, and predicting performance under these levels
4. Conducting the verification (also called confirmation) experiment and planning future actions

Furthermore, important factors were selected and used the DOE

modelling involved in the experiment are Pouring temperature, Pouring time, Permeability, Water content.

For each process parameter, three levels and four factors are selected which define the experimental region is shown in Table 1.

Table 1: Factors and Level design

Factors	Level		
	1	2	3
Pouring Temperature	1320°	1350°	1380°
Pouring Time	15sec	18sec	20sec
Permeability	75ml/c	80	90
Water Content	m <sup>2</sup>	ml/cm	ml/cm
	m <sup>2</sup>	2	2
	75%	8%	9%

Quality Characteristic, Casting defects was selected as a quality characteristic to be measured. The most common defects occurring in the foundry were monitored and recorded. The smaller the better number of casting defect implies better process performance. Here is the objective function to be maximized:

$$SNratio\eta' = -10\log \frac{\text{meansquaresurfacedefects}}{S/Nratio(\eta') = -10\log(\sum y_i^2/n)}$$

Maximizing  $\eta$  leads to minimization of quality loss due to defects. Where  $S/N$  ratio is used for measuring sensitivity to noise factors,  $n$  is the number of experiments orthogonal array, and  $y_i$  the  $i^{th}$  value measured.

Selection of orthogonal array, Selection of orthogonal array was adopted from Fowlkes and Creveling, [2] which will be processed using *Minitab software* to obtain the proper orthogonal arrays. The L9 Orthogonal Array can handle four factors at three levels L9 Because the  $DoF = 8$ , so, it can be separated into two  $DoF$  per column. This is because the  $DoF_r = (3-1) = 2$  Columns 1 and 2 of the L9 make up the 32 full factorial. The orthogonal array is shown in Table 2.

Table 2: Orthogonal Array

Run	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	1	1	1	2	2	2	3	3	3
e	1	2	3	1	2	3	1	2	3
v	1	2	3	2	3	1	3	1	2
e	1	2	3	3	1	2	2	3	1
l									

The value factors in Table 2 Orthogonal Array will be entered into *Minitab software*. The results of data inputting into Orthogonal Array is shown in Table 3. Experimental Orthogonal Array consisting of 9 running experiments by testing all combinations of values in each factor.

Table 3: Experimental orthogonal array

Tri al No	Pouring temperat ure	Pouri ng time	Permeab ility	Water Conte nt
1	1320°C	15 sec	75 ml/cm <sup>2</sup>	7%
2	1320°C	18 sec	80 ml/cm <sup>2</sup>	8%
3	1320°C	20 sec	90 ml/cm <sup>2</sup>	9%
4	1350°C	15 sec	80 ml/cm <sup>2</sup>	9%
5	1350°C	18 sec	90 ml/cm <sup>2</sup>	7%
6	1350°C	20 sec	75 ml/cm <sup>2</sup>	8%
7	1380°C	15 sec	90 ml/cm <sup>2</sup>	8%
8	1380°C	18 sec	75 ml/cm <sup>2</sup>	9%

Due to the number of defects, 27 data will be divided into 3 levels, experiments, so there are 9 running experiments as shown in Table 4

Table 4: Experimental data

Experiment	Sample Size			Total Defect
	1	2	3	
1	15	12	10	37
2	18	14	14	46
3	14	16	13	43
4	17	19	14	50
5	13	20	10	43
6	14	15	11	40
7	17	13	15	45
8	19	16	11	46
9	16	12	12	40

**Experiment Results and S/N Ratios,**

The static S/N Ratios are the most commonly used metrics in Robust Design. They relate directly to calculate mean square deviation. The computing example is presented as following:

$$MSD = \frac{(15^2 + 12^2 + 10^2)}{3} = 156.33$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10}(156.33) = -21.94$$

Ratio calculation results of MSD and S / N are distributed to the major factor response and optimum variables can be determined by Minitab software. Figure 3 shows the response of the main factor calculations Main ratio S / N.

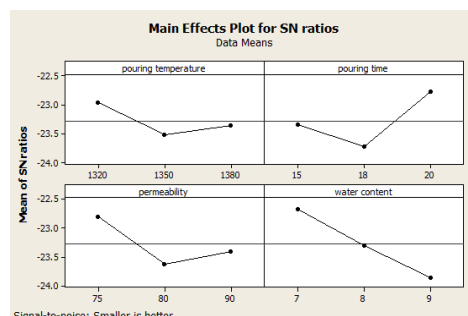


Figure .3 graphs of main factor response

Based on the above calculation, the selection of the optimum settings is the greatest value in each of the factors contained in the Figure 3. Then the optimum settings are Pouring Temperature: Level 1 (1320°C), Pouring Time : Level 3 (20 sec), Permeability : Level 1 (75 ml/cm<sup>2</sup>), Water Content : Level 1 (7%)

Implementing the DoE result analysis into the process, The results from design of experiments provide the most optimum output of the variable compared with other tolerance values. So the value of the tolerance should be applied to the production process directly. Data collecting after implementation is needed to estimate the extent to which savings from improved quality.

Collecting and evaluate the new data process, Based on calculations of 27 Data from data after p -chart, then the data inputting process using Minitab software is executed and produces a graph as shown in Figure.4

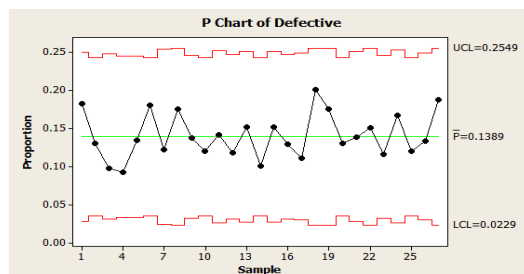


Figure 4 : *p* -chart of after data process

Based on the Fig. 4 we can conclude that there is no point outside of the limits and the defects result in milling products are decreasing if compared with the initial *p* -chart. In details, changes between the defect before and after the process capability will be analyzed.

Capability Process Analysis, Process capability can be analyzed as a ratio to determine whether a process fulfill design specifications. Figure 5 is process capability of initial defect data which the results will be compared with the before and after results of data

defect analysis capability. Data processing will be analyzed using Minitab software in accordance with the steps following

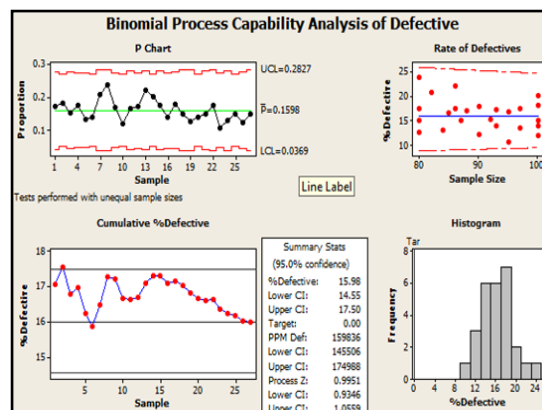


Figure 5 Capability proses for initial defect

This analysis resulting a *Process Z* = 0.995, and its *defective* percentage is 15.98 %. The higher the *z* value process, the better ability of these processes to fulfill design specifications set by consumer demand. To see the analysis capability in data after, minitab software will be employed to process the data returned. The results are shown in Figure 6.

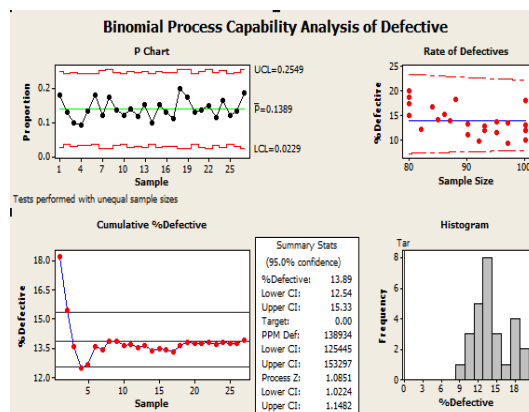


Figure 6. Result of *capability analysis* using *Software Minitab* with data after

The results of capability process analysis use data after with generating value = 1.0851 and *Z* Process defective with the percentage of 13.89%,

increasing value of Z is an indicator of the increased ability process.

Process Improvement Analysis, The process can be terminated once the test is passed. This is due to the increase of Z of the process by 9.05% from the previous value of 0.995 to 1.0851. Process of Z represents the standard deviation of the data. Therefore, higher process Z value, the ability of these processes will also increase. This is also supported by stable process that has been improved.

*Hypothesis test*

$$H_o : \mu_1 = \mu_2 ; H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

$\alpha = 0,05$ ; Critical area

$t < -2.05$  and  $t > 2.05$

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{Sd / \sqrt{n}} \quad \text{With } v = n - 1 = 27 - 1 = 26$$

$$Sd^2 = \frac{(27)(487) - (51)^2}{(27)(26)} = 15;$$

$$Sd = \sqrt{Sd^2} = \sqrt{15} = 3.8 \quad \text{and}$$

$$t = \frac{2-0}{3.8/\sqrt{27}} = 2.73$$

$t < -2.05$  and  $t > 2.05$  so the results of the calculation ( $2.73 > 2.05$ ) thus, Included in critical zone and concluded that there was significant difference

between the number of defects before and after.

Total defect data before and after will be analyzed to determine the percentage of quality loss function. Percentages of defects before and after shown are in Table 6.

Calculation of  $k$  :

Cost ( $A_0$ ) = 50000 IDR, and Upper limit ( $\Delta$ )=0.95

$$k = \frac{A_0}{\Delta} + \frac{Rp \ 50.000}{0.95^2} = 55.401,662$$

*Calculation before conducting research:*

$$y = \frac{390}{27} = 14,4; \sigma = 2,357; \sigma^2=5,559;$$

$$L(y) = k(\sigma^2 + y^2) = 11.798.337$$

*Calculation after conducting research:*

$$y = \frac{339}{27} = 12,6; \sigma = 2,357; \sigma^2=5,559;$$

$$L(y) = k(\sigma^2 + y^2) = 9.103.601$$

With the proposed setting, then there is a cost savings of 2.694.736 IDR per year

Table 5 Hypothesis test calculation Paired T

No	Initial Defect	Defect After	d	d^2	No	Initial Defect	Defect After	d	d^2
1	15	16	-1	1	16	13	12	1	1
2	18	13	5	25	17	16	10	6	36
3	14	9	5	25	18	12	16	-4	16
4	17	9	8	64	19	10	14	-4	16
5	13	13	0	0	20	14	13	1	1
6	14	18	-4	16	21	13	12	1	1
7	17	10	7	49	22	14	12	2	4
8	19	14	5	25	23	10	11	-1	1
9	16	13	3	9	24	11	14	-3	9
10	12	12	0	0	25	15	12	3	9
11	14	12	2	4	26	11	12	-1	1
12	16	11	5	25	27	12	15	-3	9
13	19	13	6	36			<b>Total</b>	51	487

14	20	10	10	100	<b>Average</b>	2	18
15	15	13	2	4			

Table 6. Defect before and after

No	Defect initial	Defect after	Total Production	No	Defect initial	Defect after	Total Production
1	15	16	88	15	15	13	86
2	18	13	100	16	13	12	93
3	14	9	92	17	16	10	90
4	17	9	97	18	12	16	80
5	13	13	97	19	10	14	80
6	14	18	100	20	14	13	100
7	17	10	82	21	13	12	87
8	19	14	80	22	14	12	80
9	16	13	95	23	10	11	95
10	12	12	100	24	11	14	84
11	14	12	85	25	15	12	100
12	16	11	93	26	11	12	90
13	19	13	86	27	12	15	80
14	20	10	100				

**DISCUSSIONS**

To improve the quality, this research proposes a p-chart as a model for measuring the percentage of rejection in a sample of attribute, a small sample is mapped and then the characteristics of the resulting data tested to see whether the process is within control limits.

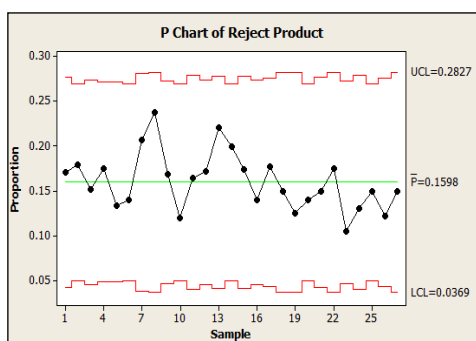


Figure 7: p -chart of initial defect

Figure 7, shows that a process is under control and capable of producing the specified control limit, however many defects that occur caused by factors in the casting process. Therefore, to reduce the number of defects, the

implementation of optimum variables is required.

Design of experiment was used to determine the optimal parameter settings on the process performance to get the best combination on existing variables. In this experiment, the authors determine the four parameters that influence the occurrence of defects of the casting products. Those variables are pouring temperature, pouring time, permeability and water content. The combination of these four variable level values are processed by Minitab that generates optimum value which can be seen from the results of graph, indicates pouring temperature level 1 is -68.87, pouring time is -68.31 level 3, and level 1 is -68.41 permeability and water content levels 1 is - 68.00.

Based on analysis result, it can be seen that the optimal setting for pouring temperature are 1320°C, pouring time of 20 cm, permeability of 75 ml/cm<sup>2</sup> and water content 7%. The water content is the most influential factor of each factor there, it can be concluded that the water in the molding sand is turning bentonite holding capacity so that it can be used to

bind the molding sand. When the water content continuously improved it will affect fastener holding capacity, water content continues to be added to make the water that is added into the free water and fill the gap with the grain while the water is added continuously to the molding sand into a paste (defect).

The results of design of experiments analysis provide the most optimum output of the variable compared with other tolerance values. So the value of the tolerance should be applied to the production process directly. Significant reduction occurred in the new data can be displayed in the  $p$ -chart is shown in Table 6. Based on the graph above, it is concluded that there is coming out of the limits and the defects result in milling products are decreasing if compared to initial  $p$ -chart

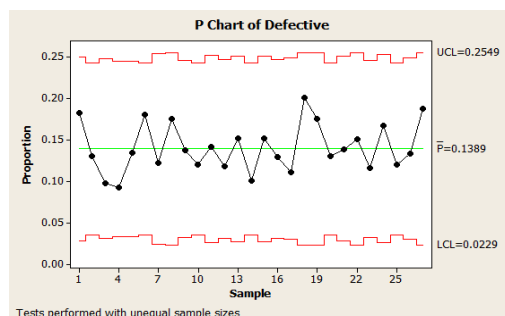


Figure 8:  $p$ -chart of data after

Based on the calculation results, it is showed that, the cost of losses before trial is 11.798.337 IDR. While the cost of losses after the trial is 9.103.601 IDR. Hence, it establishes cost savings for 2.694.736 IDR. Since the tremendous savings that can be obtained, it is necessary to generate the implementation of the optimum settings in this study as well as to conduct sustainable evaluations for the production process.

## CONCLUSION

This study has successfully developed the SPC based quality improvement program in the form of a systematic procedure of statistical process control application so that can assist operators in implementing

statistical process control. Systematic procedure can be applied and passed the test, with evidence of the testing results that form a new stable process, and the increasing value of  $Z$  of the process becomes 1.0851 and defective reduce become 13.89%. The result of optimal conditions using DoE (Design of Experiments) are 1320°C in temperature, pouring time of 20 cm, permeability of 75ml/cm<sup>2</sup> and water content of 7%. It can be concluded that if this parameter implemented into real system, the defect will be decreased also. The profit of the company increases due to 2.694.736 IDR cost savings by calculating before and after defect loss cost.

## REFERENCES

- Eriksson L. Design of Experiments: Principles and Applications. MKS U metrics AB Ed. ISBN 9197373044, 9789197373043; 2008
- Fowlkes, Y. W and Creveling, M. C. *Engineering methods for robust product design: Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*. Addison-Wesley, 1995.
- Ho Wu, Der and Chang Mao Sheng. Use of Taguchi method to develop a robust design for the magnesium alloy die casting process. *International Journal Materials Science and Engineering A* 379 (2004) 366–371
- Laosiritaworn, W., and Bunjongjit, T. *Visual Basic Application for Statistical Process Control: A Case of Metal Frame for Actuator Production Process*, Proceedings of the International Multi Conference of Engineer and Computer Scientist 2010 Vol. 3.
- Mares. E, J.H., and Sokolowski. *Metal Casting Technology Group*, University of Windsor, 218. Essex Hall, 401 Sunset Avenue, Windsor, Ontario N9B 3P4, Canada. 2010.



- Montgomery, D. C. Introduction to statistical quality control (6th ed.). 2008. New Jersey: Wiley & Sons
- Muzammil M, Singh P.P and Talib F. "Optimization of gear blank casting process by using Taguchi's robust design" , Quality Engineering Vol. 15, No. 3, pp. 351–359, 2003.
- NoorulHaq, S. Guharaja and K. M. Karuppanan: Parameter optimization of CO2 casting process by using Taguchi method. *International Journal Interact Des Manuf.* 2009, 3:41-50
- Phadke, M. S. Quality Engineering Using Robust Design. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- Tuerhong, G., Kim, S. B., Kang, P and Cho, S.. Hybrid novelty score-based multivariate control charts. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 43, 115–131. 2014
- Wu, Z., Khoo, M.B.C., Shu, L and Jiang, W. An np control chart for monitoring the mean of a variable based on an attribute inspection. *International Journal of Production Economics* 121, 141. 2009
- Yamamoto, H., Sun, J and Matsui, M. A study on limited-cycle scheduling problem with multiple periods. *Computer & Industrial Engineering* 59 (4), 675–681. 2010

## PERANCANGAN *BLADE AIRFOIL* DENGAN BANTUAN PROGRAM TRANSFORMASI JOUKOWSKY

Toto Rusianto<sup>1</sup>, Emy Setyaningsih<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, <sup>2</sup>Jurusan Matematika Institut Sains & Teknologi AKPRIND  
Yogyakarta,

Masuk: 19 Juni 2014, revisi masuk : 7 Juni 2014, diterima: 5 Juli 2014

### ABSTRACT

*Design cross section of wind turbine blades with airfoil cross-section can be made from a mathematical approach. The mathematical formula was discussed for airfoil shape from Joukowski equation, that was developed by Nikolai Zhukovsky Egorovich. The problems would appear if used the Joukowski equation settlement for design with manual, it could take a long time. The problem solving for the mathematical could use graphic user interfaces (GUI) program and the design for implementation could use computer aided design (CAD) program. The Joukowski transformation was performed by conformal mapping through the transformation of a complex function from one coordinate system to another, which circle shape was transformed to airfoil shape. Ideal airfoil shape was obtained with observed of the transformation radius and center of the circle.*

**Keywords:** *airfoil, Joukowski, GUI, CAD, transformation.*

### INTISARI

Pembentukan penampang bilah kincir angin dengan penampang *airfoil* dapat dibuat dengan pendekatan matematik. Rumusan atau persamaan matematik yang membahas bentuk *airfoil* adalah persamaan Joukowski, yang dikembangkan oleh Nikolai Yegorovich Zhukovsky. Penyelesaian persamaan Joukowski dengan manual akan membutuhkan waktu yang lama. Untuk memudahkan penyelesaian persamaan menggunakan bantuan program *Graphic User Interfaces* (GUI). Sedang rancangan desain grafis menggunakan program *computer aided design* (CAD). Program GUI dapat membantu penyelesaian persamaan matematik menjadi lebih cepat dan akurat. Untuk menghasilkan tranformasi *airfoil* yang ideal harus memperhatikan jari-jari dan pusat lingkaran yang akan ditranformasikan. Bentuk ideal *airfoil* diperoleh dari besarnya pergeseran titik pusat lingkaran ke arah sumbu X lebih kecil atau sama dengan selisih perubahan jari-jari dari keadaan standar (jari-jari sama dengan satu). Jika besarnya pergeseran lebih besar dari selisih tersebut akan terjadi loop pada *trailing edge* *airfoil*. Pergeseran titik pusat lingkaran ke arah sumbu Y menjadikan *airfoil* terdapat *mean chamber line*. Bentuk ideal *airfoil* diperoleh dari besarnya pergeseran titik ke arah sumbu Y lebih kecil atau sama dengan selisih perubahan jari-jari dari keadaan standar. Jika besarnya pergeseran lebih besar akan terjadi *mean chamber line* memotong *upper chamber line*.

**Kata kunci:** *airfoil, Joukowski, GUI, CAD, tranformasi.*

### PENDAHULUAN

Nikolai Yegorovich Zhukovsky (English: Jaoukowsky) (Rusia: Николай Егорович Жуковский; 17 Januari 1847 - 17 Maret 1921) adalah seorang ilmuwan Rusia, pendiri yayasan *modern-aero* dan hidrodinamika. Zhukovsky adalah orang yang pertama kali melakukan studi tentang aliran udara. Nama biasanya

adalah romanised yang dikenal sebagai Joukovsky atau Joukowsky dalam literatur. Zhukovsky lahir di desa Orekhovo, Oblast Vladimir. Dia lulus dari Universitas Moskow pada tahun 1868 (Gutierrez, 2003). Dia adalah ilmuwan pertama yang menjelaskan secara matematis asal angkat aerodinamis, melalui hipotesis sirkulasi-nya, yang

<sup>1</sup> [toto@akprind.ac.id](mailto:toto@akprind.ac.id),

<sup>2</sup> [emypurnomo@akprind.ac.id](mailto:emypurnomo@akprind.ac.id)

pertama untuk dimensi gaya angkat yang dihasilkan oleh sebuah benda yang bergerak melalui fluida ideal yang proporsional terhadap kecepatan dan sirkulasi benda. Melalui konformal matematika transformasi yang pertama, untuk menentukan bentuk profil aerodinamika yang memiliki elemen penting hidung bulat (*nose/leading edge*) permukaan ganda (ketebalan terbatas), melengkung atau lurus, dan ekor tajam (*trailing edge*). Ia juga membangun terowongan angin (*wind tunel*) pertama di Rusia (Gutierrez, 2003).

Pembentukan penampang bilah *airfoil* dapat dilakukan dengan pendekatan matematik. Rumusan atau persamaan matematik yang membahas bentuk airfoil adalah persamaan Joukowski, yang dikembangkan oleh Nikolai Yegorovich Zhukovsky, seperti yang telah diterangkan di atas. Persamaan Joukowski memerlukan penyelesaian perhitungan secara matematik, penyelesaian apabila dilakukan dengan manual akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk memudahkan penyelesaian persamaan matematik tersebut digunakan bantuan program komputer yaitu program Matlab sedang rancangan desain grafis dari rancangan menggunakan program CAD.

Untuk mendapatkan suatu desain bentuk bilah kincir angin yang aerodinamis yaitu bentuk airfoil. Pendekatan matematik untuk mendapatkan penampang bentuk airfoil adakan tranformasi Joukowski. Untuk dapat menyelesaikan persamaan tersebut digunakan program bantu Matlab, data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik. Bentuk grafik yang diharapkan adalah bentuk airfoil, dari bentuk tersebut dengan bantuan program CAD didesain menjadi sebuah bentuk bilah kincir angin.

Batasan masalah yang digunakan meliputi: Analisa terhadap persamaan matematika tranformasi Joukowski, dengan mentranformasikan bentuk lingkaran pada bidang kompleks Z dengan variasi bentuk geometri lingkaran, variasi meliputi jari-jari lingkaran dan titik pusat lingkaran

(Dauhoo, 2003). Analisa tranformasi dilakukan dengan bantuan program Matlab. *Figure airfoil* hasil dari program Matlab diklasifikasikan dalam standar NACA. Hasil *figure* tranformasi bentuk geometri dijadikan acuan untuk mendisain penampang bilah kincir angin. Perancangan dengan menggunakan bantuan program CAD. Hasil tampilan berupa desain rancangan 3D.

Tujuan yang diperoleh antara lain adalah: Mengembangkan proses pembelajaran dari aplikasi matematika dalam bidang teknik mesin, yang berhubungan dengan pemetaan bilangan kompleks. Menyelesaikan bentuk persamaan matematika bilangan kompleks melalui transformasi/*conformal mapping* (Eichstaedt, 2007) dengan bantuan program komputer. Mendesain bilah kincir angin dengan bantuan persamaan matematika dan program komputer, untuk mendapatkan bilah airfoil yang aerodinamis.

## METODE

Objek penelitian meliputi a). Analisa terhadap bilangan kompleks serta model transformasi. b). Analisis terhadap penyelesaian persamaan transformasi Joukowski dari sebuah persamaan lingkaran pada bidang kompleks z. c). Penggunaan program Matlab untuk menyelesaikan persamaan transformasi Joukowski, baik penyelesaian berupa numerik maupun penyelesaian berupa *Graphic User Interfaces* (GUI) (Mathwork, 2011). d). Penggunaan program CAD Profesional, untuk merancang bilah airfoil dengan berupa tampilan 3D, sebagai hasil dari GUI pada program Matlab..

## Pengujian

a. Pengujian meliputi analisa pada persamaan transformasi Jaoukowski

$$(Kreyszig, 2006) \quad w = z + \frac{b^2}{z},$$

dengan memvariasikan nilai b atau membuat jari-jari lingkaran pada bidang Z dengan variase trtentu, sehingga hasil tranformasi juga akan bervariasi. Membuat pergeseran pada titik pusat lingkaran pada bidang Z

- Pergeseran ke arah sumbu X negatif
  - pergeseran ke arah sumbu Y positif
  - dan pergeseran ke dua arah sumbu X dan Y.
- b. Memformulasikan perubahan jari-jari dan pergeseran titik pusat dalam tampilan GUI.
  - c. Menganalisa hasil tranformasi berupa GUI kedalam bentuk standar airfoil standar NACA. Menentukan besaran *chord*, dan profil *chamber line*.
  - d. Perancangan bentuk 3D dari hasil tampilan GUI. Hasil tampilan GIU merupakan tampilan 2D penampang airfoil dengan tampilan penampang tersebut, dijadikan dasar dalam mendesain bilah airfoil kincir angin melalui program CAD.

## PEMBAHASAN

### Analisis Transformasi Bilangan Komplek

Sejumlah kompleks dapat dipandang sebagai titik atau vektor posisi dalam sistem koordinat dua dimensi Cartesian disebut bidang kompleks atau diagram Argand. Angka-angka secara konvensional diplot menggunakan bagian yang nyata sebagai komponen horizontal, dan bagian imajiner sebagai vertikal. Koordinat polar bilangan kompleks, sebuah bilangan kompleks  $a + bi$  yang digambarkan dalam diagram Cartisian, memiliki jari-jari atau panjang ( $r$ ),  $r = \sqrt{a^2 + b^2}$  adalah modulus dari  $a + bi$  dan titik point pada koordinat  $p(a,b)$  dalam bidang datar Gauss Kooordinat titik P secara lingkaran goniometric dapat dinyatakan ( $\cos(t)$  dan  $\sin(t)$ ), sudut  $\theta$  adalah jumlah radian atau dinamakan argument dari  $a + bi$  (Solomentsev, 2001).

Persamaan lingkaran yang berpusat di O (0,0) dan berjari-jari r berlaku persamaan:

$$x^2 + y^2 = r^2 \dots\dots\dots(1)$$

Lingkaran dengan pusat bergeser dari titik (0,0), maka persamaan lingkaran yang berpusat di P (sx,sy) dan berjari-jari r berlaku maka persamaan pada lingkaran tersebut adalah:

$$(x-sx)^2 + (y-sy)^2 = r^2 \dots\dots\dots(2)$$

Sebuah fungsi transformasi diterapkan ke fungsi asli untuk melakukan pemetaan. Aplikasi aerodinamika pada transformasi Joukowski, fungsi yang paling umum digunakan adalah persamaan (Spiegel, 1983 dan Kreyszig, 2006)

$$w = z + \frac{1}{z} \dots\dots\dots(3)$$

### Analisa Menggunakan Matlab

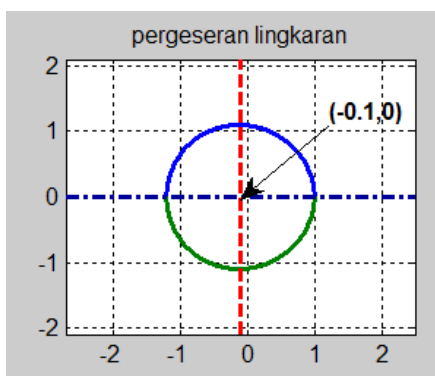
Bentuk kurva airfoil yang dihasilkan dari transformasi merupakan bentuk persamaan lingkaran dengan titik pusat tidak di (0,0) tetapi di (sx,sy), untuk mendapatkan lingkaran dengan titik pusat di (sx,sy) dapat dilakukan pergeseran pusat lingkaran (0,0). Pergeseran bisa ke arah sumbu x negatif atau x positif dan y negatif atau y positif. Posisi letak lingkaran yang digeser tersebut akan menghasilkan persamaan lingkaran baru persamaan 2.

Penulisan persamaan lingkaran dalam program matlab dapat diasumsikan terjadinya pergeseran pada setiap koordinat sesuai dengan perubahan titik pusat lingkaran dari (0,0) dalam hal ini dinyatakan dengan (sx, sy). Berikut penulisan program persamaan lingkaran asal dengan pusat (0,0) dengan jari-jari input r. ditransformasikan ke persamaan lingkaran dengan pergeseran (sx,sy), input sx (pergeseran arah sumbu x) dan sy (pergeseran arah sumbu y). persamaan lingkaran hasil pergeseran tersebut kemudian di trasformasikan dalam bilang kompleks  $z = x + yi$  ke bidang w dengan transformasi  $w(u,vi) = z + 1/z$  (Gambar 1) *figure* hasil dari program menu *m-file* Matlab. Berikut penulisan program *m-file* Matlab:

```
%persamaan lingkaran (x-sx)^2 +(y-
sy)^2 =r^2, ditransformasikan w=z+1/z
r=input('nilai r : ');
x=-1*r:0.01:r;
y1=sqrt(r.^2-x.^2);
y2=(-1)*y1;
sx=input('pergeseran arah x : ');
sy=input('pergeseran arah y : ');
x1=x+sx;
y3=y1+sy;
```

```

y4=y2+sy;
u=x1+(x1./(x1.^2+y3.^2));
v1=y3-(y3./(x1.^2+y3.^2));
v2=y4-(y4./(x1.^2+y4.^2));
subplot(2,2,1),plot(x,y1,x,y2),title
('lingkaran dasar');
subplot(2,2,3),plot(x1,y3,x1,y4),a
xis([min(x1)-1.5 max(x1)+1.5
min(y4)-1
max(y3)+1]),title('pergeseran
lingkaran');
    
```



```

subplot(2,2,4),plot(u,v1,u,v2),axis
([min(u)-2 max(u)+2 min(v2)-1
max(v1)+1]),title('airfoil');
    
```

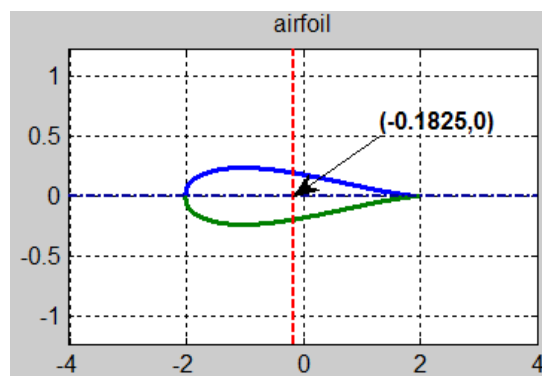
melalui command windows, masukan nilai-nilai parameter:

“nilai r = 1.1”

“pergeseran arah x = -0.1”

“pergeseran arah y = 0”

Hasil dapat dilihat pada Gambar 1



**Gambar 1. Hasil pergeseran lingkaran titik pusat (-0.1, 0) Kurva Airfoil hasil transformasi titik pusat menjadi (-0.1825, 0)**

### Rancangan GUI

Berikut sebagian hasil program yang ditampilkan oleh matlab dari hasil perancangan GUI untuk tranformasi Joukowski. Pengujian dari penelitian ini dari program Matlab GUI parameter yang digunakan un ntuk mengamati perubahan hasil transformasi dengan mengubah ukuran lingkaran yaitu dengan memvariasikan jari-jari lingkaran dari persamaan dasar lingkaran  $x^2 + y^2 = r^2$ . Perubahan dari hasil transformasi dapat dilihat dari Tabel 1. Dari hasil ujicoba dari Tabel 1 terlihat bahwa dengan semakin besar jari-jari lingkaran awal pada bidang z akan menghasilkan bentuk elips yang semakin besar pula perubahan tersebut merupakan linier. Akan tetapi perubahan terhadap arah sumbu u dan v perubahan linier dengan gradien yang tidak sama.

Selain jari-jari lingkaran yang divariasikan pergeseran lingkaran juga divariasikan dengan persamaan lingkaran  $(x + sx)^2 + y^2 = r^2$ , dalam hal ini pergeseran titik pusat ke arah sumbu x negatif, sedang pergeseran arah y ( $sy = 0$ ), untuk jari-jari lingkaran ditentukan konstan  $r = 1,3$ . Hasil

transformasi dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2. bentuk hasil transformasi memiliki perubahan dari elips menjadi airfoil dengan *tail* yang menjadi lancip. Dengan bertambah besar pergeseran titik pusat lingkaran yang ditransformasikan maka *tail* mengalami loop, sehingga bentuk kurva menjadi loop angka 8, loop terjadi apabila pergeseran  $sx > (1-R = 1+sx)$  dari selisih jari standar  $r = 1$  pada persamaan  $x^2 + y^2 = 1$  dengan lingkaran  $(x+sx)^2 + y^2 = (1+sx)^2$ .

Untuk jari-jari lingkaran yang besar pada titik sumbu u nilai oordinat v dapat menjadi tak terhingga, jika pergeseran terus diperbesar akan terjadi loop ganda. Jika semakin besar lagi akan kembali ke bentuk garis linier dan berulang lagi membentuk airfoil, loop dan daouble loop, dengan mengalami pergeseran absis ke arah sumbu u negatif.

Parameter lain yang dapat divariasikan adalah jari-jari dengan pergeseran pusat lingkaran konstan, pusat lingkaran ditentukan ke arah sumbu x negatif ( $sx = -0,3$ ) dan arah y tidak ada pergeseran ( $sy = 0$ ). Hasil dari proses transformasi dapat dilihat pada Tabel 3.

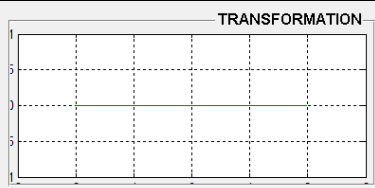
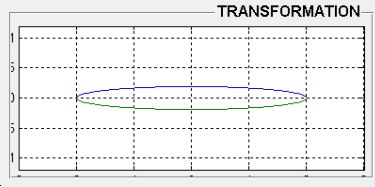
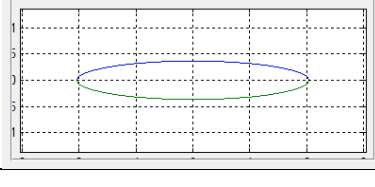
Tabel 4 menunjukkan hasil transformasi airfoil simetri dengan nilai  $s_y = 0$ , variasi nilai  $s_x$ .

Airfoil dengan bentuk yang aerodinamis dapat menghasilkan fenomena yang unik terhadap karakteristik gaya pada airfoil itu sendiri jika berada dalam suatu aliran fluida (Kundu, 2004). Pesawat dapat terbang karena adanya gaya angkat (*lift force*) oleh sayap pesawat yang berpenampang airfoil ([www.cfd4aircraft.com](http://www.cfd4aircraft.com), 2013) bilah kincir airfoil angin dapat berputar lebih cepat karena adanya gaya dorong (*drag force*). Berikut figure airfoil hasil program Matlab GUI, untuk beberapa tipe airfoil. )arameter transformasi

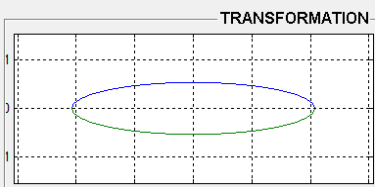
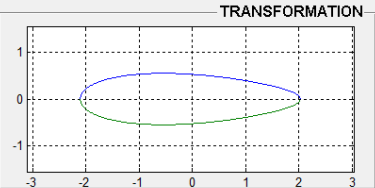
jari-jari lingkaran yang bervariasi  $R = 1,1, 1,2, 1,3$  dengan pergeseran titik pusat  $s_x = -0,1$  dan  $s_y = 0,1$  (titik pusat lingkaran  $(-0,1, 0,1)$  pada bidang Z) (Tabel 5).

Bentuk airfoil memiliki karakteristik penamaan tersendiri yang menurut NACA dapat digolongkan dalam seri 4. Berikut (Gambar 2) airfoil hasil program Matlab GUI untuk transformasi  $R = 1,1$  dan pusat lingkaran  $(-0,1, 0,1)$ . Hasil analisa standar NACA seri 4 untuk airfoil pada Gambar 2, dapat dikategorikan sebagai berikut (Tabel 6.)

**Tabel 1. hasil transformasi dengan variasi jari-jari lingkaran**

No	Parameter $s_x = 0, s_y = 0$	Hasil GUI
1	$R = 1$	
2	$R = 1,1$	
3	$R = 1,2$	

**Tabel 2. hasil transformasi dengan variasi pergeseran titik pusat arah sumbu x negatif  $(-s_x, 0)$  jari-jari konstan  $R = 1,3$ .**

No	Parameter $R=1,3 ; s_y=0$	Hasil GUI
1	$s_x = 0$	
2	$s_x = -0,1$	

3	$sx = -0,2$	
---	-------------	--

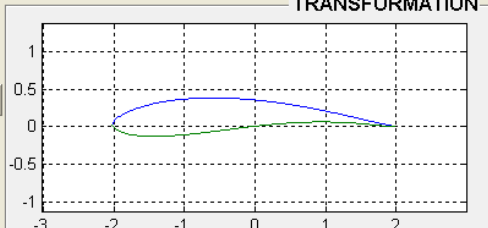
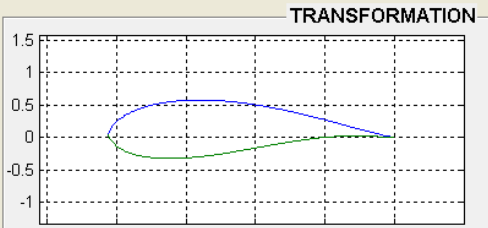
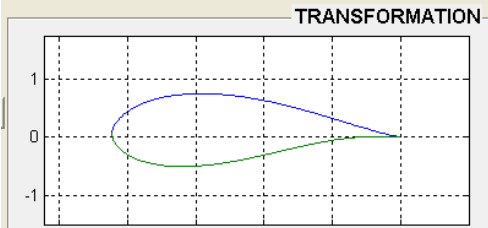
**Tabel 3. Hasil transformasi pregeseran titik pusat lingkaran (0,3 , 0) dengan variasi jari-jari.**

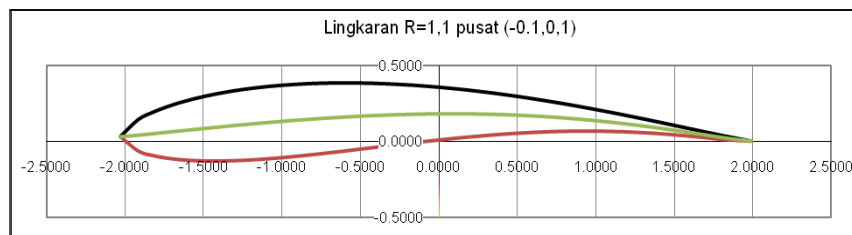
No	Parameter $sx=-0,3$ ; $sy=0$	Hasil GUI
1	$R = 1,1$	
2	$R = 1,3$	
3	$R = 1,5$	

**Tabel 4. Penentuan standar seri NACA pada airfoil simetri.**

persamaan lingkaran	Desain Airfoil	Components of the airfoil.	NACA A
$R = 1,1$ $sx = -0,1$ $sy = 0$ $(x+0,1)^2+y^2=(1,1)^2$		chord = 4.033 max = 0.237 c = 1.063 thickness % = 6%	0006
$R = 1,2$ $sx = -0,2$ $sy = 0$ $(x+0,2)^2+y^2=(1,2)^2$		chord = 4.114 max = 0.443 c = 1.0727 thickness % = 11%	0011
$R = 1,3$ $sx = -0,3$ $sy = 0$ $(x+0,3)^2+y^2=(1,3)^2$		chord = 4.225 max = 0.625 c = 1.116 thickness % = 15%	0015

**Tabel 5. Desain airfoil dari matlab GUI dengan variasi jari-jari lingkaran**

persamaan lingkaran	figure Airfoil
$R = 1.1$ $sx = -0.1$ $sy = 0.1$ $(x+0.1)^2+(y-0.1)^2=(1.1)^2$	
$R = 1.2$ $sx = -0.1$ $sy = 0,1$ $(x+0.1)^2+(y-0.1)^2=(1.2)^2$	
$R = 1.3$ $sx = -0.1$ $sy = 0.1$ $(x+0.1)^2+(y-0.1)^2=(1.3)^2$	



**Gambar 2. Airfoil dari hasil program GUI untuk transformasi R = 1,1 dan pusat lingkaran (-0,1 , 0,1)**

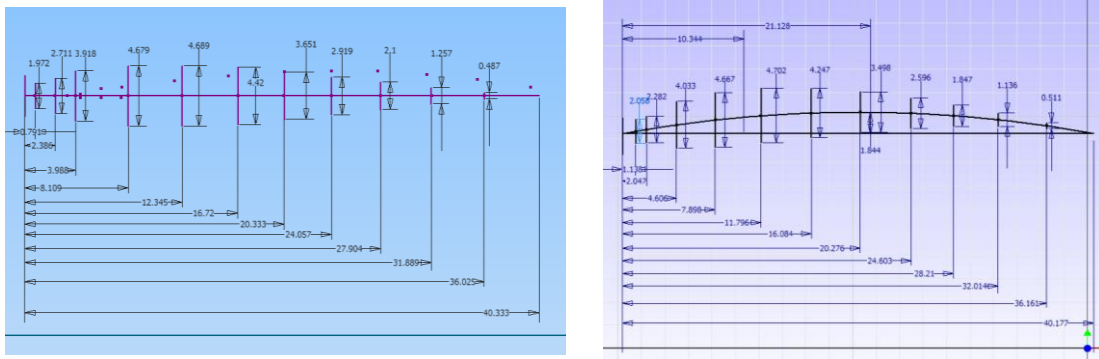
**Tabel 6. Karakterisasi penamaan seri menurut standar NACA seri 4**

Nama	ukuran	% C	notasi
chord	4.0177	100 %	
thickness max	0.4762	12%	12
chamber maksimum	0.2381	6%	6
letak chamber mak.		26%	3
SERI NACA		6312	

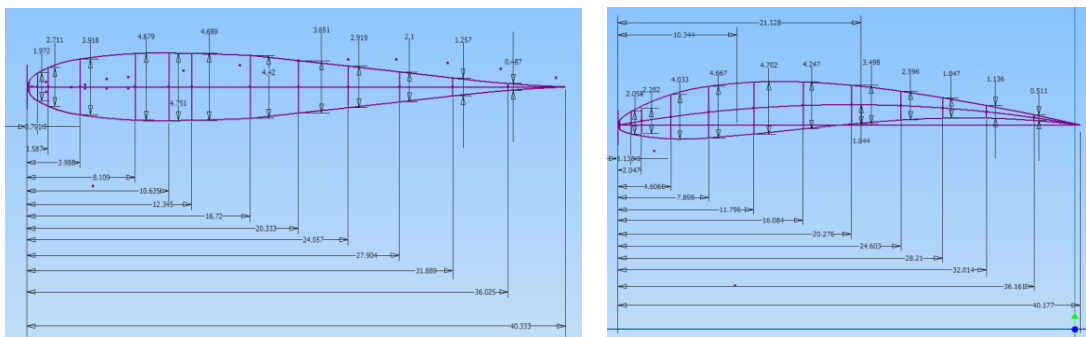
Untuk mendesain bilah kincir dengan penampang airfoil, dapat digunakan program bantu komputer (CAD/ *Computer Aided Design*), salah satunya adalah CAD. Berikut rancangan untuk airfoil NACA 0006 dan 6312 dengan menggunakan CAD (Gambar 3). Urutan rancangan didasarkan pada Gambar 5.11, antara lain: 1). Menentukan panjang chord, b).Menentukan chamber mean-line

(mean chamber line). 3).Menentukan absis % chord dari titik leading edge (0%) hingga trailing edge (100%). 4). Menentukan upper surface (top chamber line) dan lower surface (down chamber line). 5).Menentukan Chamber, 6).Menentukan maximum thickness. Gambar 2 menunjukkan penentuan thickness dan absis % Chord.





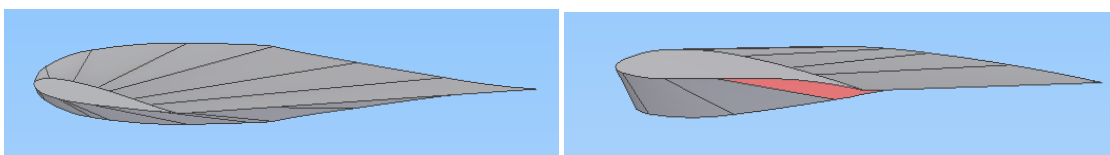
(a). NACA 0006      (b) NACA 6312  
**Gambar 3. Penentuan koordinat dasar pada airfoil.**



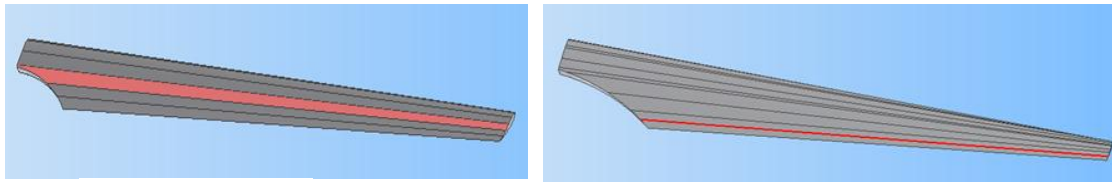
(a). NACA 0006      (b) NACA 6312  
**Gambar 4. Desain airfoil dengan bantuan CAD**

Bentuk airfoil pada Gambar 4 adalah tampilan 2 dimensi (2D), dengan kemampuan software CAD tampilan tersebut dijadikan dasar untuk menjadi tampilan 3D. Adapun ketentuan untuk membuat bilah kincir angin adalah dengan menentukan terlebih dahulu, antara lain: 1). Standar NACA menggunakan ukuran %, sehingga untuk ukuran besar atau kecil hanya dikalikan faktor persentasenya. 2). Lebar bawah bilah (*root blade*). 3). Lebar bilah atas (*tip blade*). 4). Sudut puntir (*helix angle blade*) sudut antara root blade dan tip blade biasanya besarnya 5 – 10, harus lebih kecil dari sudut serang (*angle attack*). 5). Panjang bilah (*length blade*). 6). Sudut puntir (*helix angle blade*) dapat terlihat jelas lihat dari tampak atas (pada tip blade) (Gambar 5) sudut tersebut merupakan sudut antara *chord root* dan *chord tip*.

Pada Gambar 6 menunjukkan bentuk bilah kincir angin hasil rancangan dengan spesifikasi, panjang bilah 2,5 m , panjang chord root 40 cm, panjang chord tip 10 cm, sudut helix 8°. Panjang bilah menentukan berapa besar daya kincir angin yang dihasilkan. Berdasarkan persamaan energi kinetik angin, besar energi tersebut yang dapat dirubah menjadi energi mekanik adalah dalam bentuk daya yaitu  $P = 8/27 \rho A V^3$ . Sehingga apabila panjang bilah 2,5 m, maka diameter rotor kincir adalah 5 m maka luas angin yang dapat diubah adalah  $A = 19,625 \text{ m}^2$ , jika kecepatan angin rata-rata 6 m/detik dan massa jenis udaran  $1 \text{ kg/m}^3$ , maka daya yang dapat dihasilkan adalah 1.256 watt.



(a) NACA 0006      (b) NACA 6312  
**Gambar 5. Sudut puntir (helix angle) antara chord root dan chord tip blade**



(a). NACA 0006

(b). NACA 6312

**Gambar 6. Bentuk bilah kincir angin**

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan.

Pada dasarnya pengembangan bidang aplikasi teknik, dikembangkan dari suatu perhitungan dan persamaan matematik, dalam hal ini pemetaan bilangan kompleks dapat menghasilkan suatu transformasi yang banyak digunakan dibidang aerodinamik khususnya bentuk airfoil yang dapat digunakan untuk merancang bilah kincir angin.

Proses penyelesaian persamaan matematik dan perhitungan dapat dilakukan secara manual, akan tetapi jika harus menyelesaikan data dalam jumlah yang banyak, menjadikan rumit dan memakan waktu. Dengan bantuan program Matlab penyelesaian persamaan matematik menjadi lebih cepat dan akurat, dalam hal ini proses pemetaan bilangan kompleks untuk membuat desain airfoil dapat dilakukan cepat dan akurat.

Dengan bantuan software Matlab dan CAD dapat menyelesaikan permasalahan di bidang teknik khususnya untuk mendapatkan desain airfoil untuk bilah kincir angin, dengan desain yang dapat dipertanggung jawabkan.

### DAFTAR PUSTAKA

Dauhoo M.Z. 2003 .“The Role of the Kutta-Solution of Euler Equations for a Symmetrical Airfoil.” Integrating CFD and Experiments University of Mauritius

- Eichstaedt , Johannes C. 2007,“ Conformal mapping in context: the Joukowski transformation in Aerodynamics “ a1307 E 60TH ST, Chicago, IL 60637
- Gutierrez , David. 2003, “Joukowski Transformation Program “ <http://eraucomputationalmath.com/docs/joukowski.doc>
- Kreyszig , Erwin, 2006 “ Advanced Engineering Mathematics” 9th editon John Wiley & Son.
- Kundu, P.K. and Cohen I.M., 2004. Fluid Mechanics, 3rd Ed., Academic Press.
- Mathwork,. 2011. <http://www.mathworks.com> 1994-2011 The MathWorks, Inc. Dikutip tanggal 1 Januari 2014.
- Solomentsev, E.D. (2001), "Complex number", in Hazewinkel, Michiel, *Encyclopaedia of Mathematics*, Kluwer Academic Publishers, ISBN 978-1556080104
- Spiegel, Murray R dan Koko martono, 1983,. “ Matematika Lanjutan untuk Para Insinyur dan Ilmuwan “ Penerbit Erlangga Jakarta.
- [www.cfd4aircraft.com/int\\_conf/IC1/presentation/day1/dauhoo.pdf](http://www.cfd4aircraft.com/int_conf/IC1/presentation/day1/dauhoo.pdf) . Dikutip tanggal 20 Desember 2013.

