

# JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh

**Fakultas Teknik**  
Universitas Jenderal Achmad Yani

# JURNAL TEKNIK

Vol. IX, No.2, 2010

---

- Ketua Dewan Editor : Prof. Waspodo, Ir.
- Dewan Redaksi : Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo  
 Prof. Dr. R. J. Widodo  
 Dr. Ing. Ir. Soepono Adi Dwiwanto  
 Dr. TMA. Ari Samadhi Ir., M.Sc.  
 Sumargo, Ir., M.Sc., Ph.D  
 Endang Padminingsih Ir., M.Sc.  
 Dr. Ir. Oviyan Patra M.Sc.
- Editor  
 (Redaksi Pelaksana) : Ir. Febrianto Adi Nugroho, MM.  
 Cucu Wahyudin, Spt, MI.  
 Pawawoi, ST, MT
- Distribusi dan  
 Kesekretariatan : Udin Komarudin, ST.  
 Drs. Danang Kunjono

## Harga Langganan per Tahun

- Instansi : Rp. 45.000,-  
 Pribadi : Rp. 40.000,-

## Alamat Penyunting dan Tata Usaha

Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani  
 Jl. Jend. Gatot Subroto (Samping PT PINDAD)  
 Telp. (022) 7312741 ; Fax. (022) 7309433  
 E-mail : eyu517@yahoo.com

No. Rek. Jurnal Teknik FT Unjani : BRL, 1107-01-001355-50-4

**Jurnal Teknik** – Diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani Frekuensi terbit Jurnal Teknik dalam satu volume sebanyak 2 nomor per tahun pada setiap bulan : April dan November. Penerbitan perdana Volume I Nomor 1 pada Mei 2002

## Pengantar Redaksi

Respon yang semakin tinggi dari civitas akademika Unjani mengiringi penerbitan Jurnal Teknik Volume IX No 2 tahun 2010, yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya naskah yang diterima oleh Dewan Redaksi. Sejumlah naskah tidak dapat diterbitkan pada edisi ini karena masih dalam proses review oleh penyunting ahli dan juga adanya keterbatasan ruang pada terbitan volume IX No 2 tahun 2010.

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan kontributor yang telah mengirimkan naskahnya, dan semoga pemuatan karyanya dalam Jurnal Teknik dapat menjadi pemicu untuk melahikan karya-karya lain yang lebih bergairah dengan ide-ide *original* dan bermanfaat untuk masyarakat.

Selamat bekerja, dan semoga Allah swt meridhai karya-karya kita.

Bandung,

# JURNAL TEKNIK

Volume IX, No. 2, 2010

---

## DAFTAR ISI

- Henry's Constants Prediction Study of VPC in Several Types Solvents by UNIFAC-FV** 57-63  
Oleh : Hendriyana
- Pengaruh Proses Temper terhadap sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Baja Perkakas Eskylos 2344** 64-70  
Oleh : Pawawoi
- Penjadwalan Batch pada Dua Mesin Homogen untuk Meninimisi Makespan** 71-76  
Oleh : Rinto Yusriski
- Pengaruh Single dan Doubel Quenching pada Proses Pack Carburizing terhadap sipat Mekanik Baja Paduan Karbon Rendah** 77-83  
Oleh : Adi Gianda Putra & Pawawoi
- Pemurnian Isopropanol Menggunakan Membran Alginat** 84-92  
Oleh : Febrianto A.N.
- Optimis Sistem Pemotongan Material Alluminium Alloys dengan Pendekatan Linier Integer Programming. (Studi Kasus di Pt. Dirgantara Indonesia)** 93-98  
Oleh : Dadang Arifin & Rida Nurida
- Perancangan Elektronik Load Controller Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi** 99-100  
Oleh : Asep Najmurokhan & Kurnia A.

## Henry's Constants Prediction Study of VOC in Several Types Solvents by UNIFAC-FV

Hendriyana

Chemical Engineering Department  
Jenderal Achmad Yani University  
yana-hendri2001@yahoo.com

**Abstract.** Absorption of hydrophobic volatile organic compounds (VOC) such as toluene, was studied. In order to characterise the absorption capacity of toluene/oil solvent systems, the Henry's constant ( $H$ ) was determined. Prediction of Henry's constants are also carried out using UNIFAC-FV model which is known to be suitable for hydrocarbon gases and high-boiling point hydrocarbon solvent,  $\text{kg/cm}^3$ ,  $220 \text{ kg/cm}^3$  dan  $260 \text{ kg/cm}^3$ .

**Kata kunci :** VOC, oil, Henry's constant, UNIFAC-FV and toluene

### 1 Introduction

Nowadays, many industries generate malodorous and/or toxic volatile organic compounds (VOC's). Because the distance separating residential and industrial areas has been shortening, odour nuisance has grown. Thus authorities receive more and more complaints from communities. At present, several processes are available to remove odorous compounds at low concentration: chemical scrubbing, biological treatment and adsorption. Despite being one of the most commonly used process in gas recovering, adsorption can not be considered as a final treatment but only as a pollution relocation and/or concentration step. Therefore, it requires additional treatments such as thermal desorption and thermal oxidation. Concerning the chemical way, scrubbing is mainly processed with an aqueous solution (acidic, basic, oxidant) because the targeted compounds are more or less soluble in water. The gaseous compound is transferred into the liquid scrubbing solution, and then removed by chemical reactions. The mass transfer rate is enhanced by the chemical reaction taking place in the liquid phase. However, some VOC's are not very soluble in water (called hydrophobic VOC's) and their mass transfer from the gas phase to the aqueous phase is not easy to achieve, even with the help of chemical reactions. As a consequence, the removal efficiencies remain very low. Because of their hydrophobic character, the efficiency of biological treatment of such compounds is also limited. To the best of our knowledge, there is yet no process that can successfully remove hydrophobic VOC's at low concentration from exhausted industrial gas streams.

In our studies, VOC is represented using toluene. We presume that a type of oil will be a suitable solvent to scrub-out the of VOC. In this paper, we report our theoretical study to predict the absorption capacity of interesting solvents based on the solubility of gas in an infinite dilution. In this case, the absorption capacity is represented using Henry's constant which may be predicted using a thermodynamic method.

### 2. Thermodynamic Background

Solubility as a fundamental factor in the absorption capacity of oil for low boiling point tars has been studied extensively for various volatile organic matters<sup>1,2,3,4,5,6</sup>. Solubility of gas in liquid may be expressed as follows:

$$y_i P = H_i w_i \quad (1)$$

## Henry's Constants Prediction Study of VOC in Several Types Solvents by UNIFAC-FV

Since effect of the pressure on Henry's constant is negligible at low pressures of less than 2 atm. The dimensionless constant  $H$  defined by M.-D. Vuong, et al.<sup>11</sup> with following equation:

$$C_{i,g} = H^* C_{i,l} \quad (2)$$

In both equations, Henry's constant can be calculated from the measurements on mol fraction of solute in the gas phase ( $y$ ), total pressure ( $P$ ), weight fraction of solute in liquid phase ( $w$ ), molar concentration of solute in gas and liquid phase ( $C_{i,g}$  and  $C_{i,l}$  respectively), all at the equilibrium conditions. Typical values of Henry's constant for toluene in several solvents are presented in Table 1. The higher  $1/H^*$  (dimensionless) or the lower  $H$  (weight-fraction Henry's constant, Equation 1) is the more soluble toluene in the respective solvents.

Table 1 Henry's constant of toluene in four solvents.<sup>11</sup>

Solvent	$1/H^*$ (dimensionless) Equation 2	$H$ (atm/weight frac.) Equation 1
di-(2-ethyl)hexyladipate (DEHA)	2821	0.0794
n-Hexadecane	960	0.1894
Oleyl alcohol (70%)	1657	0.1324
Water	4	60.8695

### 2.1 UNIFAC FV

A number of empirical approaches to the estimation of  $H$  at low pressure are available using group/bond contribution or structural parameters. Promising methods for correlation at ambient condition are those making use of the above relationships for activity or fugacity coefficients for dilute aqueous dilution. Limiting activity coefficients are popular in engineering applications (Sandler, 1996) and lead directly to  $H$  after a combination with vapor pressure. The weight-fraction Henry's constant,  $H_1$ , can be given thermodynamically by

$$H_1 = \gamma_1^\infty \frac{M_2}{M_1} f_1^{sl} \quad (2)$$

where  $\gamma_1^\infty$  is the activity coefficient at infinite dilution,  $M_1$  and  $M_2$  are the molecular weights, and  $f_1^{sl}$  is the fugacity of pure solute in the liquid state. The activity coefficient at infinite dilution can be estimated based on the UNIFAC-FV model (Oishi and Prausnitz, 1978) and presented in the following expression of the weight-fraction Henry's constant<sup>10</sup>:

$$\begin{aligned} \ln H_1 = & \ln f_1^{sl} + \ln \frac{r_1'}{r_2} + \frac{z}{2} M_1 q_1' \ln \frac{r_2 q_2'}{r_1 q_1'} - \frac{z}{2} M_2 q_2' \ln \frac{r_1 q_1'}{r_2 q_2'} + \dots \\ & 3C_1 \ln \left[ \frac{\left( \frac{z}{v_1'} - 1 \right)}{\left( \frac{z}{v_2'} - 1 \right)} \right] - c \left( \frac{v_1}{v_2} - 1 \right) \left( 1 - \frac{1}{\frac{z}{v_1'}} \right) + \dots \\ & \sum_k v_k^{(l)} * (\ln \Gamma_k^{(g)} - \ln \Gamma_k^{(l)}) \end{aligned} \quad (3)$$

Parameters  $r_i'$  and  $q_i$  are relative molecular volume and surface area respectively. They can be calculated using the following equation from the sum of molar group volume and group surface area parameters ( $R_k$  and  $Q_k$  in Table 2).

$$r_i' = \frac{1}{M_i} \sum_k v_k^{(l)} R_k \quad (4)$$

$$q_i = \frac{1}{M_i} \sum_k v_k^{(i)} Q_k \quad (5)$$

Parameter  $v_k^{(i)}$  is the number of groups of type  $k$  in molecule  $i$ .

Table 2 Group volume and surfaces area parameters<sup>[4]</sup>

Main grup	Subgrup	k	$R_k$	$Q_k$
1 CH <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub>	1	0,9011	0,848
	CH <sub>2</sub>	2	0,6744	0,540
	CH	3	0,4469	0,288
	C	4	0,2195	0,000
2 C-C	CH-CH	6	1,1167	0,867
3 ACH	ACH	10	0,5313	0,400
4 ACCH <sub>2</sub>	ACCCH <sub>3</sub>	12	1,2663	0,968
5 OH	OH	15	1,0000	1,200
9 CH <sub>2</sub> CO	CH <sub>2</sub> CO	20	1,4457	1,180
13 CH <sub>2</sub> O	CH <sub>2</sub> O	26	0,9183	0,780
	CH-O	27	0,6908	0,468

The last term in equation (1) is the residual activity coefficient due to interaction among groups. The group residual activity coefficient,  $\Gamma_m^*$  is calculated using the following equations.

$$\ln \Gamma_m^* = M_i Q_i \left[ 1 - \ln \left( \sum_n \theta_n \Psi_{mn} \right) - \sum_n \left( \frac{\theta_n \Psi_{mn}}{\sum_n \theta_n \Psi_{mn}} \right) \right] \quad (6)$$

where

$$\theta_n = \frac{Q_n W_n}{\sum_n Q_n W_n} \quad (7)$$

$$Q_i = \frac{Q_i}{M_i} \quad (8)$$

and

$$\Psi_{jk} = \exp \left( - \frac{a_{jk}}{T} \right) \quad (9)$$

The group area parameter per gram  $Q_i$  is defined by  $Q_i/M_i$  is the weight fraction of group  $m$ . The group-interaction parameters  $a_{mn}$  and  $a_{nm}$  (having units of degrees Kelvin) are factors for temperature dependency of interaction (see Table 3). While the group residual activity coefficient of group  $k$   $\Gamma_k^{(i)}$  in equation (6) is a solution containing only molecules of type  $i$ .

The reduced volume in equation (10) are given by

$$\bar{v}_1 = \frac{v_1}{15,17br_1'} \quad (10)$$

$$\bar{v}_2 = \frac{v_2}{15,17br_2'} \quad (11)$$

where  $v_1$  and  $v_2$  are, the volume per gram of tar model and that of solvent when equilibrium condition. In the equations (10) and (11), the characteristic parameters are usually:  $b = 1.32$  for alkanes and 1.18 for water as solvents (Antunes and Tassios, 1983). The value of  $b$  is 1.4 for various organic compounds as solvent (Nocon et al., (1983)) and  $z = 10^{-2}$ .

Table 3 The group-interaction parameters  $a_{ij}$  and  $a_{ji}$  (K)

$m \backslash n$	1	2	3	4	5	6	7	9
1	0	-200	61,13	76,5	986,5	697,2	1318	476,4
2	2520	0	340,7	4102	693,9	1509	634,2	524,5
3	-11,2	-94,78	0	167	636,1	637,3	903,8	25,77
4	-69,7	-269,7	-146,8	0	803,2	603,2	5695	-52,1
5	156,4	8694	89,6	25,82	0	-137,1	353,3	84
6	16,51	-52,39	-50	-44,5	249,1	0	-181	23,39
7	300	692,7	362,3	377,6	-229,1	289,6	0	-195,4
9	26,76	-82,92	140,1	365,8	164,5	108,7	472,5	0

## 2.2 Pseudo-Component

Vegetable oils are essentially mixtures of saturated and unsaturated triacylglycerides (TAGs). It is difficult to know the exact distribution of the fatty acid chains in vegetable oils. One possible solution to the problem is representing the oil as a mixture of simple TAGs (tripalmitin, triolein, etc.) in accordance with the fatty acid composition of the natural oil. In this this work, we used another alternative by means of representing the oil by a single pseudo-component having the same molecular weight and degree of unsaturation to the original oil.

In this work, the natural oil is represented by a single pseudo-triacylglyceride with the following molecular structure  $^{(7)}$ :



The term in the square brackets represents the triglyceride functional group. The values of  $m$  and  $n$  reproduce molecular weight and degree of un-saturation of the natural oil, and are calculated from the fatty acid composition of the oil, as shown in Table 4.

Table 4. Typical fatty acid composition

Fatty acid	$x_i$		$n_i$	$m_i$
	sunflower oil <sup>(1)</sup>	palm oil <sup>(12)</sup>		
Palmitic	0.0670	0.4806	42	0
Stearic	0.0334	0.0430	48	0
Oleic	0.2583	0.3781	42	3
Linoleic	0.6391	0.0983	36	6
Linolenic	0.0022	0	30	9

The values of  $n$  and  $m$  in the pseudo-triacylglyceride, which represents the natural sunflower oil and palm oil, are calculated as follows:

$$n = \sum_{i=1}^N n_i x_i \quad (12)$$



$$m = \sum_{i=1}^N m_i x_i \tag{13}$$

where  $N$  is the number of fatty acids present in the natural oil and  $i$  is the fatty acid molecule.

### 2.3 Calculation

When the UNIFAC-FV model is applied to natural fatty oils, it is necessary to calculate the group composition of the oil from information on its fatty acid composition. In summary, the calculation to estimate Henry's constant are follows equation (10) until equation (11).

### 3 Result and Discussion

Based on experimental data, the values of the Henry's constant for each couple toluene/solvent are reported in Table 6. The lower weight-fraction Henry's constant is, the more important the tar model solubility in the solvent.

Table 5 Saturation concentrations  $C_i$  for different concentrations in air

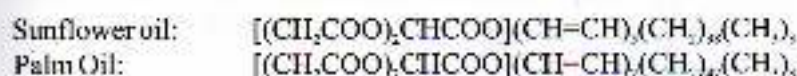
(1)	System (2)	303 K		333 K	
		$C_{i,air}$ (mg m <sup>-3</sup> )	$C_i$ (g L <sup>-1</sup> )	$C_{i,air}$ (mg m <sup>-3</sup> )	$C_i$ (g L <sup>-1</sup> )
Toluene	Sunflower Oil	6786	1.0454	6023	0.951
	Palm Oil	6713	1.2570	6560	1.1032
	Lubrication Oil	6709	1.3899	6342	1.2731
	water	2830	0.0056	6225	0.0448

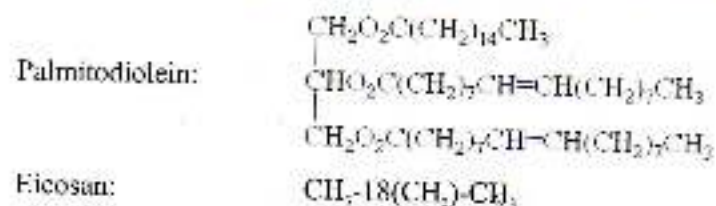
Table 6 Weight-fraction Henry's constant from experimental and literature

(1)	System (2)	$H$ exp. (atm/ weight frac.)		$H$ literature (atm/weight frac.)
		303 K	333 K	298 K
Toluene	Sunflower Oil	1.468	1.525	-
	Palm Oil	1.277	1.353	-
	Lubrication Oil	1.086	1.122	-
	water	19.650	35.560	60.869 <sup>[1]</sup>
	heksadecane	-	-	0.189 <sup>[1]</sup>
	oley alcohol (70%)	-	-	0.132 <sup>[1]</sup>

A recapitulative of experimental and literature given on Table 6, lubrication oil appears clearly to be better absorbent than others as it has high capacity of toluene absorption. System of toluene-water of experimental result compared with literature data, there are great deviation.

Predicted Henry's constant generally the VLE for the oil solution systems at infinite dilution is very difficult. The weight-fraction Henry's constant of systems were predicted by fixing  $C_i = 1$  (equation (9)) and  $b=1.18$ , 1.32 and 1.4 for water (equations (17) and (18)), alkanes and different organic compounds as solvent<sup>[2]</sup>, respectively. Molecule structure of sunflower oil and palm oil represented by a single pseudo-triacylglyceride with the following molecule structure:





For molecule structure of palm oil can be represented by palmitodiolein and lubrication oil by eicosan<sup>100</sup>.

Table 7 Weight-fraction Henry's constant from prediction with  $C_1 = 1$ ;  $b = 1.18$ , 1.32 and 1.4 for water, alkanes and different organic compounds as solvent, respectively

(1)	System (2)	H UNIFAC-FV (atm/weight frac.)		
		298 K	303 K	333 K
Toluene	Sunflower Oil (pseudo- triacylglyceride)	-	0.095	0.379
	Palm Oil (pseudo- triacylglyceride)	-	0.130	0.444
	Palm Oil (palmitodiolein)	-	0.145	0.484
	Lubrication Oil (eicosan)	-	16	79
	water	59.2	-	-
	heksadecane	0.102	-	-
	oley alcohol (100%)	0.326	-	-

The results of prediction by UNIFAC-FV were tabled on Table 7, compared with experimental values (Table 6) has great deviation. To obtain better results, it requires the parameters of UNIFAC-FV model in order to correlate with the experimental data. Therefore, to determine the new parameters  $C_1$  of equation (9) and  $b$  of equations (11) and (12) was carried out by minimizing the sum of squares between experimental data of Henry's constant and those calculated by the UNIFAC-FV model. The new parameters were given in Table 8.

Table 8 External degree of freedom ( $C_1$ ) and  $b$  parameter of systems toluene(1)-solvent(2)

(1)	System (2)	$C_1$			$b$		
		298 K	303 K	333 K	298 K	303 K	333 K
Toluene	Sunflower Oil (pseudo- triacylglyceride)	-	2.003	2.016	-	1.929	1.956
	Palm Oil (pseudo- triacylglyceride)	-	1.006	1.029	-	1.968	2.060
	Palm Oil (palmitodiolein)	-	1.014	1.040	-	1.974	2.071
	Lubrication Oil (eicosan)	-	1.298	1.311	-	1.315	1.408
	water	1.001	-	-	1.184	-	-
	heksadecane	1.134	-	-	1.631	-	-
	oley alcohol (100%)	1.002	-	-	1.259	-	-

#### 4 Conclusion

This paper aimed to review VOC model absorption knowledge to determine a absorption capacity several types of oil as absorbent. From experimental data, lubrication oil as the most attractive-

absorbent. To obtain better result of prediction by UNIFAC-FV, the parameter C1 and b for oil systems could be adjusted by minimizing the sum of squares between experimental data and those calculated by UNIFAC-FV.

## References

1. Vuong, M.-D. et.al. *Determination of the Henry's constant and mass transfer rate of VOCs in solvents*, Chem. Eng. Journal, France (2009) 5
2. Stelmachowski, M. & Ledakowicz, S., *Prediction of Henry's constants by the UNIFAC-FV model for hydrocarbon gases and vapors in high-boiling hydrocarbon solvents*, Fluid Phase Equilibria, Poland (1993) 205-217
3. Iwai, Y. et.al., *Prediction of solubilities for volatile hydrocarbons in low-density polyethylene using UNIFAC-FV model*, Polymer Engineering and Science, Japan (1981) Vol.2, No.15
4. F. Heymes, P. Manno-Demoustier, et.al. *A new efficient absorption liquid to treat exhaust air loaded with toluene*, Chemical Engineering Journal 115, France (2006) 225-231
5. Nam-Hyung Kim, et.al. *Solvent activity coefficients at infinite dilution in polystyrene-hydrocarbon systems from inverse gas chromatography*, Chemical Engineering Journal, Korean (1996) 129-135
6. Mackay, D. et.al., *Determination of air-water Henry's law constants for hydrophobic pollutants*, Environ. Sci. Tech. Canada (1979) 333-337
7. Espinosa, S. et.al., *Phase equilibria in mixtures of fatty oils and derivatives with near critical fluids using the GC-EOS model*, Journal of Supercritical Fluids, Argentina (2002) 91-102
8. Hasler, P. et.al., *Gas cleaning IC engine applications from fixed bed biomass gasification*, Biomass and Bioenergy, Switzerland (1999) 385-395.
9. Sedlbauer, et.al. *Group contribution method for Henry's law constant of aqueous hydrocarbons*, Dept. of Chemistry, Technical University Liberec, Czech Republic.
10. Wusana, *Preliminary study tar removal from producer gas by oil absorption*, Dept. of Chemical Eng., Technology Institute of Bandung, Indonesia (Master Thesis), 2008
11. Wallas, S.M., *Phase Equilibria in Chemical Engineering*, Butterworth Publishers, 1984.
12. Odem, D.O., *Palm Oil: Biochemical, Physiological, Nutritional, Hematological, and Toxicological Aspect: A review*, Plant Foods for Human Nutrition (2002) 57:319-341

## Pengaruh Proses Temper terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Baja Perkakas Eskylos 2344

Pawawoi

Jurusan Teknik Metalurgi  
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani  
Pwawoi72@gmail.com

**Abstrak.** Baja perkakas pengerjaan panas (*Hot Work Tool Steel*) Eskylos 2344 merupakan baja perkakas yang dihasilkan dari proses ESR (*Electro Slag Remelting*). Baja ini memiliki sifat tahan gesekan, tahan tekanan tinggi, mampu keras (*good hardenability*) dan memiliki ketahanan panas (*hot resistant*) yang baik. Dengan adanya sifat mampu keras yang baik ini, maka sifat baja perkakas Eskylos dapat diubah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Salah satu proses perlakuan panas yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat mekaniknya adalah pemanasan pada temperatur Austenisasi yang diikuti dengan pendinginan cepat kemudian dilanjutkan proses temper. Hasil optimum perlakuan panas baja perkakas pengerjaan panas Eskylos 2344 dicapai pada temperatur Austenisasi 1050°C dan proses temper pada temperatur 400°C dengan kekerasan rata-rata 55,6 Hrc dan ketahanan aus 5,24%. Sedangkan struktur mikro baja perkakas pengerjaan panas Eskylos 2344 menunjukkan sebaran partikel-partikel karbida spheroidal halus dalam matrik martensit temper.

**Kata kunci :** *Eskylos, Hot Work Tools Steels, Austenisasi, Temper dan Spheroidal*

### 1 Pendahuluan

Baja Perkakas adalah baja yang biasa digunakan sebagai perkakas seperti untuk perkakas potong, perkakas bentuk ataupun perkakas cetak yang umumnya mengandung karbida yang terbentuk dari kandungan unsur paduan yang dimilikinya. Beberapa syarat utama yang harus dimiliki oleh kelompok baja ini adalah harus mempunyai sifat tahan aus dan ketangguhan yang tinggi. Dalam aplikasinya baja ini akan mengalami tekanan dan gesekan langsung dengan material yang sedang dikerjakan, sehingga sifat tersebut di atas harus dimiliki baja ini. Salah satu proses tambahan untuk menghasilkan baja perkakas yang berkualitas tinggi adalah proses perlakuan panas. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki sifat baja perkakas yang ada dengan memanaskan pada temperatur austenit diikuti proses pendinginan yang cepat (dengan media air atau oli) kemudian diikuti proses temper untuk memperbaiki sifat uletnya.

Baja perkakas pengerjaan panas (*Hot Work Tool Steel*) Eskylos 2344 merupakan baja perkakas murni yang pembuatannya melalui proses ESR (*Electro Slag Remelting*) dengan karakteristik tahan gesekan, tahan tekanan tinggi, mampu keras yang baik (*Good Hardenability*) dan memiliki ketahanan panas yang baik. Untuk meningkatkan sifat baja ini maka dilakukan variasi proses pemanasan pada temperatur austenit yang kemudian diikuti proses pendinginan dengan cepat menggunakan media oli. Setelah itu dilakukan proses temper, yang temperatur tempernya dibedakan untuk melihat sejauh mana sifat mekanik (kekerasan, tahan aus dan struktur mikro) yang dihasilkan.

### 2 Metodologi Penelitian

Proses perlakuan panas pada baja perkakas Eskylos 2344 meliputi proses pengerasan (*hardening*), pendinginan dengan cepat cepat (*quenching*) dan proses temper (*tempering*).

### **2.1 Proses Pemanasan (*Heating*)**

Proses pemanasan dilakukan dalam tungku pemanas dengan temperatur pemanasan  $T_1 : 1020^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2 : 1035^{\circ}\text{C}$ , dan  $T_3 : 1050^{\circ}\text{C}$  dengan lamanya waktu pemanasan selama 15 menit yang sebelumnya telah dilakukan pemanasan awal (*pre-heating*) dengan temperatur  $650^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit.

### **2.2 Proses Pendinginan Celup Cepat (*Quenching*)**

Proses pendinginan celup cepat dilakukan pada media oli.

### **2.3 Proses Temper (*Tempering*)**

Proses temper merupakan proses untuk memperbaiki keuletan dan ketangguhan dari baja perkakas yang telah mengalami proses pengerasan (*hardening*). Temperatur untuk proses temper berada dibawah temperatur A3, dengan waktu penahanan tertentu yang kemudian didinginkan diudara. Pada proses ini dilakukan pada temperatur  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$  dan  $500^{\circ}\text{C}$  dengan waktu penahanan selama 40 menit.

### **2.4 Proses Pemeriksaan dan Pengujian**

Proses pemeriksaan dan pengujian meliputi proses pemeriksaan komposisi kimia, pengujian kekerasan, pengujian ketahanan aus dan pemeriksaan struktur mikro.

#### **2.4.1 Pemeriksaan Komposisi Kimia**

Pemeriksaan komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang terdapat pada material yang akan digunakan kemudian hasil pemeriksaan ini dibandingkan dengan standar AISI maupun standar dari pabrik yang ekuivalen dengan material tersebut.

#### **2.4.2 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan dari material uji awal, material uji yang telah mengalami proses pemanasan yang diikuti oleh proses pendinginan celup cepat (*quenching*), dan juga material uji proses pengerasan yang diikuti proses temper. Pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji Rockwell C dengan beban mayor sebesar 150 Kg dan beban minor sebesar 10 Kg.

#### **2.4.3 Pengujian Ketahanan Aus**

Pengujian ketahanan aus pada material uji bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap gesekan yang terjadi.

#### **2.4.4 Pemeriksaan Struktur Mikro**

Pemeriksaan struktur mikro bertujuan untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang ada dalam spesimen melalui alat mikroskop metalurgi. Pemeriksaan ini meliputi pengukuran besar butir awal (*Prior Austenit*) dan struktur mikro setelah proses perlakuan panas.

### 3 Data dan Pembahasan

Hasil pemeriksaan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Hasil pengujian komposisi kimia baja perkakas Eskylos 2344

Unsur	Spesimen hasil uji (% berat)	Standar Eskylos 2344 (% berat)	AISI H 13
C	0,3950	0,37 - 0,42	0,35
Cr	5,0500	5,00 - 5,50	5,00
Mn	1,2900	1,20 - 1,70	1,50
V	0,9460	0,85 - 1,20	1,00
Si	1,1300	0,85 - 1,20	-
Mu	0,3700	0,20 - 0,50	-
P	0,0080	-	-
Ni	0,1600	-	-
Cu	0,1600	-	-
S	0,0010	-	-
Al	0,0260	-	-
Sn	0,0050	-	-
Fe	Sisa	Sisa	Sisa

Hasil pengujian kekerasan (HRc) kimia ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Hasil pengujian kekerasan (HRc) baja perkakas Eskylos 2344

SPEKIMEN	Kekerasan (HRc)			Rata - rata
Material Awal	18	18	18	18
A <sub>1</sub> (T <sub>r</sub> = 1020 <sup>o</sup> C, t = 15")	53	53,4	53,2	53,2
A <sub>11</sub> (Temper = 200 <sup>o</sup> C, t = 40"	51,6	50,8	51,5	51,3
A <sub>12</sub> (Temper = 300 <sup>o</sup> C, t = 40"	53	53,7	53,5	53,4
A <sub>13</sub> (Temper = 400 <sup>o</sup> C, t = 40"	53,8	54,8	53,8	54,1
A <sub>14</sub> (Temper = 500 <sup>o</sup> C, t = 40"	50,4	50,8	51,2	50,8
B <sub>1</sub> (T <sub>r</sub> = 1035 <sup>o</sup> C, t = 15")	54,4	52	53	54,8
B <sub>11</sub> (Temper = 200 <sup>o</sup> C, t = 40"	52,3	52,6	53,2	52,7
B <sub>12</sub> (Temper = 300 <sup>o</sup> C, t = 40"	53,8	54	54	53,9
B <sub>13</sub> (Temper = 400 <sup>o</sup> C, t = 40"	54,8	55	54,8	54,8
B <sub>14</sub> (Temper = 500 <sup>o</sup> C, t = 40"	51,3	51,7	51,6	51,5
C <sub>1</sub> (T <sub>r</sub> = 1050 <sup>o</sup> C, t = 15")	55,8	56,8	55,8	56,1
C <sub>11</sub> (Temper = 200 <sup>o</sup> C, t = 40"	55,6	55,2	55,7	55,5
C <sub>12</sub> (Temper = 300 <sup>o</sup> C, t = 40"	54,4	55,2	54,8	54,8
C <sub>13</sub> (Temper = 400 <sup>o</sup> C, t = 40"	55,6	55,7	55,6	55,6
C <sub>14</sub> (Temper = 500 <sup>o</sup> C, t = 40"	52,2	52,7	52,6	52,5

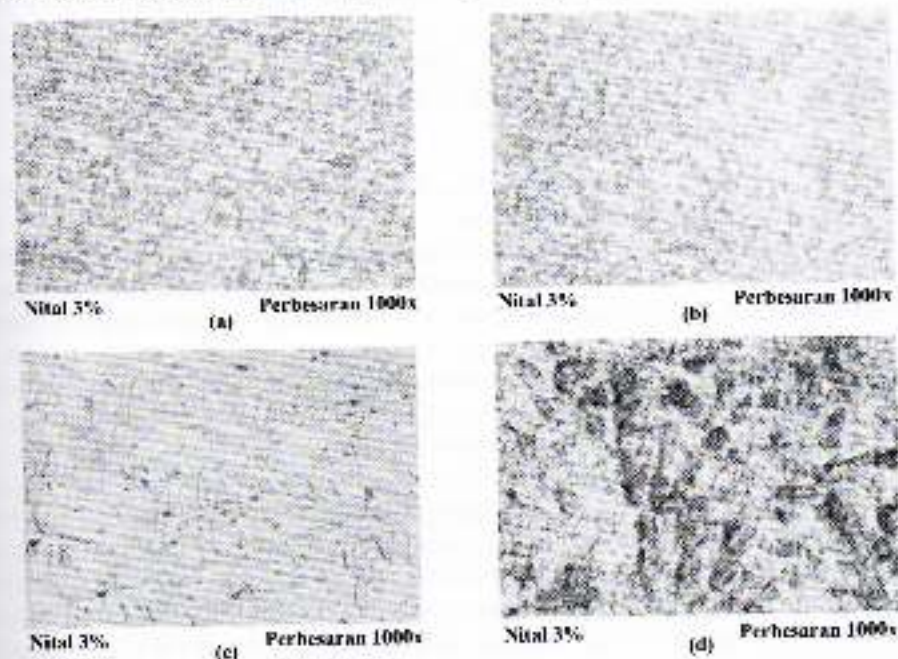
## Pengaruh Proses Temper terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Baja Perkakas Eskylos 2344

Hasil pengujian kekerasan (Hrc) kimia ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

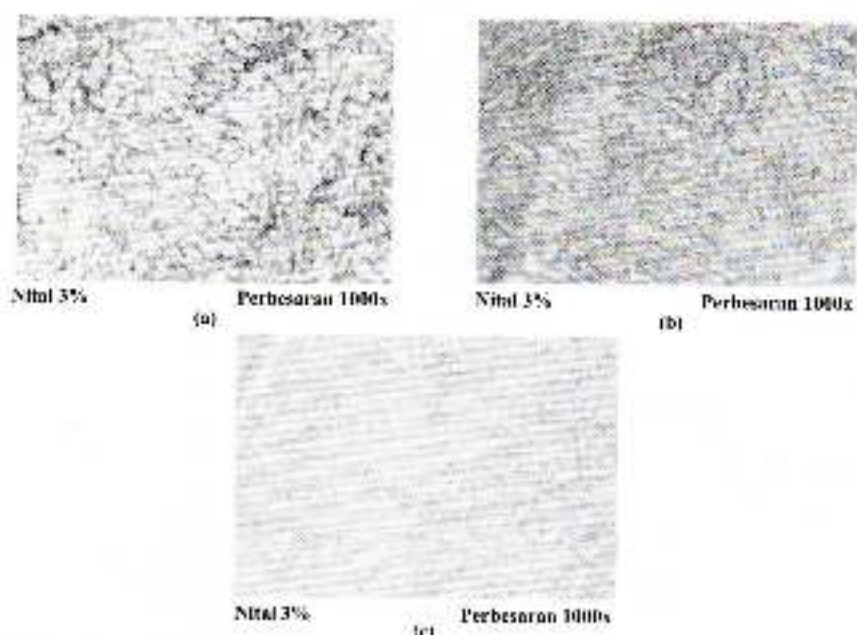
Tabel 3 Hasil pengujian ketahanan aus baja perkakas Eskylos 2344

SPEKIMEN	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Kehilangan Berat (gram)	Kehilangan Berat (%)
Material Awal	13,3895	9,009	3,3214	33,41
A <sub>1</sub> (T <sub>a</sub> = 1020°C, t = 15")	12,2992	11,3758	0,9234	7,50
A <sub>1</sub> (Temper = 200°C, t = 40")	11,8851	10,9609	0,9242	7,77
A <sub>2</sub> (Temper = 300°C, t = 40")	12,0512	11,1325	0,9187	7,62
A <sub>3</sub> (Temper = 400°C, t = 40")	11,5900	10,7009	0,8791	7,59
A <sub>4</sub> (Temper = 500°C, t = 40")	11,3522	10,5558	0,8964	7,89
B <sub>1</sub> (T <sub>a</sub> = 1035°C, t = 15")	11,6072	10,8730	0,7342	6,32
B <sub>1</sub> (Temper = 200°C, t = 40")	11,8322	11,0296	0,8026	6,78
B <sub>2</sub> (Temper = 300°C, t = 40")	10,9425	10,0317	0,7208	6,70
B <sub>2</sub> (Temper = 400°C, t = 40")	10,4324	9,7395	0,6929	6,64
B <sub>2</sub> (Temper = 500°C, t = 40")	11,4456	10,6643	0,7813	6,82
C <sub>1</sub> (T <sub>a</sub> = 1050°C, t = 15")	12,9770	12,2962	0,6807	5,24
C <sub>2</sub> (Temper = 200°C, t = 40")	12,9760	12,2280	0,7480	5,76
C <sub>3</sub> (Temper = 300°C, t = 40")	11,0578	10,4400	0,6178	5,58
C <sub>4</sub> (Temper = 400°C, t = 40")	11,1578	10,5422	0,6156	5,51
C <sub>5</sub> (Temper = 500°C, t = 40")	12,7078	11,9706	0,7372	5,80

Sedangkan hasil pemeriksaan metalografi ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1 Struktur mikro Baja Perkakas Eskylos 2344, (a) Kondisi awal, partikel karbida berbentuk bola yang halus dalam matrik ferit, (b) Temperatur austenitisasi 1020°C, *As-quench*, (c) Temperatur austenitisasi 1035°C, *As-quench*, dan (d) Temperatur austenitisasi 1050°C, *As-quench*, dengan partikel karbida dalam matrik martensit



Gambar 2 Struktur mikro Baja Perkakas Eskylos 2344 setelah mengalami proses temper (a) Temperatur temper 200°C, (b) Temperatur temper 300°C dan (c) Temperatur temper 400°C, partikel karbida dalam matrik martensit temper

Dari hasil pengujian komposisi kimia, baja perkakas Eskylos 2344 memenuhi standar baja perkakas pengerjaan panas AISI H 13, dengan adanya unsur tambahan 1,1%Si dan 0,37%Mn. Unsur mangan berfungsi untuk mengikat sulfur, sehingga mencegah terbentuknya besi sulfida (FeS) yang menyebabkan terjadinya rapuh panas (*Hot Shortness*) dan selain itu dapat meningkatkan keuletan dan menstabilkan atau memperluas daerah austenit, sedangkan silikon berfungsi sebagai deoksidan pada proses pembuatan baja, serta meningkatkan sifat mampu keras.

Pada pengujian kekerasan dan ketahanan aus, kekerasan rata-rata material setelah proses perlakuan panas meningkat dengan tajam dari 18 HRC pada kondisi awal, menjadi 56 HRC setelah proses pendinginan celup cepat dan 55,6 setelah proses temper, sedangkan ketahanan aus yang dilihat dari presentase kehilangan berat menunjukkan perubahan yang sangat jauh dari 32,4% pada kondisi awal menurun menjadi 5,24% setelah proses pendinginan celup cepat dan 5,51% setelah proses temper. Peningkatan kekerasan dan ketahanan aus ini terjadi karena perubahan fasa yang dialami oleh material baja perkakas Eskylos 2344 dari fasa ferit menjadi fasa martensit dan terbentuknya karbida.

Perubahan fasa ini lebih terlihat pada pemeriksaan struktur mikro dengan munculnya partikel karbida yang berbentuk bulat dalam jumlah yang bervariasi. Jenis karbida yang terjadi juga berbeda bergantung pada proses perlakuan panas pada material. Pada pemanasan sampai temperatur austenit, yang diikuti dengan pendinginan celup cepat, fasa berubah dari ferit menjadi martensit. Martensit merupakan fasa larutan padat dari karbon yang lewat jenuh pada fasa ferit yang terjadi karena adanya karbon yang terjebak sehingga menggeser kedudukan atom-atom Fe. Perubahan ini menyebabkan terbentuknya struktur *body centered tetragonal* (BCT). Kandungan karbon pada material Eskylos 2344 yang cukup besar sekitar 0,39%C dapat membentuk martensit *lath*.



Selain terbentuk fasa martensit, juga terbentuk endapan karbida Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> yang tersebar dalam matriks martensit dengan harga kekerasan lebih tinggi dari kekerasan martensit.

Proses temper dilakukan dengan memanasakan kembali material mengalami proses pendinginan celup cepat yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa, menaikkan keuletan dan ketangguhan, serta mengurangi kemungkinan terjadinya retak pada spesimen setelah mengalami proses hardening. Tapi disamping itu kekerasan juga akan turun. Pada proses temper 200°C, baja perkakas Eskylos 2344 mengalami perubahan fasa martensit menjadi martensit temper. Perubahan ini menyebabkan atom-atom C yang terjebak akan berdifusi sebagian sehingga regangan sekitar kisi tersebut akan berkurang. Proses ini menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan. Semakin tinggi temperatur temper kekerasan akan semakin turun dan keausan akan semakin besar. Perubahan sifat mekanik ini diakibatkan adanya perubahan fasa yang terbentuk seiring dengan naiknya temperatur temper.

Proses temper pada temperatur antara 200°C dan 300°C, akan mengubah Austenit sisa menjadi martensit temper, sehingga kekerasan akan meningkat. Sedangkan proses temper pada temperatur 300°C sampai 400°C akan menyebabkan pengerasan kedua (walaupun peningkatan harga kekerasannya cukup rendah). Jumlah karbida Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> yang terlarut akan diganti oleh karbida halus (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>). Karbida Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> merupakan karbida yang menyebabkan terjadinya pengerasan kedua. Struktur mikro yang terbentuk yaitu karbida sferoidal halus dalam matrik martensit temper dan mulai terbentuk karbida baru (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) dengan jumlah yang belum terlalu banyak dengan ukuran relatif lebih kasar.

Proses temper pada temperatur 400°C menghasilkan harga kekerasan dan ketahanan aus paling maksimal dari temperatur temper yang lain dengan struktur mikro yang terbentuk partikel karbida sferoidal halus dalam matrik martensit temper yang cukup banyak. Namun pada temperatur 500°C, akan terjadi pengkasaran karbida diikuti dengan pertumbuhan fasa ferit, yang ditandai dengan penurunan harga kekerasan. Penurunan harga kekerasan dan peningkatan persentase keausan dari temperatur 500°C, diakibatkan terjadinya pengkasaran karbida Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, dan terjadinya pertumbuhan fasa ferit dalam batas butir.

## 5 Kesimpulan

1. Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia, material baja ESKYLOS 2344 sesuai dengan standar baja perkakas pengerjaan panas AISI H 13.
2. Struktur mikro baja ESKYLOS 2344 pada kondisi awal (*anneal*) memiliki fasa partikel karbida sferoidal halus dalam matrik ferit dan setelah proses *hardening* dan *temper* adalah fasa karbida dalam matrik martensit temper.
3. Pada temperatur temper 200°C sampai 400°C material baja ESKYLOS 2344 mengalami peningkatan harga kekerasan dari 52,7 HRC sampai 54,8 HRC dan penurunan laju keausan dari 6,78% sampai 6,64%.
4. Pada temperatur temper 500°C, terjadi penurunan harga kekerasan dan peningkatan laju keausan material baja ESKYLOS 2344 dengan rata-rata kekerasan 51,5 HRC dan laju keausan rata-rata 6,82%.
5. Fenomena *secondary hardening* terjadi pada temperatur temper 400°C dengan nilai kekerasan optimum 55,6 HRC dan prosentase kehilangan berat 5,51%.

**Daftar Pustaka**

1. Tool Steel Fact, ESKYLOS 2344
2. ThyssenEdelstahlwerke AG. "*Hot Work Tool Steels*", Germany, 1978.
3. Charlie R. Brooks. "*Heat Treatment Of Ferrous Alloys*", McGraw-Hill, England, 1979.
4. Thelning, K.F. "*Steel and Its Heat Treatment*", 2nd edition, Butterworth & Co, Great Britain, 1984.
5. Krauss, G. "*Steel Heat Treatment and Processing Principles*". ASM Internasional, 1990.
6. ASM Hand Book Volume 9. "*Metallography and Micro Structures*" American Society for Metals, 1991.
7. Clark Varney second edition "*Physical Metalurgi for Engineers*" 1961
8. Prof Ir Tata Surdia MS. Met. E dan Prof DR. Shinroku Saito "*Pengetahuan Bahan Teknik*" 1984.
9. Robert Wilson "*Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steel*" 1975
10. R. W. K. Honeycombe, "*Steels Microstructure and Properties*", Goldsmiths' Professor of Metallurgy University of Cambridge, Edward Arnold.
11. Rochim Suratman. "*Panduan Proses Perlakuan Panas*", ITB, Bandung, 1994.

## Penjadwalan *Batch* pada Dua Mesin Homogen untuk Meminimasi *Makespan*

Rinto Yusriski

Jurusan Teknik Industri  
 Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Prosedur *batching* atau teknik penjadwalan *batch* merupakan salah satu metoda yang banyak diterapkan dalam memecahkan masalah penjadwalan. Penelitian ini akan membahas pemecahan masalah penjadwalan *batch* pada dua mesin homogen dengan tujuan untuk meminimasi *Makespan*. Motivasi pemecahan masalah diangkat dari permasalahan yang terjadi pada perusahaan "MR" yang bergerak dalam produksi pakaian jadi. Fokus pembahasan masalah terdapat pada pesanan baju eksklusif yang merupakan pesanan baju dengan jumlah tertentu dan dalam pengerjaannya hanya bisa dikerjakan oleh dua orang tenaga kerja ahli. Masalah yang timbul dari penerapan metoda penjadwalan perusahaan adalah sering ditemukan pembebanan yang kurang seimbang antar operator dan berdampak pada panjangnya *lead time manufacturing (Makespan)* suatu order. Solusi penjadwalan *batch* pada masalah ini terletak pada menentukan jenis pekerjaan yang harus dipotong, ukuran pemotongan (ukuran *batch*) dan urutan penjadwalan pekerjaan pada setiap mesin. Hasil pengujian analitik menunjukkan bahwa algoritma penjadwalan usulan dapat mereduksi *Makespan* hingga 20% bila dibandingkan penjadwalan eksisting.

**Kata kunci :** *Penjadwalan batch, dua mesin homogen, Makespan*

### 1 Pendahuluan

Baker (1974) mendefinisikan penjadwalan sebagai proses pengalokasian sumber daya dalam jangka waktu tertentu untuk melakukan sejumlah pekerjaan. Lee, et al., (1993) menempatkan penjadwalan sebagai komponen sentral dalam proses perencanaan dan pengendalian produksi. Dalam sistem nyata banyak dijumpai pekerjaan-pekerjaan yang harus dijadwalkan dipesan oleh konsumen dalam jumlah tertentu yang biasanya akan memberikan hasil yang lebih baik bila dijadwalkan dengan menggunakan prosedur *batching*.

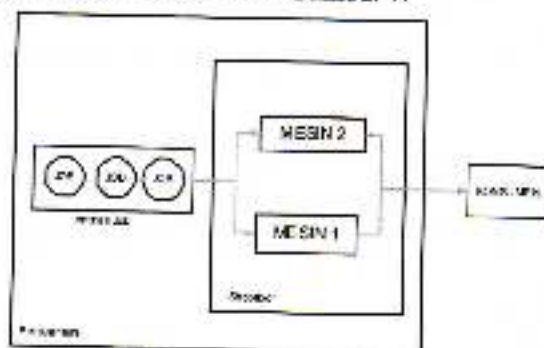
Beberapa peneliti, di antaranya Cheng dan Kovalyov (2001), Hall, et al. (2003), Bukhtin dan Masin (2004) serta Dastiar dan Nagi (2004) telah mengusulkan penggunaan kriteria meminimasi *makespan* dalam memecahkan berbagai masalah pada penjadwalan *batch*. *Makespan* didefinisikan sebagai interval waktu antara saat mulai pengerjaan suatu produk sampai saat selesainya. Kriteria ini dianggap sebagai kriteria yang dapat mewakili dua tujuan penjadwalan yaitu untuk memenuhi waktu kirim dan untuk meminimasi penggunaan sumber daya dalam membuat suatu produk [Lee, et al., (1993)].

Motivasi pemecahan masalah penjadwalan *batch* diangkat pada penelitian ini adalah masalah yang terjadi di perusahaan "MR" yang bergerak dalam produksi pakaian jadi berdasarkan pesanan konsumen. Salah satu jenis pesanan adalah baju eksklusif yang dipesan dalam jumlah tertentu dan hanya bisa dibuat oleh dua orang tenaga ahli berpengalaman yang masing-masing mengoperasikan satu unit mesin sewing. Pada kondisi eksisting, perusahaan tidak menggunakan penjadwalan dengan prosedur *batch*. Setiap satu jenis pekerjaan hanya dijadwalkan pada satu orang operator mesin sewing sehingga *lead time manufaktur* menjadi panjang. Kondisi ini dikeluhkan perusahaan karena sering berakibat pada tidak terpenuhinya waktu kirim dan tidak efektifnya penggunaan sumber daya.

## 2.1 Pengembangan Model

### 2.1.1 Sistem Relevan

Sistem yang relevan dalam pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut: misalkan terdapat sebanyak  $n$  Job yang dipesan dalam ukuran *batch* ( $Q$ ). Setiap job akan dijadwalkan pada dua mesin yang homogen. Setiap pesanan yang datang dimungkinkan untuk dibagi kedalam dua buah *batch* yang masing-masing diproses pada mesin satu dan mesin dua. Tujuan yang ingin dicapai adalah meminimasi saat selesai untuk seluruh pesanan ( $\min \text{Makespan} = \min C_{max}$ ). Sistem Relevan diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Sistem relevan

### 2.1.1 Notasi Matematik

Sesuai dengan kriteria kinerja dan variabel keputusan yang telah ditentukan, maka Notasi yang digunakan didalam model usulan adalah sebagai berikut:

a. Indeks

- $j$  = indek dari  $j(j=1,2,3,\dots,J)$
- $j'$  = indek dari predesesor  $j$
- $m$  = indek untuk mesin ( $m=1,2$ )
- $i$  = indek urutan jadwal

b. Data

- $Q_j$  = jumlah unit *job*  $J$  yang dipesan
- $s_j$  = waktu setup untuk *job*  $J$
- $t$  = waktu proses perunit untuk *job*  $J$

c. Variabel Keputusan

- $q_{jm}$  = ukuran *batch* *job*  $j$  yang diproses di mesin  $m$  yang dijadwalkan pada urutan ke- $i$
- $R_{jm}$  = saat mulai *job*  $j$  yang diproses di mesin  $m$  yang dijadwalkan pada urutan ke- $i$
- $C_{j(i)}$  = saat selesai *job*  $j$  yang diproses di mesin  $m$  yang dijadwalkan pada urutan ke- $i$

### 2.1.2 Model Matematik

$$\min M = C_{max} \quad (1)$$

Pembatas

$$q_{j1} + q_{j2} = Q_j \quad (2)$$

$$C_{j(i)} = R_{jm} + (t_j \cdot q_{jm}) ; \forall j ; \forall m \quad (3)$$

$$R_{j(i)} = C_{j(i-1)} + s_j ; \forall j ; \forall m \quad (4)$$

$$C_{j,max} = \max(C_{j1}, C_{j2}) : \forall j \quad (5)$$

$$Q_j, q_{jm} > 0 \text{ dan integer} : \forall j ; \forall m \quad (6)$$

Persamaan (1) merupakan fungsi tujuan yaitu meminimasi *makespan*. Pembatas (2) merupakan *balancing material* yang menyatakan bahwa jumlah total unit ukuran *batch* pada mesin satu dan dua harus sama dengan *demand*. Pembatas (3) menyatakan hubungan antara saat selesai dengan saat mulai untuk *job* yang sama. Pembatas (4) menyatakan hubungan saat mulai *job* yang dijadwalkan sebagai suksesor dengan saat selesai *job* yang dijadwalkan sebagai *predecessor*. Pembatas (5) menyatakan bahwa nilai *completion* maksimum untuk *job j* adalah maksimal dari nilai *completion job j* yang ada di mesin satu dan mesin dua. Pembatas (6) menyatakan bahwa *demand* dan ukuran *batch* bernilai lebih dari nol dan *integer*.

### 2.1.3 Mencari ukuran batch

$$M_{j1} = M_{j2}$$

$$C_{j1} = C_{j2}$$

$$R_{j1} + (t_j, q_{j1}) = R_{j2} + (t_j, q_{j2})$$

$$C_{(j-1)1} + s_j + (t_j, q_{j1}) = C_{(j-1)2} + s_j + (t_j, q_{j2})$$

$$C_{(j-1)1} + (t_j, q_{j1}) = C_{(j-1)2} + (t_j, q_{j2})$$

$$C_{(j-1)1} + (t_j, q_{j1}) = C_{(j-1)2} + (t_j, Q_j - t_j, q_{j1})$$

$$C_{(j-1)1} + t_j, q_{j1} = C_{(j-1)2} - t_j, Q_j - t_j, q_{j1}$$

$$C_{(j-1)1} + 2t_j, q_{j1} = C_{(j-1)2} + t_j, Q_j$$

$$2t_j, q_{j1} = C_{(j-1)2} - C_{(j-1)1} + t_j, Q_j$$

$$q_{j1} = \frac{t_j, Q_j + C_{(j-1)2} - C_{(j-1)1}}{2t_j}$$

$$q_{jk} = \frac{t_j, Q_j + C_{(j-1)k} - C_{(j-1)k'}}{2t_j} ; \forall j ; \forall m ; k \in m ; k' \in m ; k \neq k' \quad (7)$$

### 2.1.3 Mencari urutan jadwal mendapatkan solusi

Jika ada jadwal S, dengan job diurutkan berdasarkan nilai  $(Q^*t+s)$  terkecil menuju terbesar maka *Makespan* untuk jadwal S adalah

$$M_S = C_{max,s}$$

$$M_S = f(C_1, C_2, \dots, C_n)$$

kemudian diberikan jadwal S' dengan job diurutkan berdasarkan nilai  $(Q^*t-s')$  terbesar menuju terkecil maka *Makespan* untuk jadwal S' adalah

$$M_{S'} = C_{max,s'}$$

$$M_{S'} = f(C_1', C_2', \dots, C_n')$$

Hasil pengurangan jadwal  $M_{S'} - M_S$

$$M_s = f(C_1, C_2, \dots, C_n)$$

$$M_{s'} = f(C'_1, C'_2, \dots, C'_n)$$

$$M_s - M_{s'} = f(C_1, C_2, \dots, C_n) - f(C'_1, C'_2, \dots, C'_n)$$

diperoleh  $C < C'$ , berbanding lurus dengan  $(Q^*t+s) < (Q'^*t+s')$

Sehingga jadwal optimal yang meminimasi *makespan* akan diperoleh bila diurutkan dengan aturan nilai  $(Q^*t+s)$  kecil menuju besar.

## 2.1 Perancangan Algoritma Model Usulan

### Langkah-langkah Algoritma Usulan

Algoritma Usulan untuk masalah *N job 2 mesin* dengan teknik *lot splitting (LSN2)* sebagai berikut:

Langkah 0:

Inisialisasi, Tetapkan himpunan *U* sebagai himpunan *Job* yang akan dijadwalkan.

Lanjutkan ke langkah 1

Langkah 1:

Hitung jumlah job yang akan dijadwalkan ( $N_i$ ). Lanjutkan ke langkah 2

Langkah 2:

Urutkan job berdasarkan nilai  $(Q^*t+s)$  kecil menuju besar. Lanjutkan ke langkah 3

Langkah 3:

Tetapkan  $i=0$ . Lanjutkan ke langkah 4

Langkah 4:

Hitung  $i^*=i+1$ , Jika  $i^*=N_i$ . Lanjutkan ke langkah 8, bila tidak lanjutkan ke langkah 5

Langkah 5:

Jadwalkan job urutan ke  $i$  Hitung *split size*  $qmf[i]$  dengan pembatas (7). Lanjutkan ke langkah 6

Langkah 6:

Hitung Completion time job urutan ke- $i$  di mesin 1 dan 2 menggunakan persamaan (3).

Lanjutkan ke langkah 7

Langkah 7:

Tetapkan  $i^*=i$ , kembali ke langkah 4

Langkah 8: STOP

## 2.1 Pengujian dan Analisa Algoritma

### Contoh Numerik

Diberikan data pesanan tiga buah job sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data pesanan dan kondisi proses

Job	Demand	Waktu Proses	Waktu Setup
A	3	2	1
B	4	1	2
C	2	3	1

Perusahaan menginginkan untuk dapat meminimasi completion time setiap *job* dan *makespan* secara keseluruhan. Setelah diolah dengan algoritma diperoleh urutan penjadwalan: B-A-C. Completion time setiap *job* sebagai berikut:

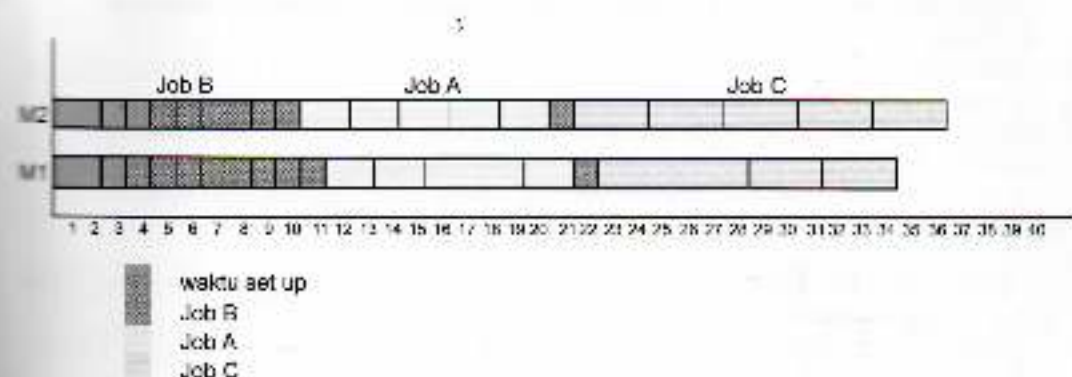
Completion time job B: 10

Completion time job A: 21

Completion time job C: 36

Makespan = 36

Gant Chart hasil penjadwalan diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Gant Chart hasil penjadwalan batch

### Perbandingan dan Analisa dengan penjadwalan makespan eksisting

Bila persoalan pada Tabel 1, diolah tanpa menggunakan prosedur *batch* (sesuai dengan kondisi eksisting) maka akan menghasilkan nilai *completion time per job* sebagai berikut:

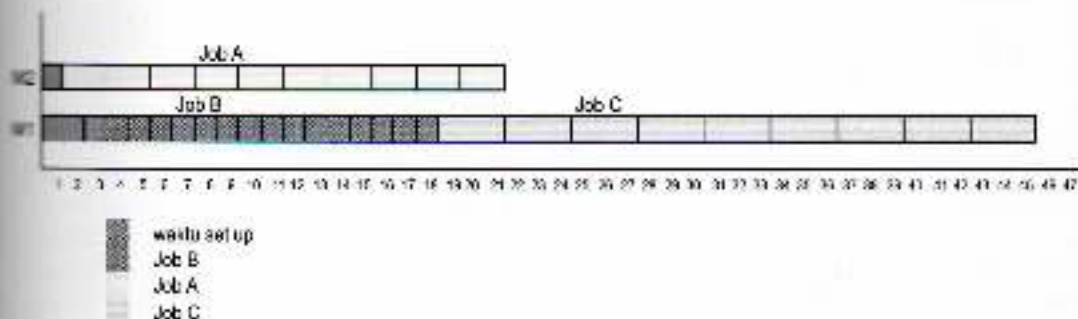
Completion time job B: 17

Completion time job A: 21

Completion time job C: 45

Makespan = 45

Gant Chart hasil penjadwalan diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Gant Chart hasil penjadwalan tanpa prosedur batch

Dari perbandingan kedua algoritma penjadwalan, algoritma penjadwalan *batch* dapat mereduksi *makespan* sebesar 20%. *Completion time* untuk *Job A* dapat direduksi sebesar 41%, *Job B* 0% dan *Job C* sebesar 20%. Rata-rata reduksi *completion time* untuk tiga *job* sebesar 20%.

### 3 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisa terhadap model usulan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model usulan dengan menggunakan algoritma *batch* dapat mereduksi *makespan* hingga 20% bila dibandingkan dengan algoritma tanpa menggunakan prosedur *batching*.
2. Selain mereduksi *makespan*, model usulan dapat mereduksi *completion time* setiap *job* hingga rata-rata 20%.
3. Model algoritma usulan dapat diterapkan pada kasus perusahaan "MR".

### 4 Saran

1. Model usulan disarankan untuk digunakan dalam menyelesaikan masalah penjadwalan *batch* bagi perusahaan "MR".
2. Perlunya pengembangan terhadap model usulan untuk kasus penjadwalan *batch* pada *m* mesin atau pada kasus mesin heterogen
3. Perlunya pengembangan pada kriteria performansi penjadwalan yang lain

### Daftar Pustaka

1. Baker, K. R. (1974) *Introduction of Sequencing and Scheduling*. Willey, New York.
2. Bukchin, J., Masin, M. (2004) *Multi Objective lot-splitting for a single product m-machine flowshop line*, IIE Transactions, 36, 191-202.
3. Cheng, T. C. E., Kovalyov, M. Y. (2001) *Single machine batch scheduling with sequential job processing*, IIE Transactions 33, 413-420.
4. Dastiar, G. D., Nagi, R. (2004) *Batch splitting in assembly scheduling environment*, International Journal Production Economic, 105, 372-384.
5. Hall, et al. (2003) *Scheduling and lot streaming in flowshops with no-wait in process*, Journal of Scheduling, 6, 339-354.
6. Lee, et, all., (1993) *Minimizing the makespan in the 3-machine Assembly-type flow shop scheduling problem*, Management Science, 39, 5, 616.



## Pengaruh *Single* dan *Double Quenching* pada Proses *Pack Carburizing* terhadap Sifat Mekanik Baja Paduan Karbon Rendah AISI 3115

Adi Ganda Putra<sup>1</sup> & Pawawo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Metalurgi

Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** *Pack carburizing* adalah proses pengerasan permukaan dengan cara mendifusikan atom karbon ke bagian permukaan logam sehingga diperoleh perubahan sifat mekanik diantaranya kekerasan, struktur mikro dan ketahanan aus. Penelitian proses *pack carburizing* dilakukan pada suhu pemanasan 900°C dan waktu penahanan 120 menit dengan proses *quenching* meliputi *single* dan *double quenching*. Kekerasan yang dihasilkan untuk *single quench* sebesar 324,6 Hv sedangkan kekerasan untuk *double quench* sebesar 381,4 Hv. Nilai keausan untuk *single quench* sebesar 0,62%, sedangkan untuk *double quench* mencapai 0,34%. Hasil struktur mikro menunjukkan adanya fasa martensit pada permukaan lapisan karburasi dengan kadar karbon mencapai 0,94 %. Ketebalan lapisan untuk *single quench* adalah 85,5µm, *temper single quench* adalah 86 µm, *double quench* adalah 87,45 µm dan *temper double quench* adalah 88,5 µm.

**Kata kunci :** *Pack carburizing, single quench, double quench, temper single quench dan temper double quench*

### 1 Pendahuluan

Perlakuan panas adalah suatu proses laku panas (*heat treatment*) yang diterapkan pada logam agar diperoleh sifat-sifat yang diinginkan. Salah satu proses perlakuan panas itu adalah *pack carburizing*. Proses *pack carburizing* pada baja paduan karbon rendah dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik khususnya kekerasan dan ketahanan aus. Untuk menghasilkan sifat-sifat tersebut ada beberapa bagian proses yang dapat divariasikan seperti proses *quench* dan proses *temper*. Pada proses *quench* ini dapat digunakan *single quench* dan *double quench*, sedangkan pada proses *temper* dapat divariasikan temperatur dan pendinginannya. Proses *quench* dilakukan untuk mendapatkan struktur martensit yang memiliki sifat kekerasan yang tinggi, sedangkan proses *temper* dilakukan untuk mengubah fasa martensit menjadi bainit, mengubah fasa austenit sisa yang belum berubah menjadi martensit akibat pendinginan yang cepat menjadi martensit sehingga akan dihasilkan fasa campuran antara martensit dan fasa bainit. Adanya perubahan fasa akan menghasilkan sifat yang baru dengan kekerasan yang masih tinggi tapi juga memiliki ketangguhan (tidak getas). Proses *temper* juga dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan sisa /tegangan dalam yang timbul akibat proses pengerasan dan memperbaiki kestabilan dimensi.

### 2 Metodologi Penelitian

#### 2.1 Persiapan Bahan

Bahan yang disiapkan antara lain:

1. Karbon/ arang batok kelapa : 85%
2. Kalsium : 15%
3. Media pendingin : Oli dan Air

## **2.2 Pemeriksaan Komposisi Kimia**

Pemeriksaan komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang terdapat pada specimen. Metoda yang dipakai untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat dalam specimen adalah dengan spektrometri. Setelah pemeriksaan dilakukan kemudian hasilnya dibandingkan dengan standar AISI.

## **2.3 Persiapan spesimen**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja Paduan Karbon Rendah AISI 3115 dengan ukuran 30 mm x 10 mm x 10mm.

## **2.4 Metode Proses *Pack carburizing***

Proses *pack carburizing* dilakukan dengan memasukkan benda kerja kedalam sebuah cawan yang telah terisi dengan arang batok kelapa ditambah dengan kalsium karbonat dengan komposisi dalam persen berat, yaitu 85% : 15%. Metode pengerasan *pack carburizing* yang dilakukan pada material baja paduan karbon rendah AISI 3115 ini adalah proses pendinginan dengan:

- a. *Single quench*
- b. *Double quench*

Proses *single quench* dilakukan dengan memanaskan pada temperatur 300°C selama 30 menit, kemudian temperatur dinaikan hingga suhu 600°C dan ditahan selama 30 menit, dan kembali temperatur sampai 900°C selama 120 menit, kemudian didinginkan diudara. Setelah dingin, dipanaskan kembali pada temperatur 900°C, dan ditahan selama 60 menit, kemudian dicelupkan kedalam oli. Kemudian setelah itu di temper pada suhu 200°C selama 60 menit.

Proses *double quench* dilakukan dengan proses awal yang sama dengan proses *single quench* sampai pada pendinginan di dalam oli. Setelah itu dipanaskan kembali pada temperatur 900°C, selama 60 menit, kemudian dicelupkan kedalam air, kemudian specimen di temper kembali pada suhu 180°C selama 60 menit.

## **2.5 Pemeriksaan Struktur Mikro**

Pemeriksaan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang diperoleh dari hasil pemotretan pada baja paduan karbon rendah AISI 3115. Pemeriksaan ini dilakukan sebelum dan sesudah proses karburasi padat. Cara yang digunakan adalah cara metalografi.

## **2.6 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai alat uji kekerasan Mikro Vickers, dengan kondisi pembebanan 200 gram, dan waktu penekanan selama 15 detik. Pengujian ini berdasarkan standar ASTM E-92.

## **2.7 Pengujian Ketahanan Aus**

Pengujian ketahanan aus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan ketahanan aus dari specimen awal dengan specimen yang telah mengalami proses karburasi padat pada masing-masing metoda pengerasan yang berbeda. Metoda yang digunakan adalah dengan menghitung kehilangan berat dari hasil pengujian. Prinsip kerjanya dengan menggesekan logam uji pada suatu logam penggesek (*abraden*).

## 2.8 Pengujian SEM

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah proses pemeriksaan struktur mikro menggunakan berkas elektron gelombang pendek. Berkas elektron diarahkan pada bagian spesimen yang ingin diamati sehingga terjadi proses *scanning*. Gerakan *scanning* ini disebabkan oleh *scanning coil*, sedangkan sinyal pantulan dideteksi oleh *photomultiplier*. Perbesaran yang dihasilkan sampai 300.000x

## 3 Data dan Pembahasan

### 3.1 Pemeriksaan Komposisi Kimia

Hasil pemeriksaan komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1,

Tabel 1 Komposisi kimia spesimen uji

Komposisi Kimia	C	Mn	Cr	Ni
	0,14 - 0,19	0,40 - 0,60	1,40 - 1,70	1,40 - 1,70
Perbandingan ke Standar International				AISI 3115

### 3.2 Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan spesimen sebelum proses *pack carburizing* seperti ditunjukkan pada Tabel 2, sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengujian Kekerasan spesimen sebelum proses *pack carburizing*

Jarak Uji	Kekerasan (HV/0,05)
100	149,5
200	138,2
300	138,2
400	155,7
500	143,7
Rata-rata	145,06

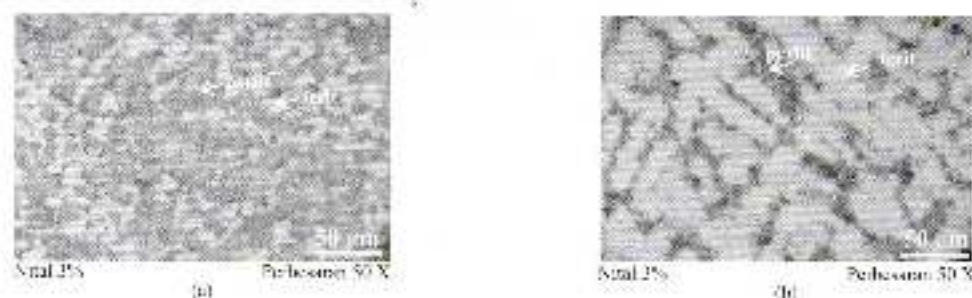
Sedangkan hasil pengujian kekerasan spesimen setelah proses *pack carburizing* yang diikuti proses *single quench* dan *double quench* seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Kekerasan spesimen setelah proses *pack carburizing*

No	Sampele	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rata-rata
1.	Single Quench	418	418	418	418	367	367	305	245	225	343,25
	+Temper	353	353	353	353	345	345	247	-	-	324,6
2.	Double Quench	516	516	508	506	480	480	225	225	-	420,82
	+Temper	603	558	558	516	345	280	203	-	-	381,4

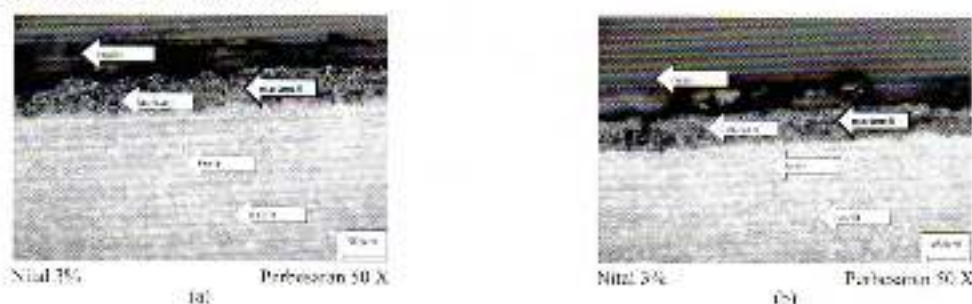
### 3.3 Pemeriksaan Struktur Mikro

Hasil pemeriksaan struktur mikro dari spesimen sebelum dilakukan proses *pack carburizing* seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Struktur mikro terdiri dari fasa ferit yang berwarna putih dan fasa perlit yang berwarna hitam.



Gambar 1 Struktur mikro spesimen sebelum mengalami proses *pack carburizing* yang terdiri dari fasa ferit dan perlit; (a) awal, (b) *normalizing*

Sedangkan hasil pemeriksaan struktur mikro dari spesimen setelah dilakukan proses *pack carburizing* dengan *single quench* dan *double quench* dan proses *tempering* seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Struktur mikro terdiri dari fasa ferit yang berwarna putih dan fasa perlit yang berwarna hitam.



Gambar 2 Struktur mikro spesimen setelah mengalami proses *pack carburizing* yang terdiri dari fasa ferit dan perlit serta fasa martensit pada lapisan; (a) *single quench*, (b) *double quench*

### 3.4 Pengujian Ketahanan Aus

Hasil pengujian ketahanan aus seperti ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil Pengujian Ketahanan aus

No.	Kode Spesimen	Berat (gr)		Kehilangan Berat (gr)	Persen Keausan (%)
		Awal	Akhir		
1.	Material Awal	57,43	46,36	6,07	11,6%
2.	<i>Single Quench</i>	48,52	48,22	0,3	0,62%
3.	<i>Double Quench</i>	50,31	50,14	0,17	0,34%

### 3.5 Pengujian SEM

Struktur mikro dan data hasil setiap spot hasil pengujian SEM-EDAX secara berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 3 dan data ditunjukkan pada tabel 5.



Gambar 3 Spot yang diambil pada pengujian SEM

Tabel 5 Hasil pengujian komposisi kimia spesimen dengan menggunakan alat uji SEM

No.	C	Cr	Mn	Fe	Ni	Al
Spot 1.	0,45	3,58	0,29	58,52	0	0
Spot 2.	0,57	4,87	0,64	47,89	0	15,81
Spot 3.	0,69	4,82	0,39	79,88	0	14,22
Spot 4.	0,94	6,83	0,91	67,87	0	23,45

### 3.6 Pembahasan

Dari pemeriksaan komposisi kimia, spesimen yang digunakan sesuai dengan standar AISI 3115 yang merupakan kelompok Baja paduan dengan kadar karbon rendah. Unsur Mn ditambahkan dalam paduan untuk meningkatkan ketahanan aus sedangkan unsur Ni dan Cr berfungsi sebagai unsur pembentuk karbida dan meningkatkan ketahanan korosi.

Dari hasil pengujian kekerasan yang menggunakan *Mikro Pickers*, kekerasan material awal dengan material akhir memiliki perbedaan kekerasan yang cukup tinggi. Material dengan proses *double quench* memiliki kekerasan paling tinggi sebesar 420 Hv dan setelah ditemper sebesar 381 Hv, sedangkan material dengan *single quench* memiliki kekerasan 343 Hv dan setelah proses temper 324 Hv. Untuk material awal (sebelum proses *pack carburizing*) memiliki kekerasan 145 Hv. Perbedaan kekerasan yang terjadi dapat dijelaskan dengan melihat struktur mikro dan hasil uji SEM. Dari hasil pemeriksaan struktur mikro untuk proses *pack carburizing* dengan *single quench* dan *double quench*, muncul fasa martensit pada lapisan yang memiliki kekerasan yang tinggi. Sedang dari uji SEM, pada permukaan lapisan kadar C yang ada 0,69% (spot 3) yang memungkinkan terbentuknya martensit sangat besar. Semakin lama temperatur pemanasan (*double quench*) maka difusi karbon semakin tinggi yang ditandai dengan kedalaman sebesar 87 $\mu$ m, sedangkan untuk *single quench* kedalaman difusi sebesar 85,5  $\mu$ m.

Dari hasil pengujian ketahanan aus, prosentase kehilangan berat yang terkecil dari material proses *pack carburizing* dengan *double quench* sebesar 0,34 % sedangkan untuk *single quench* sebesar 0,62% dan material awal sebesar 11,6%. Seperti yang telah dijelaskan diatas, munculnya fasa martensit dan peluang terbentuknya karbida yang cukup besar dipermukaan dapat meningkatkan ketahanan aus dari material. Kekerasan yang tinggi dari fasa martensit dan karbida menyebabkan material akan memiliki ketahanan aus yang tinggi.

Perhitungan koefisien difusi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Einstein:

$$D = \frac{x^2}{2t}$$

## Pengaruh *Single* dan *Double Quenching* pada Proses *Pack Carburizing* terhadap Sifat Mekanik Baja Paduan Karbon Rendah AISI 3115

Untuk proses *single quench* dengan temperatur 900°C (1173K), lama penahanan 2 jam (7200 detik) dan didinginkan dengan menggunakan media oli, didapat kedalaman lapisan  $x = 85,5\mu\text{m}$  atau 0,00855cm, sehingga laju difusinya adalah:

$$D = \frac{0,00855^2}{2(7200)}$$

$$D = 5,07 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 / \text{det}$$

Dengan cara yang sama untuk beberapa proses yang lain diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil perhitungan laju difusi

No	Sampel	Jarak difusi (cm)	Laju difusi (cm <sup>2</sup> /det)
1	<i>Single Quench</i>	$8,5 \times 10^{-2}$	$5,07 \times 10^{-9}$
2	<i>Temper Single Quench</i>	$8,6 \times 10^{-2}$	$5,13 \times 10^{-9}$
3	<i>Double Quench</i>	$8,745 \times 10^{-2}$	$5,31 \times 10^{-9}$
4	<i>Temper Double Quench</i>	$8,85 \times 10^{-2}$	$5,43 \times 10^{-9}$

Dari tabel di atas, proses *temper double quench* memiliki laju difusi yang paling tinggi yang menggambarkan bahwa proses inilah yang mampu memberikan kedalaman difusi yang paling optimum untuk karbon.

### 4 Kesimpulan

1. Komposisi kimia material uji sesuai dengan standar AISI 3115 yaitu baja paduan karbon rendah.
2. Kekerasan dari hasil proses *pack carburizing* dengan menggunakan metoda *double quench* pada temperatur karburasi 900°C lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metoda *single quench* (420 Hv > 343 Hv)
3. Ketebalan maksimal didapatkan dari proses *pack carburizing* dengan metoda *double quench* sebesar 88,5µm.
4. Ketahanan aus material yang optimum didapatkan dari hasil *pack carburizing* dengan metoda *double quench* sebesar 0,62%.
5. Peningkatan kekerasan terjadi karena munculnya fasa martensit dan karbida pada lapisan.

### Daftar Pustaka

1. Anver, Sidney H, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2<sup>nd</sup> edition. Mc.
2. ASM, *Metal Hand Book*. Vol 4, 10<sup>th</sup> edition. 1991.
3. ASM "Phase Diagram", [cyberbuzz.gatech.edu/asm\\_tms/phase\\_diagrams](http://cyberbuzz.gatech.edu/asm_tms/phase_diagrams).
4. Guy, Alberto, John Henru, "Element of Physical Metallurgy", Oxpord and IBH Publishing Co. 1980.
5. Krauss, George, "Heat Treatment and processing Principles and Steel", ASM, Material Park, Ohio. 1989.

6. Suratman, Rochim, *Paduan Proses Perlakuan Panas*, Lembaga Penelitian ITB. 1994.
7. Thelning, Eric, Karl, *Steel and its Heat Treatment*. 2<sup>nd</sup> edition Butter Worth. London. 1984.
8. Valek, Van, *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga, Jakarta 1987.
9. William, F. Smith, " *Structure and Properties of Engineering Alloy*." Mc Graw-Hill. USA. 1981.
10. Wilson. R, " *Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steel* ", Mc Graw Hill, London. 1975.
11. Zakharov, B, *Heat Treatment of Metals*, translate of the Russian. Peace Publisher. Moscow. 1962.

## Pemurnian Isopropanol Menggunakan Membran Alginat

Febrianto A. N.

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Jenderal Achmad Yani  
adinugroho2@yahoo.com

**Abstrak.** Pemurnian Isopropanol agar mencapai kadar lebih dari 85% umumnya dilakukan dengan distilasi bertingkat yang membutuhkan banyak energi dan biaya. Untuk menghemat biaya, pemurnian Isopropanol dapat dilakukan dengan teknik pervaporasi menggunakan membran. Pada penelitian ini dilakukan teknik pervaporasi menggunakan bahan-bahan utama yaitu : Na-Alginat dengan variasi konsentrasi 4% dan 7%; larutan  $\text{CuSO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2$  (0.1 M, 0.5 M, 1M) sebagai *crosslinker*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi alginat paling optimum untuk pemisahan membran adalah Na-alginat 7%, sedangkan konsentrasi *crosslinker* optimum adalah 1M  $\text{CuSO}_4$  ( $\alpha = 147$  dan  $\text{DOS} = 4,72$ ) bagi Na-alginat 7%, dan 0.5M  $\text{CaCl}_2$  ( $\alpha = 97$  dan  $\text{DOS} = 36,90$ ) bagi konsentrasi alginat 4%. Kondisi operasi dehidrasi isopropanol optimum dicapai pada suhu  $50^\circ\text{C}$  dengan konsentrasi uapun 75%.

**Kata kunci :** Pervaporasi, membran, alginat, dan isopropanol

### 1 Pendahuluan

Isopropanol adalah larutan alkohol yang memiliki banyak kegunaan, diantaranya sebagai : pembersih pada industri semi-konduktor, pelarut/solven, bahan baku utama pembuatan karet sintesis, zat anti beku. Isopropanol hanya dijual bebas dengan kemurnian 85%. Guna memperoleh Isopropanol dengan kemurnian lebih dari 85% diperlukan proses distilasi bertingkat yang membutuhkan banyak energi dan biaya. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, pemurnian Isopropanol dapat dilakukan dengan teknik pervaporasi menggunakan membran. Penerapan teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan, hemat energi, ramah lingkungan, serta mudah dalam pengoperasiannya.

Penelitian ini dirancang untuk menghasilkan membran sel dan menentukan komposisi Na-Alginat untuk menghasilkan membran filter yang optimal, dan menentukan jenis *crosslinker* yang paling baik untuk proses pervaporasi serta menentukan konsentrasi uapun dan temperatur operasi yang paling baik pada proses dehidrasi air dari isopropanol.

### 2 Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Membran

Definisi membran secara umum adalah sebuah serat yang selektif di antara 2 fasa. Membran dapat dikelompokkan menjadi :

- Membran permeabel : membran yang dapat ditembus partikel pelarut dan zat terlarut.
- Membran semipermeabel : membran yang dapat ditembus (permeabel) oleh beberapa zat tapi tidak dapat ditembus (impermeabel) oleh zat lain.
- Membran tak permeabel : membran yang meloloskan partikel kecil (misal molekul air dan ion-ion kecil) tapi kedap terhadap partikel besar seperti makromolekul.



Beberapa proses pemisahan menggunakan membran antara lain:

### A Hiperfiltrasi (*Reverse Osmosis*) dan Nanofiltrasi

*Reverse Osmosis* digunakan untuk memisahkan molekul yang memiliki berat molekul kecil seperti garam-garam anorganik atau molekul-molekul organik kecil. Bahan pembuatan membran pada R.O umumnya berasal dari selulosa triasetat, poliamida aromatik dan polieter urea. Penggunaan membran ini antara lain untuk desalinasi air laut, pengolahan air ultra murni dan lain-lain.

*Reverse osmosis* (R.O) dan nanofiltrasi menggunakan membran selektif untuk pemisahan ion terlarut. Perbedaan keduanya terletak pada ukuran porinya. Membran R.O mampu menahan ion dengan ukuran 0,0001 – 0,001 mikron, sedangkan membran Nanofiltrasi (NF) mampu menahan ion dengan ukuran 0,0005 – 0,001 mikron.

### B Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi adalah proses pemisahan menggunakan membran untuk menahan molekul-molekul berukuran makro. Ultrafiltrasi biasanya digunakan untuk menghasilkan produk samping (*whey*) dari industri pembuatan keju. Proses ini dapat meloloskan air, laktosa, pigmen, koloid dan garam mengalir bersama permeat.

### C Pemisahan Gas

Pemisahan gas merupakan proses pemisahan gas dari gas lain dengan menggunakan membran yang disusun secara *spiral wound* atau *hollow fibre* yang bekerja karena adanya kelarutan dan difusi masing-masing gas dan perbedaan tekanan antar membran.

### D Pervaporasi

Pervaporasi adalah proses pemisahan dimana pada campuran larutan yang akan dipisahkan terjadi kontak dengan membran.

### E Mikrofiltrasi (MF)

Mikrofiltrasi adalah proses pemisahan partikel dari cairan atau gas. Partikel yang dipisahkan berupa serat halus dengan ukuran  $> 0,1$  mm dengan ketebalan 10 – 150 mm. Berdasarkan konsentrasi partikel yang akan dipisahkan, mikrofiltrasi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

- *Dead-end filtration*, digunakan untuk konsentrasi partikel yang rendah seperti pada industri farmasi dan minuman.
- *Cross flow filtration*, digunakan untuk konsentrasi partikel yang lebih tinggi seperti pada pemisahan emulsi dari limbah industri.

### F Elektrodialisis

Elektrodialisis adalah proses pemisahan dengan menggunakan membran selektif dimana ion-ion terlarut dipisahkan dari air dengan cara pertukaran ion (*ion exchange*)

## 2.2 Pemisahan menggunakan teknik pervaporasi

Pervaporasi adalah proses pemisahan yang dilakukan dengan menggunakan membran untuk memisahkan satu komponen dari campurannya. Pada proses pervaporasi (Gambar 1), campuran suatu cairan yang akan dipisahkan berada pada satu sisi membran (*up stream side*) dan permeat dikeluarkan di sisi yang lain (*downstream side*) sebagai uap bertekanan rendah. Berdasarkan model difusi-larutan, pervaporasi terbagi kedalam 3 tahap yaitu:

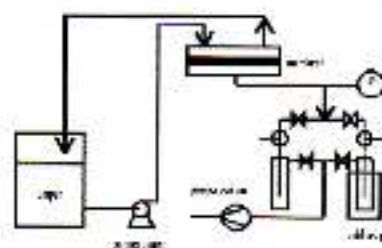
1. *Sorption* atau penyerapan permeat dari larutan campuran pada membran (*up stream*)
2. Difusi permeat melalui membran
3. *Desorption permeat* kedalam fasa uap (*downstream*)

Aliran permeat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dikeluarkan dengan cara vakum atau *sweeping gas*.

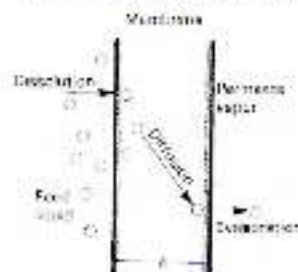
Aspek lain yang menonjol dari pervaporasi ini adalah selektifitas yang sangat tinggi sehingga sangat cocok diaplikasikan pada proses pemisahan campuran azeotropik, isomer serta campuran pelarut senyawa organik<sup>12</sup>.

Kriteria membran yang digunakan untuk pemisahan pada proses pervaporasi pada kenyataannya memiliki kesamaan dengan membran yang digunakan pada pemisahan gas, yaitu:

- Struktur terbuka untuk meminimasi gangguan pada saat perpindahan uap dan mencegah penyerapan saat kondensasi.
- Porositas permukaan tinggi dengan distribusi ukuran pori yang kecil.



Gambar 1 Skema peralatan pervaporasi skala laboratorium



Gambar 2 Mekanisme permeasi cairan melalui suatu membran ( $l$  = ketebalan membran)

## 2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan membran

Sejumlah faktor yang perlu diperhatikan saat melakukan proses pemisahan menggunakan teknik pervaporasi diantaranya adalah :

### A Komposisi umpan dan konsentrasi

Perubahan pada komposisi umpan secara langsung dapat mengakibatkan fenomena penyerapan

*degree of swelling* (derajat pengembangan) pada permukaan membran cair. Secara langsung *degree of swelling* mempengaruhi nilai selektivitas dan fluks dari membran dimana semakin besar *degree of swelling* suatu membran maka fluks akan semakin besar tetapi selektivitas akan menurun dan sebaliknya jika *degree of swelling* dari membran kecil maka fluks akan kecil namun selektivitas dari membran akan bertambah tinggi<sup>1</sup>. Perhitungan *degree of swelling* sebagai berikut:

$$\text{Degree of swelling (\%)} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

$W_w$ : *weight wet* (berat basah), kg

$W_d$ : *weight dry* (berat kering), kg

### B Tekanan umpan dan tekanan permeat

Tekanan permeat berhubungan erat dengan aktivitas komponen di aliran bawah membran dan akan berpengaruh pada karakteristik penguapan itu sendiri.

### C Temperatur

Selektivitas sangat tergantung pada temperatur operasi. Pada kebanyakan kasus, pengurangan sejumlah kecil selektivitas suatu membran diamati seimbang dengan peningkatan temperatur. Rumus perhitungan *separation factor* (faktor pemisah):

$$\alpha = \frac{Y_w - Y_f}{X_w - X_f} \quad (2)$$

Dengan:

$\alpha$  : Faktor pemisah (*separation factor*)

$Y_w$  : Konsentrasi air dalam permeat

$Y_f$  : Konsentrasi alkohol dalam permeat

$X_w$  : Konsentrasi air dalam umpan

$X_f$  : Konsentrasi alkohol dalam umpan

## 2.4 Modifikasi yang dilakukan pada polimer untuk meningkatkan kualitas pemisahan

### A Ikatan silang (*crosslinking*)

Dalam teknologi membran, *crosslinking* bertujuan untuk membuat polimer menjadi tak larut terhadap campuran umpan, dan untuk mengurangi derajat pengembangan (*degree of swelling*) dari polimer agar menghasilkan selektivitas yang baik. *Crosslinking* dapat dilakukan dengan 3 cara, antara lain:

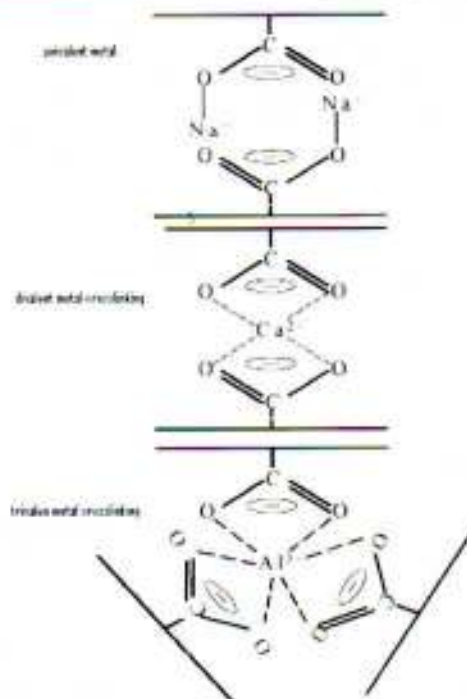
- Reaksi kimia
- Iradiasi
- Fisik

### B Grafting

*Grafting* dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan reaksi kimia dan iradiasi.

### C Blending

Pada dasarnya, blending merupakan teknik ideal dalam menciptakan sifat hidrofilik pada membran hidrofobik. Namun kelemahan dari modifikasi ini adalah kurang memberikan ketahanan mekanik pada membran yang sangat tipis.



Gambar 3 Struktur molekular alginat hasil dari crosslinking dengan reaksi kimia

#### D Kopolimerisasi

Aspek utama yang terjadi pada kopolimerisasi adalah dapat terjadi derajat pengkristalan (*degree of crystallinity*).

### 3 Metode Penelitian

#### A Variabel penelitian

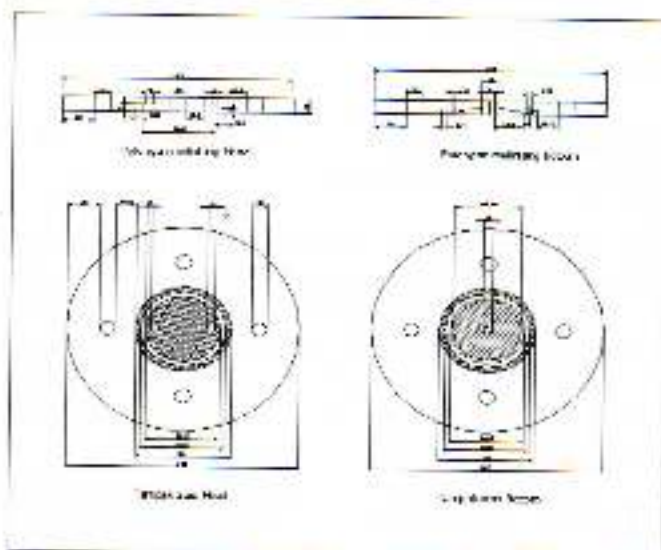
Agar dapat ditentukan konsentrasi Na-Alginat dan *crosslinker* yang optimal, pada penelitian ini divariasikan : konsentrasi Na-alginat (4% dan 7%) serta CuSO<sub>4</sub> dan CaCl<sub>2</sub> (0.1 M, 0.5 M, 1M) sebagai *crosslinker*.

#### B Perancangan alat

Pembuatan peralatan proses pervaaporasi dilakukan sesuai dengan gambar rancangan yang telah dibuat peralatan lainnya yang diperlukan untuk proses pervaaporasi antara lain : pompa umpan, pompa vakum, cold trap, pemanas, labu leher empat, thermometer.

#### C Pembentukan membran

Pembentukan membran mengacu pada prosedur yang telah di dilakukan oleh R.Y.M Huang *dkk* dengan memodifikasi konsentrasi larutan alginat, dan jenis serta konsentrasi *crosslinker* yang dipakai. Prosedur ini terbagi dua tahap yaitu tahap casting untuk membran Na-Alginat, dimana pada tahap ini membran yang terbentuk bersifat hidrofilik (larut) ketika berkontak dengan air , dan tahap modifikasi membran dimana membran direaksikan dengan larutan *crosslinker* CaCl<sub>2</sub> dan CuSO<sub>4</sub> agar membran tidak larut dalam air tanpa kehilangan sifat hidrofiliknya.



Gambar 4 Rancangan Membran Sel



(a)



(b)

Gambar 5 Membran sel : (a) Penampung membran sel Head (kiri), bottom (kanan) (b) setelah di pasang membran

Secara detail pembuatan membran alginat dilakukan sebagai berikut :

### 1. Casting

- Membuat larutan Na-Alginat 4% dan 7% dan mengukur viskositasnya
- Menuangkan larutan ke atas permukaan kaca dengan ketebalan 0.2 mm dan mengusahkan permukaannya rata
- Mengeringkan pada temperatur ruang selama 24 jam

### 2. Modifikasi Membran

- Melakukan crosslinking dengan merendam masing-masing membran dalam larutan crosslinker  $\text{CuSO}_4$  0.1M, 0.5, 1M dan  $\text{CaCl}_2$  0.1M, 0.5, 1M selama 10 menit
- Membilas dengan aquades
- Mengeringkan pada temperatur ruang selama 20 menit

## D. Pengujian dan pengambilan data

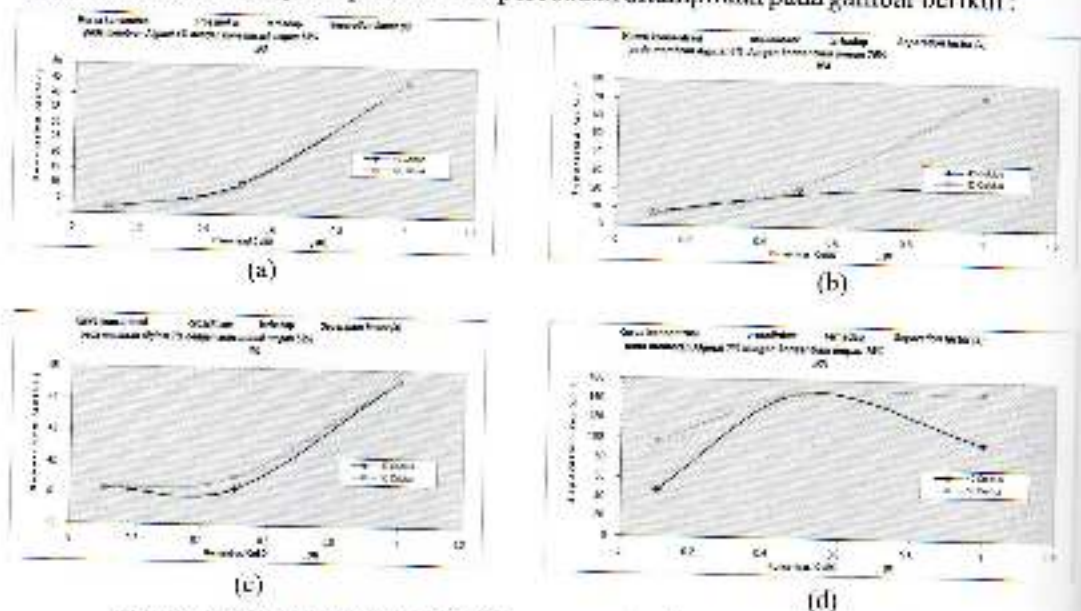
Pengujian membran dilakukan menggunakan rancangan alat yang dibuat. Sebagai data awal diukur nilai viskositas dan degree of swelling dari tiap jenis membran. Dari pengujian dengan alat

pervaporasi dilakukan pengambilan data suhu dan konsentrasi umpan terhadap fluks dan selektifitas membran.

#### 4. Hasil Percobaan dan Pembahasan

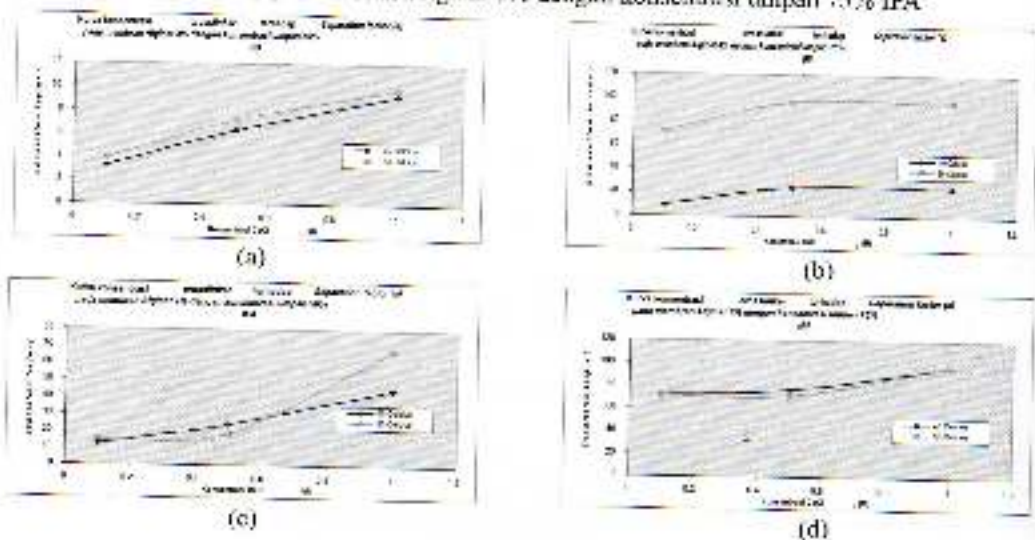
##### A. Pengaruh suhu pada proses pervaporasi

Pada pengujian tiap membran dilakukan variasi suhu umpan. Suhu umpan yang digunakan adalah 40°C dan 50 °C. Hal ini dilakukan untuk menentukan suhu umpan yang baik untuk digunakan dalam proses pervaporasi. Hasil percobaan ditampilkan pada gambar berikut :



Gambar 6 Kurva konsentrasi  $CuSO_4$  vs *separation factor*( $\alpha$ )

- (a) Membran Alginate 4% dengan konsentrasi umpan 56% IPA
- (b) Membran Alginate 4% dengan konsentrasi umpan 75% IPA
- (c) Membran Alginate 7% dengan konsentrasi umpan 56% IPA
- (d) Membran Alginate 7% dengan konsentrasi umpan 75% IPA



Gambar 6 Kurva konsentrasi  $\text{CuCl}_2$  vs *separation factor* ( $\alpha$ )

- (a) Membran Alginat 4% dengan konsentrasi umpan 56% IPA
- (b) Membran Alginat 4% dengan konsentrasi umpan 75% IPA
- (c) Membran Alginat 7% dengan konsentrasi umpan 56% IPA
- (d) Membran Alginat 7% dengan konsentrasi umpan 75% IPA

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa suhu umpan berpengaruh pada nilai selektifitas membran. Hal ini disebabkan bahwa sebelum masuk ke sel membran pada suhu tersebut telah terjadi perubahan fase dari sejumlah kecil isopropanol menjadi uap karena titik didih dari isopropanol lebih rendah dari air. Hal ini terlihat dari adanya refluks yang berasal dari kondensor. Namun hal ini menyebabkan konsentrasi air di tangki umpan akan meningkat sehingga dapat meningkatkan selektifitas dari membran yang dapat dengan mudah untuk menyerap air. Dari hasil pengamatan secara keseluruhan, dapat diketahui bahwa temperatur umpan yang paling baik adalah pada temperatur 50°C yang ditunjukkan oleh nilai selektifitas sebesar 147.

### B. Pengaruh konsentrasi umpan pada proses pervaporasi

Variasi pada konsentrasi umpan dilakukan untuk konsentrasi 56% dan 75% Isopropanol. Konsentrasi umpan dalam pervaporasi juga berpengaruh pada selektifitas, semakin tinggi konsentrasi umpan maka selektifitas cenderung meningkat. Sebagai *driving force*, semakin banyak jumlah air pada umpan maka selektifitas membran semakin tinggi dan sebaliknya, hal ini berbanding lurus pengaruhnya terhadap fluks.

### C. Pengaruh konsentrasi crosslinker pada proses pervaporasi

*Crosslinker* yang digunakan pada proses pervaporasi membentuk ikatan divalen dengan monomer alginat, yaitu  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  yang secara karakteristik berbeda, dimana  $\text{Ca}^{2+}$  mewakili logam alkali dan  $\text{Cu}^{2+}$  merupakan logam transisi. Dari pengamatan, membran yang di-crosslinker dengan  $\text{Ca}^{2+}$  lebih kasar dibandingkan dengan logam yang di-crosslinker dengan  $\text{Cu}^{2+}$ . Konsentrasi dari *crosslinker* juga mempengaruhi sifat fisik membran dimana semakin rendah konsentrasi *crosslinker*, membran semakin mudah bocor dan robek, hal ini berlaku untuk kedua jenis *crosslinker*. Semakin kecil konsentrasi *crosslinker* maka semakin sedikit jumlah ikatan antara alginat dan *crosslinker*. Secara fisik, membran yang berikatan silang dengan  $\text{CaCl}_2$  menyusut saat kering. Lain halnya pada variasi konsentrasi *crosslinker*  $\text{CuSO}_4$ , yang tidak terlalu berpengaruh pada bentuk fisiknya. Dari hasil pengujian ternyata membran alginat 7% dengan *crosslinker*  $\text{CuSO}_4$  memberikan selektifitas yang paling tinggi.

### D. Pengaruh konsentrasi alginat pada proses pervaporasi

Secara fisik perbedaan konsentrasi alginat dapat dilihat dari ketebalan membran yang terbentuk, dimana membran 4% lebih tipis dan mudah tersobek pada saat akan diangkat dari kaca. Karena terlalu tipis harus berhati-hati pada saat pengangkatan membran dari kaca, namun untuk mengantisipasi ini membran dapat diangkat setelah dilakukan *crosslinking*, karena *crosslinking* membuat membran lebih liat dan kuat.

Dari data yang diperoleh diketahui bahwa semakin besar konsentrasi dari Na-Alginat maka nilai *degree of swelling* (DOS) cenderung semakin turun yang disebabkan oleh semakin berkurangnya ketersediaan volume bebas (*free volume*) dalam membran. Dari nilai *degree of swelling* dapat diramalkan bahwa semakin tinggi nilai *degree of swelling* maka fluksnya akan semakin besar disebabkan tingginya difusi air pada membran. Namun semakin tinggi DOS akan menyebabkan turunnya selektifitas membran. Sebaliknya dengan semakin rendah nilai *degree of swelling* akan menyebabkan fluksnya semakin kecil. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian membran yang

menunjukkan selektivitas yang semakin tinggi dengan bertambahnya konsentrasi alginat. Nilai selektivitas tertinggi yaitu 147 yang diperoleh pada membran 7% alginat.

## 5 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara keseluruhan hasil rancang bangun alat pervaporasi dapat diimplementasikan menjadi rangkaian peralatan sistem pervaporasi yang beroperasi dengan baik.
2. Pada proses pervaporasi ini, konsentrasi alginat paling optimum untuk pemisahan membran adalah alginat 7% yang terlihat dari nilai selektivitas yang lebih tinggi dan nilai degree of swelling yang lebih rendah dibanding alginat 4 %, dengan konsentrasi crosslinker optimum adalah 1M CuSO<sub>4</sub> ( $\alpha = 147$  dan DOS = 4,72) dan 0.5M CaCl<sub>2</sub> pada konsentrasi alginat 4% ( $\alpha = 97$  dan DOS = 36,90).
3. Kondisi operasi dehidrasi isopropanol paling optimum dicapai pada suhu 50 oC dengan konsentrasi umpan 75%.

## Daftar Pustaka

1. Murdel, Marcel. *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers: London, 1991
2. Perry, Robert H and Don W. Green. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. The McGraw Hill Companies, Inc: USA, 1999
3. Huang, R.Y.M, et all. *Characteristics of Sodium Alginate Membranes for the Pervaporation Dehydration of Ethanol-Water and Isopropanol-Water Mixtures*. *Jurnal of Membran Science*: Canada, 1999
4. Bruschke, Harmut. *Industrial application of membrane separation processes*. Great Britain: IUPAC 1995
5. Lai, Juin-Yih, et all. *Dehydration of isopropanol and tetrafluoropropanol by pervaporation with chitosan-nanoparticle composite membranes*
6. P. Kusumacahyo, Samuel and Sudoh Masao. *Purification of organic acid by pervaporation membrane separation process*, Department of Materials Science and Chemical Engineering, Shizuoka University, Japan
7. Mohd. Ghazali Hj, Mohd Nawaw, L.F Ngoc Tram. *Jurnal Teknologi*, 41 (F) Keluaran Khas. Dis.2004:61-72, Universiti Teknologi Malaysia



## Optimasi Sistem Pemotongan Material Aluminum Alloys dengan Pendekatan Linier Integer Programming (Studi Kasus di PT. Dirgantara Indonesia)

Dadang Arifin & Rida Nurida

Jurusan Teknik Industri  
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani  
dadangarifin@yahoo.co.id

**Abstrak.** Salah satu fungsi yang ada di PT. Dirgantara Indonesia yaitu bagian pemotongan material (*pre cutting*) mempunyai tugas memotong *raw material* standar menjadi potongan-potongan yang sesuai dengan kebutuhan yang akan diproses menjadi komponen pesawat CN-235.

Cara pemotongan yang dilakukan sekarang dinilai kurang efisien karena masih banyak sisa-sisa material yang terbuang, sehingga dianggap terjadi pemborosan yang cukup besar. Atas dasar tersebut penelitian ini bertujuan merancang sistem pemotongan yang dapat meminimisasi sisa material yang terbuang (*scrap*) dengan menggunakan pendekatan *Operational Research*.

Dari hasil penelitian dapat diperoleh penghematan berupa pengurangan sisa material yang tidak bisa dipergunakan lagi (*scrap*) awalnya rata-rata 3335 dm<sup>3</sup> menjadi 1790,4 dm<sup>3</sup>, dengan jumlah raw material dapat dihemat 26 batang per 10 pesawat. Penghematan biaya secara keseluruhan dapat mencapai Rp. 3.283.184.162 per tahun.

**Kata kunci :** *Alternatif model pemotongan, model minimisasi sisa pemotongan material*

### 1 Pendahuluan

Satuan Usaha *Aerostructure* merupakan salah satu unit bisnis di PT. Dirgantara Indonesia yang memproduksi produk berdasarkan pesanan (*make to order*). Jenis produk yang dibuat adalah komponen pesawat A380 dari BAF system sebanyak 787 *ship set* (SS), *Component AIRLINER* sebanyak 293 SS, *Component FAJDS CASA 61 SS* (CN 235 dll.) Dari sejumlah aktivitas yang dilakukan di satuan usaha ini di antaranya adalah proses pemotongan (*pre cutting*). Aktivitas yang dilakukan dalam proses pemotongan ini adalah memotong bahan mentah berupa paduan Aluminium untuk kebutuhan komponen pesawat dengan lot 10 pesawat CN 235.

Material yang dipotong memiliki ukuran standar yaitu 3660 x 1220 x 120 mm, yang akan dipotong menjadi beberapa bagian untuk membuat komponen yang dibutuhkan dengan ukuran bervariasi. Aktivitas pemotongan yang dilakukan selama diduga kurang efisien artinya material sisa pemotongan masih cukup banyak dan menimbulkan pemborosan yang sangat besar dengan sisa pemotongan material selama ini rata-rata mencapai 10805,4 kg. Atas dasar tersebut dalam penelitian ini akan diusulkan alternative pola pemotongan yang harus dibuat dengan harapan sisa material yang terbuang dapat diminimisasi, serta jumlah material yang digunakan secara keseluruhan terjadi penghematan.

### 2 Tinjauan Pustaka

Masalah pemrograman linier ini pertama kali diperkenalkan oleh George B. Danzig sekitar tahun 1947, USA. Kemudian pada tahun 1949 George B. Danzig memperkenalkan metode simplek sebagai metoda penyelesaian dari pemrograman linier pada saat pukar dan praktisi melakukan

## Optimasi Sistem Pemotongan Material Aluminum Alloys dengan Pendekatan Linier Integer Programming

pengembangan baik secara teoritis maupun aplikatif. Pemrograman Linier merupakan salah satu dari sekian banyak metode optimasi yang ada. Seperti metode optimasi lainnya pemrograman linier biasanya berhubungan dengan masalah pengalokasian sumber daya yang terbatas, seperti buruh, bahan baku, jam mesin dan lain-lain, dengan cara sebaik mungkin sehingga diperoleh keputusan terbaik.

Format umum model pemrograman linier digambarkan seperti berikut.

Maksimasi/minimasi:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_n$$

Dengan pembatas (s/t)

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

dimana  $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$  sebagai fungsi tujuan atau fungsi kriteria yang dinotasikan dengan  $Z$ . Koefisien  $c_1, c_2, \dots, c_n$  adalah koefisien ongkos yang diketahui dan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  adalah variabel keputusan atau disebut juga sebagai (variabel struktural atau tingkat aktifitas) yang harus dicari, sedangkan  $\sum x_j a_{ij} \geq b_i$  adalah fungsi pembatas. Koefisien  $a_{ij}$  untuk  $i = 1, 2, \dots, m$  dan  $j = 1, 2, \dots, n$ , disebut sebagai koefisien teknologi. Pembatas  $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$  adalah pembatas non negatif, artinya setiap variabel harus positif atau nol.

Asumsi-Asumsi yang harus dipenuhi dalam Pemrograman Linear ( Ms. Bazarua ) minimal adalah:

1. *Proportionality*, artinya kontribusi setiap variabel  $x_j$  terhadap fungsi tujuan maupun fungsi pembatas adalah sama, dan setiap perubahan nilai variabel proporsional terhadap koefisien kedua fungsi itu.
2. *Additivity*, ini berasumsi bahwa biaya total pada fungsi tujuan adalah merupakan hasil penjumlahan dari biaya individual. Ini berlaku juga pada fungsi pembatas.
3. *Divisibility*, asumsi ini menyatakan bahwa nilai variabel keputusan dapat dibagi menjadi beberapa bagian (bentuk pecahan).

Deterministic, Koefisien  $c_j, a_{ij}$  dan  $b_i$  semuanya diketahui secara pasti (*deterministic*). unsur-unsur yang bersifat probabilistik pada setiap koefisien diabaikan.

Sebagai kasus khusus dari program linier dimana variabel keputusan dibatasi sebagai bilangan bulat tidak negatif. Jika semua variabel diharuskan bilangan bulat disebut dengan program bilangan bulat murni. Tetapi jika sebagian variabel diatasi sebagai bilangan bulat disebut program bilangan bulat campuran.

Permasalahan bilangan bulat secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$\text{s/t } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j (\geq = <) b_i \quad ; i = 1, 2, \dots, M$$

$$X_j \geq 0 \text{ (integer)}$$

dimana  $a_i, b_i$ , dan  $c_j$  adalah konstanta.

### 3 Data dan Pembahasan

#### 3.1 Data material

Data yang dimuat dalam tulisan ini hanya berupa data primer yang berhubungan langsung dengan pemecahan masalah. Data tersebut diantaranya adalah, data material mentah yang akan dipotong menjadi komponen-komponen pesawat. Yaitu Material Alluminium Alloys dengan ukuran panjang x lebar x tebal = 3660 x 1220 x 120 mm. Proses pemotongan ini diperuntukan untuk pesawat CN-235, sebanyak 10 unit. Dengan kebutuhan komponen secara total dapat dilihat dalam tabel 1 di bawah ini

Tabel 1 Komposisi kimia spesimen uji

Kode	Nama Komponen	Ukuran (mm)	Kebutuhan untuk 10 pesawat (unit)
A	Rib Lug	1780 x 760	120
B	Support	1860 x 770	90
C	Basic	1075 x 450	20
D	Main Landing Gear	1845 x 1215	120
E	Lower Fitting	595 x 320	380
F	Main Landing Gear Outer B.H	1800 x 450	460
G	Half Fitting	680 x 380	40

Material mentah Alluminium Alloys dalam hal ini tidak berfungsi sebagai pembatas, artinya jumlah material yang harus dibeli tidak dibatasi selama kebutuhan minimum komponen yang akan dibuat belum menekuni

#### 3.2 Pengembangan Alternatif model pemotongan

Pengembangan Alternatif model pemotongan yang berhasil dibuat dalam penelitian ini sebanyak 10 model pemotongan, sehingga kemudian akan dijadikan sebagai variabel keputusan  $X_j$  dimana ( $j = 1, 2, \dots, 10$ ). Beberapa contoh model pemotongan dapat dilihat pada Gambar 1.

##### 1. Alternatif model pemotongan ke-1 ( $X_1$ )

Dari sebuah material mentah berukuran 3660 x 1220 x 120 mm, direncanakan akan dipotong untuk,

- Komponen C (ukuran 1075 x 450) sebanyak 1 buah
- Komponen E (sebanyak 5 buah)
- Komponen F sebanyak 3 buah
- Komponen G sebanyak 2 buah

Dengan sisa pemotongan 8,3 dm<sup>2</sup>



Gambar 1 Alternatif model pemotongan

Alternatif 1(kiri), menghasilkan sisa pemotongan sebanyak 8,3 dm<sup>2</sup>, sedangkan alternatif 2 (kanan) menghasilkan sisa pemotongan sebanyak 3,1 dm<sup>2</sup>. Dengan cara yang sama, dari 10 model alternatif pemotongan yang dirancang secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 2.

# Optimasi Sistem Pemotongan Material Aluminium Alloys dengan Pendekatan Linier Integer Programming

Tabel 1. Alternatif Model Pemotongan

Model Pemotongan	Ukuran dipotong	Komponen (kode)	Jumlah potongan	Sisa Pemotongan (dm <sup>2</sup> .)
X <sub>1</sub>	1075x450	C	1	8,3
	595 x 320	F	5	
	1800x450	F	3	
	680x380	G	2	
X <sub>2</sub>	595 x 320	E	6	8,3
	1800 x 450	F	4	
X <sub>3</sub>	1860 x 770	B	1	3,1
	595 x 320	E	3	
	1800 x 450	F	3	
X <sub>4</sub>	1075 x 320	C	2	16,8
	1845 x 215	D	1	
	595 x 320	F	3	
	680 x 380	G	2	
X <sub>5</sub>	1780 X 760	A	1	6,0
	1860 X 770	B	1	
	1800 X 450	F	2	
X <sub>6</sub>	1075 x 450	C	1	6,0
	1845 x 215	D	1	
	595 x 320	E	3	
	1800 x 450	F	1	
	680 x 380	G	1	
	1780 X 760	A	1	
X <sub>7</sub>	1845 X 215	D	1	6,1
	1800 X 450	F	1	
	1845 X 1215	D	1	
	595 X 320	E	3	
X <sub>8</sub>	1800 X 450	F	1	23,47
	680 X 380	G	2	
	1075 X 450	C	3	
	595 X 320	E	6	
X <sub>9</sub>	1800 X 450	F	2	25,15
	1780 X 760	A	1	
	1075 X 450	C	1	
X <sub>10</sub>	1780 X 760	A	1	12,85
	1075 X 450	C	1	
	1845 X 1215	D	1	
	680 X 380	G	1	

Dari 10 alternatif model pemotongan yang di rancang, kemudian dibuat model optimasi dengan model *linier integer programming* sebagai berikut.

$$M = Z = 8,1X_1 + 4,3X_2 + 3,1X_3 + 16,8X_4 + 6,0X_5 + 10,0X_6 + 6,1X_7 + 23,47X_8 + 25,15X_9 + 12,85X_{10}$$

$$s.t. \quad X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 120$$

$$X_1 + 2X_2 + X_3 + X_4 + 3X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 90$$

$$5X_1 + 6X_2 + 3X_3 + 3X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 170$$

$$3X_1 + 4X_2 + 3X_3 + 3X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 280$$

$$2X_1 + 2X_2 + X_3 + X_4 + 2X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 40$$

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_{10} \geq 0 \text{ (integer)}$$

### 3.3 Solusi Model

Dengan menggunakan bantuan *software Quant System for windows (Win QS)*, diperoleh nilai untuk  $X_1 = 54$ ,  $X_2 = 90$ ,  $X_3 = 90$ , dan  $X_4 = 30$  sedangkan untuk yang lainnya sama dengan nol (0), dengan nilai  $Z = 1.990,4 \text{ dm}^2$ . Dalam hal ini berarti alternatif model pemotongan yang harus dibuat adalah alternatif model pemotongan 3 sebanyak 54 unit, alternatif model pemotongan 5 dan 6 sebanyak masing-masing sebanyak 90 unit, dan alternatif model pemotongan 7 sebanyak 30 unit. Sebagai rekapitulasi hasil pemotongan yang akan dihasilkan dari solusi tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Optimasi

Nama Komponen	Komponen yang dihasilkan oleh setiap model pemotongan (unit)				Kebutuhan minimum	Keterangan
	Alt.3(=54)	Alt.5(=90)	Alt.6(=90)	Alt.7(=30)		
Rib Lag	-	90	-	30	120	Terpenuhi
Support	-	-	90	-	90	Terpenuhi
Basis	-	-	90	-	90	Terpenuhi
Main Landing Gear	-	-	90	30	120	Terpenuhi
Lower Fitting	162	-	270	-	380	Surplus 52
Main Landing Gear Cover	162	180	90	30	460	Surplus 2
B.H	-	-	-	-	-	-
Half Fitting	-	-	90	-	40	Surplus 50

### 3.4 Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh, sistem pemotongan yang digunakan membutuhkan 29 lembar bahan baku. Sisa pemotongan yang masih bisa dipergunakan sebanyak  $2310,36 \text{ dm}^2$ , sehingga total untuk 10 pesawat sebanyak  $23103,6 \text{ dm}^2$ . Sedangkan sisa material yang tidak bisa dipergunakan lagi (srap) sebanyak  $333,5 \text{ dm}^2$  atau sebanyak  $3335 \text{ dm}^2$  untuk 10 pesawat. Total lembaran *Aluminium Alloys* untuk 10 pesawat membutuhkan 290 lembar. Sisa material yang tidak bisa dipakai diperoleh  $1790,4 \text{ dm}^2$ . Sedangkan total bahan baku yang harus disediakan 264 lembar (*plate*). Dari data yang diperoleh terjadi penghematan sebagai berikut

1. Penghematan sisa material yang masih bisa dipergunakan untuk 10 pesawat adalah  $23103,6 \text{ dm}^2 - 3081,8 \text{ dm}^2 = 20021,8 \text{ dm}^2$ .
2. Penghematan sisa material yang tidak bisa dipergunakan lagi (srap) untuk 10 pesawat adalah  $3335 \text{ dm}^2 - 1790,4 \text{ dm}^2 = 1544,6 \text{ dm}^2$ . Penghematan dalam satuan Kg, jika berat jenis *Aluminium Alloys*  $2,7 \text{ mm}$  maka sisa material yang dapat dihemat adalah  $1544,6 \text{ dm}^2 \times 1,2 \text{ mm} \times 2,7 \text{ Kg/m}^3 = 5004,504 \text{ Kg}$ .
3. Penghematan biaya yang terjadi ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan kondisi saat ini dengan hasil penelitian

Komponen biaya	Kondisi saat ini	Hasil Penelitian	Penghematan
Pembelian bahan baku untuk 10 pesawat	Rp. 38.015.617.730	Rp. 34.607.320.968	Rp. 3.408.296.762
Penjualan Scrap	Rp. 270.135.000	Rp. 145.022.400	Rp. 125.112.600
Ongkos yang dikeluarkan	Rp. 37.745.482.730	Rp. 34.462.298.568	Rp. 3.283.184.162

#### **4 Kesimpulan**

1. Alternatif model pemotongan yang dapat meminimasi jumlah sisa material tak terpakai (scrap) adalah alternatif ke 3, 5, 6, dan ke 7
2. Jumlah material yang harus disiapkan untuk 10 pesawat pada kondisi saat ini sebanyak 290 lembar (*plate*), sedangkan hasil penelitian sebanyak 264 *plate*
3. Penghematan biaya yang diperoleh per 10 pesawat jika dengan menggunakan model-model pemotongan diatas adalah sebesar Rp. 3.283.184.162,

#### **Daftar Pustaka**

1. Bazaraa, Jarvis, Sherdi, *LINEAR PROGRAMMING AND NETWORK FLOWS*, second edition, John Willey & Sons, New-york 1990.
2. Hamdy A. Taha, *Operations Research*, third Edition, MACMILLAN PUBLISHING CO. INC, New-york, COLLIER MACMILLAN PUBLISHING, London
3. Hamdy A. Taha, *Operations Research*, Fourth Edition, MACMILLAN PUBLISHING CO. INC, New-york, COLLIER MACMILLAN PUBLISHING, London
4. Hillier S Frederick, *Introduction to Operation Research*, sixth edition, McGraw Hills, Inc, 1995.

## Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

Asep Najmurokhan<sup>1</sup> & Kurnia A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro

<sup>2</sup>Alumni Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

**Abstrak.** Kestabilan frekuensi dan tegangan sangat diperlukan dalam kelangsungan pelayanan tenaga listrik dari suatu pembangkit listrik. Pemakaian beban konsumen yang tidak memenuhi menyebabkan frekuensi dan tegangan yang berubah-ubah. Frekuensi dan tegangan yang tidak stabil merusak peralatan (beban) karena beban tidak bisa bekerja secara optimal. Dalam makalah ini diuraikan tentang perancangan *electronic load controller* (ELC) berbasis mikrokontroler sebagai stabilizer tegangan dan frekuensi. Alat ini dapat mencegah kerusakan akibat frekuensi dan tegangan keluaran dari sistem distribusi energi listrik yang tidak stabil. Pengontrolan beban secara elektronik menggunakan pengondisi sinyal frekuensi dan tegangan yang akan mendeteksi frekuensi dan tegangan sebelum masuk ke beban, yang kemudian akan dibaca oleh mikrokontroler. Data akan diproses untuk menentukan kerja dari sistem dan frekuensi, tegangan akan ditampilkan pada LCD. Sistem pengaturan frekuensi dan tegangan melalui pengaturan beban secara elektronik bekerja dengan mengatur daya yang disalurkan ke beban sekunder setiap terjadi perubahan frekuensi dan tegangan akibat perubahan beban pada beban utama. Dengan demikian, beban total generator (beban utama dan beban komplemen) cenderung tetap. Hasil pengujian menunjukkan frekuensi dan tegangan yang diatur bersifat stabil saat diberi beban maupun tidak diberi beban.

**Kata kunci :** *Beban komplemen, Electronic Load Controller (ELC), mikrokontroler, pengondisi sinyal frekuensi, pengondisi sinyal tegangan*

### 1 Pendahuluan

Energi listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan. Semakin maju tingkat kehidupan manusia, semakin tinggi kebutuhan manusia terhadap energi listrik. Di pihak lain, peningkatan kebutuhan energi listrik harus didukung oleh tersedianya pembangkit energi listrik yang harus memenuhi kebutuhan tersebut. Dalam rangka memperkuat ketahanan energi nasional, tantangan dalam penyediaan energi listrik sangat besar. Kondisi kelistrikan saat ini untuk sistem tenaga listrik Jawa, Madura, dan Bali memiliki beban puncak 17000 MW dengan daya netto pembangkitan 21300 MW, sedangkan kondisi kelistrikan di luar pulau Jawa terjadi defisit daya listrik di beberapa wilayah di Indonesia<sup>[1]</sup>. Permasalahan tersebut diakibatkan ketidakseimbangan antara penyediaan energi dan permintaan konsumen energi listrik. Masalah lain yang muncul dalam distribusi energi listrik adalah kestabilan tegangan dan frekuensi jala-jala listrik yang dikirim ke konsumen. Salahsatu langkah yang dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menambahkan pengaturan beban dalam distribusi energi listriknya.

Sebuah pengatur beban (*load controller*) berfungsi untuk menyeimbangkan daya yang dihasilkan oleh generator dengan daya konsumen serta untuk menstabilkan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator. Beberapa peneliti telah membahas tentang pengatur beban ini dengan melibatkan mikrokontroler sebagai pengendali utamanya<sup>[2-4]</sup>. Secara umum, perancangan sistem dilakukan dengan cara menempatkan sensor frekuensi ke

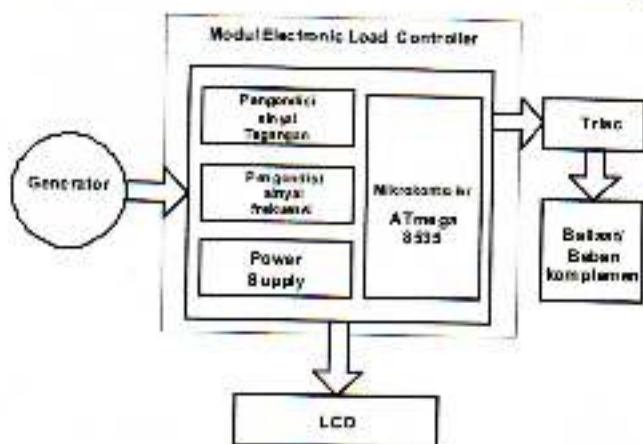
## Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

tegangan, kemudian sensor tersebut mengirim data yang telah terbaca kepada mikrokontroler. Bila hasil olahan mikrokontroler menunjukkan adanya perubahan frekuensi, maka mikrokontroler akan memberikan perintah untuk memberikan sudut penyulutan pada Triac sesuai yang diinginkan.

Dalam makalah ini akan diraikan perancangan *electronic load controller* (ELC) untuk menjaga agar tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator bersifat stabil. Alat yang dirancang menggunakan saklar elektronik berupa SCR/Triac. Tipe mikrokontroler yang digunakan ATmega8535 dan beban komplemen yang digunakan adalah lampu pijar. Alat dilengkapi dengan tampilan LCD yang menunjukkan besar tegangan (dalam satuan volt) dan frekuensi (dalam satuan Hz) yang diatur. Pengujian dilakukan dengan motor induksi sebagai generator 3 fasa dengan spesifikasi daya 1,5 HP, rentang tegangan 220/380 Volt atau 230/400 Volt, frekuensi 50Hz, dan putaran : 1000 - 1500 rpm.

### 2 Perancangan ELC

Diagram blok alat yang dirancang diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam gambar tersebut, sebuah ELC tersusun oleh beberapa bagian yang mencakup rangkaian pengkondisi sinyal tegangan dan frekuensi, catu daya, mikrokontroler, Triac, dan beban komplemen.



Gambar 1 Diagram Blok ELC

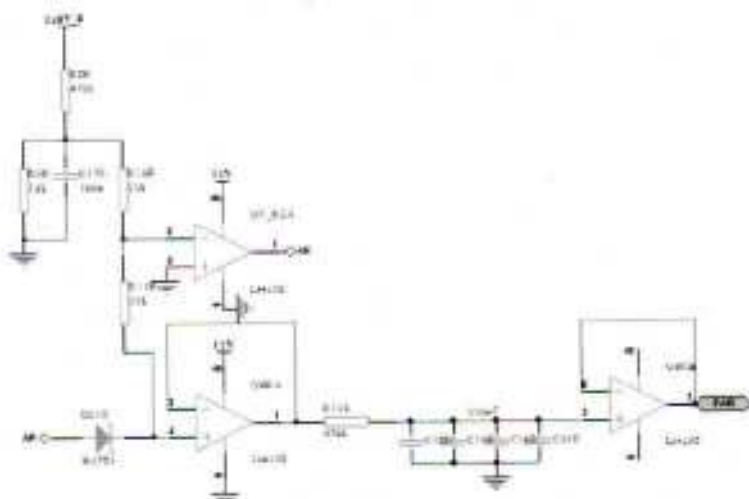
Rangkaian pengkondisi sinyal berfungsi untuk mengondisikan sinyal dari sensor supaya dapat diproses lebih lanjut oleh mikrokontroler. Karena sinyal yang dibutuhkan oleh mikrokontroler berupa sinyal tegangan searah (DC), rangkaian pengkondisi sinyal mengubah tegangan bolak balik (AC) dari generator menjadi tegangan searah. Rangkaian pengkondisi sinyal diberikan pada Gambar 2. Dalam alat yang dirancang digunakan mikrokontroler sebagai pengontrol utama sistem. Gambar 3 menunjukkan rangkaian minimum mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan ini.

Mikrokontroler yang digunakan pada alat ini adalah ATmega8535 yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

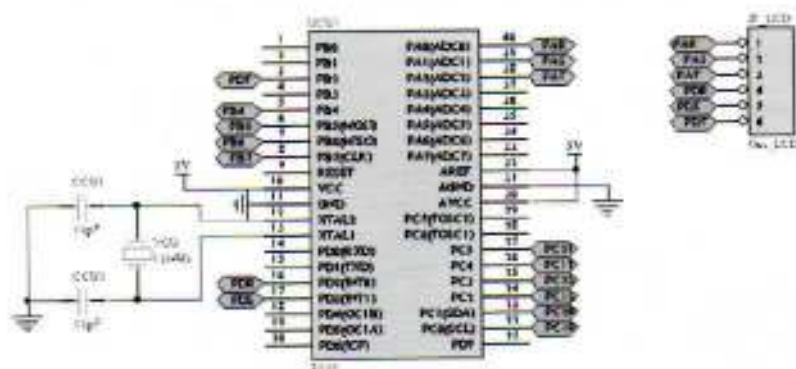
- 8 Kbyte In-System Programmable Flash
- ADC 10 bit yang sudah terintegrasi dalam satu chip
- Onchip osilator 1 - 14 MHz
- Memiliki 3 interrupt INT0, INT1 dan INT2



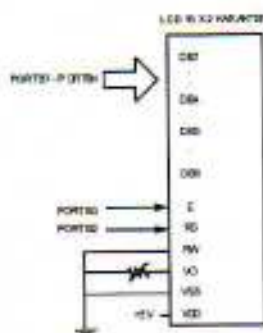
Port A1 sampai dengan Port A3 dihubungkan dengan output dari pengondisi sinyal sebagai input sampling tegangan. Port B7 sampai dengan port B0 dihubungkan dengan modul LCD. Port B7 sampai dengan port B4 dihubungkan dengan pin DB7 – DB4 pada LCD, port B1 terhubung dengan Pin Enable LCD, dan Port B0 dikoneksikan dengan Pin RS LCD. Sementara itu, port C0 sampai dengan port C5 dihubungkan dengan TRIAC.



Gambar 2 Rangkaian Pengondisi Sinyal



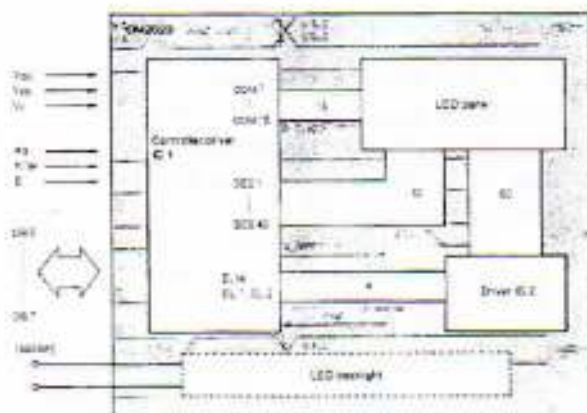
Gambar 3 Rangkaian Mainboard AVR



Gambar 4 Konfigurasi Rangkaian ATmega8535 dengan LCD

## Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

LCD digunakan untuk menampilkan data tegangan dan frekuensi. LCD yang digunakan pada penelitian ini adalah LCD dot matrix 16 karakter x 2 baris. Gambar 4 memperlihatkan konfigurasi penggunaan port ATmega8535 untuk LCD. LCD yang digunakan pada penelitian ini berupa modul yang diagram bloknya diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5 Diagram Blok Modul LCD

Untuk menfungsikan catu daya pada mikrokontroler digunakan regulator tegangan DC. Rangkaian regulator digunakan untuk meregulasi tegangan keluaran sebesar  $\pm 12$  V menjadi  $\pm 5$  V. Selain untuk mikrokontroler, tegangan teregulasi tersebut dimanfaatkan oleh LCD agar dapat bekerja dengan baik.

### 3 Perancangan Perangkat Lunak

Untuk menjalankan mikrokontroler, maka diperlukan program untuk memfungsikan setiap port dalam mikrokontroler. Dalam perancangan perangkat lunak alat ini, cara kerja program, setelah catu daya diaktifkan, maka program akan meng-inisialisasi port, ADC, pendeklarasian variabel. Kemudian pada program utama, program secara terus menerus mengecek ADC, *interrupt* dan melakukan perhitungan untuk selanjutnya ditampilkan di LCD.

Frekuensi *clock* yang digunakan pada alat ini adalah 12 MHz dengan sumber *clock internal*. Perubahan frekuensi sumber *clock internal* dapat dilakukan dengan mengubah *fuse bit* dari ATmega8535. Hal ini dapat dilakukan dengan mudah pada perangkat lunak BASCOM-AVR, yaitu aktifkan *program send to chip* atau dengan menekan F4, kemudian pilih *TAB Lock and Fuse Bits*. Pada kelompok *fusebit* baris *fusebit A987*, pilih *fusebit 0100: Internal RC Oscillator 12 MHz*. Setelah pemilihan *fusebit*, kemudian dilanjutkan dengan penulisan *fusebit* pada *chip*. Proses penulisan *fusebit* dapat dilakukan dengan menekan tombol *Write FS* pada bagian kanan window. Setelah penulisan *fusebit* selesai, maka *clock* yang digunakan oleh ATmega8535 adalah *clock internal* dengan frekuensi 12 MHz.

Program utama merupakan program yang pertama kali dijalankan ketika mikrokontroler diberi catu daya. Pada program utama ini terdapat inisialisasi setiap port, apakah akan digunakan sebagai input atau output, inisialisasi ADC, inisialisasi *interrupt* dan deklarasi variabel – variabel yang digunakan dalam program. Program utama akan terus menerus mengecek input analog dari rangkaian pengondisi sinyal yang dihubungkan dengan port ADC, port *interrupt* dan menampilkan tegangan dan frekuensi pada LCD.

Subprogram pada perangkat lunak yang dirancang terdiri dari Rutin CEK\_INPUT dan Rutin TAMPIL\_LCD. Rutin CEK\_INPUT yang diperlihatkan pada gambar 9 digunakan untuk mengecek input pada ADC channel 1,2 dan 3 (3 input untuk fase yaitu R, S, dan T). setelah data diterima kemudian disimpan pada variabel. Jika terjadi interrupt 0,1 dan 2 (3 input untuk 3 fase yaitu R,S,dan T), kemudian timer0 akan ON. Sementara itu, Rutin TAMPIL\_LCD digunakan untuk menampilkan karakter kotak pada LCD. Jumlah bar yang ditampilkan tergantung dari variabel bar.

#### 4 Realisasi dan Pengujian alat

Pada bagian ini akan dibahas mengenai pengukuran setiap bagian dari sistem dan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan. Pengujiannya mencakup pengujian perangkat keras dan pengujian program yang dibuat yang diunduh ke mikrokontroler.

##### 4.1 Pengukuran Perangkat Keras

Pengukuran ini dilakukan pada beberapa bagian yaitu pengukuran pengondisi sinyal tegangan dan frekuensi serta level tegangan pada tiap port dari ATmega8535. Pengukuran ini meliputi pengukuran tegangan tiap port ketika ATmega8535 tidak diprogram, diprogram dengan mengeluarkan logika 1 untuk setiap port, diprogram dengan mengeluarkan logika 0 pada tiap port, dan diprogram dengan setiap port dikonfigurasi sebagai input. Tegangan pada VCC yang terukur adalah 4,92 V. Pada pengukuran rangkaian pengondisi sinyal, alat yang dipergunakan adalah Inverter (TECO FM50) 1 HP/0,75 Watt, Generator (Tatung Induction Motor) 1,5 HP/1,1 Watt, Motor Induksi 1 HP dan Multimeter (*DIGITAL MULTIMETER SANWA CD800a*). Langkah pengukuran dilakukan dengan cara motor digabung (*couple*) dengan generator, kemudian kecepatan motor diatur menggunakan inverter sampai generator menghasilkan tegangan. Percobaan dilakukan dengan mengukur output tegangan generator menggunakan multimeter dan mengukur tegangan keluaran pengondisi sinyal. Hasil data pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tegangan Keluaran Pengondisi Sinyal




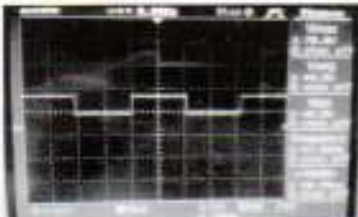
No	VAC (V)			VDC (V)		
	VR	VS	VT	VR	VS	VT
1	180	180	180	2,78	2,78	2,78
2	185	185	185	2,88	2,88	2,88
3	190	190	190	2,96	2,96	2,96
4	195	195	195	3	3	3
5	200	200	200	3,15	3,15	3,15
6	205	205	205	3,22	3,22	3,22
7	210	210	210	3,32	3,32	3,32
8	215	215	215	3,4	3,4	3,4
9	220	220	220	2,47	2,47	2,47
10	225	225	225	3,57	3,57	3,57
11	230	230	230	3,66	3,66	3,66

Data di atas hasil pengukuran tegangan keluaran pengondisi sinyal,  $V_{ac}$  tegangan keluaran dari generator antara line dan neutral ( $V_{L-N}$ ) tiap – tiap fase,  $V_{dc}$  tegangan keluaran dari pengondisi sinyal. Semakin cepat putaran generator maka tegangan keluaran generator semakin besar, begitupun keluaran tegangan dari pengondisi sinyal. Keluaran tegangan pengondisi sinyal telah dirancang tidak lebih dari 5 V ( $V_{ref}$  dari ADC), karena keluaran tegangan pengondisi sinyal akan menjadi input ADC pada IC mikrokontroler AT8535.

## Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

Pengukuran frekuensi keluaran dari pengondisi sinyal dipergunakan osiloskop Gwinstek GDS-1042. Langkah percobaan untuk pengukuran ini sama dengan langkah percobaan untuk mengukur tegangan keluaran pengondisi sinyal, tetapi yang diukur adalah sinyal frekuensi keluaran dari pengondisi. Beberapa data pengukuran dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Data Frekuensi Keluaran dari Pengondisi Sinyal

No	Frekuensi (Hz)	Periode (ms)	Bentuk Gelombang
1	44,43	11,18	
2	45,85	10,64	
3	46,51	10,59	
4	47,92	10,35	

Data di atas hasil pengukuran keluaran frekuensi pengondisi sinyal diukur dengan menggunakan osiloskop. Semakin cepat putaran generator, semakin tinggi nilai frekuensi. Frekuensi berbanding terbalik dengan perioda, semakin tinggi frekuensi maka lebar pulsa (perioda) semakin kecil. Keluaran frekuensi pengondisi sinyal akan dijadikan input mikrokontroler. Nilai rata-rata hasil pengukuran menunjukkan nilai frekuensi 49,79 Hz. Karena frekuensi sebenarnya adalah 50 Hz, maka kesalahan pengukuran rangkaian pengkondisi sinyal sebesar 0.43 %.

#### 4.2 Pengujian perangkat lunak

Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat lunak yang dibuat dapat bekerja dengan baik atau sinkron dengan perangkat keras yang dibuat. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan logika 1 dan logika 0 pada setiap port seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Port yang Digunakan sebagai Indikator dan Proteksi

No	Port	Output	Fungsi
1	Port B.4	LED Hijau	ELC ON
2	Port B.5	LED Merah	FU (Frequency Upper)
3	Port B.6	LED Kuning	VU (Voltage Upper)
4	Port B.7	Relay 12 V	ON/OFF kontraktor

Output dari tiap port untuk program di atas dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Data hasil Pengujian Software

Kondisi	Port B.4	Port B.5	Port B.6	Port B.7
Gosub ELC_ON	1	0	0	1
Gosub FU	0	1	0	0
Gosub VU	0	0	1	0

Ket: 1 = 4,9 V dan 0 = 0V

Pengukuran dilakukan pada saat mikrokontroler berlogika 1, sehingga pada kondisi tertentu indikator LED akan ON begitupun juga dengan Relay. Pengujian program di atas dilakukan dengan pengaturan waktu pesaklaran kapan saklar elektronik (TRIAC) akan ON (membuang beban ke ballast). Tabel 5 memperlihatkan hasil pengukuran dari TRIAC BTA-25.

Pengontrolan tegangan dan frekuensi agar tetap stabil dilakukan dengan mengatur daya yang dibuang ke beban komplemen, pengaturan ini dilakukan dengan cara memberikan logic satu pada mikrokontroler (port C) sesuai dengan waktu pensaklaran yang telah diatur di program. Data pengukuran di atas pada saat  $\alpha = 90^\circ$  didapat  $V_o = 98,8$  volt sedangkan hasil perhitungan:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t dt$$






$$V_o = -\frac{V_m}{2\pi} [\cos \pi - \cos \pi / 2]$$

$$V_o = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t dt$$

$$V_o = 99.08 \text{ volt}$$

$$V_o = \frac{1}{2\pi} [-V_m \cos \omega t]_{\alpha}^{\pi}$$

Tabel 5 Data Pengukuran Keluaran TRIAC BTA-25

No	Waktu pensaklaran (us)	Bentuk Gelombang	Tegangan (volt)
1	600		21,6
2	500		32,2
3	400		98,8
4	300		119,2
5	200		132,2

Dari hasil pengujian program untuk menentukan sudut pensaklaran ( $\alpha$ ) didapat error = 0.28%. Pengujian LCD dengan menggunakan BASCOM-AVR sangat mudah. Hal ini dikarenakan bahasa yang dipergunakan adalah bahasa BASIC. Bahasa BASIC merupakan bahasa tingkat tinggi, sehingga instruksinya mudah dipahami.

### 4.3 Pengujian Keseluruhan

#### 4.3.1 Pengukuran tidak menggunakan *ELC Mainboard*

Data pada tabel 6 memperlihatkan hasil pengukuran keluaran tanpa *ELC mainboard* dengan membandingkan perubahan kecepatan generator terhadap keluaran tegangan dan frekuensi generator. Semakin cepat putaran generator maka tegangan dan frekuensi keluaran generator semakin tinggi, jika tidak menggunakan *ELC mainboard* maka tegangan dan frekuensi tidak dapat dikontrol.

Tabel 6 Data Pengukuran tidak menggunakan *ELC mainboard*

NO	Kecepatan Generator (rpm)	Tegangan Beban Konsumen (volt)	Frekuensi Beban Konsumen (Hz)	Tegangan dan Arus Beban Komplemen (Ballast Load)					
				Ballast R		Ballast S		Ballast T	
				V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)
1	1347	217	47.07	0	0	0	0	0	0
2	1367	226	47.80	0	0	0	0	0	0
3	1389	235	48.50	0	0	0	0	0	0
4	1407	240	48.80	0	0	0	0	0	0
5	1426	248	49.25	0	0	0	0	0	0
6	1446	255	49.94	0	0	0	0	0	0
7	1464	260	50.60	0	0	0	0	0	0
8	1482	267	51.25	0	0	0	0	0	0
9	1498	275	51.80	0	0	0	0	0	0
10	1515	278	52.50	0	0	0	0	0	0
11	1568	297	53.00	0	0	0	0	0	0
12	1585	302	53.60	0	0	0	0	0	0
13	1598	307	54.10	0	0	0	0	0	0

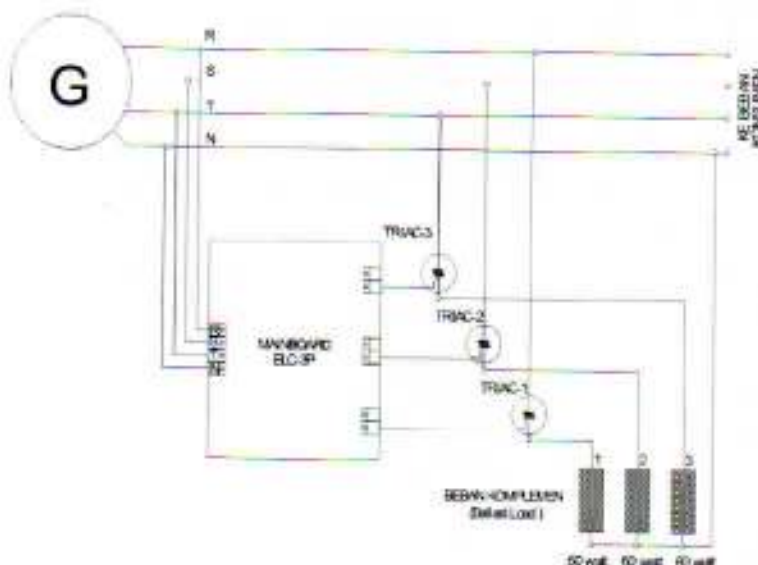
Pengukuran tidak menggunakan *ELC mainboard* mengakibatkan keluaran tegangan dan frekuensi relatif tinggi, dari tabel 10 didapatkan tegangan rata-rata 262.08 volt (220 volt  $\pm$  19%).

#### 4.3.2 Pengukuran menggunakan *ELC Mainboard* tanpa Beban Konsumen

Gambar 6 merupakan gambar wiring *ELC*, dimana keluaran generator 3 fasa dihubungkan dengan *ELC mainboard* sebelum ke beban konsumen. Fungsi *ELC* menyeimbangkan beban generator dengan beban konsumen dengan cara mengatur besar kecilnya daya yang masuk ke beban komplemen (beban *ballast*). Data hasil pengukuran pada tabel 7 menggunakan *ELC mainboard* tanpa beban konsumen. Pada saat tegangan lebih besar dari 226 V, *ELC* mulai mengatur besar kecilnya daya yang dibuang ke beban komplemen. Semakin tinggi kecepatan motor semakin besar daya yang dibuang ke beban komplemen. Dari data tabel di atas rata-rata tegangan dan frekuensi pada konsumen stabil yaitu 222.85 volt (220 volt  $\pm$  1%) dan 48.02 Hz (50 Hz  $\pm$  4%).

### 4.3.3 Pengukuran menggunakan ELC Mainboard dengan Beban Konsumen

Data pengukuran ELC dengan beban konsumen diperlihatkan pada tabel 8. Pada saat tidak ada beban konsumen daya yang dihasilkan generator dibuang semua ke beban komplemen, sehingga



Gambar 6 *Wiring Electronic Load Controller*

Tabel 7 Data Pengukuran Menggunakan *ELC MainBoard* tanpa Beban Konsumen

NO	Kecepatan Generator (rpm)	Tegangan Beban Konsumen (volt)	Frekuensi Beban Konsumen (Hz)	Tegangan Beban Komplemen (Ballast Load)					
				Ballast R (60 watt)		Ballast S (60 watt)		Ballast T (60 watt)	
				V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)	V (volt)	I(A)
1	1347	217	47.07	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	1367	226	47.80	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	1376	221	47.70	53	0.21	53	0.21	53	0.21
4	1382	221	47.90	81	0.22	81	0.22	81	0.22
5	1386	222	48.00	103	0.24	103	0.24	103	0.24
6	1390	223	48.10	124	0.25	124	0.25	124	0.25
7	1393	223	48.17	139	0.26	139	0.26	139	0.26
8	1394	223	48.17	158	0.27	158	0.27	158	0.27
9	1394	223	48.17	166	0.28	166	0.28	166	0.28
10	1395	223	48.24	173	0.29	173	0.29	173	0.29
11	1396	224	48.25	185	0.30	185	0.30	185	0.30
12	1397	225	48.35	198	0.31	198	0.31	198	0.31
13	1397	226	48.35	213	0.32	213	0.32	213	0.32

tegangan dan frekuensi tetap stabil. Pada saat ada beban konsumen, daya pada beban komplemen berkurang sesuai dengan perubahan beban konsumen, semakin besar beban konsumen maka semakin kecil daya yang dibuang ke beban komplemen. Hasil pengukuran beban total generator kurang dari 180 watt yaitu 173.81 watt ( $180\text{ W} \pm 3\%$ ).



Tabel 8 Data Pengukuran Menggunakan ELC Main Board dengan Beban Konsumen

NO	Kecepatan Generator (rpm)	Beban Konsumen (watt)	Tegangan Beban Konsumen (volt)	Frekuensi Beban Konsumen (Hz)	Tegangan Beban Komplemen (Ballast Load)					
					Ballast R (60 watt)		Ballast S (60 watt)		Ballast T (60 watt)	
					V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)	V (volt)	I(A)
1	1397	0	226	48.35	213	0.32	213	0.32	213	0.32
2	1397	25	226	48.15	172	0.30	172	0.30	172	0.30
3	1397	50	225	48.12	133	0.27	133	0.27	133	0.27
4	1396	75	224	48.10	112	0.24	112	0.24	112	0.24
5	1396	100	224	47.97	84	0.21	84	0.21	84	0.21
6	1377	180	220	47.07	0	0.00	0	0.00	0	0.00

## 5 Kesimpulan

Telah diuraikan perancangan *electronic load controller* dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama untuk menstabilkan tegangan dan frekuensi energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Perancangan *electronic load controller* pada generator sinkron 3 fasa menghasilkan frekuensi dan tegangan yang stabil 50 Hz  $\pm$  4% dan 220 volt  $\pm$  1%, dengan beban total generator (beban konsumen dan beban komplemen) cenderung tetap yaitu 180W  $\pm$  3%.
- Dengan pengujian menggunakan beban resistif (R), konsumsi beban adalah kurang dari 180W agar didapatkan frekuensi dan tegangan yang terkontrol.
- Program yang dibuat berjalan sesuai dengan fungsinya.

## Daftar Pustaka

- 1 Sambutan Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan dalam Seminar Nasional *Modern Electrical Engineering and Its Application* di Universitas Kristen Maranatha, 20 Maret 2010
- 2 Singh, B., Murthy, S. S., & Gupta, S., *Analysis and Design of Electronic Load Controller for Self-Excited Induction Generators*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 21 Issue 1, March 2006, hlm. 285 – 293.
- 3 Ramirez, J. M. & Torres, E.M., *An Electronic Load Controller for the Self-Excited Induction Generator*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, Issue 2, June 2007, hlm. 546 – 548.
- 4 Singh, B. & Rajagopal, V., *Design of a star-hexagon transformer based electronic load controller for isolated pico hydro generating system*, International Conference on Power Systems (ICPS) 27 – 29 December 2009, hlm. 1 – 6.
- 5 Boylestad, Robert L. and Louis Nashelsky, *Electronic Devices And Circuit Theory*, Seven Edition, Prentice Hall International, INC, New Jersey, 1992.
- 6 Portegijs, J., *The 'Humming Bird' Electronic Load Controller/Induction Generator Controller*, Netherlands, 2000.
- 7 Tocci, Ronald J. *Digital Systems Principles and Applications*, Sixth Edition, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1995.

## JURNAL TEKNIK PETUNJUK UNTUK PENULIS

**Umum,** Jurnal Teknik menerima artikel yang orisinal dari berbagai penelitian yang berhubungan dengan ilmu teknik metalurgi dan material, teknik kimia, teknik mesin, teknik industri, teknik sipil, teknik elektro dan teknologi informasi.

Artikel yang diterima hanya yang belum dipublikasikan. Penggunaan ilustrasi atau table yang telah dipublikasikan, merupakan tanggung jawab penulis untuk perizinan dari penerbit.

Artikel dapat dikirimkan kepada redaksi:

**Drs. Danang K.  
Fakultas Teknik Bandung  
Jl. Gatot Subroto (Samping PT. PINDAD)  
Bandung 40280**

**Tiga eksemplar artikel** tercetak dikirim ke redaksi Jurnal teknik yang diketik pada satu sisi halaman kertas A<sub>4</sub> (21,0 cm x 29,7 cm).

**Format** penulisan artikel mengikuti aturan sebagai berikut:

Batas kiri = 4 cm, batas atas = 4 cm, dengan batas tinggi pengetikan 19 cm dan batas lebar pengetikan 12.5 cm.

Ukuran huruf untuk judul 14 pt (tebal), ukuran huruf penulis 10 pt (tebal) ukuran huruf untuk alamat institusi 10 pt.

Ukuran huruf untuk abstrak dan kata kunci 10 pt, ukuran huruf untuk sub dan isi/teks 11 pt

Tipe huruf dari Microsoft word = Times New Roman

Judul dan penulis diketik dengan bentuk sebagai berikut:

### **Analisa Kerusakan pada Turbin *Bucket* yang terbuat dari Material *Nickel Based Alloy MAR-M-246***

**Leni Juwita<sup>1</sup> & Mabe Siahaan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Metalurgi  
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani  
<sup>2</sup>LAPAN - Bandung

Panjang maksimum artikel 10 halaman termasuk gambar dan table. Gambar dibuat dalam warna hitam putih dengan kualitas yang bagus.

**Abstrak** dari tulisan dibuat dalam bentuk bahasa Indonesia. Panjang maksimum dari abstrak adalah 200 kata. Kata kunci (5 – 10 kata) yang mengikuti abstrak ditulis berdasarkan urutan huruf

**Daftar Pustaka** di tulis dalam artikel mengikuti contoh dibawah ini:

*Jurnal*

1. Irawan N.M., *Judul tulisan*, Nama Jurnal **2**, 10-24(1996)

*Buku*

2. Irawan, N. M., & Hendra T., *Judul buku*, ed. **3**, Penerbit (2000)

*Website*

3. Nama penulis (jika ada), *Judul tulisan* (jika ada), Organisasi, alamat website, (2 Juni 1999)

Penulis yang artikelnya dimuat mendapat 2 cetak lepas, 1 eksemplar Jurnal Teknik

