



Wahyudin, C, Ramdhani, S  
**Aplikasi Penjadwalan Job Shop dengan Pendekatan  
Rolling Time Window  
(Studi Kasus di PD. Kerta Kartkim Unit Inkaba Bandung)**

Hodijat, A.,E.,Nurlina  
**Elektroflotasi Ion Logam Pada Air Limbah**

Sridadi, B  
**Pemodelan dan simulasi Olah Yudha (War Game Simulation)**

Ronni I.S.R. Hadinagoro  
**Sistem Drainase dan Fenomena Banjir Perkotaan**

Subagio, U.,D, Biksono  
**Pengaruh Penggunaan Knalpot Standar Ke Bentuk  
Modifikasi Header Terhadap Performance Mesin**

Juwita, L.,M. Siahaan., Y.H.S. Tenggara  
**Analisis Kerusakan Pada Turbine Bucket Yang Terbuat dari  
Material Nickel Base Alloy Mar-M-26**

Jahny, Sast  
**Model Belajar Teknologi**



- |  |     |
|--|-----|
| Wahyudin, C, Ramdhani, S   | 109 |
| Aplikasi Penjadwalan Job Shop dengan Pendekatan<br>Rolling Time Window<br>(Studi Kasus di PD. Kerta Kartkim Unit Inkaba Bandung) |     |
| Hodijat, A.,E.,Nurlina   | 119 |
| Elektroflotasi Ion Logam Pada Air Limbah   |     |
| Sridadi, B   | 128 |
| Pemodelan dan simulasi Olah Yudha (War Game Simulation)  |     |
| Ronni I.S.R. Hadinagoro  | 135 |
| Sistem Drainase dan Fenomena Banjir Perkotaan  |     |
| Subagio, U.,D, Biksono   | 141 |
| Pengaruh Penggunaan Knalpot Standar Ke Bentuk<br>Modifikasi Header Terhadap Performance Mesin                                    |     |
| Juwita, L.,M. Siahaan., Y.H.S. Tenggara  | 150 |
| Analisis Kerusakan Pada Turbine Bucket Yang Terbuat dari<br>Material Nickel Base Alloy Mar-M-26                                  |     |
| Jahny, Sast  | 165 |
| Model Belajar Teknologi  |     |



ISSN 1412 8810

Volume 2 Nomor. 1 Mei 2003

# JURNAL TEKNIK

Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknologi

## Pengantar Redaksi

**Penanggung Jawab :**

Ir. Wasito (Dekan FT-UNJANI)

**Pemimpin umum**

Ir. Ronni Ibnu Sabil, MT (PD-I)

**Pemimpin Usaha :**

Ir. Unang Slamet (PD-II)

**Pemimpin Redaksi :**

Ir. Jahny Sast, MSc (PD-III)

**Editor / Redaktur Pelaksana :**

Ir. Moro Sujatmiko (Ketua)

Ir. Cucu Wahyudin, MT (Sekretaris)

Ir. Ni Ketut HD, MM

Ir. Antono Damayanto, MMBat

Ir. Febrianto

Pawawoi, ST

War'an, ST

**Tata Usaha :**

Suwardi

**Alamat Redaksi :**

Jl. Gatot Subroto PO BOX 807

Telp. (022) 7312741

Bandung

E-mail : moro@koran.com

Bertepatan dengan dies natalis UNJANI ke-13, Jurnal Teknik kali ini memuat 7 tulisan, dimana 6 tulisan diantaranya adalah karya tulis hasil penelitian dari enam jurusan yang ada di fakultas Teknik. Tulisan pertama mewakili jurusan Teknik Industri dengan judul " Aplikasi Penjadwalan Job Shop Dengan Pendekatan Rolling Time Window ", Teknik Kimia menampilkan tulisan "Elektroflotasi Ion Logam pada Air Limbah", Teknik Elektro menampilkan tulisan "Pemodelan dan Simulasi Olah Yudha", Teknik Sipil, diwakili oleh tulisan berjudul "Sistem Drainase dan Fenomena Banjir Perkotaan", Teknik Mesin menampilkan tulisan "Pengaruh Penggunaan Knalpot Standar Ke Bentuk Modifikasi Header Terhadap Performance Mesin", dan Teknik Metalurgi memuat tulisan berjudul "Analisis Kerusakan pada Turbine Bucket yang Terbuat dari Material Nickel Base Alloy Mar-M-26", resensi buku yang kami kemukakan kali ini adalah belajar teknologi dengan pendekatan model yang telah dilakukan di beberapa negara berkembang. Semoga apa yang kami sajikan kali ini dapat memenuhi harapan pembaca dan peminat ilmu dan aplikasi teknologi.

**Diterbitkan oleh Fakultas Teknik  
Universitas Jenderal Achmad Yani**

## Pengantar Redaksi

Pembaca yang budiman,

Sesungguhnya kami merasa malu, sebagai sebuah institusi pendidikan tinggi, fakultas teknik, UNJANI yang sudah berdiri sejak 11 tahun yang lalu belum memiliki jurnal yang dapat digunakan sebagai sarana untuk mengkomunikasikan apa yang sudah, sedang, dan akan kami kerjakan di bidang ilmu keteknikan.

Ada pepatah yang mengatakan, “lebih baik terlambat daripada tidak sama sekali”, maka pada edisi perdana ini kami dengan bangga hati mencoba menerbitkan karya tulis dari dosen-dosen yang menjadi staf pengajar di jurusan-jurusan yang bernaung di bawah fakultas teknik, UNJANI. Kepada mereka kami menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya atas dukungan diterbitkannya jurnal fakultas teknik ini.

Sebagai sebuah jurnal yang memuat karya tulis dosen-dosen fakultas teknik, pada edisi perdana ini kami ingin menawarkan sebuah warna, di mana karya tulis yang dimuat mencerminkan ragam disiplin ilmu keteknikan yang diselenggarakan di fakultas teknik UNJANI. Ragam tulisan itu merupakan karya tulis staf pengajar yang ada di jurusan teknik industri, teknik mesin, teknik elektro, teknik metalurgi, teknik sipil, dan teknik kimia.

Keterbatasan halaman, dan keinginan memiliki warna itulah, maka jumlah tulisan yang dapat diterbitkan juga menjadi terbatas, akan tetapi kami yakin pembaca dapat memaklumi kondisi ini.

# APLIKASI PENJADWALAN JOB SHOP DENGAN PENDEKATAN ROLLING TIME WINDOW

(Studi Kasus di PD. Kerta Karkim Unit Inkaba Bandung)

Oleh :

Cucu Wahyudin\* ; Ramdhani Subagianoro\*\*

\*Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri UNJANI

\*\*Alumni Jurusan Teknik Industri UNJANI

## ABSTRAK

Perubahan pola produksi dari *mass production* ke *customized production* menuntut pengembangan aktivitas perencanaan dan pengendalian produksi termasuk penjadwalan, dari yang bersifat statis menjadi yang bersifat dinamis. Salah satu model penjadwalan yang bersifat dinamis adalah penjadwalan dengan pendekatan *rolling time window*. *Time Window* adalah suatu rentang waktu tertentu yang lebih pendek dari horizon penjadwalan. Tiap *time window* terdiri dari dua bagian yang sama panjang, yaitu bagian awal yang tidak dapat diubah, dan bagian akhir yang dapat diubah. Pendekatan ini dinamakan *rolling time window* yang ada dalam suatu horizon penjadwalan sambung-menyambung secara bergulir (*rolling*), yaitu bagian akhir suatu *time window* akan berubah menjadi bagian awal *time window* berikutnya dan saat pergantian *time window* merupakan saat penjadwalan ulang.

Metoda yang digunakan ini adalah metoda penjadwalan dengan penentuan panjang *Time Window* yang diusulkan oleh Sun dan Lin (1994) yang kemudian dikembangkan lebih jauh lagi oleh Yosephin Suharyanti (2000) menjadi metoda *Time Window Forward Scheduling (TWFS)* dengan fungsi tujuan meminimasi total biaya *tardiness* dan *earliness*, serta dapat menyederhanakan pencarian solusi dan mengakomodasi gangguan datangnya job baru.

PD. Kerta Karkim Unit INKABA. merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Tingkat I Jawa Barat yang bergerak dalam bidang Industri Karet dengan tingkat variasi produk yang tinggi, waktu penerimaan pesanan yang tidak tentu, waktu pengiriman produk yang berbeda-beda, sehingga perusahaan mengalami kesulitan dalam meminimasi waktu keterlambatan (*tardiness*) pada pesanan yang baru karena pesanan yang baru belum tentu memiliki *due-date* yang lebih besar dari pesanan yang datang terlebih dahulu dan mengalami kesulitan dalam meminimasi terjadinya *kelebihdinian* produksi (*earliness*), jika waktu penyelesaian pesanan tersebut lebih kecil dari *due-datenya*, sehingga perlu ditentukan panjang waktu untuk penjadwalan (*time window*) agar memudahkan pembuatan jadwal.

Dari hasil pengolahan data dapat diketahui bahwa terdapat panjang *time window* yang memberikan total *tardiness* dan *earliness* minimum, yaitu pada *time window* 250 jam dengan total biaya *tardiness* dan *earliness* sebesar Rp 1.629.353,67. sehingga panjang *time window* hasil pengolahan tersebut dapat dimanfaatkan untuk melakukan penjadwalan pada horison penjadwalan berikutnya.

Kata kunci : penjadwalan, job shop, rolling time window

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

P.D. Kerta Karkim Unit Inkaba merupakan salah satu Industri yang bergerak dalam Industri barang teknik berbahan baku karet dengan tingkat variasi produk yang tinggi, serta strategi respon terhadap permintaan konsumen dilaksanakan secara *make to order*.

Adanya variasi produk yang tinggi, ukuran lot yang beragam, waktu penerimaan pesanan yang tidak tentu, serta waktu pengiriman produk yang berbeda-beda menyebabkan proses penjadwalan produksi memiliki peranan yang sangat penting. Penjadwalan yang baik akan menjamin pengiriman produk yang sesuai dengan pesanan konsumen serta sistem produksi akan lebih efisien.

Pada saat ini penjadwalan di PD. INKABA

didasarkan pada disiplin *First Come First Serve*, yaitu pesanan yang diterima paling awal akan diproduksi lebih dahulu. Akibat dari sistem mekanisme penjadwalan ini, tak jarang perusahaan tidak bisa memenuhi pesanan sesuai *due-date* yang telah disepakati dengan konsumen.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan berdasarkan kedatangan job terhadap 15 produk yang dipesan pada bulan Januari 2002 yaitu :

- 5 produk mengalami keterlambatan pengiriman pesanan
- 8 produk mengalami *kelebihdinian* produksi, sehingga produk disimpan digudang
- 2 produk tepat waktu

Dari penelitian yang telah dilakukan diusulkan metoda penjadwalan untuk memecahkan permasalahan penjadwalan pada

perusahaan, karena perusahaan selalu mengalami keterlambatan pengiriman pesanan yang mengakibatkan perusahaan terkena ongkos penalti dan cenderung terjadinya kelebihan produksi yang mengakibatkan produk disimpan digudang.

Untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut, diusulkan penerapan pendekatan *rolling time window* pada aktivitas penjadwalan yang dikembangkan oleh *Sun & Lin* (1994).

Dalam penelitiannya, *Sun dan Lin* (1994) mengusulkan sebuah model penjadwalan untuk suatu *time window* dengan pendekatan mundur yang bertujuan meminimasi ongkos keterlambatan. Ada beberapa kelemahan dalam pendekatan mundur yang digunakan *Sun dan Lin* (1994) ini, penjadwalan mundur relatif lebih rumit dibandingkan dengan penjadwalan maju, karena harus dilakukannya dua kali penjadwalan apabila ada job yang terlambat. Pada job yang terlambat penjadwalan mundur akan menghasilkan *release time* yang lebih awal dari *ready time*, sehingga harus dilakukan penjadwalan ulang dengan memundurkan *release time* sampai *ready time*. Pada pendekatan maju, hal ini tidak diperlukan meskipun mungkin menghasilkan jadwal dengan job yang terlambat.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka model penjadwalan dengan pendekatan *rolling time window* ini dikembangkan lagi oleh *Yosephine Suharyanti* (2000) dengan fungsi tujuan meminimasi total biaya keterlambatan produksi (*tardiness*) dan total biaya penyimpanan digudang yang disebabkan karena kelebihan produksi (*earliness*) dengan pendekatan penjadwalan maju. Pendekatan *rolling time window* yang digunakan ini pada intinya adalah penjadwalan dinamis *semi on-line* yang terdiri dari penjadwalan statis dalam rentang waktu pendek dan untuk menyusun jadwal-jadwal statis tersebut digunakan penjadwalan *statis nondelay*.

Oleh karena itu, fungsi tujuan model yang diperlukan yaitu model penjadwalan untuk mengantisipasi kedatangan order baru agar dapat meminimasi total biaya *tardiness* dan *earliness*.

#### Perumusan Masalah

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa masalah yang dihadapi perusahaan adalah dalam hal meminimasi total biaya keterlambatan produksi (*tardiness*) dan meminimasi biaya penyimpanan digudang yang disebabkan karena kelebihan produksi (*earliness*) serta meminimasi rata-

rata waktu keterlambatan seluruh pesanan yang dijadwalkan.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut diusulkan penjadwalan ulang dengan menggunakan pendekatan *rolling time window* sehingga dapat mengantisipasi ketidakpastian kedatangan job serta menghasilkan total ongkos *tardiness* dan *earliness* minimum.

#### Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari kegiatan penelitian Tugas Akhir ini adalah :  
Melakukan penjadwalan terhadap pesanan yang datang pada perusahaan dengan menggunakan pendekatan *rolling time window* sehingga dapat meminimasi total ongkos keterlambatan produksi (*tardiness*) serta meminimasi ongkos penyimpanan digudang yang disebabkan karena kelebihan produksi (*earliness*).  
Menentukan *panjang time window* untuk melakukan penjadwalan pada suatu horison penjadwalan  
Mengembangkan teknik penjadwalan yang sistematis sehingga bagian perencanaan dapat menentukan *due-date* yang tepat pada saat negosiasi dengan konsumen.

#### Metodologi Pemecahan Masalah

Pemilihan metoda merupakan hasil dari pengamatan terhadap variabel-variabel berpengaruh pada penjadwalan. Metoda yang diusulkan merupakan metoda yang tepat untuk menyelesaikan kasus yang dihadapi perusahaan.

Metoda Penjadwalan

##### • Metoda Penjadwalan Perusahaan

Pada tahap identifikasi variable penelitian, telah diperoleh informasi mengenai metode penjadwalan yang diterapkan perusahaan. Perusahaan tidak mempunyai metoda khusus karena kadang kala perusahaan menjadwalkan pekerjaan berdasarakan intuisi, tetapi sering pula perusahaan menggunakan metoda penjadwalan dengan prioritas yang diterapkan adalah *FCFS* yaitu berdasarkan kedatangan pekerjaan. Penggunaan metoda ini kurang mempertimbangkan kontrol terhadap *makespan* dan *due date* dari pesanan yang dijadwalkan sehingga mengakibatkan jumlah pekerjaan yang terlambat menjadi banyak.

##### • Metoda Penjadwalan Usulan

Metoda penjadwalan yang diusulkan merupakan perbaikan dari metoda yang telah ada dengan memperhatikan karakteristik sistem yang ada. Metoda yang digunakan adalah metoda penjadwalan dengan penentuan *panjang Time Window* yang diusulkan oleh *Sun dan Lin* (1994) yang kemudian dikembangkan lebih jauh lagi

oleh Yosephin Suharyanti (2000) menjadi metoda *Time Window Forward Scheduling* (TWFS).

Alasan digunakannya metoda penentuan panjang *time window* dengan pendekatan maju karena apabila hanya menggunakan pendekatan mundur akan relatif lebih rumit dibandingkan dengan penjadwalan maju, karena harus dilakukannya dua kali penjadwalan apabila ada job yang tardy. Pada job yang tardy, penjadwalan mundur akan menghasilkan *release time* yang lebih awal dari *ready time*, sehingga harus dilakukan penjadwalan ulang dengan memundurkan *release time* sampai pada *ready time*. Pada pendekatan maju hal ini tidak diperlukan meskipun mungkin menghasilkan jadwal dengan job yang tardy. Kelemahan kedua, penjadwalan mundur tidak akomodatif terhadap gangguan ketersediaan sumber, misalnya bila ada kerusakan mesin, keterlambatan pasokan bahan, dan sebagainya. Pada pendekatan mundur, timbulnya gangguan-gangguan tersebut akan mengakibatkan pertambahan *tardiness* yang lebih besar daripada pendekatan maju. Job yang early pada pendekatan maju, akan selesai pada *due-date* (tidak early) pada pendekatan mundur. Untuk job yang demikian, timbulnya gangguan ketersediaan sumber akan selalu mengakibatkan *tardiness* pada pendekatan mundur. Sedangkan pada pendekatan maju, tidak selalu mengakibatkan *tardiness*. Apabila terjadi *tardiness*, nilainya akan lebih kecil dibandingkan dengan *tardiness* dengan pendekatan mundur.

#### PENGUMPULAN DATA

Untuk memecahkan masalah ini, langkah selanjutnya adalah pengumpulan data-data yang relevan dengan masalah yang dihadapi untuk kemudian diolah dan dianalisis sehingga akan didapatkan solusi yang optimal. Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Data Produk

Data produk yang akan dijadwalkan dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 1

Data produk beserta waktu saat datang dan *due-date* produk yang dibuat

Job	Nama Produk	PK	Jml	Saat Datang (jam ke-)	Due-Date (jam ke-)
1	Rb. Linning Mc Barel	1/1/02	1	48	528
2	Rubber Hose	2/1/02	4	72	792
3	Relinning Rubber Roll	4/1/02	5	168	528
4	Suction Hose	5/1/02	1	192	576
5	Rb. Linning Mc Barel	6/1/02	1	240	408
6	Linolium Warna Merah	8/1/02	19	288	408

7	Rb. Ball	9/1/02	30	360	1224
8	Rb. Ball	9/2/02	30	360	1224
9	Rubber Hose	10/1/02	2	360	984
10	Rb. Bellow	11/1/02	20	408	1224
11	Rubber Coupling INKABA	12/1/02	1	432	960
12	Rubber Hose	13/1/02	6	432	840
13	Conveyor Belt & Putih	14/1/02	1	504	864
14	Expantion Join	15/1/02	1	504	720
15	Packing Elastis	16/1/02	50	552	720

#### 1. Data Mesin

Tabel 2

Data Mesin-Mesin Beserta Jumlahnya

Mesin	Nama Mesin	Jml
M1	KAMAR TIMBANG Kamar Timbang	1
M2	MIXER I Single Mixing Mill Internal Mixer Twin	1 1
M3	VOORWARMER Voorwarmer	3
M4	CALLENDER Callender sedang Callender Besar	1 1
M5	MATTING Matting untuk Sheet Matting untuk Conveyor	1 1
M6	MIXER II Mixer Lem	1
M7	PRESS Press jumbo Press Inkaba Simplekamp Firestone Emideceau Morane Aine Hitachi Press Msn. Vulkanizing Press	1 1 1 1 1 1 2 2
M8	SLANG Msn. Slang	3
M9	AUTOCLAVE Autoclave Slang Autoclave Roll Autoclave sheeting	1 1 2

#### 1. Data Biaya

Data biaya-biaya yang dikeluarkan pada saat pelaksanaan produksi diuraikan sebagai berikut:

1. Biaya penyimpanan produk jadi (biaya *earliness*)

Biaya *earliness* adalah biaya yang timbul akibat waktu penyelesaian yang terlalu cepat. Biaya ini harus ditanggung oleh pihak perusahaan dikarenakan munculnya biaya penyimpanan. Variabel yang berpengaruh untuk menentukan besarnya biaya simpan adalah tingkat suku bunga bank dan harga jual produk yang disimpan

didalam gudang. Pada saat penelitian ini tingkat suku bunga bank (i) yaitu 22% per tahun.

$$\alpha = \frac{\text{harga jual produk} \times (i/12)}{\text{jam produksi perbulan}}$$

dimana:

jam produksi perbulan

= hari kerja perbulan x jam kerja efektif/hari

= 24 hari x 21 jam

= 504 jam

2. Biaya denda keterlambatan (biaya tardiness)

Biaya tardiness adalah biaya yang harus dikeluarkan oleh pihak perusahaan jika waktu penyelesaian produk melebihi batas waktu ducdatenya. Biasanya biaya ini dtentukan dari hasil negosiasi antara pihak perusahaan dengan konsumen. Variabel yang menjadi acuan dalam penentuan biaya ini adalah besarnya harga jual produk. Besarnya biaya tardiness perhari di PD. Unit Inkaba pada saat penelitian dilakukan yaitu 2% dari harga jual produk.

$$\beta = \frac{\text{harga jual produk} \times 2\%}{\sum \text{jam kerja perhari}}$$

**Tabel 3**  
**Biaya Tardiness dan Earliness**

Job	Jml	Harga Jual (Rp)	Biaya	
			Earliness	Tardiness
		<b>Rp 1,328,500.00</b>		
1	1	Rp 1,328,500.00	Rp 48.33	Rp 1,107.08
2	4	Rp 5,021,280.00	Rp 182.65	Rp 4,184.40
3	5	Rp 11,252,600.00	Rp 409.32	Rp 9,377.17
4	1	Rp 652,450.00	Rp 23.73	Rp 543.71
5	1	Rp 1,750,000.00	Rp 63.66	Rp 1,458.33
6	19	Rp 4,766,150.00	Rp 173.37	Rp 3,971.79
7	30	Rp 5,715,000.00	Rp 207.89	Rp 4,762.50
8	30	Rp 5,265,000.00	Rp 191.52	Rp 4,387.50
9	2	Rp 1,910,400.00	Rp 69.49	Rp 1,592.00
10	20	Rp 10,905,000.00	Rp 396.68	Rp 9,087.50
11	1	Rp 2,750,000.00	Rp 100.03	Rp 2,291.67
12	6	Rp 8,103,300.00	Rp 294.76	Rp 6,752.75
Job	Jml	Harga Jual (Rp)	Biaya (Rp)	Biaya (Rp)
			Earliness	Tardiness
13	1	Rp 3,552,000.00	Rp 129.21	Rp 2,960.00
14	1	Rp 2,690,550.00	Rp 97.87	Rp 2,242.13
15	50	Rp 4,275,000.00	Rp 155.51	Rp 3,562.50

**Tabel 4**

**Data Urutan Proses & Waktu Pengerjaan**

NO JOB	Urutan Proses & Waktu Pengerjaan						
	1	2	3	4	5	6	7
1	M1 0.1	M2 0.5	M3 0.33	M6 35	M9 5		
2	M1 0.25	M2 1.5	M3 0.67	M8 84			
3	M1 0.08	M2 0.5	M3 0.33	M4 0.16	M5 0.25	M6 10	M9 4
4	M1 0.05	M2 0.4	M3 0.33	M8 35	M9 3		
5	M1 0.08	M2 0.4	M3 0.33	M6 35	M9 5		
No Job	Urutan Proses & Waktu Pengerjaan						
	1	2	3	4	5	6	7
6	M1 1.17	M2 7	M3 3.67	M6 5	M9 76		
7	M1 0.05	M2 0.4	M3 0.33	M6 75	M9 30		
8	M1 0.08	M2 0.4	M3 0.33	M6 75	M9 30		
9	M1 0.08	M2 0.5	M3 0.33	M8 42	M9 2.5		
10	M1 1.25	M2 7.5	M3 0.33	M7 10			
11	M1 2	M2 1	M3 0.33	M6 84	M7 10		
12	M1 0.08	M2 0.5	M3 0.33	M8 63	M9 3		
13	M1 0.08	M2 0.5	M3 0.33	M6 20	M7 5.5		
14	M1 0.05	M2 0.4	M3 0.33	M8 63			
15	M1 0.08	M2 0.5	M3 0.33	M7 16.7			

**Tabel 5**  
**Urutan Proses dan Waktu Pengerjaan**

No	Nama Produk	PK	Jml	Kamar Timbang (jam)	Mixer (kompon) (jam)	Voorwarmer (jam)	Callander (jam)	Mixer Lem (jam)	Wp Matting (jam)	Wp Press (jam)	Wp slang (jam)	Wp Autoclave (jam)
1	Rb. Linning Mc Barel	1/1/02	1	0.1	0.5	0.33			35			5
2	Rubber Hose	2/1/02	4	0.25	1.5	0.67					84	
3	Relinning Rubber Roll	4/1/02	5	0.08	0.5	0.33	0.16	0.25	10			4
4	Suction Hose	5/1/02	1	0.05	0.4	0.33					35	3
5	Rb. Linning Mc Barel	6/1/02	1	0.08	0.4	0.33			35			5
6	Linolium Warna Merah	8/1/02	19	1.17	7	3.67			5			76
7	Rb. Ball	9/1/02	30	0.05	0.4	0.33			75			30
8	Rb. Ball	9/2/02	30	0.08	0.4	0.33			75			30
9	Rubber Hose	10/1/02	2	0.08	0.5	0.33					42	2.5
10	Rb. Bellow	11/1/02	20	1.25	7.5	0.33				10		
11	Rubber Coupling INKABA	12/1/02	1	2	1	0.33			84	10		
12	Rubber Hose	13/1/02	6	0.08	0.5	0.33					63	3
13	Conveyor Belt & Putih	14/1/02	1	0.08	0.5	0.33			20	5.5		
14	Expantion Join	15/1/02	1	0.05	0.4	0.33					63	
15	Packing Elastis	16/1/02	50	0.08	0.5	0.33				16.7		

#### PENGOLAHAN DATA

Setelah pengumpulan data selesai, maka selanjutnya melakukan pengolahan data dengan menggunakan metoda penjadwalan yang telah diusulkan. Langkah-langkah dalam pengolahan data disusun dalam bentuk algoritma penjadwalan. algoritma yang digunakan untuk memecahkan masalah adalah algoritma Penentuan Panjang *Time Window* yang merupakan algoritma iterasi nilai D untuk mendapatkan  $D^* \cdot \Delta D$  yang memiliki total tardiness dan earliness minimum).

Dalam algoritma ini, mula-mula ditentukan suatu nilai  $D_0$  ( $D$  awal),  $\Delta D$  (panjang langkah), dan  $\Delta^*$  ( $\Delta D$  terkecil sampai stoping rule). Dan untuk menentukan panjang time window awal ( $D_0$ ) ditentukan berdasarkan rata-rata waktu proses terkecil pada horizon penjadwalan sebelumnya. Iterasi dimulai dari  $D_0$ , dan selanjutnya nilai-nilai  $D$  yang lain dengan menambah atau mengurangi nilai  $D$  sebelumnya dengan  $\Delta D$ . Bila dari suatu iterasi total ongkos *tardiness* dan *earliness* menurun, artinya iterasi tersebut merupakan langkah sukses dan harus diteruskan. Bila dari suatu iterasi total ongkos *tardiness* dan *earliness* meningkat, artinya iterasi tersebut merupakan langkah gagal, sehingga dilakukan iterasi dengan arah yang berlawanan dan  $\Delta D$  yang lebih kecil. Iterasi dilakukan sampai total ongkos *tardiness* dan *earliness* minimum

secara numerik, yaitu bila  $\Delta D$  telah lebih kecil daripada  $\Delta^*$ .

Algoritma Penentuan Panjang *Time Window* memiliki 2 sub algoritma seperti yang dtunjukkan oleh *Gambar III.3.*, yaitu :

- (1) Sub-algoritma A, dan
- (2) Sub-algoritma B, yang ada dalam Sub-algoritma A

Sub-algoritma B adalah algoritma penjadwalan nondelay schedule yang digunakan untuk melakukan penjadwalan static secara forward pada tiap *time window*.

Sub-algoritma A merupakan algoritma pengalokasi job dari suatu *time window* ke *time window* berikutnya sesuai perubahan waktu. Algoritma ini merangkaikan jadwal-jadwal static yang dibuat dengan sub-algoritma B, sehingga dapat dilakukan perhitungan total *tardiness* dan *earliness* untuk suatu jangka waktu tertentu.

Pendekatan *rolling time window* yang digunakan ini pada intinya adalah penjadwalan dinamis *semi on-line* yang terdiri dari penjadwalan statis dalam rentang waktu pendek dan untuk menyusun jadwal-jadwal statis tersebut digunakan penjadwalan *statis nondelay*.

Pada *sub algoritma A* (pengalokasian job), titik awal perencanaan pada suatu horizon penjadwalan berada pada titik  $t = 0$  yaitu titik dimana pola kedatangan job yang tidak menentu (random) tetapi sudah diketahui kapan produk itu

akan mulai dikerjakan atau direlease (dinamis deterministik). Pada sub algoritma ini dicari panjang time window yang memiliki nilai tardiness dan earliness yang paling minimum. Dan setelah penjadwalan dikerjakan seluruhnya dengan menghasilkan total ongkos tardiness dan earliness minimum, maka perencanaan pada horizon penjadwalan selanjutnya dengan pola kedatangan job serta waktu release yang tidak tentu (dinamis probabilistik) digunakan panjang time window dengan total tardiness dan earliness minimum yang telah ditetapkan.

Dan pada sub algoritma B (Penjadwalan Nondelay Schedule), apabila datang job baru yang ada pada time window awal maka penjadwalan dilakukan pada bagian akhir pada time window itu. Sehingga untuk horizon penjadwalan selanjutnya, untuk bagian awal time window akan dilakukan negosiasi dan pada bagian akhir time window akan dilakukan penjadwalan secara statis dan dalam menyusun jadwal-jadwal statis tersebut digunakan penjadwalan Statis Nondelay

#### **Algoritma Penentuan Panjang Time Window**

Berikut ini tabel langkah-langkah dalam algoritma penjadwalan usulan.

##### Langkah 1:

Tentukan  $D = D_a$  ( $D$  awal),  $\Delta D$  (panjang langkah), dan  $\Delta^*$  (stopping rule).

##### langkah 2:

lakukan penjadwalan pada seluruh horizon penjadwalan dengan sub algoritma A

##### langkah 3:

Untuk  $D = D_a$ , lakukan langkah berikut:

(a) simpan data total *tardiness* dan *earliness*

(b) tentukan  $D = D + \Delta D$ ,

(c) kembali ke langkah 2.

Untuk  $D \Delta D_a$ , simpan data total *tardiness* dan *earliness*, lanjutkan ke langkah 4.

##### Langkah 4:

Jika total *tardiness* dan *earliness* meningkat, lanjutkan ke langkah 5

Jika total *tardiness* dan *earliness* menurun, lanjutkan ke langkah 6.

##### Langkah 5:

Tentukan  $D = D - \Delta D$ , lanjutkan ke langkah 7.

##### Langkah 6:

Tentukan  $D = D + \Delta D$ , lanjutkan ke langkah 8.

##### Langkah 7:

Lakukan penjadwalan pada seluruh horison penjadwalan dengan sub algoritma A, lanjutkan ke langkah 9.

##### Langkah 8:

Lakukan penjadwalan pada seluruh horison penjadwalan dengan Sub algoritma A, lanjutkan ke langkah 10.

##### Langkah 9:

Jika telah terjadi peningkatan *tardiness* dan *earliness*, lanjutkan ke langkah 11. Jika belum, kembali ke langkah 5

##### Langkah 10:

Jika telah terjadi peningkatan *tardiness* dan *earliness*, lanjutkan ke langkah 12. jika belum, kembali ke langkah 6

##### Langkah 11:

Jika  $\Delta D \Delta^*$ , lanjutkan ke langkah 13.

Jika  $\Delta D \Delta^*$ , tentukan  $\Delta D = \Delta D/2$ , kembali ke langkah 6.

##### Langkah 12:

Jika  $\Delta D \Delta^*$ , lanjutkan ke langkah 13.

Jika  $\Delta D \Delta^*$ , tentukan  $\Delta D = \Delta D/2$ , kembali ke langkah 5.

##### Langkah 13:

$D^* = D$ , iterasi selesai.

#### **Sub-Algoritma A: Alokasi Job pada Time Window**

##### Langkah A1:

Mulai pada  $t = 0$

##### Langkah A2:

Lanjutkan ke  $t$  terdekat berikutnya.

##### Langkah A3:

Bila  $t$  terdekat berikutnya adalah saat datang job, simpan data job yang datang, kembali ke langkah A2. Bila  $t$  terdekat berikutnya adalah saat penjadwalan ulang dikurangi waktu stabilisasi, lanjutkan ke langkah A4.

##### Langkah A4:

Jadwalkan job yang sudah datang dan belum terjadwal yang memiliki due-date dalam atau sebelum *time window* yang akan datang, serta job yang sudah terjadwal dibagian akhir *time window* yang sedang berjalan, pada *time window* yang akan datang dengan sub-algoritma B.

##### Langkah A5:

Hitung *tardiness* dan *earliness* untuk masing-masing job yang telah selesai pada bagian awal *time window* yang telah berjalan, tambahkan secara kumulatif pada *earliness* dan *tardiness* sebelumnya.

##### Langkah A6:

Bila job sudah terjadwalkan seluruhnya, lanjutkan kelangkah A7. Bila belum kembali ke langkah A2.

##### Langkah A7:

Hitung *earliness* dan *tardiness* job yang belum terhitung, tambahkan secara kumulatif pada *earliness* dan *tardiness* sebelumnya.

##### Langkah A8:

Selesai, kembali ke Algoritma Penentuan Panjang Time Window.

#### **Sub-algoritma B: Penjadwalan Operasi (Nondelay Schedule)**

**Langkah B1:**

Dimulai pada  $t = 0$  definisikan kelompok operasi  $S_t$  yang tidak memiliki predesesor.

**Langkah B2:**

Tentukan operasi yang memiliki saat mulai paling awal dari kelompok operasi  $S_t$  beserta mesin yang digunakan untuk operasi tersebut.

**Langkah B3:**

Jadwalkan operasi yang ditentukan pada langkah B2.

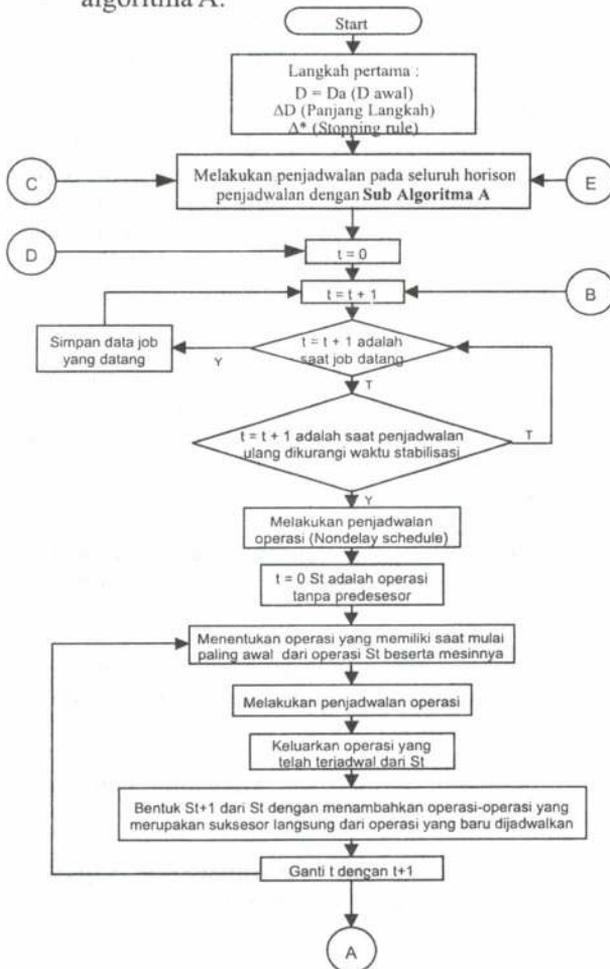
**Langkah B4:**

Berdasarkan jadwal yang telah tersusun di Langkah B3, lakukan update data sebagai berikut:

- (a) Keluarkan operasi yang telah terjadwal dari  $S_t$ .
- (b) Bentuk  $S_{t+1}$  dari  $S_t$  dengan menambahkan operasi-operasi yang merupakan suksesor langsung dari operasi yang baru dijadwalkan,
- (c) Gantikan  $t$  dengan  $t+1$ .

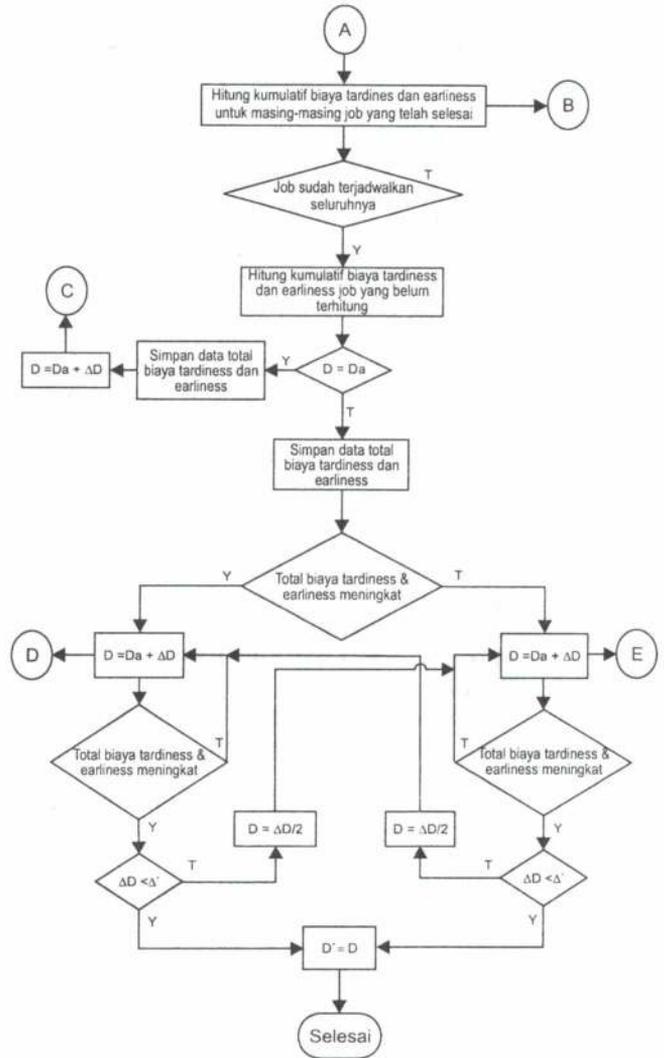
**Langkah B5:**

Kembali ke langkah B2 sampai seluruh operasi terjadwalkan, kembali ke Sub algoritma A.



Gambar 1.

Diagram Alir Algoritma Time Window Forward Scheduling



**Tabel 6**  
Waktu penyelesaian penjadwalan tiap job

Job	D (jam ke-)				
	D = 100	D = 150	D = 200	D = 250	D = 300
1	540,93	565,93	540,9	540,93	490,93
2	847,8	836,42	847,8	836,42	836,42
3	549,93	574,93	549,9	549,93	499,93
4	588,8	577,93	543,93	552,93	493,93
5	440,81	415,81	440,81	415,81	340,81
6	516,8	491,8	516,81	491,81	416,81
7	1305,78	1305,78	1305,78	1230,8	1305,78
8	1380,78	1380,78	1380,8	1305,8	1380,78
9	998,3	1020,6	948,16	943,92	948,33
10	1219,12	1218,36	1219,21	1144,2	1219,21
11	1047,33	997,3	997,3	962,33	997,33
12	913,78	902,42	913,8	902,42	902,42
13	876,41	851,74	826,61	778,58	778,58
14	763,78	738,8	763,8	688,78	663,78
15	717,65	692,98	717,98	642,98	617,90

Hasil perhitungan nilai tardiness dan earliness untuk beberapa nilai D dapat dilihat pada table dibawah ini

**Tabel 7**  
Tardiness atau earliness untuk tiap job pada beberapa nilai D

Job	D (jam)				
	D = 100	D = 150	D = 200	D = 250	D = 300
1	12.93	37.92	12.93	12.93	37.07*
2	55.78	44.42	55.78	44.42	44.42
3	21.93	46.93	21.93	21.93	28.07*
4	12.78	1.93	32.07*	23.07*	82.07*
5	32.81	7.81	32.81	7.81	67.19*
6	108.81	83.81	108.81	83.81	8.81
7	81.78	81.78	81.78	6.81	81.78
8	156.78	156.78	156.78	81.81	156.78
9	14.33	36.58	35.84*	40.08*	35.67*
10	4.79*	5.64*	4.79*	79.76*	4.79*
11	87.33	37.33	37.33	2.33	37.33
12	73.78	62.42	73.78	62.42	62.42
13	12.41	12.26	37.09*	85.42*	85.42*
14	43.78	18.78	43.78	31.22*	56.22*
15	2.34*	27.02*	2.02*	77.02*	102.02*
Tardiness	715.23	628.75	625.71	324.27	391.54
Earliness	7.13*	32.66*	111.81*	336.57*	498.52*
Total	722.36	661.41	737.52	660.84	890.06

Keterangan : \* = earliness

**Tabel 8**  
Biaya tardiness dan earliness pada beberapa nilai D

Job	D (jam)				
	D = 100	D = 150	D = 200	D = 250	D = 300
1	Rp 14.314,59	Rp 41.980,60	Rp 14.314,59	Rp 14.314,59	Rp 1.791,41*
2	Rp 233.405,83	Rp 185.871,05	Rp 233.405,83	Rp 185.871,05	Rp 185.871,05
3	Rp 205.641,27	Rp 440.070,43	Rp 205.641,27	Rp 205.641,27	Rp 11.489,63*
4	Rp 6.948,59	Rp 1.049,36	Rp 761,13*	Rp 547,53*	Rp 1.947,79*
5	Rp 47.847,92	Rp 11.389,58	Rp 47.847,92	Rp 11.389,58	Rp 4.277,14*
6	Rp 432.170,65	Rp 332.875,86	Rp 432.170,65	Rp 332.875,86	Rp 34.991,48
7	Rp 389.477,25	Rp 389.477,25	Rp 389.477,25	Rp 32.432,63	Rp 389.477,25
8	Rp 687.872,25	Rp 687.872,25	Rp 687.872,25	Rp 358.941,38	Rp 687.872,25
9	Rp 22.813,36	Rp 58.235,36	Rp 2.490,60*	Rp 2.785,24*	Rp 2.478,78*
10	Rp 1.900,08*	Rp 2.237,26*	Rp 1.900,08*	Rp 31.638,92*	Rp 1.900,08*
11	Rp 200.131,25	Rp 85.547,92	Rp 85.547,92	Rp 5.339,58	Rp 85.547,92
12	Rp 498.217,90	Rp 421.506,66	Rp 498.217,90	Rp 421.506,66	Rp 421.506,66
13	Rp 36.733,60	Rp 36.289,60	Rp 4.792,26*	Rp 11.036,81*	Rp 11.036,81*
14	Rp 98.160,23	Rp 42.107,11	Rp 98.160,23	Rp 3.055,52*	Rp 5.502,28*
15	Rp 363,88*	Rp 4.201,77*	Rp 314,12*	Rp 11.977,07*	Rp 15.864,72*
Tardiness	Rp 2.873.734,68	Rp 2.734.273,02	Rp 2.692.655,80	Rp 1.568.312,58	Rp 1.805.266,60
Earliness	Rp 2.263,96*	Rp 6.439,03*	Rp 10.258,19*	Rp 61.041,09*	Rp 56.288,65*
Total	Rp 2.875.998,65	Rp 2.740.712,05	Rp 2.702.913,99	Rp 1.629.353,67	Rp 1.861.555,25

Keterangan : \* = earliness

Gantt Chart hasil penjadwalan berdasarkan panjang time window (D) yang terpilih yaitu D = 250, karena memiliki total biaya tardiness dan earliness paling minimum

## ANALISIS

Hasil perhitungan dari total waktu dan biaya tardiness dan earliness untuk beberapa panjang time window D dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut :

**Tabel 9**  
Tardiness dan Earliness pada beberapa nilai D

	D (jam)			
	Aktual	D = 200	D = 250	D = 300
Tardiness	864	625.71	324.27	391.54
Earliness	2.520*	111.81	336.57	498.52
Total	3.384	737.52	660.84	890.06

**Tabel 10**  
Biaya tardiness dan earliness pada beberapa nilai D

Biaya (Rp)	D (jam)			
	Aktual	D = 200	D = 250	D = 300
Tardiness	Rp 2.895.893.28	Rp 2.692.655.80	Rp 1.568.312.58	Rp 1.805.266.60
Earliness	Rp 513.315.84*	Rp 10.258.19	Rp 61.041.09	Rp 56.288.65
Total	Rp 3.409.209.12	Rp 2.702.913.99	Rp 1.629.353.67	Rp 1.861.555.25

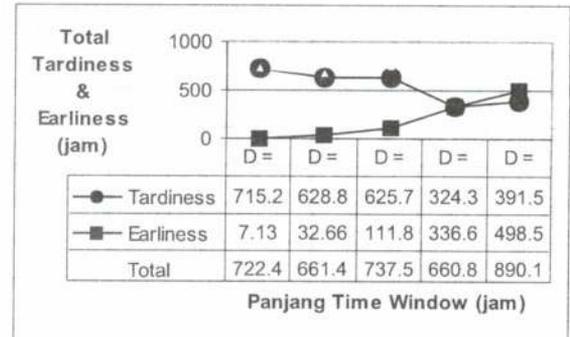
Dari Tabel di atas dapat terlihat, bahwa perbandingan antara metode penjadwalan yang sering dilakukan perusahaan dan beberapa metoda dengan penentuan panjang time window terjadi perbedaan yang besar baik dilihat dari waktu maupun biaya tardiness dan earliness

Sedangkan perbandingan Panjang Time Window yang optimal, yang akan dipilih adalah penjadwalan dengan Panjang Time Window D = 250, karena:

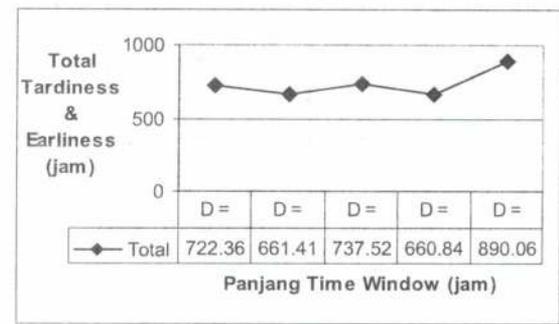
- Aturan ini mempunyai total biaya tardiness dan earliness yang minimum yaitu sebesar Rp. 1.629.353,67 dan mempunyai total waktu tardiness dan earliness minimum sebesar 660.84 jam.
- Pada perhitungan total biaya tardiness dan earliness, besarnya biaya tardiness sangat berpengaruh karena biaya tardiness cenderung lebih besar dibandingkan biaya earliness. Sedangkan biaya tardiness yang paling minimum terdapat pada panjang time window D = 250 yaitu sebesar Rp 1,568,312.58

Oleh sebab itu, metoda rolling time window dengan menggunakan panjang time window D = 250 ini yang sebaiknya digunakan di perusahaan agar perusahaan dapat meminimasi total biaya tardiness dan earliness.

**Tabel 11**  
Hubungan Panjang Time Window dengan tardiness dan earliness



**Tabel 12**  
Total Nilai Tardiness dan Earliness



Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa panjang time window yang dipakai pada penjadwalan job shop dinamik dengan pendekatan rolling time window sangat berpengaruh pada nilai tardiness dan earliness. Dan dapat ditunjukkan bahwa terdapat panjang time window, D\* yang akan menyebabkan nilai tardiness yang minimum.

Pemendekan dan pemanjangan time window dapat menyebabkan terjadinya tardiness dan earliness.

☞ Bila time window yang digunakan sangat pendek maka akan terjadi *tardiness*. Semakin pendek time window maka semakin besar nilai *tardiness*.

☞ Bila time window diperpanjang sedikit dami sedikit maka nilai *tardiness* dapat menurun dan bila diperpanjang terus-menerus dapat terjadi *earliness*. Akan tetapi, bila time window sudah sangat panjang, dapat pula terjadi *tardiness*. Terjadinya *tardiness* ini disebabkan oleh lamanya penundaan penjadwalan job.

☞ Nilai *earliness* memiliki kecenderungan naik dengan bertambah panjangnya time window, yaitu

- D = 200 jam, total earliness sebesar 111.81 jam.

- $D = 250$  jam, total earliness sebesar 336.57 jam.
- $D = 300$  jam, total earliness sebesar 498.52 jam.

Namun demikian total *earliness* dan *tardiness* memiliki kecenderungan sama dengan *tardiness*, yaitu mencapai nilai minimum pada panjang time window tertentu.

### Kesimpulan

Penelitian ini memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan model penentuan panjang time window akan menghasilkan suatu panjang time window yang memberikan total biaya *tardiness* dan *earliness* yang minimum, yaitu pada  $D = 250$  jam dengan total biaya *tardiness* dan *earliness* sebesar Rp. 1.629.353,67. Panjang Time Window ini dapat digunakan untuk penjadwalan pada horizon perencanaan selanjutnya.
2. Terdapat panjang time window  $D^*$  tertentu yang akan menyebabkan nilai *tardiness* yang minimum, yaitu pada  $D = 250$  jam yaitu 324.27 jam.
3. Pemendekan dan pemanjangan time window dapat menyebabkan terjadinya *tardiness* dan *earliness*.

- Bila time window yang digunakan sangat pendek sedemikian sehingga setengah panjang time window lebih pendek dari total waktu proses job, yang terjadi adalah *tardiness*. Semakin pendek time window, semakin besar nilai *tardiness*.
- Bila time window diperpanjang sedikit nilai *tardiness* dapat menurun dan bila diperpanjang terus-menerus dapat terjadi *earliness*. Pada kondisi terjadi *earliness*, penambahan panjang time window akan memperbesar nilai *earliness*. Akan tetapi, bila time window sudah sangat panjang dapat pula terjadi *tardiness*. Terjadinya *tardiness* ini disebabkan oleh lamanya penundaan penjadwalan job.

### Saran

1. Untuk mengantisipasi datangnya order ke PD. UNIT INKABA yang sifatnya dinamis, maka sebaiknya dibuat penjadwalan ulang dengan menggunakan panjang time window agar total *tardiness* dan *earliness* dapat diminimasi.
2. Untuk dapat mempermudah pengolahan data mengenai penerapan model penentuan panjang time window, maka penulis menyarankan kepada penelitian selanjutnya agar bisa membuat software pada algoritma ini

### DAFTAR PUSTAKA

1. Sun, D. dan Lin, L., 1994, "Dynamic Job Shop Scheduling Framework : A Backward Approach", Int. J. Prod. Res., Vol. 32, No.4, 967-985.
2. Suharyanti, Yosephine, "Model Penentuan Panjang Time Window pada Penjadwalan Job Shop Dinamik," Tesis Megister, Program Studi Teknik dan Manajemen Industri Institut Teknologi Bandung 2000.
3. Fogarty at all, "Production and inventory Management". Second edition, "South-Western Publishing co, Cincinnati, Ohio", 1991.
4. Baker, KR., "Introduction to Sequencing and Scheduling", John Wiley & Sons, Inc., New York.
5. Beadworth, David D., dan James E. Bailey, "Integrated Production Control Systems", 1987.
6. Oden, HW et all, "Handbook of Material & Capacity Requirement Planning", Mc. Graw Hill, 1993.

# ELEKTROFLOTASI ION LOGAM PADA AIR LIMBAH

Oleh:

Asep Hodijat\* dan Elin Nurlina\*\*

\* Dosen Kopertis yang di tempatkan pada jurusan Teknik Kimia Politeknik Industri Niaga Bandung (PINB)

\*\* Dosen pada Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)

## Abstrak

*Berbagai teknik pengolahan air buangan baik secara fisika, kimia atau secara biologi untuk menyisihkan bahan polutannya telah banyak dikembangkan. Metoda pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri atau dikombinasikan. Metode secara fisika kimia untuk memisahkan suatu ion logam dengan bahan lainnya dalam suatu limbah cair, dapat dilakukan dengan elektroflotasi ion. Sifat flotasi suatu ion ditentukan oleh kemampuan ion logam tersebut untuk menempel pada gelembung gas, dan hal ini sangat dipengaruhi oleh sifat dari permukaan logam. Untuk menghasilkan sifat permukaan yang sesuai dengan yang diinginkan, maka dalam prosesnya perlu ditambahkan reagen-reagen yang dapat mengubah sifat dari permukaan logam tersebut. Elektroflotasi menghasilkan efek pemisahan gas secara elektrolitik. Efektivitas flotasi tergantung kepada beberapa faktor, diantaranya dispersitas, volume dari fase gas, tipe dan konsentrasi surfaktan, kondisi hidrodinamik pH dan kandungan ion dalam media.*

Kata kunci: Flotasi, Elektroflotasi, surfaktan

## I. PENDAHULUAN

Sejalan dengan berkembangnya industri dan teknologi pada masa pembangunan, akhir-akhir ini masalah lingkungan nampaknya semakin kompleks, karena industri selain dapat menghasilkan produk yang sangat diperlukan, pada kenyataannya industri tersebut menghasilkan pula produk samping yang sering dijumpai di lingkungan, yaitu berupa limbah yang dapat menyebabkan terjadinya masalah bagi lingkungan.

Saat ini Limbah yang keluar dari industri sering menjadi sorotan masyarakat, karena menyangkut kualitas air yang biasanya kotor, berbau dan berwarna. Buangan yang mengandung logam berat, buangan

organik yang lambat terurai secara alamiah ataupun buangan organik sintesis lainnya yang sangat sulit terurai oleh mikroorganisme semuanya mengalir ke air maupun ke tanah. Kadaan dimana kemampuan alam untuk melakukan pembersihan diri (self purifications) terlampaui, pada saat inilah polusi atau pencemaran mulai terjadi.

Melihat kenyataan ini, manusia tidak mampu mencegah dihasilkannya bahan limbah, yang dapat diusahakan hanyalah mengurangi jumlah beban limbah yang dihasilkannya. Dengan demikian maka harus diusahakan bagaimana cara pengolahan limbah yang paling efisien. Tanpa teknologi ini, tidak mungkin lingkungan hidup kita dapat dilestarikan.

## II. PENGOLAHAN LIMBAH MELALUI ELEKTROFLOTASI ION

Pengolahan limbah dengan proses flotasi, biasanya banyak digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak

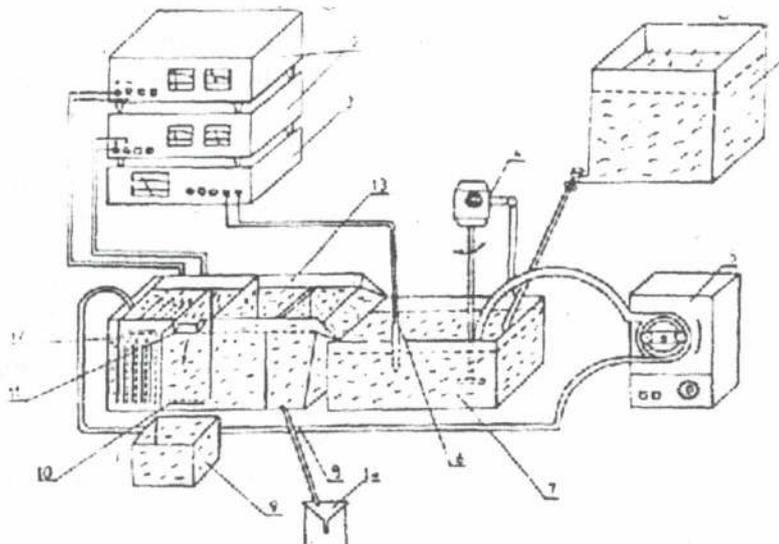
agar tidak mengganggu dalam proses pengolahan berikutnya, namun flotasi juga dapat digunakan dalam penyisihan bahan-bahan tersuspensi (clarifications) atau pemekatan Lumpur endapan (sludge thickening) dengan mengalirkan udara ke atas (air flotation).

Elektroflotasi ion merupakan metode secara fisika kimia untuk memisahkan suatu ion logam I dengan yang lainnya dalam suatu limbah cair, dengan

memanfaatkan sifat permukaan logam tersebut. Mekanisme flotasi didasarkan pada fenomena aktivitas permukaan mineral yang diinginkan sebagai hasil dari interaksi dengan reagen yang sesuai. Ada mineral yang hidrofilik dan ada yang hidrofobik, tergantung pada afinitas dari bahan terhadap permukaan cairan dan gas. Peristiwa adhesi akan memberikan pengubahan ion dari larutan yang diendapkan dengan pembentukan senyawa kompleks sebelum flotasi.

### 2.1 Skema instalasi

Suatu diagram rangkaian alat yang digunakan dalam elektroflotasi ion logam adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Skema dari Instalasi flotasi ion

Keterangan gambar:

- |                         |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| 1. Penampung air limbah | 8. Outlet untuk air bersih       |
| 2. Rectifier            | 9. Kolom untuk produk busa       |
| 3. pH-meter             | 10. Elektroda (Katoda dan anoda) |
| 4. Mikser               | 11. Outlet untuk produk busa     |
| 5. Pompa peristaltic    | 12. Elektroda (Katoda dan anoda) |
| 6. Elektrode            | 13. Cell flotasi                 |
| 7. Kolom agitasi        | 14. Test filter                  |

Elektroda yang dirangkai dalam Gb 1 ini terdiri dari 2 elektroda, elektroda pertama terdiri dari lapisan elektroda besi yang memberikan ion ferri, elektroda lain terdiri dari elektroda zone bebas yang menjaga dukungan kondisi hidrodinamik untuk terjadinya

flotasi dari partikel-partikel yang terdispersi.

Rangkaian proses pengolahan diawali dari proses penampungan air limbah, kemudian masuk ke dalam kolom pengadukan, air limbah dipompakan ke dalam sel elektroda yang dikontrol

dengan rectifier. Air limbah diberi perlakuan dengan reagen-reagen yang telah ditentukan, masuk ke dalam kolom flotasi. Air dari hasil flotasi kemudian ke dalam kolom filtrasi dan selanjutnya masuk ke outlet sebagai air bersih. Test flotasi dilakukan pada kolom flotasi yang bervolume 2000 cm<sup>3</sup>,

Volume dari gas yang dipisahkan secara elektrolitik diukur dalam suatu sel 50 cm<sup>3</sup> anoda serta katoda platina, tekanan permukaan antara permukaan cairan dan gas, diukur dengan metode Wilhelmy dengan lempengan kaca. Konsentrasi ion hidrogen diukur oleh suatu pH meter digital "redelkis", konsentrasi ion logam ditentukan pada suatu spektrofotometer "ICP "Spectroflame" (Spectro analytical Instrumen). Konsentrasi residu xanthat diukur oleh "specord" spektrofotometer (Carl Zeiss, Jena) Efisiensi flotasi diestimasi dari konsentrasi residu dari ion logam.

Elektroflotasi menunjukkan adanya efek koagulasi dan pemisahan gas secara elektrolitik. Dalam hal ini ukuran gelembung udara yang terbentuk tergantung kepada potensial elektroda, konsentrasi surfaktan dan bentuk elektroda, Frumkin (1987), dalam Nishkov et al 1993). Perbedaan

dan gaya ikatan  $F_y = \pi \cdot a \cdot y \cdot \sin \theta$  dan gaya apung  $F_a = V \cdot g \cdot \rho$  dimana  $a$  adalah diameter dari gelembung yang berikatan dengan permukaan elektroda,  $y$  adalah tegangan permukaan dari ruang antar permukaan cairan dan gas, dan  $\theta$  merupakan sudut kontak antara cairan dan gas. Nilai dari sudut kontak ini tergantung pada tegangan permukaan yang didefinisikan oleh persamaan Neumann sebagai berikut:

$$\cos \theta = \frac{Y_{s/g} - Y_{s/l}}{Y_{l/g}}$$

Dispersitas dari fase gas dapat ditambah oleh adanya perbedaan  $Y_{s/g} - Y_{s/l}$ . Hal ini dapat diperoleh dengan adanya penambahan dari polaritas elektroda atau oleh pengurangan tegangan permukaan pada ruang antar permukaan cairan dan gas.

Sifat flotasi suatu mineral ditentukan oleh kemampuannya untuk menempel pada gelembung gas, dan penempelan ini sangat dipengaruhi oleh sifat dari permukaan mineral. Untuk menghasilkan sifat permukaan yang sesuai dengan yang diinginkan, maka dalam prosesnya perlu ditambahkan reagen-reagen yang dapat mengubah sifat dari permukaan mineral dengan cara menyerap (mengadsorpsi) reagen pada permukaannya.

## 2.2 Reagen yang diperlukan

Pada umumnya reagen dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

- a. **Kolektor**, suatu reagen kimia yang berfungsi untuk mengubah permukaan mineral agar sifatnya berubah menjadi hidrofobik. Kolektor akan menyelaputi permukaan mineral yang akan diflotasikan. Kolektor terdiri dari kolektor yang dapat terionisasi dalam air, dan kolektor yang tak terionisasi dalam air. Yang dapat terionisasi terdiri atas kolektor kationik dan kolektor anionik.
- b. **Pembuih**, suatu reagen kimia yang berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan cairan agar dihasilkan gelembung udara dalam jumlah yang cukup banyak. Jika gelembung yang dihasilkan stabil, maka gelembung dapat mengangkat butiran partikel sampai ke permukaan cairan
- c. **Modifier**, suatu reagen yang berfungsi untuk menambah selektivitas agar pemisahan berlangsung lebih baik. Terdiri atas aktivator, dispersan, pengatur pH dan depresan. Aktivator berfungsi untuk meningkatkan adsorpsi kolektor pada permukaan mineral. Dispersan berfungsi untuk melepaskan slime pada permukaan mineral, sehingga kontak permukaan dengan kolektor menjadi lebih baik. Sedangkan depresan biasanya dipakai bila terapungnya mineral yang tidak diinginkan hampir sama dengan mineral yang akan diflotasikan oleh kolektor tertentu

## III. Elektro flotasi ion dari Limbah Cair

Elektroflotasi ion ini telah diteliti pada limbah yang dihasilkan dari proses penambangan logam tembaga (Alexandrova, L, 1993). Limbah tersebut mengandung ion-ion logam sebagai berikut:

Ion Logam	Konsentrasi (mg/L)
Cu	50.00
Zn	1,65
Co	0,75
Pb	0,15

### 3.1 Reagen yang digunakan untuk pengolahan ini terdiri atas:

- 1 % larutan Sodium Ethil Xanthat (NaEXt)
- Sodium Propil Xanthat (NaPrXt)
- Potassium Butil Xanthat (KBXt)
- Potassium Amil Xanthat (KAXt)
- Potassium Ethil Xanthat (KEXt)
- 10% larutan Sodium hidroksida
- 0,1 % larutan Potassium oleat (KOL)

Tabel I. Konsentrasi Residu ion Logam Terhadap Penggunaan Senyawa xanthat

Konsentrasi Residu (mg/L) dari	Xanthat			
	NaEXt	NaPr Xt	KBXt	KAXt
Cu	0,043	0,038	0,039	0,043
Zn	0,051	0,046	0,047	0,052
Co	0,043	0,041	0,039	0,042
Pb	0,038	0,046	0,045	0,048

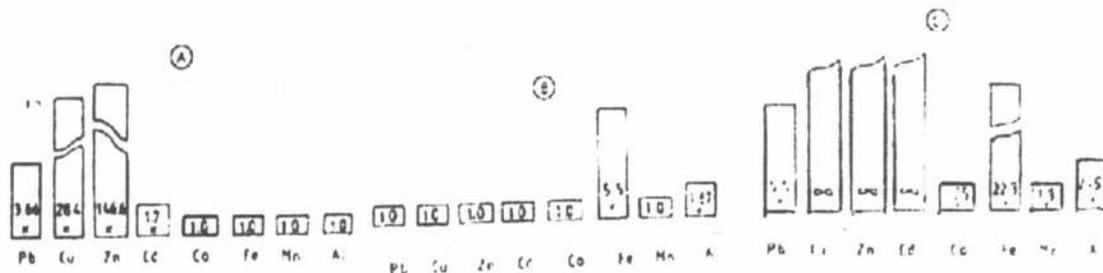
### 3.2 Hasil

Konsentrasi sisa logam yang ditemukan pada air yang telah diolah, tergantung kepada jenis senyawa xanthat yang digunakan. Efisiensi dari berbagai senyawa xanthat yang berbeda seperti ethil, propil, butil dan amil xanthat terhadap air limbah yang mengandung ion Cu, Zn, Pb dan Co dengan pemakaian xanthat secara stokiometris, menghasilkan efisiensi seperti dalam tabel 1.

Pada keadaan ini xanthat dipilih sebagai reagen, karena akan menghasilkan suatu kompleks chelat dengan ion tembaga, yang memiliki

sifat hidrofob yang tinggi serta produk yang terlarut rendah. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah sbb

Jika pengendapan dengan xanthat tidak memberikan hasil yang maksimal, proses teknologi flotasi biasanya mencari jalan keluar dengan beberapa larutan yang mirip dengan senyawa tersebut. Pada pengolahan ini, senyawa potassium oleat (KOL), sebagai senyawa aktif permukaan (surfaktan) dicoba dikombinasikan dengan senyawa xanthat, efisiensi dari potassium ethil xanthat (KEXt) dibandingkan, hasilnya seperti dalam gambar 2.



Gambar 2. Rasio purifikasi (Pemurnian) Logam yang Terkandung dalam Air Limbah

(A) Q KEXt=12,5 mg/L, Q KOL=0 (B) Q KEXt=0 mg/L, Q KOL=12,5

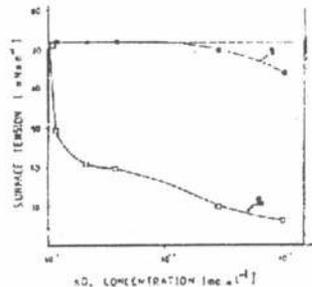
(C) Q KEXt=37,5 mg/L, Q KOL=12,5 mg/L

Berdasarkan gambar tersebut, dengan ditambahkannya KOL, pemakaian KEXt berkurang 3 kali, serta menambah pemurnian air dari semua ion logam (Diagram C). Dari diagram C yang terbaik ternyata pada ion

tembaga, seng dan kadmium, konsentrasinya jauh di bawah

Penelitian lain yang dilakukan oleh Srinivansan dan De Levie (1986, dalam Alexandrova, L 1993) melaporkan bahwa dalam

menghasilkan gelembung gas, karena terhalangi lapisan yang terkondensasi pada permukaan electroda.



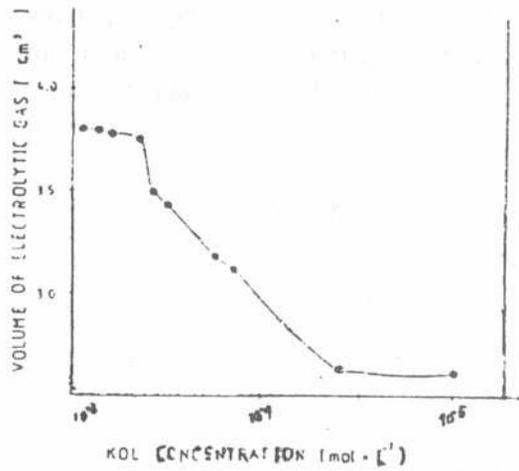
Gambar 3 . Perubahan Tegangan permukaan cairan-gas (Y l/g), pada konsentrasi KOL, dalam air limbah (1) dan pada air alkali yang didistilasi (2)

batas yang dapat dideteksi oleh analisis dengan spektrofotometer. Konsentrasi KOL sebagai surfactan berpengaruh terhadap nilai tegangan antara permukaan cairan dan gas (Y l/g), seperti terlihat dari Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa gelembung gas dapat terpengaruh pada konsentrasi KOL lebih tinggi dari  $6 \times 10^{-5}$  mol/L. Efek pada konsentrasi tersebut menunjukkan bahwa KOL berpengaruh menurunkan volume gas elektrolitik. Studi mikroskopik memperlihatkan bahwa konsentrasi KOL dibawah  $6 \times 10^{-5}$  mol/L ukuran gelembung gas yang dipisahkan secara elektrolitik keberadaannya lebih stabil .

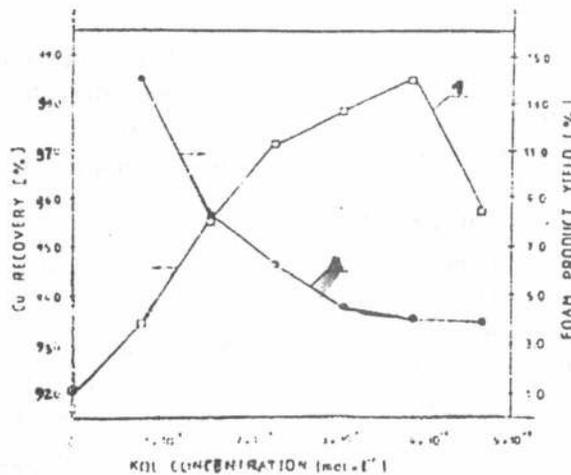
Pengaruh dari penggunaan KOL terhadap pembentukan gas, dapat dilihat dari Gb. 4 .

Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi KOL diatas  $4 \times 10^{-5}$  mol/L, volume gas yang terpisah secara elektrolitik berkurang secara tiba-tiba.

Pada proses ini KOL selain bertindak sebagai surfactan penstabil lapisan busa, juga bertindak sebagai kolektor yang dibantu dengan elektrokoagulasi ferihidroksida, sehingga dapat membantu pengendapan dari kation dalam larutan. Pengaruh KOL pada flotasi ion tembaga dan perolehan produk busa, dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4 . Perubahan Volume Gas Elektrolitik terhadap Konsentrasi KOL



Gambar 5 . Pengaruh konsentrasi KOL pada recovery tembaga(1) dan produk busa (2)

Pada proses ini KOL selain bertindak sebagai surfactan penstabil lapisan busa, juga bertindak sebagai kolektor yang dibantu dengan elektrokoagulasi ferihidroksida, sehingga dapat membantu pengendapan dari kation dalam larutan. Pengaruh KOL pada flotasi ion tembaga dan perolehan produk busa, dapat dilihat pada gambar 5.

Kurva 1 dalam Gb 5 menunjukkan persentase perolehan tembaga terhadap KOL, dan Kurva (2) menunjukkan persentasi produk busa sebagai fungsi dari pemakaian KOL.

Dalam hal ini efek dari KOL sebagai pembantu dalam menstabilkan busa, tidak berkaitan dengan peran KOL sebagai kolektor. KOL akan mempercepat adhesi diantara pengendap xanthat. Pada konsentrasi yang lebih tinggi dari  $4 \times 10^{-5}$  mol/L, pengendapan oleh xanthat bertambah secara drastis walaupun adsorpsi dari ion oleat berlangsung secara kontinyu pada permukaan koloid hingga konsentrasi  $6 \times 10^{-5}$  mol/L, seperti

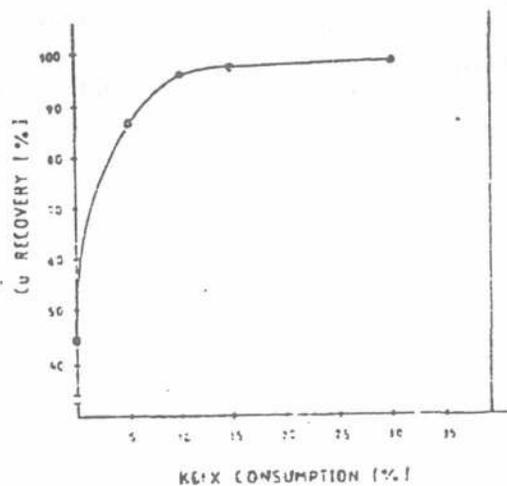
dapat dilihat dari kurva 1 pada gambar 3.

Phenomena yang dikemukakan oleh Bernascony et al (1987) untuk flotasi ion barium dengan sodium lauril sulfat dan flotasi ion zirconium oleh sodium alkil sulfat menunjukkan bahwa permukaan ion yang diendapkan, dikontrol oleh adsorpsi dari kolektor, partikel padat diflokulasi dan terapung cepat hanya apabila jumlah yang dikolektor dan yang diadsorpsi berada dalam satu lapisan tertentu.

Seperti dijelaskan di atas, studi tentang efek dari xanthat dengan panjang radikal hidrokarbon yang berbeda, flotasi dari endapan diperoleh secara efisien dengan menggunakan Ethil xanthat. Namun pemakaian optimal dari senyawa tersebut terjadi dengan adanya penambahan senyawa KOL

pada konsentrasi tertentu. Pengaruh penggunaan xanthat terhadap recovery tembaga seperti terlihat dari gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa recovery tembaga bertambah sekitar 98 % pada pemakaian KEXt sebanyak 10 hingga 15% dari pemakaian secara stokiometris. Secara lebih jauh pemakaian KEXt tidak mempengaruhi hasil yang dicapai.

Teknologi elektroflotasi yang digunakan dalam penyisihan ion mangan, seng, cobalt dan besi dari limbah, dapat berkurang hingga 0,14 mg/L; 0,09 mg/L; 0,06 mg/L dan 0,24 mg/L.



Gambar 6. Pengaruh Pemakaian KEXt Pada Recovery Tembaga

## KESIMPULAN

1. Elektroflotasi merupakan metode fisika kimia dalam penyisihan ion logam .
2. Kombinasi dari kolektor dan Surfaktan dalam elektroflotasi ion , efektif mengubah keberadaan ion logam dalam limbah cair
3. Senyawa xanthat dapat membentuk senyawa kompleks chelat dengan ion logam, dengan menghasilkan sifat yang hidrofobik. Sehingga lebih mudah dalam proses flotasi.
4. Senyawa Kalium oleat (KOL) dapat berperan untuk menurunkan tegangan permukaan antara cairan dan gas, sehingga gelembung gas yang dihasilkan secara elektrolitik dapat bersifat lebih stabil. Gelembung gas berperan dalam mengangkat

ion logam ke permukaan cairan melalui proses flotasi

## DAFTAR PUSTAKA

1. Kongsricharoern, N. and Polprasert, C (1996). Cr removal by a bipolar electro chemical precipitation process. Water Quality International '96 – 18<sup>th</sup> IAWQ Biennial International Conference, Preprint Book 3, Singapore
2. L. Alexandrova , T. Nedialkova, I. Nishkov. Electroflotation of metal ion in waste water. Central Laboratory of mineral processing, Bulgarian Academic of Sciences, Sofia 1126. P.O Box 32, Bulgaria, 1993
3. Metcalf & Eddy, (1991). Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill Inc., New York, USA

Gambar 4 . Perubahan Volume Gas Elektrolitik terhadap Konsentrasi KOL

## PEMODELAN DAN SIMULASI OLAH YUDHA (*WAR GAME SIMULATION*)

Oleh : Bambang Sridadi\*

\*Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNJANI

### Abstrak

Simulasi waktu nyata (*real time simulation*) dan dunia maya (*synthetic environment*) merupakan salah satu bentuk kemajuan teknologi informasi yang dapat membantu perbaikan tingkat keberhasilan suatu sistem nyata atau sistem baru. Salah satu bentuk gabungan antara teknologi simulasi dan teknologi wahana sintetik adalah Simulasi Olah Yudha (SOY) atau *war game simulation*. Sistem SOY merupakan suatu wahana latihan (*training device*) yang digunakan untuk melatih komandan dan staf personil anggota Tentara Nasional Indonesia (TNI) dalam meningkatkan kemampuan mengambil keputusan strategis dan taktis operasional olah yudha dalam melakukan misinya. Tulisan ini menjelaskan proses perancangan model dan implementasi suatu prototipe sistem SOY.

Konfigurasi prototipe sistem SOY yang dikembangkan terdiri dari perangkat keras (*hardware*), dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras terdiri dari 4 (empat) buah komputer pribadi (*PC = Personal Computer*) yang terhubung secara jaringan lokal (*local area network*). Perangkat lunak adalah berupa program simulasi waktu nyata olah yudha yang ditulis dengan pendekatan berorientasi objek (*object-oriented*), *multithreading* dan *multitasking* dalam Borland C++ Builder (BCB) dan dieksekusi pada sistem operasi Windows NT dan Windows 98 dengan model eksekusi *client-server*, terdiri dari *game engine* dan *graphic engine*.

### I. PENDAHULUAN

Simulasi waktu nyata (*real-time*) dan dunia sintetik (maya) merupakan salah satu bentuk kemajuan teknologi informasi yang dapat membantu perbaikan tingkat keberhasilan suatu sistem nyata atau sistem baru. Salah satu bentuk gabungan antara teknologi simulasi dan teknologi wahana sintetik adalah sistem simulasi olah yudha berbasis wahana sintetik. Pada teknologi simulasi militer dikenal dengan sebutan "*war-gaming*".

Sistem simulasi olah yudha merupakan suatu wahana latihan (*training device*) yang digunakan untuk melatih komandan dan staf personil anggota Tentara Nasional Indonesia (TNI) dalam meningkatkan kemampuan mengambil keputusan strategis dan taktis operasional olah yudha dalam melakukan misinya. Umumnya dipergunakan sebagai:

- Alat uji dan simulasi konsep / doktrin pertahanan dan peperangan,
- Alat bantu perencanaan operasi lapangan,
- Alat bantu pengambilan keputusan bagi pimpinan komando,
- Alat validasi sistem garis komando antar pimpinan secara vertikal dan horisontal,
- Wahana penelitian dan penguasaan teknologi *real-time simulation engineering* di bidang pemodelan dan simulasi pertahanan negara.

## II. KONFIGURASI SISTEM SIMULASI OLAH YUDHA

Konfigurasi prototipe sistem SOY yang dikembangkan terdiri dari perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*) dan perangkat operasi (*firmware*). Perangkat keras terdiri dari 4 (empat) buah komputer pribadi (*PC = Personal Computer*) yang terhubung secara jaringan lokal. Perangkat lunak adalah berupa program simulasi olah yudha yang ditulis dengan pendekatan berorientasi objek (*object-oriented*), *multithreading* dan *multitasking* dalam Borland C++ Builder (BCB) dan dieksekusi pada sistem operasi Windows NT dan Windows 98 dengan model eksekusi *client-server*, terdiri dari *game engine* dan *graphic engine*. *Game engine* berfungsi untuk mensimulasikan olah yudha antara 2 (dua) pihak yang sedang konflik. Pihak pertama disebut pasukan Biru sebagai pihak penyerang yang akan menjalankan misinya. Pihak kedua disebut pasukan Merah sebagai pihak yang akan menghadapi serangan. *Graphic engine* berfungsi untuk menampilkan model animasi grafik olah yudha yang disimulasikan dan menyediakan antarmuka (*interface*) antara SOY dengan pengguna (*user*). Perangkat operasi berupa dokumen petunjuk pelaksanaan latihan dan dokumen silabus latihan. Gambar 1. menunjukkan diagram blok (*block diagram*) konfigurasi perangkat keras (*hardware*) dari sistem simulasi olah yudha (*war game simulation system*).

Struktur arsitektur dari sistem simulasi olah yudha terdiri dari 2 (dua) kelompok atau lebih siswa latih yang dihubungkan dengan jaringan khusus (*local area network* atau *wide area network*). Kemudian diperlukan suatu stasiun kendali / kontrol bagi instruktur yang berfungsi sebagai pusat pengendalian dan pembuatan skenario untuk para peserta pelatihan. Secara umum sistem berisi : alat manajemen untuk kendali latihan dan pengaturan sesi latihan (*exercise*

*controller*), alat koleksi data (*data logger*), alat evaluasi dan pengamatan (*after action reviewer*), alat komunikasi antar siswa dan instruktur, dan simulasi komunikasi komando (*voice*), dan alat tampilan area latihan (*training space viewer*). Gambar 2. memperlihatkan struktur arsitektur dari sistem simulasi olah yudha.

## III. PERANCANGAN MODEL DAN IMPLEMENTASI SIMULASI OLAH YUDHA

Proses perancangan model dan implementasi simulasi olah yudha mengikuti petunjuk (*guideline*) yang tertuang dalam dokumen standar militer dari Department of Defense USA, MIL-STD-498 : "Software Development and Documentation", 5 Desember 1994. Metode yang digunakan, dokumen yang dihasilkan dan review yang dilakukan pada tiap tahapan pengembangan perangkat lunak simulasi olah yudha adalah sebagai berikut.

### 1. Tahap analisis kebutuhan

Metode : Real Time Software Analysis (SART)

Dokumen : Software Development Plan (SDP), Interface Requirement Specifications (IRS), Software Requirement Specifications (SRS), Software Test Plan (STP)

Review : Software Specification Review (SSR)

### 2. Tahap perancangan awal

Metode : Object Oriented Design (OOD)

Dokumen : Preliminary Software Design Description (SDD)

Review : Preliminary Design Review (PDR)

### 3. Tahap perancangan detail

Metode : Object Oriented Design (OOD)

Dokumen : Detailed Software Design Description (SDD), Data Base Design Description (DBDD), Unit Software Test Description (STD)

Review : Critical Design Review (PDR)

#### 4. Tahap Implementasi

Bahasa : C++ Builder version 4

Dokumen : Listing Program (Source Code), Software Version Description (SVD)

#### 5. Tahap Pengujian

Pengujian : Unit CSU (pengujian ini dilakukan secara internal, metode : glassbox / whitebox / workthrough), Integrasi unit (metode : blackbox), CSCI (metode : blackbox), Sistem (metode : functional, kualifikasi)

Dokumen : Software Test Report (STR), Software User Manual (SUM)

Simulasi olah yudha (*war game simulation*) merupakan jenis simulasi kejadian diskrit (*discrete event simulation*), dengan struktur variabel, keadaan (*state*) dan parameter adalah sebagai berikut. Gambar 3. memperlihatkan diagram konteks data (*data context diagram DCD*) atau diagram alir data (*data flow diagram DFD*) level 0 konfigurasi perangkat lunak (*software*) dari sistem simulasi olah yudha (*war game simulation system*). Variabel sistem terdiri dari keadaan sistem, masukan dan keluaran sistem dan kendali sistem yang dilakukan oleh instruktur. Masukan sistem dapat berupa perintah aksi reaksi yang dilakukan oleh peserta latihan dari komandan pasukan biru maupun merah. Keadaan (*state*) sistem dapat berupa keadaan objek bergerak dan keadaan objek tidak bergerak. Objek bergerak antara lain : objek pasukan biru, objek pasukan merah, objek lingkungan. Objek tidak bergerak antara lain : terrain peta (dataran, bangunan, jalan, jembatan, sungai, gunung, dll), laut dan udara. Parameter sistem adalah nilai-nilai awal yang dimasukkan pertama kali mulai simulasi atau dapat dirubah oleh instruktur pada saat berlangsung simulasi.

Struktur agregate satu brigade pasukan biru terdiri dari 7 batalyon, yaitu : 3 infantri, kavaleri, artileri medan, zeni dan arhanud. Setiap batalyon terdiri beberapa

kompilasi, satu kompilasi terdiri dari beberapa pelton, satu pelton terdiri dari beberapa regu dan satu regu terdiri dari beberapa personil tentara. Jumlah pasukan dalam satu brigade melibatkan 7 batalyon, 32 kompilasi, 173 pelton, 269 regu dan 4045 personil tentara. Setiap agregate mempunyai beberapa atribut antara lain : posisi x y z (m koordinat peta), kecepatan gerak (km/jam), kekuatan (%), vitalitas (%), moril (%), hadap (8 mata angin), jenis senjata (kode), jumlah munisi (butir), jumlah makanan (kg), jumlah air (liter) dan status (string). Struktur agregate yang sama berlaku juga untuk pasukan merah. Berikut adalah beberapa contoh struktur agregate suatu pasukan pelton yang ditulis dalam kode C.

```
struct pelton
{
    char   kode[15], nama[25], kategori[5];
    float  kekuatan;
    int    jmlregu;
    float  posx, posy, posz, kec;
    char   hadap[5];
    int    jmlmunisi;
    char   senjata[15], ranmor[15],
          alkomtik[15];
    float  tkesiapan, moril, vitalitas,
          makanan, air;
    char   status[15];
};
```

```
struct senjata {
    char   Kode[10], Nama[20];
    int    NMunisi;
    float  Jangkaue, Jangkaumax,
          TktAkurasi;
    int    RateFire;
    char   KodeMunisi[25];
    int    NTarget;
    char   PriorTarget[10][10];
};
```

Kondisi medan perlu diperhitungkan dalam suatu kontak tempur. Ketinggian medan dalam m. Keadaan lingkungan dalam %, misalnya : hutan 100,

Reviurban 75, sawah / rawa / danau 50, normal / lapangan 10. Perlindungan terhadap musuh dalam %, misalnya : hutan 100, urban 75, sawah / rawa / danau 50, normal / lapangan 10. Cover ketinggian dalam m, misalnya : urban 10, hutan 15, sawah / rawa / danau 5, normal / lapangan 0. Jarak pandang dalam m, misalnya : urban 50, hutan 100, sawah / rawa / danau 500, normal / lapangan 1000. Hambatan gerak dalam %, misalnya : urban 75, hutan 50, sawah / rawa / danau 20, normal / lapangan 10. Data jalan meliputi nomor rute, lebar (%), misalnya : 1 mobil 50, 2 mobil 75 dan 3 mobil 100, kondisi jalan dalam %, misalnya : tanah 50, diperkeras 75 dan aspal 100. Data sungai meliputi nomor rute, lebar dalam m, kedalaman dalam m. Data Jembatan, antara lain : posisi dalam koordinat peta, lebar dalam m dan kemampuan dilewati dalam kg.

Misi yang tersedia dalam prototipe ini, antara lain : pergerakan pasukan (dalam barisan, magic move, gerak kavaleri), penembakan artileri (armed, arhanud), pengintaian (infantri, helikopter), zeni (pasang ranjau, bersihkan ranjau, perbaiki jembatan), angkutan logistik. Penghitungan simulasi yang dilakukan, antara lain : konversi koordinat peta ke koordinat screen, hasil kontak tempur senjata lintas datar, hasil korban senjata lintas lengkung.

Fasilitas simulasi real-time yang tersedia, antara lain : inisialisasi variabel dan parameter (peta lingkungan, senjata, ranmor alkomtik, fasilitas, pasukan, personil), lihat (pasukan, lingkungan, perbesar peta, perbesar 3D), suara (hidup, matikan), mulai simulasi, pause simulasi, stop simulasi, percepat simulasi, time history record, snapshot record dan record reply.

#### **IV. UJI COBA PROTOTIPE SIMULASI OLAH YUDHA**

Prototipe simulasi oleh yudha versi 1.0 telah diuji coba oleh pemakai (*user*) di Singkawang Kalimantan Barat dalam

Operasi Latihan Bersama Kekar Malindo 28A/2002 pada tanggal 28 Mei 2002. (lihat Gambar 4.)

Latihan simulasi perang dilakukan atas kerjasama antara TNI Angkatan Darat dan Tentara Darat Diraja Malaysia (TDM) di Komando Pendidikan dan Latihan Pasir Panjang, Singkawang, Kalimantan Barat. Latihan perang difokuskan untuk melakukan perbaikan dalam penguasaan prosedur tetap operasi bersama dalam meningkatkan pengamanan kawasan perbatasan darat RI-Malaysia sepanjang 1875 kilometer yang membujur dari perbatasan Kalbar-Sarawak hingga Kaltim-Sabah.

Latihan simulasi perang dengan sandi Latma Kekar Malindo 28 tahun 2002 yang dibuka Kepala Staf AD Jenderal TNI Endriartono Sutarto tersebut dikhususkan untuk melatih perwira (para komandan dan staf setingkat batalyon) dari berbagai keahlian, dan diharapkan dengan metode simulasi kedua angkatan bersenjata mampu memantau gerakan musuh, baik yang tewas maupun yang menyusup ke wilayah lawan. Simulasi melibatkan 150 personil TNI dan 100 personil TDM.

Beberapa komentar dan kritik dari pemakai (*user*) hasil uji coba prototipe versi 1.0 selanjutnya akan digunakan untuk memperbaiki prototipe versi 2.0 sesuai prinsip siklus hidup pengembangan perangkat lunak (*software life cycle*).

#### **V. KESIMPULAN**

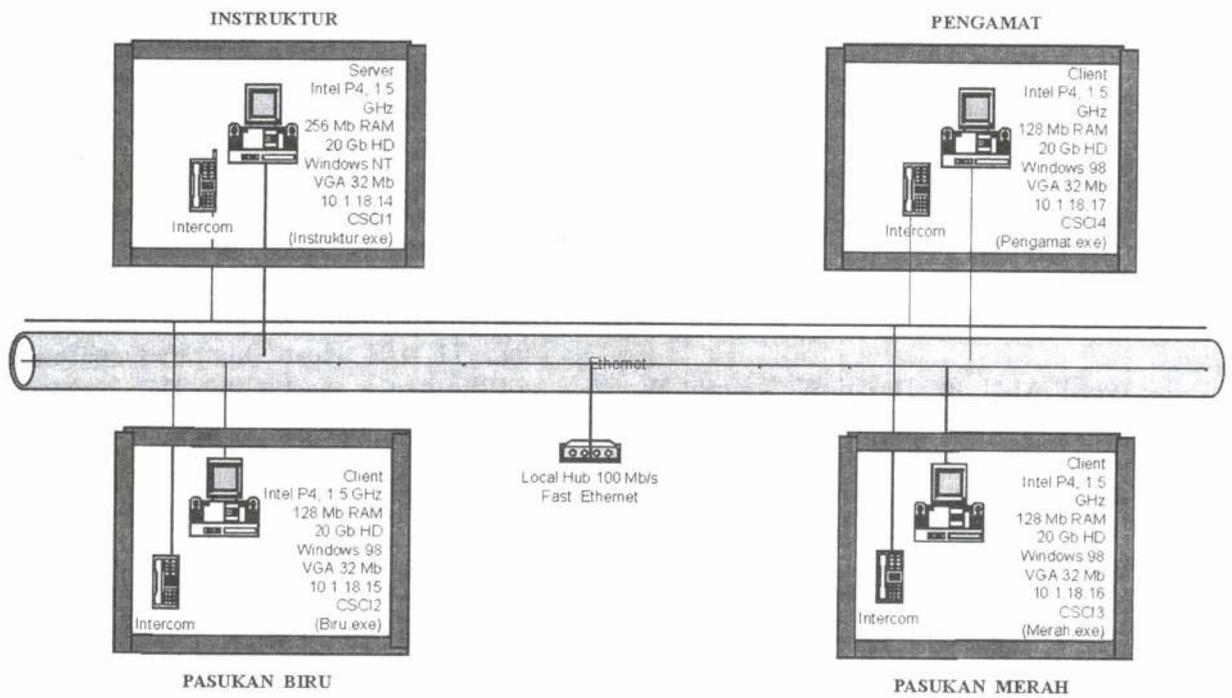
Suatu prototipe model dan simulasi olah yudha (*war game simulation*) telah dikembangkan dengan mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut. Proses perancangan dan implementasi mengikuti MIL-STD-498. Konfigurasi hardware berbasis PC sehingga meningkatkan *portability* dan *maintainability*. Model jaringan lokal *client - server* dengan protokol TCP/IP. Pemodelan dan simulasi sintetik waktu nyata (*real time*),

perancangan software berorientasi objek *multithreading*, *multitasking* dan dieksekusi pada sistem operasi Windows NT dan Windows 98 dengan fasilitas multimedia (grafik dan suara).

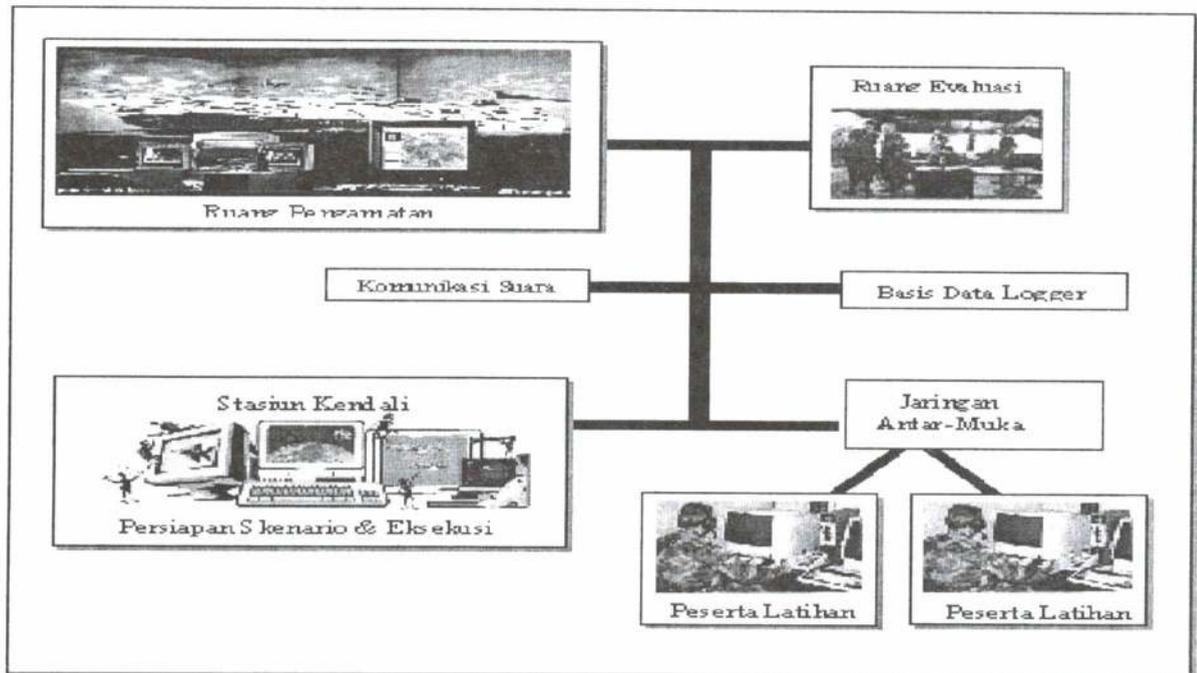
Prototipe versi 1.0 telah diuji coba dan hasil evaluasinya akan digunakan untuk memperbaiki model dan simulasi versi berikutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

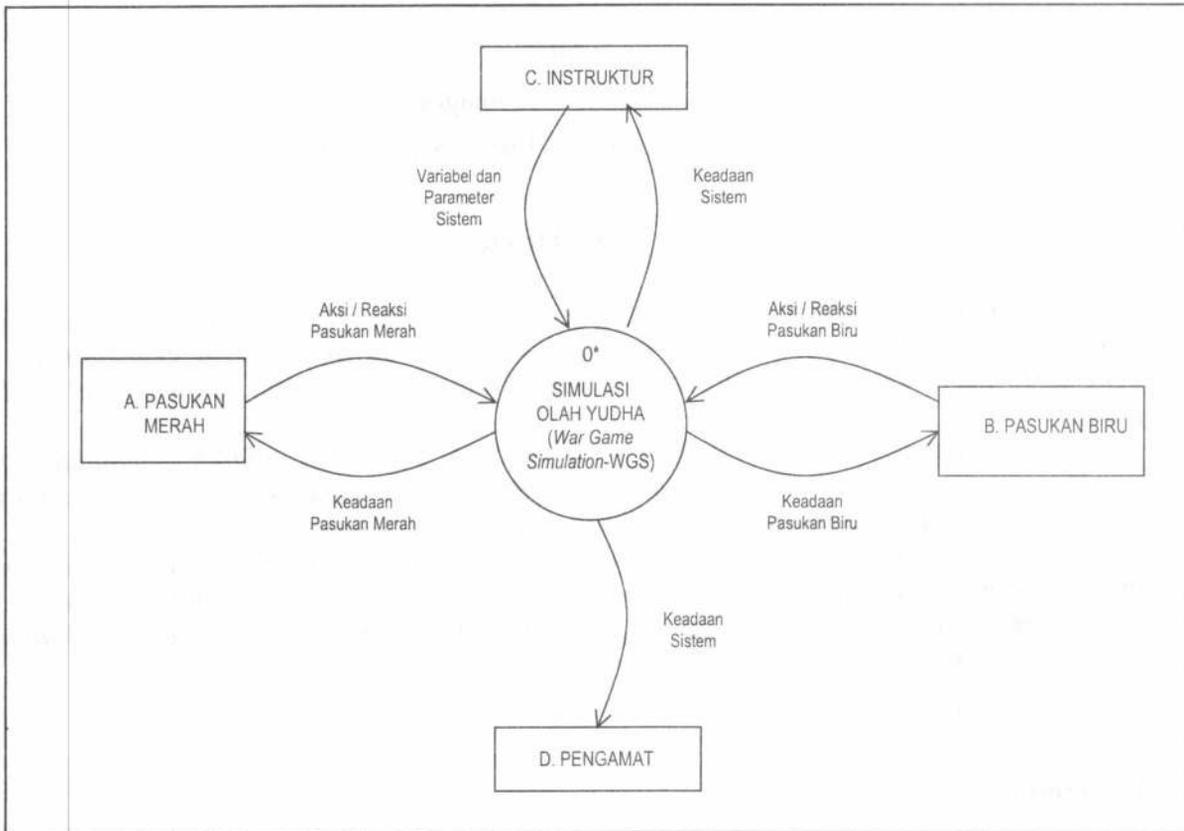
1. Averill M. Law, David W. Kelton, W. David Kelton, david M. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management Science, New York, 1999.
2. Charlie Calvert, *Borland C++ Builder Unleashed*, Macmillan Computer Publishing, London, 2002.
3. Jean-Marc Petel, *Aggregate Level Behavior Representation within Distributed Synthetic Environment Application*, Virtual Prototypes Inc., Montreal Canada, 2000.
4. MIL-STD-498, *Software Development and Documentation*, Department of Defense USA, Washington D.C., 5 Desember 1994.
5. Murthy, D.N.P., Page, N.W., Rodin, E.Y., *Mathematical Modelling, A Tool for Problem Solving in Engineering, Physical, Biological and Social Sciences*, Pergamon Press, Oxford, 1990.
6. Paul K. Davis, *Applying Artificial Intelligence Techniques to Strategic-level Gaming and Simulation*, Modelling and Simulation Methodology, Elsevier Science Publisher, Holand, 1986.
7. Philip Klahr, etc., *Twirl: Tactical Warfare in the ROSS Language*, Expert Systems : Techniques, Tools and Applications, Addison Wesley, Massachusetts, 1986.
8. Salamoen, R.F. (Letkol), dkk., *Himpunan Ikhtisar Pelajaran : Taktik, Staf dan Teritorial*, Pusat Infanteri, Bandung, 1975.
9. -, *TNI (Tentara Nasional Indonesia) TDM (Tentara Diraja Malaysia) Latihan Bersama*, Harian Kompas, Jakarta, 30 Mei 2002.
10. -, *Indonesia - Malaysia Menggelar Latihan Perang*, Http: // www.liputan6.com, Siaran SCTV Liputan6 jam 8.32, Jakarta, 1 Juni 2002.
11. -, *Infantry, Air Borne, and Air Assault Division Operations*, Field manual ( FM ) No. 71 101, Head Quarters Department of the Army, Washington DC, 26 March 1980.



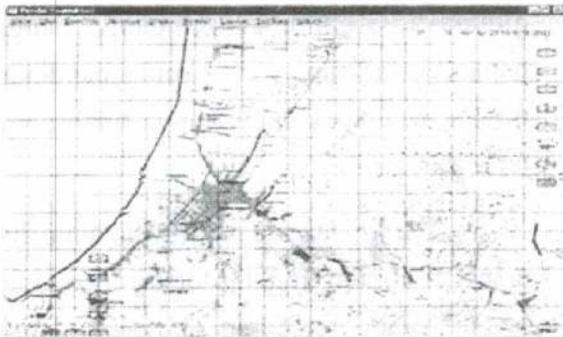
Gambar 1. Diagram Blok Konfigurasi Perangkat Keras dari Sistem Simulasi Olah Yudha



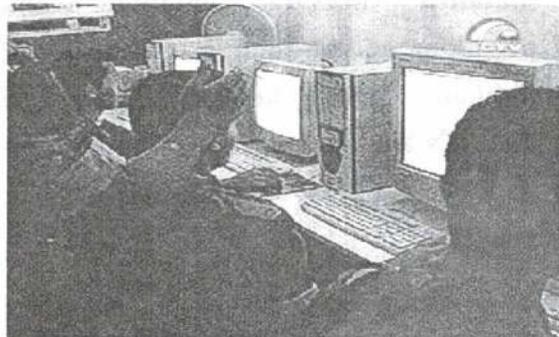
Gambar 2. Struktur Arsitektur dari Sistem Simulasi Olah Yudha



Gambar 3. Diagram Konteks (Diagram Alir Data level 0) dari Sistem Simulasi Olah Yudha



a)



b)

Gambar 4. Uji Coba Prototipe Sistem Simulasi Olah Yudha dalam Operasi Latihan Kekar Malindo 28A/2002. a). Peta Singkawang Kalimantan Barat. b). Ruang Kendali Simulasi

# SISTEM DRAINASE DAN FENOMENA BANJIR PERKOTAAN

Oleh

Ronni I.S.R. Hadinagoro\*

\*Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil UNJANI

## ABSTRAK

*Fenomena banjir di perkotaan mulai banyak terjadi di berbagai kota di Indonesia. Dalam skala kecil, luapan air dari saluran drainase ke jalur lalu lintas, serta genangan air di beberapa ruas jalan sudah mulai menjadi pemandangan yang hampir selalu terjadi setelah hujan turun.*

*Salah satu penyebab terjadinya banjir di wilayah perkotaan adalah penataan serta pembangunan prasarana wilayah, seperti gedung, jalan, pertamanan kota, bahkan saluran drainase yang tidak memperhatikan perilaku alamiah air, dan tanah.*

*Pembangunan sistem dan saluran drainase yang hanya berwawasan lokal hanya dapat mengalihkan permasalahan banjir, bukan menyelesaikan permasalahan banjir perkotaan.*

*Untuk menyelesaikan masalah banjir di perkotaan, diperlukan sistem dan saluran drainase tepat guna yang tidak harus berupa bangunan sistem dan saluran yang mahal.*

Kata Kunci : banjir, perkotaan, saluran, drainase

## Pendahuluan

**Apakah orang-orang yang ingkar tidak mengetahui bahwa angkasa raya dan bumi itu pada mulanya bersatu, kemudian Kami pisahkan kedua-duanya. Dan Kami jadikan semua kehidupan itu dari air Maka mengapa mereka tiadaberiman juga. (Q.S. Al-Anbiya, ayat 30).**

Namun demikian, sumber kehidupan itu harus dikelola secara baik, benar, tepat, bertanggungjawab, dan profesional, atau yang dengan bahasa singkatnya dapat dikatakan dikelola secara adil. Jika tidak demikian, maka potensi air yang maha dahsyat itu akan dapat berubah menjadi bencana dan mala petaka yang merugikan manusia.

Air merupakan sumber kehidupan. Hampir semua hajat hidup manusia dan makhluk hidup di bumi ini tidak dapat dipisahkan dari air sebagai penyangga hidupnya. Kebutuhan sandang, pangan, papan, kesehatan, serta semua pendukung tingkat kualitas kehidupannya tidak pernah lepas dari air.

Banjir Jakarta pada awal tahun 2002 menelan korban 365.435 orang mengungsi, 35.600 orang terserang penyakit, dan 64 orang meninggal dunia. Peristiwa ini menunjukkan betapa besar kekuasaan Allah Sang Maha Bijaksana dibandingkan kehebatan alam fikir manusia sebagai pengelola alam binaan ini.

Anehnya, justru pada era informasi yang syarat dengan kemajuan

ilmu pengetahuan dan teknologi terjadi bencana banjir di sebuah metropolitan yang menelan korban jiwa lebih besar dari pada korban letusan gunung berapi Papandayan pada tahun itu juga. Padahal metropolitan itu direncanakan oleh para perencana dan perancang profesional kaliber dunia dengan biaya yang besar.

Banjir perkotaan sudah mulai melanda berbagai kota besar lain, tidak hanya di Jakarta. Genangan air di beberapa bagian ruas jalan, serta luapan air dari saluran drainase merupakan pemandangan yang banyak ditemukan pada saat terjadi hujan. Di beberapa tempat, pada saat hujan turun fungsi jalan berubah menjadi saluran air. Di samping berdampak pada penurunan kualitas lingkungan binaan wilayah hunian manusia, banjir serta genangan air juga akan merusak, sekurang-kurangnya akan memperpendek usia layak pakai bangunan fisik jalan, yang berarti akan memberikan kontribusi pada penghamburan dana pembangunan.

Oleh karena itu perlu dilakukan studi komprehensif tentang langkah-langkah yang harus ditempuh dalam rangka upaya penyelesaian masalah banjir perkotaan ini. Di dalam era krisis perekonomian yang serba sulit ini, perlu dicarikan langkah penanggulangan banjir perkotaan yang hemat, namun masih berada di dalam koridor kaidah ilmu kerekayasaan yang optimal.

### **Pendekatan**

Fenomena banjir perkotaan merupakan bagian dari siklus atau daur hidrologi, yaitu perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer, kemudian ke

permukaan bumi, dan kembali lagi ke laut. Proses tersebut akan berlangsung terus menerus. Selama proses perjalanan air di dalam siklus tersebut, air akan melewati atau tertahan sementara di permukaan tanah, sungai, danau/waduk, dan di dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk hidup lainnya.

Di dalam siklus hidrologi, energi panas matahari dan faktor iklim lainnya menyebabkan terjadinya proses penguapan pada permukaan tumbuhan, tanah, air laut dan semua benda yang berair lainnya. Uap air dari proses tersebut akan terbawa oleh angin melintasi daratan yang bergunung atau datar. Jika keadaan atmosfer memungkinkan, sebagian dari uap air tersebut akan terkumpul menjadi massa air dan turun sebagai hujan.

Air hujan yang turun ke bumi sebagian ada yang tertahan atau melalui pada tumbuhan, sebagian yang lain ada yang langsung mencapai permukaan bumi atau laut. Air hujan yang langsung jatuh ke tanah sebagian akan terserap ke dalam tanah, sebagian lagi akan mengalir melimpas di permukaan tanah secara langsung atau melalui tahap tertahan terlebih dahulu di dalam cekungan-cekungan yang ada di permukaan tanah untuk kemudian mengalir menuju sungai.

Bagian air hujan yang melimpas di permukaan tanah, yang tidak terserap ke dalam tanah, atau yang sering disebut air larian atau limpasan permukaan (*direct/surface runoff*) itulah yang menyebabkan terjadinya genangan air atau banjir.

Jumlah air larian dapat diperkirakan dengan berbagai pendekatan empirik. Salah satu dari

pendekatan itu adalah metoda rasional yang dikembangkan oleh *United State Soil Conservation Service*, yang menyatakan bahwa debit, atau jumlah air larian per satuan waktu dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$Q = 0,0028 C.i.A \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

Q = jumlah volume air larian per satuan waktu (debit) [m<sup>3</sup>/dt]

C = koefisien air larian

i = intensitas hujan [mm/jam]

A = luas wilayah tangkapan hujan [ha]

Nilai koefisien air larian ( C ) pada persamaan (1) tersebut ditentukan oleh laju infiltrasi, keadaan penutup permukaan tanah, dan intensitas hujan.

Untuk keadaan tertentu pada satu lokasi dan waktu tertentu, maka laju infiltrasi, serta intensitas hujan dapat dianggap sebagai suatu parameter yang tetap. Dengan demikian, faktor penentu nilai koefisien air larian yang bersifat variabel adalah keadaan penutup permukaan tanah. Menurut *United State Forest Service*, nilai koefisien larian berdasarkan jenis penutup permukaan sesuai dengan tata guna lahan, dapat dilihat pada tabel 1 (lampiran).

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai koefisien air larian pada permukaan tanah yang tertutup dengan bangunan lebih besar dari pada koefisien air larian pada permukaan tanah yang terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa limpasan air hujan yang turun ke bumi pada permukaan tanah yang tertutup dengan bangunan akan lebih besar dibandingkan dengan limpasan air pada tanah terbuka. Dengan demikian

sangat jelaslah bahwa fenomena genangan air dan banjir di perkotaan terjadi akibat semakin luasnya permukaan tanah yang tertutup dengan bangunan.

Pembangunan hunian, perkantoran, pertokoan, dan tata guna lahan lainnya pada saat ini sering mengabaikan masalah banjir dan genangan air secara menyeluruh. Pembangunan tata guna lahan hampir selalu sama dengan pembangunan penutup permukaan tanah. Halaman rumah, perkantoran, pertokoan, dan fasilitas lain hampir tertutup semua dengan lapisan penutup tanah, baik dari aspal maupun beton semen. Jalur hijau di tepi atau pemisah jalan yang semula berupa taman-taman serta permukaan tanah terbuka sudah mulai diganti dengan *paving block*.

Banjir di perkotaan akan semakin meningkat dengan adanya pembangunan daerah-daerah perbukitan yang mengakibatkan tertutupnya permukaan tanah. Dengan menutup permukaan tanah berarti memperkecil resapan air dan memperbesar koefisien air larian, yang akan memperbesar debit banjir. Sebagai gambaran, dari tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai koefisien air larian C pada tanah tanpa lapisan penutup berkisar antara 0,05 sampai dengan 0,35, sedangkan untuk permukaan tanah tertutup berkisar antara 0,50 sampai dengan 0,95, yang akan berbanding lurus dengan debit banjir yang akan ditimbulkannya.

Masalah banjir dan genangan air dapat diatasi dengan dua pendekatan yaitu :

1. Mengurangi debit banjir atau air larian dengan cara mempertahankan permukaan tanah yang terbuka.

- 1 Menampung dan menyalurkan debit banjir untuk segera mematuskan daerah yang tergenang dengan cara membangun saluran drainase.

Langkah yang sering ditempuh untuk mengatasi genangan air saat ini adalah langkah ke dua, yaitu menampung dan menyalurkan debit banjir untuk segera mematuskan daerah yang tergenang dengan cara membangun saluran drainase. Langkah ini sering sekali disertai upaya mempercepat proses terpatuskannya daerah tertentu dengan mempercepat aliran pada saluran drainase, menggunakan lapisan dinding bata bersemen atau yang lain. Upaya seperti ini memang sangat efektif untuk mematuskan wilayah tertentu, tetapi tanpa disadari membawa bencana pada daerah lain yang lebih rendah. Lebih tepatnya dapat dikatakan bahwa upaya seperti ini bukan merupakan upaya menyelesaikan masalah, tetapi sekedar memindahkan masalah. Peningkatan debit dari daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah akan mengakibatkan genangan dan banjir yang lebih parah pada daerah yang lebih rendah.

Untuk daerah-daerah perbukitan, walaupun dibangun dengan biaya yang mahal, penanggulangan genangan dengan cara kedua itu juga akan mengurangi resapan air, yang berarti juga akan berdampak pada penurunan permukaan air tanah.

Banjir di Jakarta, di cekungan Bandung, dan juga di wilayah lain merupakan contoh dari kekeliruan mendasar tentang penerapan konsep pematusan air larian secara regional.

Untuk menanggulangi keterlanjuran tersebut diperlukan dana yang besar untuk membangun banjir kanal.

Pemaduan pendekatan pematusan air larian disertai dengan upaya pengurangan debit air larian merupakan cara yang lebih tepat, yang dapat dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut.

- 1 Menyusun sistem drainase/pematusan regional terpadu secara terencana.
- 2 Membangun saluran drainase tanpa dinding kedap air ( dengan lapisan rumput dan bentuk geometrik yang terencana serta terawat untuk mempertahankan fungsi pengaliran sesuai rencana, serta dapat berfungsi sebagai saluran resapan )
- 3 Memperbaharui pengertian nisbah luas dasar bangunan ( building coverage ratio ) yang harus dihitung berdasarkan luas tanah yang tertutup lapisan kedap air ( bukan luas tapak bangunan gedung ).
- 4 Menyusun sistem tata resapan perkotaan dan wilayah pendukung sekitarnya.
- 5 Menyusun peraturan tingkat daerah atau nasional yang mengatur tentang langkah 1 dan 2 tersebut di atas yang disertai dengan peraturan pengendalian koefisien luas dasar bangunan.
- 6 Menerapkan dan menegakkan peraturan secara adil.

## Kesimpulan

Salah satu penyebab terjadinya banjir perkotaan adalah sistem drainase yang kurang terencana secara terpadu. Kekurang terpaduan sistem drainase tersebut tidak dapat menyelesaikan masalah, tetapi hanya mampu mengalihkan masalah, serta berdampak

pada kebutuhan dana yang besar untuk membangun prasarana drainase tambahan yang mahal.

Pembangunan sistem drainase secara terpadu dan terencana secara regional, dengan memperhatikan upaya pengurangan air larian melalui upaya mempertahankan permukaan tanah terbuka dalam batas-batas tertentu, disertai sistem peraturan, pengendalian serta pengawasan yang adil merupakan pendekatan optimal yang berwawasan lingkungan dan murah.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abidin, Hasanuddin Z.,Dr., *Studi Penurunan Tanah Di Cekungan Bandung*, 2002, Jurusan Geodesi, Institut Teknologi Bandung.

Asdak, Chay, MSc.,PhD., 2002, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.*, Gadjah Mada University Press., Yogyakarta.

Budihardjo, Eko, Prof. Ir.,MSc., Hardjohubojo, S.,Ir.,MS., 1993, *Kota Berwawasan Lingkungan*, Penerbit Alumni, Bandung.

Budihardjo, Eko., Prof. Ir., MSc., Sujarto, Joko, Prof.,Dr., Ir., MSc., 1999, *Kota Berkelanjutan*, Penerbit Alumni, Bandung.

Budihardjo, Eko, Prof. Ir.,MSc., 1997 , *Tata Ruang Kota*, Penerbit Alumni, Bandung.

M e m e d , M o c h a m m a d , Ir.,Dipl.HE.,APU.,2002,*Pengelolaan Sumber Daya Air dan Lahan*, Jurusan

Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNJANI, Bandung.

U.S. Forest Service, 1980, *An Approach to Water Resource Evaluation of Non-Point Sivilcultural Source: An procedural Handbooks U.S. Environmental Protection Agency*, Athens, G.A.

U.S. Soil Conservation Service, 1972, *National Engineering Handbooks*. G.P.O, Washington, D.C.

## LAMPIRAN

Tabel 1. Nilai Koefisien Air Larian

TATAGUNA LAHAN	C
Perkantoran	
Di pusat kota	0,70 – 0,95
Di pinggiran kota	0,50 – 0,70
Perumahan	
Rumah tunggal	0,30 – 0,50
Rumah susun terpisah	0,40 – 0,60
Rumah susun bersambung	0,60 – 0,75
Perumahan di pinggiran kota	0,25 – 0,40
Daerah Industri	
Kepadatan industri rendah	0,50 – 0,80
Kepadatan Industri tinggi	0,60 – 0,90
Taman, kuburan	0,10 – 0,25
Tempat Bermain	0,20 – 0,35
Stasiun Kereta Rel	0,20 – 0,40
Daerah tak berkembang	0,10 – 0,30
Jalan Raya	
Perkerasan beraspal	0,70 – 0,95
Perkerasan beton semen	0,80 – 0,85
Trotoar	0,75 – 0,85
Daerah beratap	0,75 – 0,95
Tanah Lapang	
Berpasir, datar 2%	0,05 – 0,10
Berpasir, agak rata, 2 % – 7 %	0,10 – 0,15
Berpasir, miring 7 %	0,15 – 0,20
Tanah berlempung datar 2 %	0,13 – 0,17
Tanah berlempung agak rata 2 % - 7 %	0,18 – 0,25
Tanah berlempung miring 7 %	0,25 – 0,35
Tanah pertanian 0 % - 30 %	
Lahan kosong, rata	0,30 – 0,60
Lahan kosong, kasar	0,20 – 0,50
Lahan garapan, lempung tanpa tumbuhan	0,30 – 0,60
Lahan garapan, lempung dengan tetumbuhan	0,20 – 0,50
Lahan garapan, berpasir tanpa tetumbuhan	0,20 – 0,25
Lahan garapan, berpasir dengan tetumbuhan	0,10 – 0,25
Padang rumput, lempung	0,15 – 0,45
Padang rumput, berpasir	0,05 – 0,25
Hutan/tetumbuhan	0,05 – 0,25
Tanah Tidak Produktif, kemiringan > 30%	
Rata, kedap air	0,70 – 0,90
Kasar	0,50 – 0,70

Sumber : U.S. Forest Service, 1980

# PENGARUH PENGGUNAAN KNALPOT STANDAR KE BENTUK MODIFIKASI HEADER TERHADAP PERFORMANCE MESIN

Oleh :

Urip Subagio\* & Damawidjaya Biksono\*

\*Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin UNJANI

## ABSTRAK

Sejalan dengan perkembangan Ilmu dan Teknologi yang berkembang sangat pesat dalam bidang otomotif, banyak para ahli melakukan berbagai upaya dengan cara modifikasi maupun dengan cara penambahan alat dan peralatan pendukung lainnya, untuk mendapatkan hasil yang di inginkan antara lain hemat konsumsi bahan bakar dengan daya yang besar dan efisiensi mesin yang tinggi.

Salah satu komponen yang menarik dikaji, baik secara penampilan suara maupun performance mesin dengan jalan merubah manifold knalpot bentuk standart konfigurasi (4 1) ke bentuk modifikasi header (4 2 1), yang banyak digunakan dan diminati dikalangan masyarakat pencinta otomotif dengan merubah bentuk manifold knalpot tersebut. Pada penelitian ini akan ditunjukkan hasil performance mesin yaitu daya mesin yang dihasilkan serta jumlah konsumsi bahan bakar yang terpakai sebelum dan sesudah modifikasi knalpot tersebut di tinjau dari segi ekonomisnya.

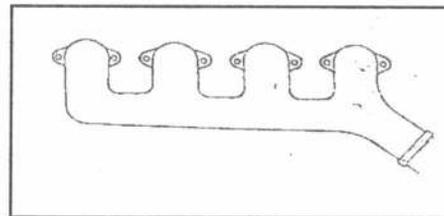
## 1. PENDAHULUAN

Diera globalisasi sekarang ini perkembangan industri otomotif yang sangat pesat baik dari segi bentuk dan aksesoris kendaraan yang banyak sekali ragam dan pilihan, namun kemajuan tersebut tak lain adalah untuk mendapatkan kemudahan, kenyamanan dan keamanan, sehingga akan dapat dengan mudah terpenuhi.

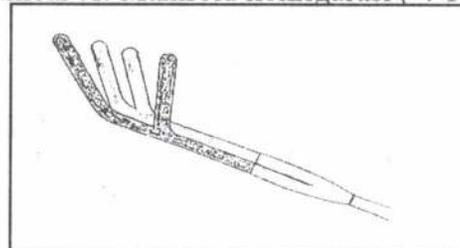
Untuk mengetahui performance mesin dengan cara modifikasi pada salah satu komponen dari suatu kendaraan bahan bakar Bensin 4 (empat) langkah dengan kapasitas 1300 cc yakni dengan memodifikasi bentuk manifold saluran gas buang standart konfigurasi (4 - 1) ke bentuk modifikasi konfigurasi (4 - 2 - 1).

Saluran gas buang berfungsi untuk menyalurkan sisa bahan bakar gas pembakaran yang keluar dari mesin dengan baik dan lancar dalam

Arti tidak ada hambatan, sistem pembuangan yang baik dengan cara memisahkan kepala saluran tersebut dari masing-masing silinder ke pipa pembuangan.



Gambar : 1. Manifold konfigurasi (4-1).



Gambar : 2 . Manifold modifikasi header konfigurasi (4 - 2 - 1).

## 1. IDENTIFIKASI MASALAH

Modifikasi bentuk saluran gas buang dari bentuk standar ( 4 - 1 ) ke bentuk modifikasi header konfigurasi ( 4 - 2 - 1 ) pada motor bensin 4 (empat) langkah kapasitas 1300 cc Tipe 4 K, namun secara umum belum ada informasi teknis mengenai hal ini dan seberapa jauh dampak dari modifikasi tersebut Terhadap performance mesin, tentunya dengan adanya perubahan dari bentuk saluran gas buang tipe standar ( 4 - 1 ) ke bentuk modifikasi header konfigurasi ( 4 - 2 - 1 ) akan berdampak pada mesin itu sendiri dan akan menghasilkan daya yang lebih besar dengan efisiensi mesin lebih tinggi, sehingga bisa menjadi masukan bagi pemakai yang ingin menggunakan header konfigurasi ( 4 - 2 - 1 ).

## 2. BATASAN MASALAH

Kajian tentang perubahan manifold dari bentuk standar ke bentuk modifikasi, mencakup berbagai aspek yang cukup luas maka pada penelitian ini penulis menfokuskan pada ; Daya yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang menggunakan knalpot tipe standar konfigurasi ( 4 - 1 ) dengan tipe modifikasi konfigurasi ( 4 - 2 - 1 ). Dengan 5 (lima) Varian putaran dari 1500 rpm sampai dengan 3500 rpm, dengan kenaikan putaran masing - masing varian 500 rpm kenaikan, dan menggunakan sistem satuan MKS.

## 3. TUJUAN PENELITIAN

Dengan penelitian ini diharapkan beberapa hal di antaranya :

- Penelitian dapat mengidentifikasi perbedaan mendasar : Daya yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang antara manifold standar dengan manifold modifikasi.
- Penelitian ini dapat melihat perbedaan kurva - kurva yang dihasilkan antara

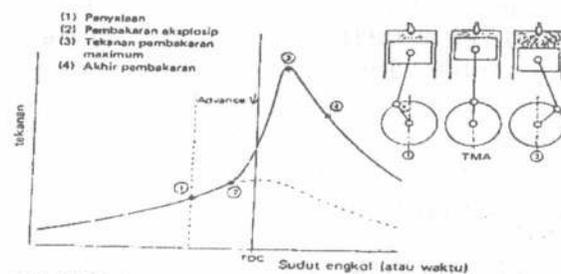
c. Penelitian ini dapat memberikan informasi teknis bagi yang telah menggunakan perubahan / modifikasi maupun yang belum memodifikasi manifold knalpot kendaraannya.

d. Dan penelitian ini dapat digunakan sebagai salah alternatif untuk meningkatkan daya mesin dan sebagai langkah awal untuk melakukan modifikasi knalpot yang disesuaikan dengan kebutuhan pengguna.

## 4. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu jenis energi yang banyak digunakan dewasa ini adalah energi kalor / panas dan banyak digunakan pada bidang otomotif, dengan merubah bahan bakar menjadi energi kalor / panas kemudian diubah menjadi energi mekanik, dan selanjutnya energi mekanik disalurkan ke roda penggerak untuk menjalankan kendaraan dan tentunya dengan melalui poros dan roda gigi transmisi.

Pada kendaraan umumnya mesin yang digunakan adalah motor bakar torak yang bergerak rotasi (bolak - balik), didalam silinder terjadi pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dinyalakan pada ruang tertutup pada bagian silinder (*Internal Combustion Engine*)



Gambar : 3. Pembakaran campuran udara bensin dan perubahan tekanan di dalam silinder.

### 1.1 Pembakaran Sempurna

Didalam pembakaran sempurna pembagian nyala api pada waktu ignition delay terjadi merata keseluruh bagian, pada mekanisme pembakaran yang sebenarnya terjadi beberapa phase. Pada saat gas bakar dikompresikan tekanan dan suhu naik, sehingga terjadi reaksi kimia dimana molekul-molekul hydrocarbon terurai dan bergabung dengan oxygen, bentuk ruang bakar yang dapat menimbulkan turbulensi pada gas tadi akan membuat gas bakar tersebut dapat tercampur dalam keadaan homogen. Sebelum langkah kompresi berakhir terjadilah percikan api pada busi yang kemudian membakar gas bakar tersebut, dengan timbulnya energi panas tekanan dan suhu naik secara mendadak sehingga torak terdorong menuju titik mati bawah (TMB).

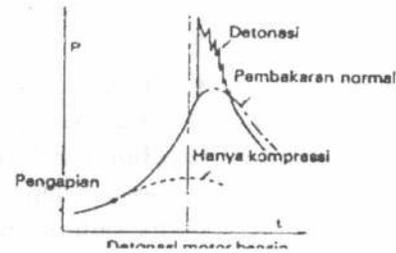
### 1.2 Pembakaran tidak Sempurna

*Knocking* : dalam hal ini gas baru yang belum terbakar terdesak oleh gas yang telah terbakar, sehingga tekanan dan suhu naik sampai mencampuri keadaan hampir terbakar, jika saat ini gas tadi gas tadi terbakar dengan sendirinya maka akan timbul ledakan (*detonasi*) yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan (*knocking noise*). Fluktuasi tekanan yang besar dan cepat ini terjadi pada akhir pembakaran, sebagai akibatnya tenaga mesin akan berkurang dan jika sering terjadi akan memperpendek umur mesin.

Hal-hal yang menyebabkan *knocking* :

- Perbandingan kompresi yang tinggi, tekanan kompresi, suhu pemasangan campuran dan suhu silinder yang tinggi.
- Masa pengapian yang terlalu cepat.
- Putaran mesin rendah dan penyebaran api lambat.

- Penempatan busi dan konstruksi ruang bakar tidak tepat, serta jarak penyebaran api terlampaui jauh.



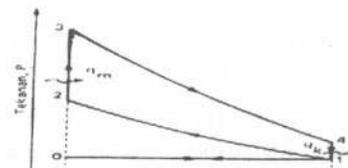
Gambar : 4. Grafik detonasi (*knocking*) pada motor bensin

### 5.3 Pre - ignition

Gejala pembakaran tidak normal adalah *pre - ignition* peristiwanya hampir sama dengan *knocking*, tetapi terjadinya *pre - ignition* hanya saat busi belum memercikan api. Disini bahan bakar terbakar dengan sendirinya sebagai akibat dari tekanan dan suhu yang cukup tinggi sebelum terjadinya busi menyala. Tekanan dan suhu tadi dapat membakar bahan bakar tanpa pemberian api dari busi, dengan demikian *pre - ignition* adalah peristiwa pembakaran yang terjadi sebelum sampai pada saat yang dikehendaki.

### 5.4 Siklus udara volume konstan (*Siklus- Otto*).

Siklus otto merupakan prinsip dasar dari kerja motor bensin, yang merupakan siklus udara dimana pemasukan kalor berlangsung pada volume konstan.



Gambar : 5. Diagram P - v dari siklus Otto.

## Keterangan Gambar 5 : (Diagram P – v dari siklus Otto )

1. Notasi Diagram P – v. :

- P = Tekanan Fluida kerja (kg/cm<sup>2</sup>)
- v = Volume Spesifik ( m<sup>3</sup>/kg )
- q<sub>m</sub> = Jumlah kalor masuk (kcal/kg)
- q<sub>k</sub> = Jumlah kalor keluar (kcal/kg)
- V<sub>1</sub> = Volume langkah torak ( m<sup>3</sup> ).
- V<sub>s</sub> = Volume sisa ( m<sup>3</sup> atau cm<sup>3</sup> ).
- TMA = Titik Mati Atas.
- TMB = Titik Mati Bawah.

2. Diagram Proses P – v :

- 0 – 1 = Isobarik..
- 1 – 2 = Adiabatik.
- 2 – 3 = Ischorik.
- 3 – 4 = Adiabatik.
- 4 – 1 = Isokhorik.
- 1 – 0 = Ishobarik.

3. Diagram Langkah P – v.

- 0 – 1 = Langkah Isap.
- 1 – 2 = Langkah kompresi.
- 2 – 3 = Proses pembakaran.
- 3 – 4 = Langkah kerja.
- 4 – 1 = Proses Pembuangan.
- 1 – 0 = Langkah Buang

## 6. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan penulis adalah dengan metode eksperimental melalui pengujian di laboratorium.

### 6.1 Data spesifikasi mesin uji.

Merk motor	: Toyota
Tipe Motor	: 4K – Over Head Value
Jumlah Silinder	: 4 buah.
Diameter Silinder	: 75 mm.
Langkah Torak	: 65,5 mm.
Rasio Kompresi	: 9,5 : 1.
Kapasitas	: 1300 cc.

### 1.1 Persamaan yang digunakan dalam pengolahan data :

2. Daya Poros ( N<sub>e</sub> ) :

$$(N_e) = \frac{T.n}{716,2} (Ps).$$

2. Tekanan Effektif ( P<sub>e</sub> ) :

$$(P_e) = \frac{450.000.N_e}{v.l.z.n.a} (kg/cm^2).$$

6 Tekanan Indikator ( P<sub>i</sub> ) :

$$(P_i) = \frac{P_e}{\eta_m} (kg/cm^2).$$

7 Daya Indikator ( N<sub>i</sub> ) :

$$(N_i) = \frac{P_i.v.l.z.n.a}{450.000} (Ps).$$

8 Konsumsi Bhn. Bakar spesifik (B) :

$$(B) = \frac{Gf}{Ni} \left( \frac{kg/jam}{Ps.} \right)$$

9 Efisiensi Thermal Efektif ( η<sub>te</sub> ) :

$$\eta_{te} = \frac{N_i}{G f x Q c} x 632 (\%).$$

- Panjang lengan ( l ) = 47 cm.
- Langkah Piston ( L ) = 65,5 mm.
- Koefisien Stroke ( a ) = 0,5.
- Perbandingan Kompresi ( ε ) = 9,5

6.3 Data hasil pengamatan :

a. Tabel saluran gas buang standar.

N (rpm)	Beban (kg)	G <sub>r</sub> (s/100gr)	CO (%)	HC (ppm)
1500	10,26	95,40	7,41	292
2000	10,86	69,30	6,29	262,3
2500	11,16	61,40	4,53	219,3
3000	11,10	53,53	4,54	183,6
3500	10,40	44,96	4,14	163

b. Tabel saluran gas buang modifikasi .

N (rpm)	Beban (kg)	G <sub>r</sub> (s/100gr)	CO (%)	HC (ppm)
1500	10,13	79,80	7,37	240
2000	11,18	63,40	6,05	214
2500	12,40	47,23	7,09	213
3000	12,50	38,10	7,21	218
3500	12,63	34,43	7,32	186

6.4 Data hasil perhitungan :

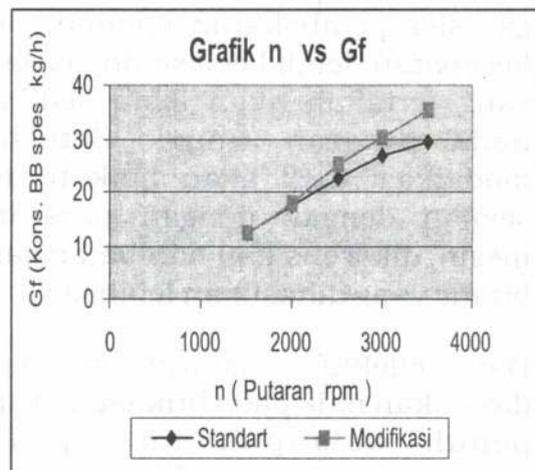
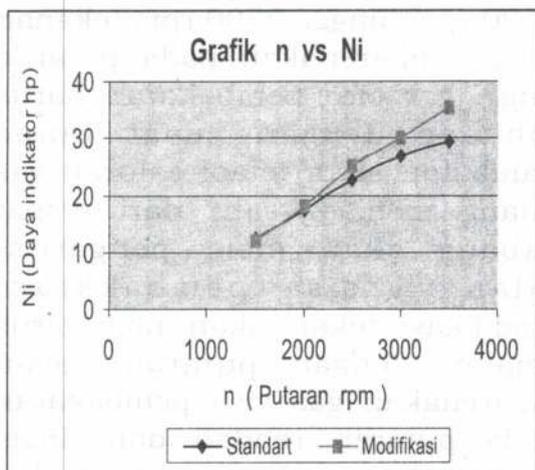
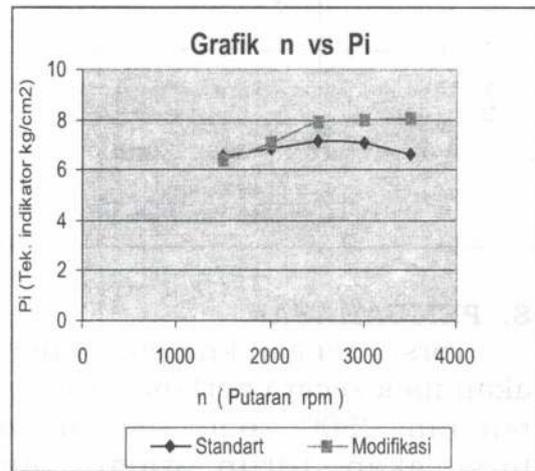
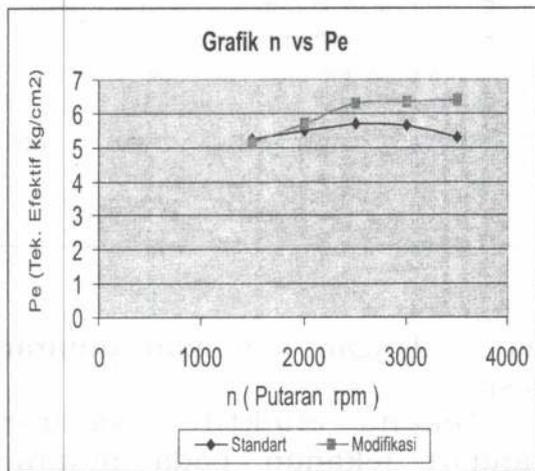
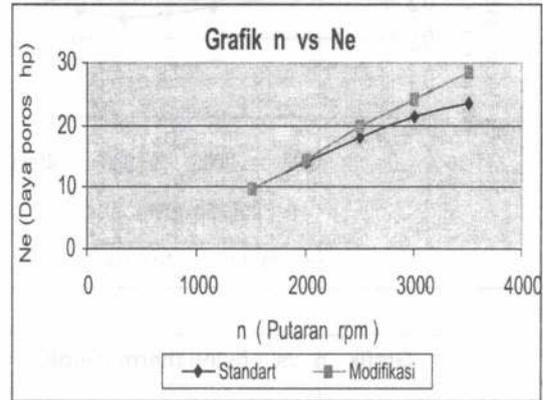
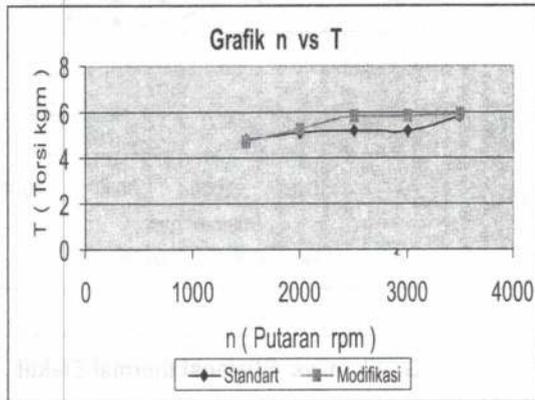
a. Tabel hasil perhitungan saluran gas buang standar.

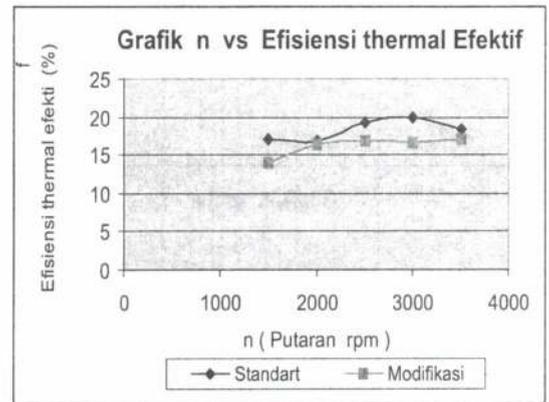
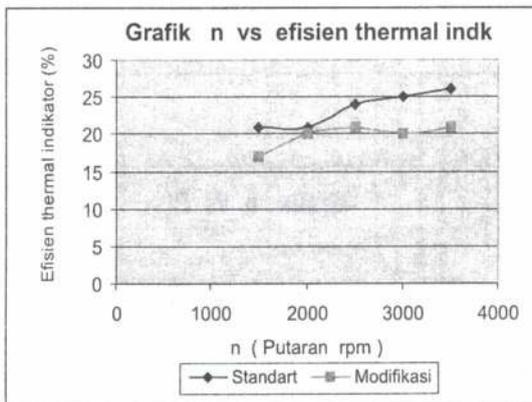
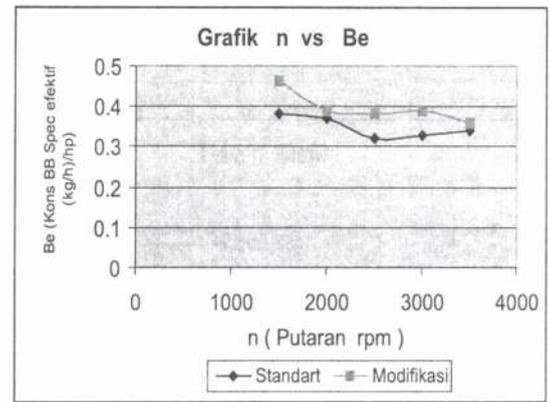
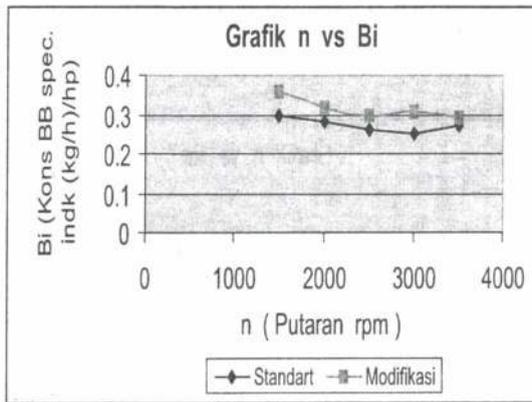
Putaran (rpm)	Beban (kg)	Torsi (kgm)	N <sub>e</sub> (hp)	P <sub>e</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>i</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	N <sub>i</sub> (hp)	G <sub>f</sub> (kg/jam)	B <sub>i</sub> (kg/jam)/hp	B <sub>e</sub> (kg/jam)/hp	η <sub>thi</sub> (%)	η <sub>the</sub> (%)
1500	10,28	4,82	9,90	5,24	6,55	12,4	3,77	0,30	0,38	21	17,0
2000	10,86	5,10	14,04	5,50	6,87	17,3	5,19	0,30	0,37	21	16,8
2500	11,16	5,24	18,03	5,69	7,11	22,5	5,86	0,26	0,32	24	19,2
3000	11,10	5,21	21,52	5,66	7,07	26,8	6,72	0,25	0,32	25	20,0
3500	10,40	5,88	23,52	5,30	6,62	29,3	8,00	0,27	0,34	23	18,4

b. Tabel hasil perhitungan saluran gas buang modifikasi.

Putaran (rpm)	Beban (kg)	Torsi (kgm)	N <sub>e</sub> (hp)	P <sub>e</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	P <sub>i</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	N <sub>i</sub> (hp)	G <sub>f</sub> (kg/jam)	B <sub>i</sub> (kg/jam)/hp	B <sub>e</sub> (kg/jam)/hp	η <sub>thi</sub> (%)	η <sub>the</sub> (%)
1500	10,13	4,76	9,70	5,14	6,42	12,20	4,50	0,36	0,46	17	13,9
2000	11,18	5,25	14,40	5,68	7,10	17,90	5,67	0,31	0,39	20	16,3
2500	12,40	5,82	20,02	6,32	7,90	25,00	7,62	0,30	0,38	21	16,9
3000	12,50	5,87	24,16	6,36	7,95	30,20	9,40	0,31	0,39	20	16,5
3500	12,63	5,93	28,50	6,42	8,02	35,50	10,45	0,29	0,36	21	17,0

## 7. GRAFIK PENGGUNAAN KNALPOT STANDAR DAN MODIFIKASI.





## 8. PEMBAHASAN

Torsi ; dengan knalpot standar akan naik secara perlahan sampai putaran 2500 rpm, selanjutnya torsi akan turun walau pun putaran mesin ditambah dikarenakan pada putaran rendah gas sisa pembakaran mempunyai kecepatan lebih kecil sehingga gas yang tertahan akan lebih sedikit pada putaran tinggi. Setelah modifikasi torsi akan naik terus sejalan dengan dengan putaran mesin, dikarenakan hambatan gas buang yang dihasilkan lebih kecil.

Daya efektif ; saluran standar daya akan naik pada bukaan katup penuh walaupun torsi pada putaran tinggi turun, dikarenakan daya yang dihasilkan akan naik dengan kenaikan putaran mesin. Modifikasi daya yang dihasilkan

meningkat

seiring dengan kenaikan putaran mesin.

Tekana efektif ; saluran standar tekanan pada putaran 1500 rpm sampai dengan 2500 rpm akan naik terus kemudian pada 2500 rpm hingga 3500 rpm tekanan turun, dikarenakan pada putaran tinggi gas sisa pembakaran harus dibuang dengan cepat tanpa hambatan akan tetapi saluran gas buang menjadi satu dari empat cabang akan memengaruhi jalannya sisa pembakaran. Modifikasi tekan akan naik terus sejalan dengan putaran mesin dikarenakan gas sisa pembakaran pada putaran rendah dan tinggi dapat dibuang dengan cepat dan tanpa hambatan karena saluran dibuat bercabang sehingga gas yang keluar hambatannya kecil.

Tekanan indikator ; saluran standart tekanan pada putaran 1500 rpm naik terus sampai dengan 2500 rpm, selanjutnya dari putaran 2500 rpm sampai dengan 3500 rpm tekanan akan turun dikarenakan pada putaran tinggi gas sisa pembakaran harus dibuang dengan cepat tanpa hambatan akan tetapi saluran gas buang menjadi satu dari empat cabang akan memengaruhi jalannya sisa pembakaran. Pada modifikasi tekan akan naik terus sejalan dengan putaran mesin di karenakan gas sisa pembakaran pada putaran rendah ke tinggi dapat dibuang dengan cepat dan tanpa hambatan karena saluran dibuat bercabang sehingga gas yang keluar hambatannya kecil.

Konsumsi bahan bakar ; saluran standart penggunaan bahan bakar terlihat lebih irit hal ini terjadi karena pada saat gas sisa pembakaran dibuang masih terdapat gas yang tersisa dalam ruang bakar dan apabila di ruang pembakaran gas yang tertinggal banyak maka bahan bakar yang masuk akan sedikit. Untuk modifikasi bahan bakar terlihat lebih boros , hal ini terjadi bahwa pada saat gas sisa pembakaran dapat dibuang seluruhnya sehingga bahan bakar yang masuk keruang pembakaran akan lebih banyak

Konsumsi bahan bakar spesifik ; pada saluran gas buang standart turun perlahan dari putaran 1500 rpm sampai dengan 3000 rpm dan dari 3000 rpm sampai dengan 3500 rpm terjadi kenaikan, hal ini di sebabkan dari daya yang meningkat karena putaran mesin tinggi serta di ikuti pemakaian bahan bakar yang lebih banyak. Sedangkan untuk modifikasi konsumsi bahan bakar spesifik cenderung turun dari putaran rendah ke putaran tinggi di

yang banyak serta di ikuti pula meningkatnya daya motor.

Efisiensi thermal ; untuk modifikasi efisiensi lebih rendah jika dibandingkan dengan standart, hal ini disebabkan karena konsumsi kebutuhan bahan bakar lebih boros. Sedangkan saluran standart efisiensinya lebih tinggi disebabkan penggunaan konsumsi bahan bakar lebih irit jika dibandingkan dengan saluran modifikasi

## 9. PENUTUP

### Kesimpulan.

Dari data-data hasil pengujian dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut ;

- Penggunaan saluran gas buang modifikasi header kon-figurasi ( 4 - 2 - 1 ) daya yang dihasilkan meningkat terutama pada putaran mesin yang tinggi, akan tetapi pada putaran mesin rendah daya yang dihasilkan relatif sama
- Konsumsi bahan bakar dengan menggunakan saluran gas buang modifikasi terlihat lebih boros, lihat tabel penggunaan bahan bakar dengan menggunakan saluran gas buang standart pada putaran mesin 2500 rpm memerlukan 61,40 ( s/100 gr ) sedangkan pada saluran gas buang modifikasi menghabiskan 47,23 ( s/100 gr ) pada putaran mesin yang sama dan di ikuti dengan meningkatnya daya motor. Akan tetapi dari konsumsi bahan bakar yang boros tersebut tidak seluruhnya bahan bakar itu terbakar dengan sempurna, hal ini terlihat dari hasil kadar emisi gas buang CO (carbon monoksida) yang dihasilkan menunjukkan peningkatan konsumsi bahan bakar.

### **Saran.**

- Jika kendaraan digunakan untuk keperluan operasional sehari - hari dan jarak dekat ( dalam kota ) disarankan lebih baik menggunakan saluran gas buang (knalpot) manifold standart karena selain konsumsi bahan bakar lebih irit serta pencemaran udara lebih bersih, pertimbangan lainnya adalah dilihat dari harga bahan bakar yang diperlukan dan segi ekonomisnya.
  
- Dan apabila kendaraan untuk keperluan - an *dragrace* atau khusus luar kota lebih baik menggunakan saluran gas buang (knalpot) manifold modifikasi karena makin tinggi putaran mesin makin tinggi pula daya yang dihasilkan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

1. Addison, " Applications of Thermodynamics", Second Edition, Wesley Publishing Company, Inc., 1982.
2. ARISMUNANDAR, Wiranto. " Penggerak Mula Motor bakar torak", edisi keempat, ITB - Bandung, 1988.
3. BPM. Arends, H. Berenschot, " Motor Bensin " , 1980
4. Engine Step 2, PT. Toyota - Astra Motor.
5. M. M. EL - Wakil , " Powerplant Technology", McGraw-Hill, Ltd., 1984.

## ANALISA KERUSAKAN PADA TURBINE BUCKET YANG TERBUAT DARI MATERIAL NICKEL BASE ALLOY MAR-M-246

Leni Juwita\*, Mabe Siahaan\*\*, Yayan Herdayana Sulung Tenggara\*

\*Jurusan Teknik Metalurgi UNJANI

\*\*Peneliti LAPAN

### ABSTRAK

Dari hasil pemeriksaan metalurgis terhadap turbine bucket nomor 120 dari stage 1 terlihat bahwa benda tersebut telah mengalami oksidasi dan hot corrosion, selain itu bucket tersebut telah mengalami deformasi / distorsi yang memperlihatkan indikasi adanya fenomena creep. Pemeriksaan dengan EDAX memperlihatkan bahwa material bucket adalah MAR-M-246, Cast Nickel Base Superalloys.

Pemeriksaan dengan EDAX menunjukkan bahwa bucket telah mengalami perbaikan dua kali dengan menggunakan coating masing-masing AlNi, ZrO dan adanya indikasi coating dengan menggunakan Platiniun (PtAl<sub>2</sub>). Pemeriksaan metalografis memperlihatkan adanya fasa sigma (CrCo) berbentuk plate / jarum, yang sangat getas dengan indikasi adanya peningkatan nilai kekerasan.

Telah terjadi kerusakan coating yang mengakibatkan teroksidasinya karbida / dan terjadi reaksi sulfida masing-masing pada batas butir yang menyebabkan timbulnya micro-crack. Hal ini tersebut menunjukkan bahwa turbine bucket telah terekspose panas dengan temperatur sekitar 570-1093 °C.

Akibat mekanisme kerusakan yang terjadi, maka turbine bucket tersebut memiliki kehandalan yang sangat rendah. Untuk mengembalikan pada kondisi semula perlu dilakukan reparasi dengan welding (rebuilding) yang dilanjutkan dengan proses heat treatment untuk menurunkan tegangan sisa hasil welding sekaligus mengembalikan sifat mekanik kepada kondisi semula sesuai disain.

### PENDAHULUAN

Dalam peningkatan kualitas sesuai kebutuhan, suatu material selalu mengalami perubahan dan perbaikan. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya tuntutan kebutuhan teknologi. Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin tinggi persyaratan kerja maka material superalloys sebagai pilihan yang sesuai.

Sekarang ini telah banyak ditemukan berbagai macam trade marks

dari superalloys. Salah satu contohnya adalah jenis MAR-M, yang mana jenis ini merupakan hasil dari Trade Marks of Martin Marietta Corporation.

Salah satu contoh aplikasi material superalloys adalah : Turbine bucket, Combustion Cans, turbin disks (Wheels), Vanes dan komponen mesin turbin lainnya.

Dalam penelitian ini hanya disajikan material Superalloys jenis Nickel base

Superalloys, tipe MAR-M-246. Material ini biasa dipakai pada turbine bucket, karena MAR-M-246 memiliki sifat tahan aus, tetap stabil pada temperatur relatif tinggi, dan mempunyai kuat tarik yang bagus pula.

#### **Latar Belakang Masalah**

Penelitian terhadap material MAR-M-246, berawal dari timbulnya kerusakan / kegagalan suatu komponen turbin gas. Komponen yang mengalami kerusakan tersebut adalah turbine bucket.

Menurut informasi dari pemakai turbin gas ini memiliki kekuatan (power) 22 MW, dengan kecepatan putaran (speed) 5100 rpm (design), dan temperatur operasi pada thermocouple adalah 1150 °C, dimana temperatur masuknya 567 °C serta tekanan (pressure) sebesar 12 bar. Sedangkan kerusakan turbine bucket terjadi setelah komponen ini beroperasi 7000 jam, dimana sebelumnya komponen ini telah diperbaiki sebanyak dua kali.

Pengamatan turbine bucket ini dikonsentrasikan pada bucket nomor 120 dalam stage I, dasar pertimbangan pengambilan lokasi pengamatan ini, karena pada bucket ini kerusakan paling parah, sehingga pengambilan contoh (sample) pada lokasi ini cukuplah memenuhi persyaratan analisa kerusakan (failure analysis).

Disamping itu pula, ada suatu alasan yang mendasari yakni : bucket yang diidentifikasi tidak diperbolehkan dilakukan pengujian yang sifatnya merusak, karena bucket tersebut akan diperbaiki (repaired) dan digunakan lagi. Sehingga semua pengujian termasuk uji komposisi kimia, uji kekerasan (Hv), struktur mikro tidak boleh bersifat merusak, kecuali pada ujung bucket (bucket tip) sejauh 3 mm, yang mana daerah ini mengalami kerusakan yang paling parah.

## Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sejauh mana kerusakan yang dialami oleh bucket.
2. Mempelajari rekomendasi (saran) berkenaan dengan pembaharuan (refurbishment), perbaikan (repair), ataupun penggantian (replacement).

## Batasan Masalah dan Ruang Lingkup Evaluasi

Penelitian ini mempunyai batasan, sehubungan dengan bucket yang diidentifikasi tidak diperbolehkan dilakukan pengujian yang sifatnya merusak, termasuk uji komposisi kimia, uji kekerasan (Hv), struktur mikro, kecuali pada daerah dibagian ujung bucket (bucket tip) sejauh 3 mm, hal ini diizinkan karena daerah ini mengalami kerusakan paling parah.

Dengan adanya keterbatasan ini maka, sangatlah berpengaruh terhadap analisa metalurgi, terutama menyangkut umur sisa yang dikaitkan dengan fenomena metalurgi yang terjadi pada lokasi turbine bucket.

Faktor lain adalah sulitnya mendeteksi komposisi kimia, karena dimensi contoh (sample) yang diberikan relatif kecil, sehingga haruslah diperiksa oleh EDAX (Energy Dispersive Analysis X-ray).

Berkaitan dengan hal tersebut, maka dalam proses pengamatan dan pengujian dilakukan langkah sebagai berikut :

1. Melakukan pengamatan Visual, dengan memakai kamera optik.
2. Melakukan pengujian komposisi kimia pada bagian bucket tip oleh EDAX.
3. Memeriksa komposisi lapisan (coating), komposisi karbida, dan komposisi presipitat oleh EDAX guna menentukan sifat fisik dan sifat mekanik material

yang dikaitkan dengan mekanisme kerusakan yang terjadi.

4. Melakukan uji kekerasan (Hv) pada bucket tip.

## METODA PENELITIAN

Pada bagian ini menjelaskan tentang urutan-urutan dari proses penelitian. Hal ini dimaksudkan agar komponen yang diidentifikasi dapat diketahui pokok permasalahannya secara sistematis dan jelas.

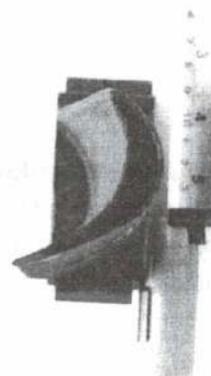
Dibawah ini skema proses penelitian yang dilakukan :

## DATA DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan secara visual

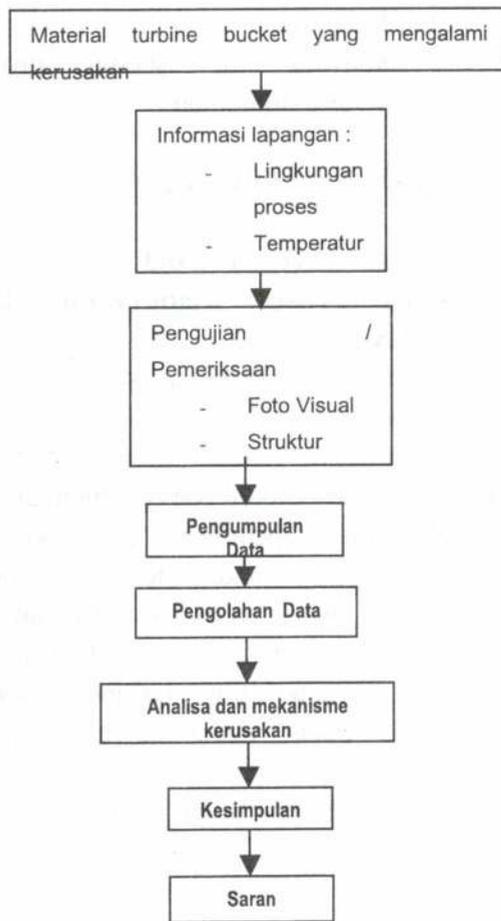
#### Indikasi Proses Manufaktur dari Turbin Bucket

Hasil pemeriksaan secara visual seperti tampak pada gambar di bawah ini tampak adanya rongga ditengah turbine bucket. Tujuan dibuat rongga ditengah ini adalah sebagai pendingin (air cooling) agar turbine bucket tersebut tidak mengalami over heating. Fungsi lainnya yaitu untuk mengurangi berat turbine bucket, karena bila turbine bucket berbentuk pejal, maka turbine bucket tersebut akan lebih berat sehingga memiliki gaya sentrifugal yang jauh lebih tinggi.



Gambar Rongga dalam Turbin

Karena adanya rongga di turbine bucket tersebut, hal ini memberikan indikasi bahwa pembuatannya dilakukan dengan menggunakan proses investment casting dengan sistim coring. Sebab jika pembuatannya menggunakan proses forging, maka untuk membuat rongga akan sangat sulit, karena ketipisan dan kemiringan bentuk sangat rumit . Informasi proses pembuatan akan membantu dalam menentukan komposisi kimia pada bucket apakah termasuk keluarga wrought alloy atau cast alloy



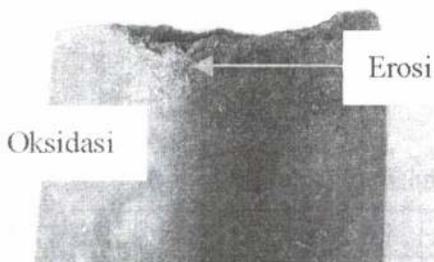
### Indikasi Terjadi Oksidasi dan Erosi

Dari gambar terlihat indikasi adanya oksidasi diseluruh permukaan turbine bucket. Hal ini terlihat sangat jelas yang ditandai dengan warna coklat hitam akibat turbine bucket tersebut beroperasi pada temperatur tinggi (  $T > 567\text{ }^{\circ}\text{C}$  ).

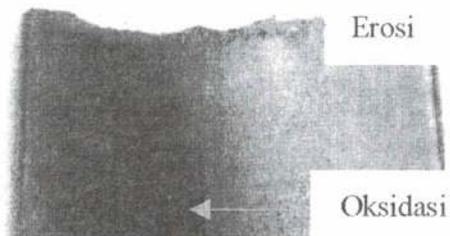


**Gambar Terlihat oksidasi diseluruh permukaan**

Pada gambar dibawah terlihat bagaimana coating teroksidasi akibat beroperasi pada temperatur tinggi, hal ini bila terjadi terus menerus dengan waktu yang lama akan mengakibatkan menipisnya coating yang selanjutnya akan menyebabkan beroperasinya mekanisme kerusakan lainnya seperti terjadi oksidasi dan erosi pada logam induk (base metal) melalui batas butir.

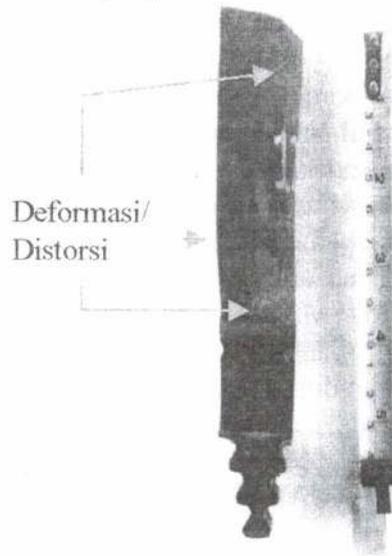


**Gambar Bagian yang terjadi oksidasi & erosi**



### Indikasi Terjadinya Creep atau Deformasi Plastik

Hasil pengamatan visual, menunjukkan adanya fenomena creep dibagian concave dan convex turbine bucket, akibat beroperasi pada temperatur tinggi dan tegangan akibat gaya sentrifugal yang bergerak secara terus menerus dalam waktu yang lama.



**Gambar Tampak terjadinya Deformasi**

Creep menyebabkan turbine bucket terdeformasi atau terdistorsi menyimpang dari kondisi awal (original material geometri).

### Indikasi Terjadinya Korosi Temperatur Tinggi (Hot Corrosion)

Dari gambar dibawah ini nampak terjadinya korosi temperatur tinggi (hot corrosion) diujung turbine bucket. Hal ini terjadi karena turbine bucket tersebut beroperasi pada temperatur tinggi yang mengakibatkan lapisan coating terbakar dan habis, yang akhirnya base metalpun mengalami hot corrosion. Terlihat pengelupasan material setebal 2-3 mm akibat korosi ini (hot corrosion)

**Pemeriksaan komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro**  
**Pemeriksaan Komposisi Kimia Logam dasar (Base Metal)**

Hasil pemeriksaan komposisi kimia base metal menggunakan X-Ray Energy Dispersion Analysis (EDAX). Pertimbangan penggunaan EDAX dilakukan karena pada benda uji disyaratkan tidak boleh dilakukan uji merusak, dan terbatasnya benda uji (spesimen). Bila hasil pemeriksaan komposisi kimia dibandingkan dengan Nickel Brand Name, maka material bucket tersebut mendekati ke jenis MAR-M-246<sup>(11)</sup>. Karena semua unsur yang terkandung dari hasil pemeriksaan masuk kepada spesifikasi unsur-unsur yang terkandung pada alloy MAR-M-246 kecuali unsur Aluminium yang agak menyimpang. Hal tersebut akan dibahas berikut ini.

Unsur aluminium dari hasil pemeriksaan lebih kecil dibanding dengan MAR-M-246, kemungkinan

berkurangnya aluminium tersebut akibat terjadinya oksidasi

$2Al + 3/2 O_2 \rightarrow Al_2O_3$ . Hal ini terjadi pada temperatur tinggi, dimana awal keberadaan aluminium terletak pada base metal tetapi pada saat oksidasi berdifusi keluar ke atas membentuk  $Al_2O_3$ <sup>(11)</sup>. Kemungkinan lainnya adalah unsur Aluminium terikat membentuk fasa gamma prime sebagai presipitat penguat. Untuk unsur karbon di material MAR-M-246 kandungan karbonnya 0,15 %, namun dari hasil pengujian EDAX unsur karbon tidak terdeteksi. Hal ini terjadi karena spektrum energi atom karbon diluar range detektor X-Ray sehingga unsur tersebut tidak muncul. Unsur-unsur Mo, Cr, Co, Ta dan W bereaksi dengan karbon membentuk fasa-fasa karbida yang berfungsi meningkatkan kekuatan dan ketahanan panas<sup>(1)</sup>. Untuk unsur krom dan aluminium berfungsi untuk perlindungan permukaan membentuk lapisan pasive  $Cr_2O_3$  dan  $Al_2O_3$ <sup>(2)</sup>.

**Tabel Hasil Pemeriksaan Komposisi Kimia (% mass)**

Unsur	Cr	Co	Ti	Mo	Si	Al	Co	Ta	Fe	Mn	W	Ni
Bucket Hasil Pemeriksaan	9.76	8.47	2.12	2.44	0.16	1.52	8.47	0	1.93	0.76	10.89	61.94
MAR-M-246	9.00	10.0	1.5	2.5	-	5.5	10.0	1.5	-	-	10	60

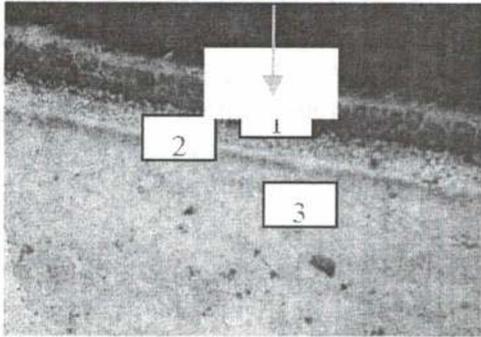
**Lapisan (Coating)**

Pengujian dengan menggunakan EDAX untuk mengidentifikasi jenis coating menunjukkan bahwa coating pada turbine bucket adalah  $\beta$ -NiAl. Gambar memperlihatkan penampakan coating pada

turbine bucket dan profile coating menuju base metal.

### Lapisan (Coating)

Pengujian dengan menggunakan EDAX untuk mengidentifikasi jenis coating menunjukkan bahwa coating pada turbine bucket adalah  $\beta$ -NiAl. Gambar memperlihatkan penampakan coating pada turbine bucket dan profile coating menuju base metal.



Gambar Penampakan Coating pada Turbine bucket

Dengan melihat coating  $\beta$ -NiAl ini, maka pada permukaan bagian luar akan terbentuk lapisan oksida  $Al_2O_3$  yang merupakan lapisan yang sangat protektif namun rentan terhadap spalling akibat siklus termal. Namun demikian pada pemeriksaan komposisi kimia terdapat unsur Zr yang menunjukkan adanya kemungkinan bucket pernah mengalami pelapisan dengan Zirconium Oksida. Pada pengujian juga muncul platinum (Pt) dan Silicon (Si) yang ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan coating aluminide terhadap degradasi pada temperatur tinggi. Ditemukannya unsur sulfur (S) dan chloride (Cl) mengindikasikan adanya produk hot corrosion, atau disebut juga dengan sulfidation, pada zona coating.



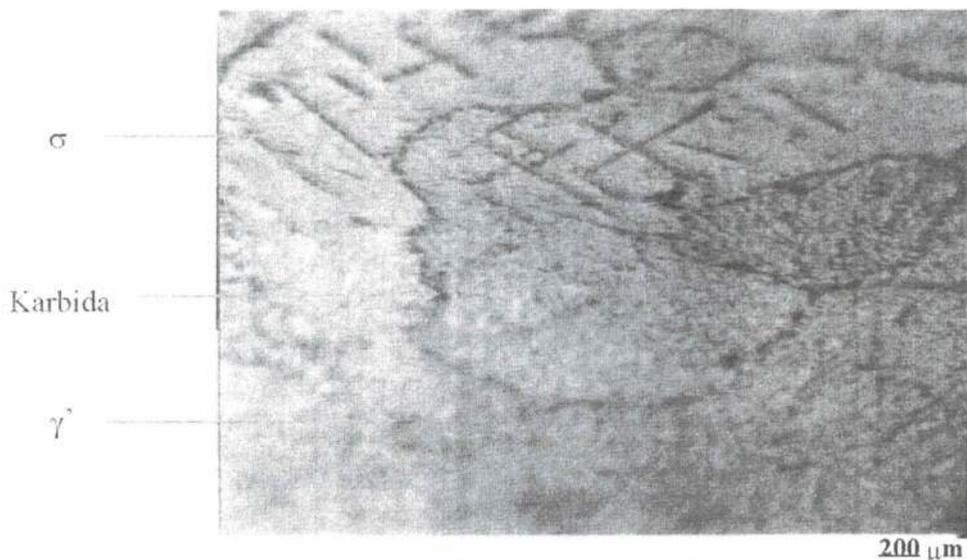
Gambar Profile Coating Menuju Base Metal pada Turbine Bucket

### Pemeriksaan Struktur Mikro Struktur Mikro Base Metal

Struktur mikro base metal sudu turbin memperlihatkan tipikal struktur mikro pada nickel-base superalloy yang sudah terekpos pada temperatur tinggi dengan waktu lama. Pada gambar tersebut terlihat fasa  $\gamma'$  pada butiran, karbida pada batas butir dan fasa sigma yang berbentuk jarum (plate). Fasa  $\gamma'$  adalah presipitat berbentuk sferoidal yang merupakan senyawa intermetalik  $Ni_3Al$  dengan Ti dan berbagai unsur terlarut lainnya. Selama operasi fasa ini dapat membentuk lapisan pada batas butir disekeliling karbida. Karbida pada batas butir merupakan fasa

yang keras dan merupakan senyawa  $Cr_{23}C_6$  (1)

Pada gambar terlihat juga adanya fasa  $\sigma$  yang berbentuk pelat memanjang. Berdasarkan hasil penembakan setempat pada fasa tersebut, diketahui bahwa fasa  $\sigma$  tersebut merupakan senyawa  $CrCo$ . Fasa ini terbentuk setelah bucket mengalami pemaparan pada selang temperatur antara  $540 - 980$  °C. Fasa ini tidak diharapkan muncul karena sifatnya yang getas, sehingga menurunkan sifat ulet dan memperpendek rupture life.



Gambar Struktur Mikro Nickel Base superalloys

### Struktur mikro lapisan (Coating)

Dari gambar terlihat dengan sangat jelas bahwa turbine bucket terdiri dari coating utama, zona interdifusi dan base metal. Berdasarkan pengujian untuk Nickel-based superalloy ini jenis coatingnya adalah aluminide. Coating tersebut berfungsi sebagai pelindung terhadap oksidasi dan hot corrosion. Sedangkan lapisan kedua

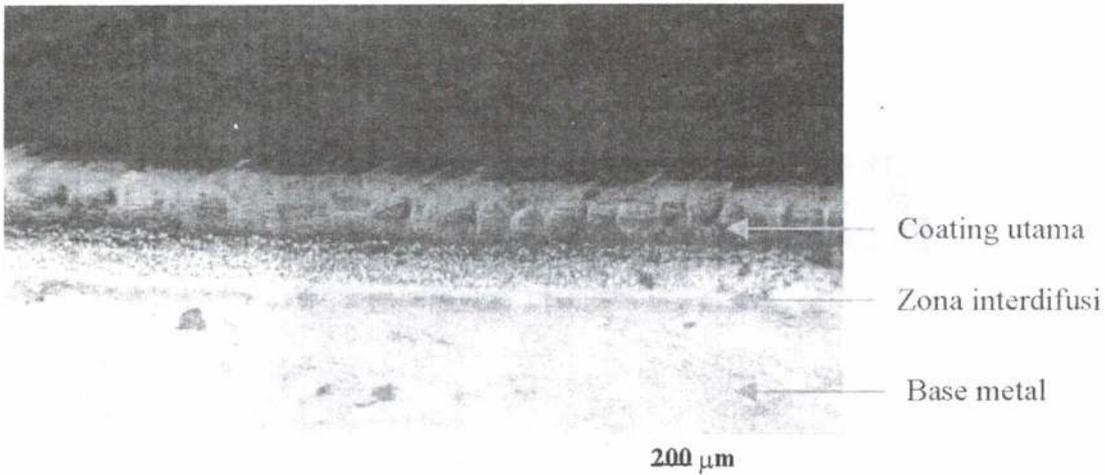
yaitu interdifusi aluminide dengan base metal.

Gambar menunjukkan Intergranular attack pada batas butir yang pada akhirnya micro crack ini dapat menjalar dan menghasilkan instabilitas di batas butir sehingga menyebabkan meningkatnya kemungkinan kegagalan komponen. Hal ini terjadi akibat oksidasi yang terus-menerus. Gambar

memperlihatkan terjadinya oksidasi yang menyerang permukaan serta karbida pada batas butir akibat rusaknya coating. Penampakan lain adalah adanya produk hot corrosion (sulfida) sebagaimana diperlihatkan pada gambar hal ini dibuktikan dari hasil penembakan EDAX pada titik tersebut, dimana ditemukan 36,53 % unsur sulfur (S).

### Pemeriksaan Kekerasan / Uji Mekanik Material

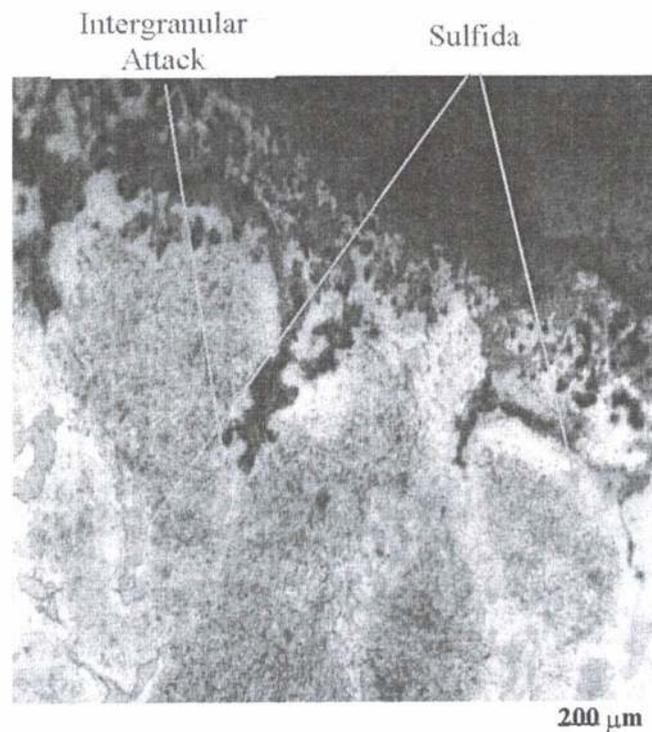
Pada Tabel dibawah, ditampilkan harga dari kekerasan bucket tip sebagai berikut.



**Gambar Intergranular Attack**

Tabel Harga kekerasan (Hv)

Lokasi Pengujian	Nilai kekerasan (Hv)		
	1	2	3
A	447	441	441
B	447	400	435



Dari hasil microhardness testing dengan Vickers dari tiga titik pengujian secara in-situ, ditemukan nilai kekerasan pada bucket tip adalah, rata-rata 440 HV (atau ekuivalen dengan 420 BHN). Jadi kekerasan tersebut menunjukkan kondisi

material yang telah beroperasi selama 7000 jam. Sedangkan data sifat mekanik kondisi awal tidak didapatkan, sehingga untuk data uji tarik material awal hanya berorientasi kepada data empirik (literatur). Hal ini dikarenakan tidak memungkinkan

dilakukan pengujian, maka informasi dapat diambil secara empirik bahwa untuk MAR-

M-246 pada suhu 25 C kekuatan tariknya adalah 140 Ksi atau equivalent dengan kekerasan Vickers 290 atau 220 BHN-lihat lampiran. Dari data diatas terlihat pada spot tersebut (bucket tip) ada peningkatan nilai kekerasan setelah 7000 jam beroperasi. Kemungkinan hal ini ada hubungannya dengan terbentuknya fasa sigma yang dapat menyebabkan penggetasan (embrittlement) pada material, kekuatan meningkat ( $\sigma_{UTS}$ ,  $\sigma_{YS}$ , BHN) tetapi keuletan turun (e %). Implikasi hal tersebut terhadap kehandalan (performance) turbine bucket akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

### **Mekanisme kerusakan dan kehandalan (performance) bucket**

#### **Mekanisme Kerusakan Turbine Bucket**

Pada saat beroperasi turbine bucket mengalami suhu tinggi dan gaya sentrifugal yang tinggi melebihi komponen lainnya dalam turbin gas. Oleh sebab itu secara alamiah mereka memiliki umur pakai adanya berbagai mekanisme kerusakan yang beroperasi terjadi pada kondisi seperti itu.

Pada dasarnya terdapat tiga kategori jenis kerusakan pada turbine bucket, yakni <sup>(9,10)</sup>:

1. Akibat aspek lingkungan : oksidasi dan korosi suhu tinggi
2. Akibat aspek mekanik : mulur (creep), thermal fatigue, interaksi fatigue-creep, thermal shock, dan sebagainya.
3. Akibat instabilitas metalurgis : pengkasaran / coarsening fasa  $\gamma$ , pembentukan fasa sigma ( $\sigma$ ) pengkasaran / pembentukan karbida  $M_{23}C_6$  dan MC pada batas butir, incipient melting, serta pembentukan fasa-fasa lainnya yang lebih stabil.

### **Kerusakan Akibat Faktor Lingkungan**

Pada sample as received (as-coated), lapisan coating adalah NiAl. Akibat pemaparan pada temperatur tinggi yang oksidatif maka terbentuklah lapisan diatas NiAl yaitu  $Al_2O_3$ . Hal tersebut merupakan hasil reaksi antara oksigen dan Alumunium pada coating. Selanjutnya pada siklus termal lapisan terluar ini dapat mengalami spalling sehingga dibebberapa bagian terlihat terkelupas. Di sisi lain di daerah yang terkelupas dapat mengalami kekurangan Alumunium yang mengakibatkan terjadinya reaksi antara oksigen dengan nickel dan chrome yang menghasilkan lapisan NiO dan  $Cr_2O_3$  disusul dengan pembentukan fasa  $\gamma$  dan  $\gamma'$  dibawah NiO dan  $Cr_2O_3$  (bentuknya seperti pulau yang memanjang menuju kearah bawah). Dari sinilah kemudian oksidasi menyerang kearah (intergranular attack). Akibat adanya kerusakan coating tersebut terjadilah serangan atau penetrasi pada batas butir grain boundary merupakan daerah dengan energi tinggi (kurang stabil) dibandingkan dengan matrix. Jika pada saat yang bersamaan terdapat tegangan yang bekerja maka retak akan menjalar dengan lebih cepat.

Berdasarkan pengamatan mikroskopik dan pengujian komposisi kimia, terbukti turbine bucket telah mengalami hot corrosion. Kerusakan akibat hot corrosion ini memiliki tingkat yang lebih parah dibandingkan oksidasi dan menyerang pada daerah setempat. Lapisan oksida yang protektif dan rusak pada lingkungan korosif yang berasal dari bahan bakar dan udara bakar. Bahan bakar yang mengandung sulfur dengan alkali dapat membentuk sulfat atau sulfur oksida dan membentuk deposit di permukaan bucket. Fenomena ini merupakan proses oksidasi yang dipercepat yang terjadi ketika lapisan

dilakukan pengujian, maka informasi dapat diambil secara empirik bahwa untuk MAR-

M-246 pada suhu 25 C kekuatan tariknya adalah 140 Ksi atau equivalent dengan kekerasan Vickers 290 atau 220 BHN-lihat lampiran. Dari data diatas terlihat pada spot tersebut (bucket tip) ada peningkatan nilai kekerasan setelah 7000 jam beroperasi. Kemungkinan hal ini ada hubungannya dengan terbentuknya fasa sigma yang dapat menyebabkan penggetasan (embrittlement) pada material, kekuatan meningkat ( $\sigma_{UTS}$ ,  $\sigma_{YS}$ , BHN) tetapi keuletan turun ( $\epsilon$  %). Implikasi hal tersebut terhadap kehandalan (performance) turbine bucket akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

### **Mekanisme kerusakan dan kehandalan (performance) bucket**

#### **Mekanisme Kerusakan Turbine Bucket**

Pada saat beroperasi turbine bucket mengalami suhu tinggi dan gaya sentrifugal yang tinggi melebihi komponen lainnya dalam turbin gas. Oleh sebab itu secara alamiah mereka memiliki umur pakai adanya berbagai mekanisme kerusakan yang beroperasi terjadi pada kondisi seperti itu.

Pada dasarnya terdapat tiga kategori jenis kerusakan pada turbine bucket, yakni <sup>(1,11)</sup>:

1. Akibat aspek lingkungan : oksidasi dan korosi suhu tinggi
2. Akibat aspek mekanik : mulur (creep), thermal fatigue, interaksi fatigue-creep, thermal shock, dan sebagainya.
3. Akibat instabilitas metalurgis : pengkasaran / coarsening fasa  $\sigma$ , pembentukan fasa sigma ( $\sigma$ ) pengkasaran / pembentukan karbida  $M_{23}C_6$  dan MC pada batas butir, incipient melting, serta pembentukan fasa-fasa lainnya yang lebih stabil.

### **Kerusakan Akibat Faktor Lingkungan**

Pada sample as received (as-coated), lapisan coating adalah NiAl. Akibat pemaparan pada temperatur tinggi yang oksidatif maka terbentuklah lapisan diatas NiAl yaitu  $Al_2O_3$ . Hal tersebut merupakan hasil reaksi antara oksigen dan Aluminium pada coating. Selanjutnya pada siklus termal lapisan terluar ini dapat mengalami spalling sehingga dibebeberapa bagian terlihat terkelupas. Di sisi lain di daerah yang terkelupas dapat mengalami kekurangan Aluminium yang mengakibatkan terjadinya reaksi antara oksigen dengan nickel dan chrome yang menghasilkan lapisan NiO dan  $Cr_2O_3$  disusul dengan pembentukan fasa  $\delta$  dibawah NiO dan  $Cr_2O_3$  (bentuknya seperti pulau yang memanjang menuju kearah bawah). Dari sinilah kemudian oksidasi menyerang kearah (intergranular attack). Akibat adanya kerusakan coating tersebut terjadilah serangan atau penetrasi pada batas butir grain boundary merupakan daerah dengan energi tinggi (kurang stabil) dibandingkan dengan matrix. Jika pada saat yang bersamaan terdapat tegangan yang bekerja maka retak akan menjalar dengan lebih cepat.

Berdasarkan pengamatan mikroskopik dan pengujian komposisi kimia, terbukti turbine bucket telah mengalami hot corrosion. Kerusakan akibat hot corrosion ini memiliki tingkat yang lebih parah dibandingkan oksidasi dan menyerang pada daerah setempat. Lapisan oksida yang protektif dan rusak pada lingkungan korosif yang berasal dari bahan bakar dan udara bakar. Bahan bakar yang mengandung sulfur dengan alkali dapat membentuk sulfat atau sulfur oksida dan membentuk deposit di permukaan bucket. Fenomena ini merupakan proses oksidasi yang dipercepat yang terjadi ketika lapisan scale oksida protektif terdegradasi atau

creep adalah fenomena batas butir. Selanjutnya dari micrograph tidak terlihat adanya indikasi incipient melting (pelelehan setempat pada batas butir).

Semua perubahan metalurgi yang terjadi diatas akibat hukum termodinamika yakni pada suhu tertentu dan waktu yang cukup lama fasa-fasa yang hadir cenderung berubah menjadi sesuatu fasa yang lebih stabil. Untuk mengembalikan kepada kondisi semula (ukuran, morfologi, dan distribusinya), maka pada material tersebut harus dilakukan heat treatment, yakni : solution heat treatment dan precipitation aging / hardening .

#### **Kehandalan Turbine Bucket**

Performance bucket sangat ditentukan oleh laju kerusakan yang terjadi yang pada akhirnya menentukan umur sisa dari bucket tersebut. Tidak seperti komponen stasionary (vane / nozzles) dimana umur pakainya dikendalikan oleh perambatan retak (crack growth), komponen rotasi seperti blade / bucket umur pakainya dikendalikan oleh inisiasi retak (crack initiation). Ini artinya, jika ditemukan inisiasi retak baik akibat korosi / oksidasi, ataupun akibat fatigue dan creep, maka bucket harus segera direfurbish / direparasi.

Adanya lingkungan yang korosif (hot corrosion) menyebabkan proses oksidasi dipercepat sehingga lapisan oksidasi protektif tidak mampu terbentuk kembali. Kondisi ini tentunya mempercepat kegagalan turbine bucket sejalan dengan pemaparan selama operasi turbine. Dengan kombinasi antara temperatur tinggi dan lingkungan yang korosif, turbine bucket akan mengalami kerusakan yang parah pada daerah korosi setempat dan kehilangan berat.

Tanpa adanya informasi tentang creep voids development pada batas butir, kurva standard dari creep rupture, sifat

fatigue pada material MAR-M-246 (baik data original maupun setelah beroperasi selama 7000 jam) sangat sukar, atau kalau boleh mengatakan tidak mungkin, untuk menentukan secara presisi umur sisa dari bucket tersebut. Namun dari analisa retakan dapat diharapkan bahwa retak akibat korosi / oksidasi dapat menjalar dalam waktu yang relatif cepat. Dengan kata lain bucket memiliki kehandalan yang rendah atau memiliki resiko yang tinggi untuk gagal / fail.

Untuk meningkatkan performance pada saat operasi nanti, maka bucket harus sedemikian rupa di repair dengan mengacu pada prosedur teknis standard. Seperti antara lain; pada saat melakukan pengelasan filter material yang digunakan harus memiliki komposisi kimia sedekat mungkin dengan paduan MAR-M-246.

Sifat mekanik yang diperoleh melalui uji kekerasan memberikan indikasi telah terjadi pengerasan dan kemungkinan besar penggetasan (sekurang-kurangnya pada spot / daerah material yang ditest). Hal tersebut bisa jadi mewakili sifat mekanik dari seluruh bucket, namun bisa saja sifat mekanik dari satu lokasi ke lokasi lain pada bucket tersebut berbeda secara signifikan akibat adanya thermal gradien. Terlepas dari semua itu, setelah proses welding pada bucket perlu dilakukan proses heat treatment. Tujuan dari heat treatment ini, diantaranya, adalah untuk :

1. Menurunkan tegangan sisa yang mungkin hadir akibat proses welding.
2. Mengembalikan fasa yang terbentuk kembali berdifusi kedalam matriks gamma membentuk solid solution strengthening.
3. Menghilangkan fasa sigma yang memiliki sifat merugikan.
4. Menutup microvoids yang mungkin hadir pada butir (hal ini dilakukan

dengan teknik Hot Isostatic Pressing / HIP).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Pemeriksaan metalurgis terhadap turbine bucket nomor 120 dari stage 1 memperlihatkan bahwa benda tersebut telah mengalami oksidasi dan hot corrosion, selain itu bucket tersebut telah mengalami deformasi / distorsi yang memperlihatkan indikasi adanya fenomena creep.
2. Pemeriksaan dengan EDAX memperlihatkan bahwa material bucket adalah MAR-M-246, Cast Nickel Base Superalloy.
3. Pemeriksaan dengan EDAX menunjukkan bahwa bucket telah mengalami perbaikan dua kali dengan menggunakan coating masing-masing AlNi, ZrO dan adanya indikasi coating dengan menggunakan platinumium ( $PtAl_2$ ).
4. Pemeriksaan metalografis memperlihatkan adanya fasa sigma CrCo berbentuk plate / jarum, yang sangat getas dengan indikasi adanya peningkatan nilai kekerasan.
5. Telah terjadi kerusakan coating yang mengakibatkan teroksidasinya karbida / dan terjadi reaksi sulfida masing-masing pada batas butir yang menyebabkan timbulnya micro-crack.
6. Dari pengamatan no 1 s/d 6 diatas menunjukkan bahwa turbine bucket telah terekspos suhu 570 980 C.
7. Akibat mekanisme kerusakan yang terjadi turbine bucket memiliki kehandalan yang sangat rendah.
8. Jadi material MAR-M-246 ini termasuk cast alloys, sebab material ini dipakai pada kondisi diatas 816 C.

### Saran

1. Untuk kembali pada kondisi semula perlu dilakukan reparasi dengan

welding (rebuilding), selanjutnya filler yang cocok dengan komposisi kimia MAR-M-246.

2. Perlu dilakukan proses heat treatment untuk menurunkan tegangan sisa hasil welding dan mengembalikan sifat mekanik kepada kondisi semula.
3. Untuk Material MAR-M-246, dapat digunakan dengan route sebagai berikut<sup>(11)</sup>:
  - i) Solution heat treating pada temperatur 1220 C selama 2 jam dan dilanjutkan dengan pendingin udara / air cooling.
  - ii) Precipitation hardening (aging) dengan 870 C selama 24 jam dilanjutkan dengan pendinginan udara / air cooling.
4. Setelah dilakukan peremajaan (rejuvenication) kembali sifat mekanik melalui perubahan struktur mikro, diharapkan bucket dapat beroperasi seperti sedia kala dengan umur pakai sesuai disain.
5. Kembali melakukan evaluasi metalurgis pada bucket yang sudah diperbaiki (repaired) untuk memastikan adanya diffusion bonding dan tidak adanya retak, khususnya hairline crack pada HAZ, dan kembalinya fasa-fasa penguat pada matrix struktur mikro.

### Saran Teknis untuk Operasi Turbin

Jika, oleh satu sebab dan hal lainnya, material tidak dilapis (coated) dengan aluminida (aluminide) , maka untuk meningkatkan ketahanan terhadap hot corrosion / sulfidation dan oksida pada saat turbin gas beroperasi nanti, disarankan untuk melakukan kontrol yang ketat pada bahan bakar (fuel) dengan membatasi komposisi pengotor sebagai berikut :

1. Kandungan Sulfur (S) < 1 %
2. Kandungan Sodium dan Potasium (Na + K) dibawah 0,6 ppm

3. Kandungan Vanadium (V)

< 0,5 ppm.

Selain itu, penambahan dengan sedikit Magnesium (Mg) pada bahan bakar (fuel) sebagai inhibitor dapat mengurangi serangan hot corrosion atau sulfidation.

11. Donachie, M. J and Donachie, S. J. "Superalloys a technical guide", 2ed, ASM International, 2002.
12. Voort, G. F. V, "Materials Science and engineering series (Metallography : Principle and Practice)", Mc Graw-Hill, 1984.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Sim, C. T, and Hogel, W.C, "The Superalloys", general electric company, John Wiley & Sons Publisher, New York, 1971
2. Sim, C.T, and Stoloff, N.S, and Hagel, W.C. "Superalloys II", high temperature materials for aerospace and Industrial power, John Wiley & Sons Publisher, New York, 1987.
3. Arismunandar, W. "Turbin", penggerak mula, ITB Bandung, 1997.
4. Das, A.K, "Metallurgy of failure analysis", Mc Graw Hill Company, New York, 1977.
5. Brooks, C.R, and Choudhur, A. "Metallurgical failure analysis" Mc Graw Hill Inc, New York, 1993.
6. Racmat, R. S, Dr.Ir " Laporan teknik Turbin bucket" Bandung, 2002
7. Cahn, R. W, and Evans, A.G, and Mc Lean, M. "High temperature Materials", Chapman & Hall, 1996.
8. Smallman, R. E and Djaprie, S, Ir.Met "Metalurgi Fisik modern", 4 ed, PT. Gramedia, Jakarta 1991.
9. Petty, E. R, "Physical metallurgy of Engeneering Materials", George and Unwin. LTD, London, 1970.
10. Treehewey, K. R, and Chamberlain, J, and Tri Kantjono Widodo, "Korosi (Untuk Mahasiswa dan Rekayasa )", PT. Gramedia, Jakarta, 1991.

# Model Belajar Teknologi

Disarikan dan buku "*Imitation to Innovation the Dynamics of Korea's Technological Learning*", karangan  
Prof Lin Su Kim, Harvard Business School Press.

Oleh: Jahny Sast  
Staf pengajar jurusan Teknik Industri UNJANI

IPTEK, adalah kunci pembangunan negara-negara maju, apakah bisa digunakan secara efektif untuk pembangunan sosial dan ekonomi di negara berkembang?, apakah teori-teori yang berkaitan dengan manajemen teknologi di negara maju dapat diterapkan di negara berkembang?

Buku ini disusun menjadi tiga bagian (di luar pendahuluan). Bagian pertama menguraikan evolusi kebijakan pemerintah di bidang industri, iptek, dan lingkungan sosial budaya Korea Selatan yang merupakan variabel kontekstual dalam model "belajar teknologi".

Bagian kedua, menjelaskan model "belajar teknologi", diawali dengan abstraksi kerangka berpikir analitik yang ditawarkan Kim, diikuti studi kasus di tiga industri yang didominasi oleh Chaebol (konglomerat Korsel), di industri mobil, elektronika, dan semikonduktor, kemudian ditutup dengan uraian mengenal proses belajar teknologi di perusahaan kecil dan menengah yang menguraikan 4 studi kasus industri kecil/menengah tradisional (pabrik kertas, pabrik kapal, pabrik pipa besi baja, dan pabrik "hot & cold rolling mill"), dan industri kecil/menengah berbasis teknologi tinggi di bidang kesehatan.

Bagian ketiga, argumentasi akhir seluruh isi buku dengan menguraikan peran masing-masing variabel terhadap model, dampak penggunaan model bagi para pemasok, penerima teknologi, pembuat

kebijakan pemerintah, perencana strategi perusahaan, dan bagi masa depan Korsel dan negara berkembang lainnya.

## Teknologi dan Pemaknaan

**Teknologi** dalam buku ini didefinisikan sebagai suatu kumpulan proses fisik yang mengubah masukan menjadi keluaran, pengetahuan, dan keterampilan yang menstrukturkan kegiatan-kegiatan yang dilakukan dalam proses transformasi.

Istilah **Kemampuan Teknologi** (kapasitas absorpsi) difahami sebagai kemampuan menggunakan pengetahuan teknologi dalam rangka asimilasi, menerapkan, adaptasi, dan mengubah teknologi yang ada. Kemampuan ini memungkinkan penciptaan teknologi baru dan pengembangan berbagai produk dan proses baru sebagai respons perubahan lingkungan ekonomi. Kemampuan teknologi terdiri atas tiga unsur: produksi, investasi (untuk duplikasi maupun ekspansi), dan inovasi.

Kalau istilah 'kemampuan teknologi' di buku ini digunakan untuk memberi indikasi tentang kemampuan teknologi suatu organisasi pada kurun waktu tertentu, istilah **Belajar Teknologi** digunakan untuk merujuk dinamika proses dalam memperoleh kemampuan teknologi. Imitasi adalah proses meniru produksi barang-barang yang sudah populer dan barang-barang inovatif dengan merek-merek terkenal. Kim mengelompokkan 6 jenis imitasi yang

diusulkan, kemudian disederhanakan oleh Steven Schnaars menjadi 2, yaitu:

1. Imitasi duplikasi (legal disebut *Clones* atau *knockoffs*, dan yang ilegal disebut *counterfeits*), tidak memerlukan investasi khusus di bidang Litbang dan saluran informasi pemasaran. Diperlukan hanya sedikit proses belajar. Keunggulan bersaing dicapai karena keunggulan biaya produksi dan upah buruh murah. Strategi ini dipakal oleh perusahaan Korsel tahun 1960-1970-an.
2. Imitasi kreatif (meniru desain, adaptasi kreatif, lompatan teknologi, dan adaptasi teknologi di industri yang berbeda) tidak sekedar *benchmarking* dan aliansi strategik, tapi juga proses belajar melalui Litbang. Keunggulan bersaing dicapai melalui keunikan (diferensiasi) produk dan biaya produksi. Strategi ini diterapkan perusahaan Korsel pada tahun 1980an sampai sekarang.

**Inovasi** menurut Schumpeter melibatkan proses komersialisasi hasil penemuan Litbang (*invention*). Dalam buku ini didefinisikan sebagai suatu kegiatan perintis yang berakar pada kompetensi *internal perusahaan*, untuk mengembangkan dan memperkenalkan produk baru ke pasar. Dengan demikian, kita dapat melihat imitasi sebagai kegiatan menyebarkan hasil inovasi. Proses peralihan dan tahap imitasi ke tahap inovasi di Korea Selatan ditandai dengan kegiatan rekayasa bongkar pasang (*reverse engineering*).

### **Korea Selatan**

Korea merupakan suatu negara kesatuan yang hidup merdeka lebih dan 1.200 tahun sejak dinasti Silla. Lembaga pendidikan nasionalnya banyak dipengaruhi model Cina, kemudian pengaruh model Amerika Serikat.

Kim menyebutkan paling tidak ada enam faktor pendorong pembangunan teknologi di Korea Selatan, yaitu: (1) Masyarakat tanpa kelas sosial dan fleksibel setelah perang Korea, (2) Pemerintah yang kuat dan perannya sebagai pengarah industrialisasi, (3) Bisnis raksasa sebagai motor pembangunan, (4) Manusia Korea yang terlatih dan rela bekerja keras, (5) Strategi industrialisasi berorientasi ekspor diterapkan dan awal masa pembangunan tahun 1960-an, (6) Penggunaan 'krisis' sebagai cara utama untuk melakukan transformasi teknologi.

Proses pembangunan industri Korea Selatan sendiri dapat dibagi menjadi 4 babak:

1. Tahun 1960-an Orientasi pada ekspor produk berbasis teknologi padat-karya di industri yang *mature*, misal: tekstil, pakalan jadi, boneka, dan kayu lapis.
2. Tahun 1970-an Orientasi pada menandingi negara industri maju di industri kapal, besi baja, barang elektronik, & jasa konstruksi dengan teknologi padat modal.
3. Tahun 1980-an Orientasi pada pembangunan industri padat teknologi, seperti: komputer, semi-konduktor, memory chips, VCR, mobil, dan lain-lain.
4. Tahun 1990-an Orientasi pada pembuatan produk masa depan, seperti: teknologi multi media, TV high density, dan sistem telekomunikasi personal berbasis teknologi padat pengetahuan.

### **Model Belajar Teknologi**

- Kerangka berpikir 'Lingkungan teknologi global' (trajektori teknologi) Kerangka ini digunakan untuk analisis lingkungan teknologi, di mana perusahaan di negara berkembang harus merumuskan dan menerapkan strategi teknologi sesuai dengan perkembangan teknologi pasar global. Perkembangan teknologi di negara berkembang dimulai dengan proses mengambil alih teknologi, diikuti asimilasi

dan perbaikan teknologi berlangsung terbalik dengan tingkat 'maturity' dan perkembangan teknologi pasar global. Proses ambil alih teknologi dan seterusnya harus dimulai dan teknologi yang sudah 'mature' di negara industri maju, kemudian teknologi yang baru mengalami transisi dan masa 'coba-coba' (fluid ke tingkat 'maturity' dan pada akhirnya ikut ambil bagian dalam pengembangan teknologi di industri dengan teknologi yang baru berkembang.

- Kerangka berpikir 'Lingkungan kelembagaan'

Kerangka kedua digunakan untuk mengkaji lingkungan kelembagaan yang menyediakan sumber pelajaran teknologi. Paling tidak ada 3 lingkungan yang dapat dijadikan sumber, yaitu: (a) Komunitas internasional melalui PMA, lisensi asing, beli barang modal, dan lain-lain; (b) Komunitas lokal seperti lembaga penelitian pemerintah, Universitas, dan perusahaan lain; (c) Usaha dan dalam perusahaan sendiri, seperti Litbang. Di samping itu kerangka ini juga menyediakan sarana untuk mempertimbangkan 5 faktor yang ikut mempengaruhi proses belajar teknologi, yaitu: (a) lingkungan pasar dan teknologi; (b) pemerintah; (c) struktur dan mutu sistem pendidikan formal; (d) lingkungan sosial budaya; (e) organisasi dan manajemen.

- Kerangka berpikir 'Dinamika Belajar di dalam Perusahaan'

Kerangka ketiga bertentangan tentang dinamika proses belajar di tingkat perusahaan. Dua faktor yang mempengaruhi proses belajar di dalam perusahaan adalah: (a) tingkat pengetahuan yang dimiliki perusahaan saat ini (baik yang bersifat eksplisit maupun yang tacit); dan (b) intensitas usaha belajar. Proses belajar yang terakumulasi diperoleh melalui cara belajar sambil bekerja, tapi proses belajar yang tidak berkesinambungan didapat dengan cara belajar mengatasi krisis. Perusahaan yang belajar secara efektif cenderung membangun krisis dengan sengaja untuk mengembangkan sistem organisasi dan

mengelola proses tersebut guna menghasilkan daya cipta.

- Kerangka berpikir 'Transfer Teknologi' Kerangka keempat mengkategorikan 4 cara transfer teknologi lintas negara. Kategorisasi ini dilakukan berdasarkan dua variabel, yaitu: (i) Peran pemasok teknologi asing (aktif atau pasif), (ii) Media teknologi transfer (melalui pasar atau tidak melalui pasar). Keempat kategori itu adalah:

- a. Mekanisme formal (pemasok asing aktif dan melalui media pasar), misal: PMA, lisensi;
- b. Perdagangan barang modal (pemasok asing pasif dan melalui media pasar), misal: beli mesin dengan semua petunjuk manualnya yang lengkap;
- c. Mekanisme informal I (pemasok asing pasif dan tidak melalui media pasar), misal: bantuan teknis dari tenaga asing;
- d. Mekanisme informasi II (pemasok asing pasif tidak melalui media pasar), misal: rekayasa bongkar pasang/reverse engineering, jurnal perdagangan.

Dua kerangka yang pertama adalah kerangka analisis lingkungan eksternal, yaitu: lingkungan makro teknologi dan lingkungan kelembagaan. Sementara kerangka ketiga dan keempat adalah kerangka yang menyediakan pilihan strategi yang sesuai dengan kemampuan teknologi perusahaan dan lingkungan teknologi di luar perusahaan. Keempat kerangka berpikir ini digunakan kini untuk membedah kasus-kasus pembangunan teknologi di Korsel, terutama di 3 industri yang disebut di atas.

### Kesimpulan

Hasil analisis Kim menunjukkan bahwa proses belajar teknologi yang demikian cepat terjadi di Korea merupakan akibat dari interaksi berbagai faktor yang sangat

bervariasi. Secara ringkas faktor-faktor tersebut adalah:

- a. Pemerintahan yang kuat dengan dukungan teknokrat yang memiliki kompetensi tinggi.
- b. Wirausaha dan tenaga kerja ahli yang dapat melaksanakan tujuan ekonomi nasional.
- c. Kebijakan transfer teknologi secara terbatas.
- d. Pasar ekspor.
- e. Penggunaan krisis untuk merangsang proses belajar agar berlangsung lebih singkat.
- f. Faktor sosial budaya dan pendidikan.

Beberapa pelajaran menarik dan model belajar teknologi ini adalah:

Proses alih teknologi harus dilaksanakan secara terbatas dengan pihak asing untuk menghindari ketergantungan jangka panjang pada pemasok teknologi global. Pihak asing tidak boleh terlibat secara intim dalam proses alih-teknologi. Kegiatan mengintegrasikan semua pengetahuan teknologi yang diperoleh dan pihak asing harus dilakukan oleh pihak nasional sendiri, sambil menunggu saat yang tepat (yaitu ketika kemampuan perusahaan nasional sudah setingkat dengan perusahaan negara maju) untuk melakukan aliansi strategis dengan mereka dalam hal Litbang.

Penggunaan krisis, baik oleh Pemerintah dalam bentuk target yang harus dicapai dalam tenggang waktu tertentu, maupun yang dibangun oleh perusahaan untuk mempercepat proses belajar di dalam perusahaan.

Menganalisis arali evolusi teknologi global. dan mencari kesempatan untuk memanfaatkan peluang yang ada sesuai dengan kemampuan makro nasional dan internal perusahaan di dalam negeri.

Kesigapan pemerintah melakukan perubahan kebijakan industri dan iptek pada waktu yang tepat selama dasawarsa 1980-an ketika Korea Selatan mulai memasuki era pembangunan padat teknologi.

Sistem pendidikan nasional merupakan salah satu kunci keberhasilan karena dampaknya yang demikian besar dalam membentuk kerangka pikir masyarakat, wirausahawan, dan tenaga kerja terampil. Kesalahan kebijakan pemerintah Korsel tahun 1960-1970-an mengabaikan pengembangan industri skala menengah dan kecil yang sebenarnya berpotensi besar menjadi basis pembangunan teknologi masa depan.

Kesadaran akan perubahan berkesinambungan yang sedang terus berlangsung dan makin berbahaya dampaknya, memberi peringatan bahwa sumber keberhasilan di masa lalu bisa menjadi sumber kegagalan masa depan (seperti dalam mitos Yunani: Icarus).

Beberapa catatan menarik tentang buku ini adalah:

- Prof Kim mengemukakan dengan jujur kelemahan struktur dan lembaga-lembaga yang korup akibat dominasi pemerintah selama masa pembangunan.
- Prof Kim juga membangun suatu model belajar teknologi' bagi negara berkembang yang berguna untuk analisis strategik pembangunan teknologi nasional, termasuk di Indonesia.
- Prof Kim juga menyimpulkan bahwa keberhasilan belajar teknologi merupakan dampak dan kaitan antar faktor tersebut secara tepat.

## PETUNJUK BAGI PENULIS

1. Naskah belum pernah diterbitkan dalam media cetak lain, diketik dengan spasi tunggal pada kertas HVS (A4) menggunakan pengolah kata Microsoft Word (MS-Word), maksimal 15 halaman.
2. Artikel yang dimuat dalam Jurnal Teknik ini meliputi tulisan hasil penelitian, gagasan konseptual, kajian dan aplikasi teori, tinjauan konseptual, dan resensi buku dalam bidang sains & teknologi.
3. Artikel (hasil penelitian) memuat:
  - Judul
  - Nama Penulis(tanpa gelar akademik)
  - Abstrak (bahasa Indonesia/bahasa Inggris)
  - Kata-kata kunci
  - Pendahuluan (memuat latar belakang masalah dan sedikit tinjauan Pustaka, serta masalah/tujuan penelitian).
  - Metode Penelitian
  - Hasil Penelitian
  - Pembahasan
  - Kesimpulan dan saran
  - Daftar Pustaka
  - Biodata Penulis
4. Artikel (konseptual/setara hasil penelitian) memuat:
  - Judul
  - Nama Penulis(tanpa gelar akademik)
  - Abstrak (bahasa Indonesia/bahasa Inggris)
  - Kata-kata kunci
  - Pendahuluan
  - Subjudul (sesuai dengan kebutuhan)
  - Penutup (kesimpulan dan saran)
  - Daftar Pustaka
  - Biodata Penulis
5. Artikel 2 (dua) eksemplar dan disketnya dikirim paling lambat 1 (satu) bulan sebelum bulan penerbitan kepada:

**Redaksi Jurnal Teknik**  
**Jl. Gatot Subroto PO BOX 807**  
**Bandung**  
**Tlp : (022)7312741**  
**Fax : (022) 730 9433**  
**E-mail : [moro@koran.com](mailto:moro@koran.com)**

6. Kepastian pemuatan atau penolakan naskah akan diberitahukan secara tertulis. Penulis yang artikelnya dimuat akan mendapat imbalan Rp 50.000,- dan I (satu) buah Jurnal Teknik sebagai bukti. Artikel yang tidak dimuat tidak akan dikembalikan, kecuali atas permintaan penulis.