



VOLUME 6 NOMOR 2 SEPTEMBER 2007

# JURNAL TEKNIK



**MEDIA PENGEMBANGAN ILMU DAN APLIKASI TEKNIK**

**Gianti P., Deris V.**

Perancangan Alat Ukur Anthropometri Dinamis Manual  
untuk Mengukur Gerakan Sendi Leher dan Pergelangan Tangan

**Pradoto Ambardi**

Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Pelapisan  
terhadap Kualitas Lapisan Nikel pada Temperatur Kamar

**Ariani Budi S.**

Irigasi Sistem SRI sebagai Solusi Kelangkaan Air  
dan Peningkatan Produksi Padi di Daerah Irigasi Jatiluhur

**Adi Ganda P., Pawawoi**

Analisa Umur Pakai Baja ASSAB DF 3 / AISI 01  
Hasil Proses Perlakuan Panas

**Yayan Herdayana Sulung T.**

Analisa Kerusakan pada Turbin Bucket  
yang terbuat dari Materil *Nickel based Alloy MAR-M-246*

**Gatot Trilaksono**

*Spray Dryer*

**Jahny Sast**

Era Spiritualitas Bisnis

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JENDERAL ACHMAD YANI  
BANDUNG - CIMAH**





VOLUME 6 NOMOR 2 SEPTEMBER 2007  
**JURNAL TEKNIK**



**MEDIA PENGEMBANGAN ILMU DAN APLIKASI TEKNIK**

- Gianti P., Deris V. 499**  
 Perancangan Alat Ukur Anthropometri Dinamis Manual  
 untuk Mengukur Gerakan Sendi Leher dan Pergelangan Tangan
- Pradoto Ambardi 513**  
 Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Pelapisan  
 terhadap Kualitas Lapisan Nikel pada Temperatur Kamar
- Ariani Budi S. 519**  
 Irigasi Sistem SRI sebagai Solusi Kelangkaan Air  
 dan Peningkatan Produksi Padi di Daerah Irigasi Jatiluhur
- Adi Ganda P., Pawawoi 523**  
 Analisa Umur Pakai Baja ASSAB DF 3/ AISI 01  
 Hasil Proses Perlakuan Panas
- Yayan Herdayana Sulung T. 533**  
 Analisa Kerusakan pada Turbin Bucket  
 yang terbuat dari Material *Nickel based Alloy MAR-M-246*
- Gatot Trilaksono 545**  
*Spray Dryer*
- Jahny Sast 551**  
 Era Spiritualitas Bisnis

FAKULTAS TEKNIK  
 UNIVERSITAS JENDERAL ACHMAD YANI  
 BANDUNG - CIMAH





ISSN 1412 8810  
Volume 6 No. 2 September 2007

# JURNAL TEKNIK

Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknologi

## Pengantar Redaksi

Pengantar Redaksi  
Pembaca yang budiman,

Jurnal Teknik kali ini kembali terbit dengan penyunting ahli dari berbagai disiplin ilmu yang ada di fakultas teknik sehingga isi dan bobot akan meningkat setiap kali terbit. Terbitan ini memuat 5 karya tulis hasil penelitian dan 2 buah tinjauan konseptual. Dari hasil penelitian, tulisan pertama diwakili dari **Jurusan Teknik Industri** dengan judul "Perancangan Alat Ukur Anthropometri Dinamis Manual untuk Mengukur Gerakan Sendi Leher dan Pergelangan Tangan", **Jurusan Teknik Metalurgi**, "Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Pelapisan terhadap kualitas Lapisan Nikel pada Temperatur Kamar", dan "Analisa Kerusakan pada Turbin Bucket yang terbuat dari material *Nickel based Alloy MAR-M-246*", **Jurusan Teknik Mesin**, "Analisa Umur Pakai Baja ASSAB DF-3/AISI O1 hasil Proses Perlakuan Panas", **Jurusan Teknik Sipil**, "Irigasi Sistem SRI sebagai Solusi Kelangkaan Air dan Peningkatan Produksi Padi di Daerah Irigasi Jatiluhur". Sedangkan tinjauan konseptual dengan judul tulisan adalah, "Era Spiritualitas Bisnis", dan "Spray Dryer".

Semoga apa yang kami sajikan kali ini dapat memenuhi harapan pembaca dan peminat ilmu serta aplikasi teknologi.

---

### Penanggung Jawab:

Il. Urip Subagjo, Ir., MM>.

### Pemimpin Umum:

Jahny Sast., Ir., M. Sc.

### Pemimpin Usaha:

Febrianto Adi Nugroho, Ir., MM.

### Pemimpin Redaksi:

Cucu Wahyudin, STP., MM.

### Penyunting Ahli:

Prof. Waspodo Martojo, Ir.

Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo, Ir.

Prof. Dr. R.J. Widodo, Ir., M. Sc.

Dr. Bambang Widyanto, Ir.

Dr. TMA. Ari Samadhi, Ir., M. Sc.

H. Moch. Memed, Ir., Dipl., HE., APU., SDA.

Endang Padminingsih, Ir., M. Sc.

### Penyunting Pelaksana:

Pawawoi, ST., MT. (Ketua)

Martijanti, ST., MT.

Nadiem Anwar, ST., MT.

### Tata Usaha:

Heri Azhari

Danang K

### Alamat Redaksi:

Jl. Gatot Subroto (Samping PINDAD)

Telp. (022) 7312741

Fax. (022) 7309433

Bandung

E-mail : CYU517@yahoo.com

---

Diterbitkan oleh Fakultas Teknik  
Universitas Jenderal Achmad Yani

September 2007

# PERANCANGAN ALAT UKUR ANTHROPOMETRI DINAMIS MANUAL UNTUK MENGUKUR GERAKAN SENDI LEHER DAN PERGELANGAN TANGAN

Gianti P\*, Deris V.\*\*

*Anthropometri adalah bagian dari ergonomi yang mempelajari dimensi tubuh manusia. Dalam perkembangannya saat ini, Anthropometri masih kesulitan dalam melakukan proses pengukuran terutama untuk mengukur gerakan tubuh manusia (Anthropometri Dinamis), yang disebabkan oleh keterbatasan alat ukur yang ada.*

*Software Motion Capture merupakan salah satu alat ukur Anthropometri Dinamis terlengkap yang penulis ketahui sampai saat ini. Tapi karena harganya yang mahal yaitu ± Rp. 1 Milyar (Karya Agung - Technical Supplier and Education Supporter, tahun 2006) maka tidak setiap Universitas dapat memilikinya. Sedangkan alternatif lain yaitu dengan menggunakan alat ukur Anthropometri Dinamis secara manual pun yang ada saat ini masih terbatas hanya dapat mengukur 2 variabel Anthropometri Dinamis dari 21 Variabel. Berdasarkan kondisi diatas maka diperlukan perancangan alat ukur Anthropometri Dinamis manual sebagai alternatif lain.*

*Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan didapatkan karakteristik alat ukur anthropometri dinamis yang diinginkan yaitu yang valid, handal, multifungsi, aman, nyaman, mudah digunakan, tahan lama, portable serta harganya murah. Dan karena keterbatasan waktu dan keterbatasan pengetahuan penulis, maka alat ukur yang dirancang dalam penelitian ini hanya dapat mengukur 6 variabel Anthropometri Dinamis yang dikelompokkan pada sendi leher sebanyak 3 variabel dan pergelangan tangan sebanyak 3 variabel. Alat ukur Anthropometri Dinamis Sendi Leher mempunyai dimensi ; tinggi = 141,25 mm, keliling (maksimal) = 188,85 mm dan harga + Rp. 961.950,00 sedangkan Alat ukur Anthropometri Dinamis Pergelangan Tangan mempunyai dimensi ; Panjang = 353,5 mm, lebar = 296 mm, tinggi = 152,5 mm dan harga ± Rp. 2.179.000,00.*

**Kata Kunci : Ergonomi, Anthropometri Dinamis, Alat Ukur Anthropometri Dinamis Manual**

## 1. Pendahuluan

### Latar Belakang

Perubahan waktu walaupun secara perlahan-lahan, telah merubah manusia dari keadaan primitif menjadi manusia yang berbudaya. Kejadian ini antara lain terlihat pada perubahan rancangan peralatan-peralatan yang dipakai. Namun hal tersebut berlangsung secara apa adanya, tidak teratur dan tidak terarah, bahkan kadang-kadang terjadi secara kebetulan. Baru di abad ke-20 orang mulai mensistematiskan cara-cara perbaikan tersebut dan secara khusus mengembangkannya. Usaha ini berkembang terus dan sekarang dikenal sebagai salah satu cabang ilmu yang disebut Ergonomi (Sutalaksana et al, 1979).

Ergonomi berkenaan dengan optimalisasi, efisiensi, kesehatan, keselamatan dan kenyamanan manusia di tempat kerja, dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja yang nyaman, aman

dan sehat untuk manusianya. (Nurmianto, 2004).

Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (desain) ataupun rancang ulang (re-desain). Dimana ergonomi dapat berperan sebagai desain pekerjaan pada suatu organisasi (perusahaan), memberikan peranan penting dalam meningkatkan faktor keselamatan dan kesehatan kerja, dan dapat digunakan pula untuk mendesain atau mengevaluasi suatu produk.

Bagian-bagian dari ilmu ergonomi adalah Display, Anthropometri, Biomekanik, Fisiologi dan Perancangan lingkungan fisik kerja. Saat ini, dalam perancangan suatu sistem kerja atau perancangan produk telah dilakukan pengukuran-pengukuran pada tubuh manusia sebagai pengguna lingkungan fisik atau alat yang akan dirancang. Tetapi, kondisi saat ini proses pengukuran untuk anthropometri dinamis masih sulit dilakukan.

Berdasarkan hasil survei dan wawancara dengan beberapa Universitas yang ada di Bandung, kondisi

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri UNJANI

\*\* Alumni Jurusan Teknik Industri UNJANI

tersebut disebabkan alat ukur yang ada sekarang, yaitu dengan menggunakan software motion capture harganya mahal ± Rp. 1 Milyar (Sumber data : Karya Agung Technical Supplier and Education Supporter), sedangkan alternatif alat lain yaitu alat ukur anthropometri dinamis secara manual belum bisa mengukur semua gerakan-gerakan yang mungkin muncul ketika manusia beraktivitas.

Dari beberapa referensi, terdapat 21 variabel anthropometri dinamis atau gerakan yang mungkin muncul ketika manusia beraktivitas (Woodson, 1989), sedangkan alat ukur anthropometri dinamis secara manual yang ada saat ini hanya bisa mengukur 2 variabel anthropometri dinamis saja, yaitu Ulnar Deviation and Radial Deviation, Ekstension and Flexion

Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu dirancang alat ukur anthropometri dinamis manual untuk mengukur variabel anthropometri dinamis lainnya.

#### Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka

dirumuskan "Bagaimana merancang alat ukur anthropometri dinamis manual yang sesuai dengan kebutuhan sistem dan kebutuhan pengguna alat dengan harga yang ekonomis".

#### Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari kegiatan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

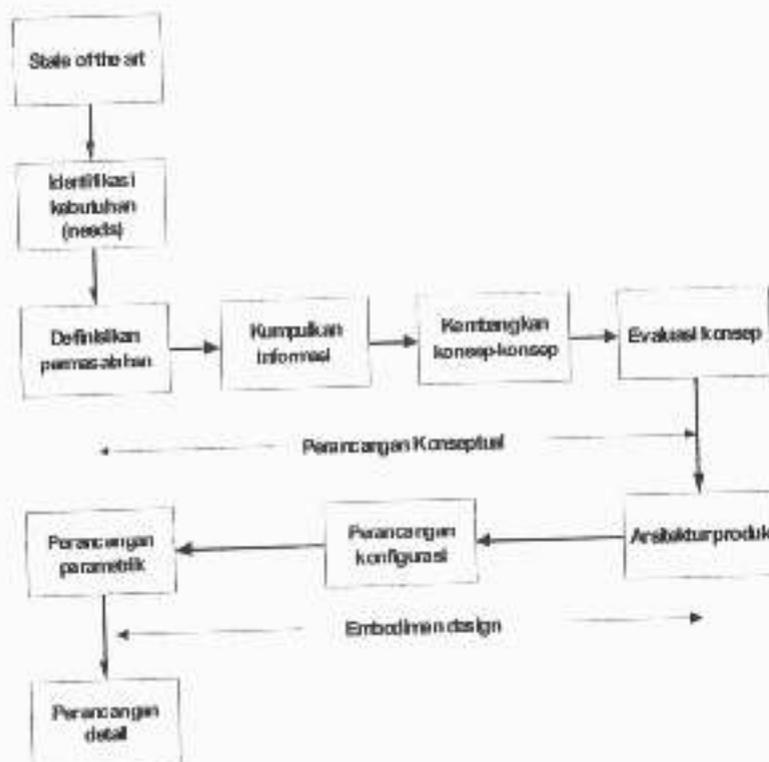
1. Merancang alat ukur anthropometri dinamis manual sesuai dengan kebutuhan sistem dan pengguna alat, yang dapat mengukur lebih dari satu variabel anthropometri dinamis.
2. Memperkirakan harga untuk alat ukur yang dirancang.

#### Pembatasan Masalah

Agar proses penelitian tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka digunakan batasan-batasan permasalahan, yaitu :

- Alat ukur antropometri dinamis manual yang dirancang dibatasi hanya untuk mengukur bagian sendi leher dan pergelangan tangan.
- Proses perancangan dibatasi sampai tahap perancangan detail.

## 2. Proses Perancangan

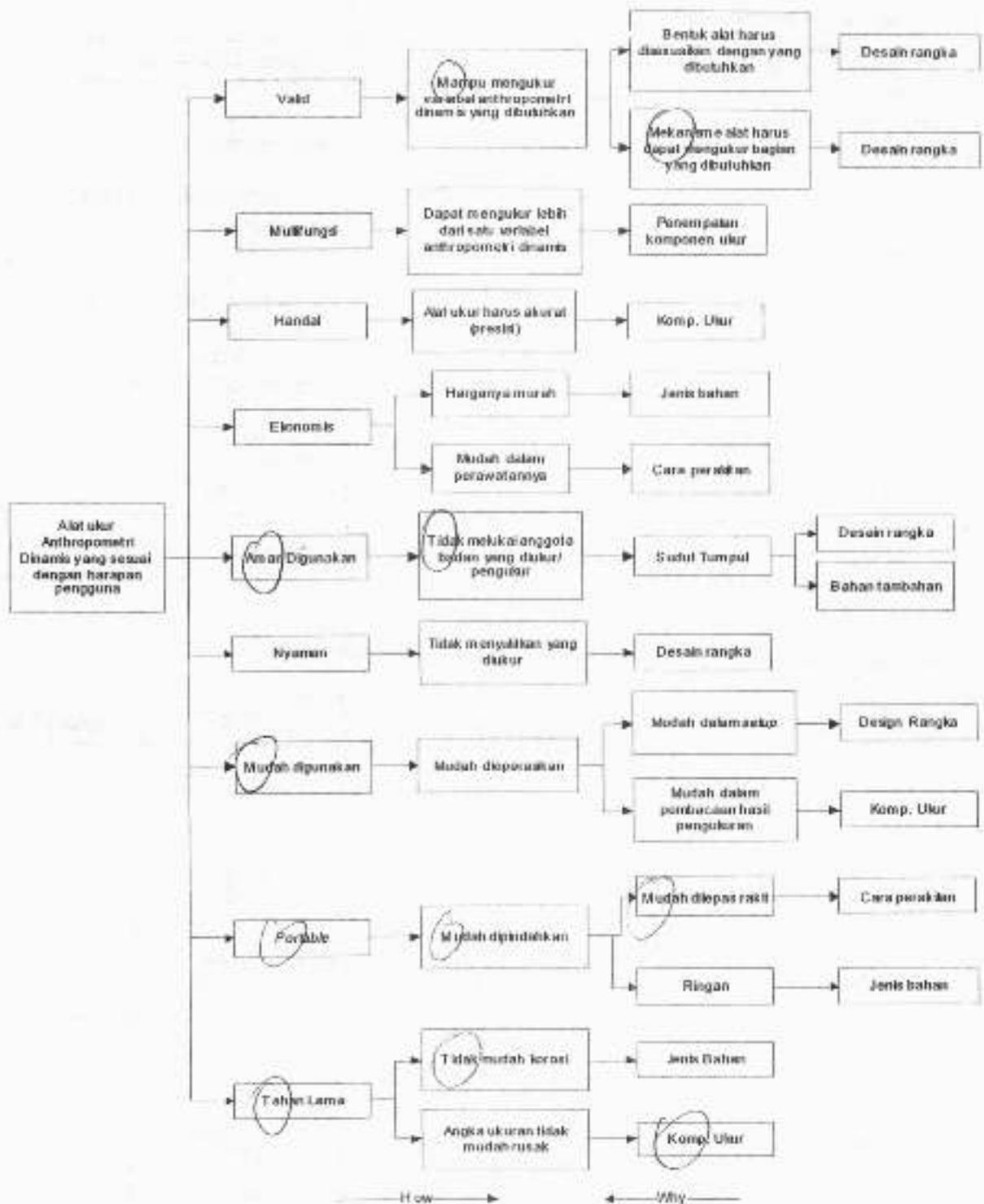


Gambar 2.1 Proses Perancangan

**Pengembangan Konsep  
Klarifikasi Tujuan**

Metoda yang digunakan dalam klarifikasi tujuan ini adalah metoda pohon tujuan, yaitu suatu metoda

menguraikan kebutuhan yang telah diperoleh menjadi hubungan tujuan dari sub tujuan dan menjelaskan hubungan yang terjadi antara keduanya.



Gambar 2.2 Pohon Tujuan

### Spesifikasi Produk

Maksud spesifikasi produk adalah menjelaskan tentang hal yang harus dilakukan oleh sebuah produk. Beberapa perusahaan menggunakan istilah "kebutuhan produk" atau "karakteristik

engineering" atau "spesifikasi teknik". (Ulrich, 1995 ). Atribut performansi biasanya sama atau dapat diturunkan dari fungsi dan tujuan perancangan, sehingga pohon tujuan pun dapat menjadi acuannya.

Tabel 2.1 Penentuan karakteristik teknik

No	Atribut Produk Alat bantu	Karakteristik Teknik
1	Bentuk alat harus disesuaikan dengan kebutuhan	Desain rangka
2	Mekanisme alat harus dapat mengukur bagian tubuh yang dibutuhkan	Desain rangka
3	Dapat mengukur lebih dari satu variabel anthropometri dinamis	Penempatan komponen ukur
4	Alat ukur harus akurat (presisi)	Komponen ukur
5	Harganya murah	Jenis bahan
6	Mudah dalam perawatan	Cara perakitan
7	Sudut tumpul	Desain rangka bahan tambahan
8	Tidak menyulitkan yang diukur	Desain rangka
9	Mudah dalam setup	Desain rangka
10	Mudah dalam pembacaan hasil pengukuran	Komponen ukur
11	mudah dilepas rakit	Cara perakitan
12	Ringan	Jenis bahan
13	Tidak mudah korosi	Jenis bahan
14	Angka ukuran tidak mudah rusak	Komponen ukur

### Morphologi Chart

Peta morfologi merupakan suatu peta yang

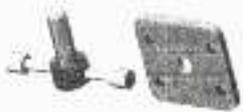
menunjukkan alternatif apa saja yang dapat digunakan dalam menggambarkan fitur rancangan.

Tabel 2.2 Contoh *morphology chart* alat ukur anthropometri dinamis sendi leher

Alternatif Sub fungsi	Sub-sub fungsi	Alternatif		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Desain rangka	Mekanisme rangka	Sistem geser	Sistem buka-tutup	
	Bentuk rangka	 Bentuk ½ tanda plus "+"	 Bentuk tanda plus "+"	
	Bahan rangka	Plastik	Fiber	
	Komponen tambahan komp. rangka	 Busa dilapis kulit	 Busa dilapis kain	

Keterangan : Contoh-contoh alternatif untuk desain rangka

Tabel 2.3 Contoh *morphology chart* alat ukur antropometri dinamis sendi leher

Alternatif Sub fungsi	Sub-sub fungsi	Alternatif		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Desain rangka	Mekanisme rangka	Rangka dipatenkan pada tiang penyangga dengan menggunakan baut	Rangka bisa diseting ketinggiannya dengan digeserkan dan dikunci dengan 1 pengunci	Rangka bisa diseting ketinggiannya dengan digeserkan dan dikunci dengan 2 pengunci
	Bentuk rangka	 Rangka bentuk "L"	 Rangka bentuk "T"	
	Bahan rangka	Kayu	Plastik	Fiber
	Komponen tambahan komp. rangka	 Pengunci rangka bentuk bulat dan dudukannya	 Pengunci rangka bentuk bulat dan dudukannya	
	Bahan komponen tambahan rangka	ST 37	Besi cor	

Keterangan : Contoh-contoh alternatif untuk desain rangka

### Evaluasi Konsep

Untuk mendapatkan suatu rancangan yang terbaik dalam proses perancangan dilakukan secara rasional sehingga akan lebih terjamin dalam menentukan pilihan., Tujuan dari langkah ini adalah untuk membuat prioritas pilihan dan mengalokasikan sumber daya dalam mendesain alat ukur.

Kebutuhan yang dibobotkan adalah berasal dari suara pengguna yang telah dikelompokkan. Hasil dari tahap ini adalah bobot kepentingan berupa nilai untuk setiap kebutuhan.

Metoda yang digunakan adalah metoda bobot objektif, yaitu suatu metoda yang memberikan suatu penilaian terhadap perbandingan rancangan-rancangan alternatif dengan menggunakan bobot. Alternatif yang lebih baik adalah yang memiliki nilai bobot paling besar.

Pembobotan untuk evaluasi alternatif dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Menentukan tujuan perancangan alat ukur
2. Menetapkan kepentingan relatif setiap kebutuhan dengan cara membandingkan urutan daftar tujuan. Ada tiga pendekatan dasar yang digunakan peneliti untuk menetapkan bobot kepentingan setiap kebutuhan dengan Metode Zero-One) yaitu :
  - a. Berdasarkan pengalaman peneliti dengan pakar ergonomi
  - b. Berdasarkan pengalaman peneliti dengan pengguna alat ukur.
  - c. Penilaian berdasarkan pengetahuan peneliti
3. Menentukan bobot relatif

Tabel 2.4 Pembobotan kebutuhan sistem dan kebutuhan pengguna

Kebutuhan Sistem dan Pengguna	Total	Bobot (%)
Valid (A1)	8	22,22
Handal (A2)	7	19,44
Multifungsi (A3)	6	16,67
Ekonomis (A4)	4	11,11
Aman bagi pengukur dan yang diukur (A5)	4	11,11
Nyaman bagi pengukur dan yang diukur (A6)	3	8,33
Mudah pada saat digunakan (A7)	2	5,56
<hr/>		
Kebutuhan Sistem dan Pengguna	Total	Bobot (%)
Tahan Lama (A9)	2	5,56
Portable (A8)	0	0,00
<hr/>		
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>100,00</b>

4. Menentukan parameter performansi  
 Untuk membandingkan antara parameter kualitatif dan kuantitatif maka harus ditentukan parameter performansi untuk masing-masing alternatif dengan menggunakan skala angka. Adapun skala angka yang dipergunakan adalah skala 5 angka yang disebut dengan Guideline VDI 2225 (0-4) karena skala ini dinilai sebagai skala yang paling mudah untuk mengkategorikan nilai suatu alternatif terhadap tujuan perancangan.

Penentuan nilai ini ditentukan oleh perancang. Adapun penilaian tersebut adalah sebagai berikut (tabel 2, 5).

5. Menghitung dan membandingkan nilai relatif dari alternatif rancangan. Adapun keterangan tabel adalah sebagai berikut :

- B = Bobot (%) dari tujuan perancangan
  - S = Skor penilaian yang diambil skala 5 angka
  - N = Nilai bobot dari alternatif perancangan
- $B \times S$

Tabel 2.5 Guideline VDI 225

Nilai	Keterangan
0	Sangat kurang baik
1	Kurang baik
2	Memuaskan
3	Baik
4	Sangat baik

Tabel 2.6 Kriteria Nilai

Tujuan Rancangan	Kriteria Nilai				
	0	1	2	3	4
Valid (A1)	Sangat tidak sesuai	Tidak sesuai	Sedang	Sesuai	Sangat sesuai
Handal (A2)	Sangat tidak akurat	Tidak akurat	Sedang	Akurat	Sangat akurat
Multifungsi (A3)	Satu fungsi	Dua fungsi	Tiga fungsi	Empat fungsi	> Empat fungsi
Ekonomis (A4)	> Rp.200.000	Rp. 150.000 < harga > Rp.200.000	Rp.100.000	Rp. 50.000 < harga > Rp.100.000	> Rp. 50.000
Aman bagi pengukur dan yang diukur (A5)	Sangat melukai	Melukai	Sedang	Aman	Sangat aman
Nyaman bagi pengukur dan yang diukur (A6)	Sangat membuat pegal otot tubuh	Membuat pegal otot tubuh	Sedang	Nyaman	Sangat nyaman
Mudah pada saat digunakan (A7)	> 5 menit	2 menit < waktu setup > 5 menit	2 menit	1 menit <waktu setup> 2 menit	< 30 detik
Tahan lama (A9)	Sangat mudah rusak	Mudah rusak	Sedang	Kuat	Sangat kuat
Portable (A8)	Sangat susah dipindahkan)	Susah dipindahkan)	Sedang	Mudah dipindahkan	Sangat mudah dipindahkan

Tabel 2.7 Evaluasi alternatif untuk mekanisme rangka alat ukur anthropometri dinamis manual sendi leher

Tujuan Rancangan	B (%)	Parameter	Mekanisme Rangka					
			Sistem geser			Sistem buka tutup		
			Kondisi Objektif	S	N	Kondisi Objektif	S	N
Valid (A1)	22,22	Tepat penggunaannya	Sesuai	3	0,67	Sesuai	3	0,67
Handal (A2)	19,44	Akurat	Akurat	3	0,58	Akurat	3	0,58
Multifungsi (A3)	16,67	> 1	Tiga fungsi	2	0,33	Tiga fungsi	2	0,33
Ekonomis (A4)	11,11	Harga	Rp. 70.000	3	0,33	Rp.45.000	4	0,44
Aman bagi pengukur dan yang diukur (A5)	11,11	Aman ketika digunakan	Aman	3	0,33	Sangat aman	4	0,44
Nyaman bagi pengukur dan yang diukur (A6)	8,33	Nyaman ketika digunakan	Nyaman	3	0,25	Sangat nyaman	2	0,17
Mudah pada saat digunakan (A7)	5,56	Mudah pada saat setup (menit)	25 detik	4	0,22	1 menit	3	0,17
Tahan lama (A9)	5,56	Tidak mudah rusak	Kuat	3	0,17	Mudah rusak	1	0,06
Portable (A8)	0,00	Ringan	Mudah dipindahkan	3	0,00	Mudah dipindahkan	3	0,00

Tabel 2.10 Rekapitulasi evaluasi alternatif untuk alat ukur anthropometri dinamis pergelangan tangan

No.	Nama Sub Fungsi	Alternatif Terpilih	Total Nilai (N)
1	Mekanisme rangka	Rangka bisa disetting dgn 2 pengunci	2,61
2	Bentuk rangka	Rangka bentuk "T"	2,58
3	Bahan rangka	Kayu	2,69
4	Komponen tambahan rangka(pengunci)	Pengunci rangka bentuk bulat+ dudukannya	2,67
5	Bahan Komponen tambahan rangka	ST 37	2,53
6	Komponen ukur 1	Bentuk lingkaran	2,78
7	Komponen ukur 2	Bentuk lingkaran dgn lubang buat poros ditengahnya Plastik	2,67
8	Jenis bahan untuk komponen ukur 1 & 2	Stainless Steel	2,56
9	Komponen tambahan untuk komponen ukur 1 & 2	Gerakan komp. Tambahan menggunakan poros (poros utama dan poros 2) dan bearing+ pengunci	2,56
10	Jenis bahan untuk komponen tambahan	Komp. Tambahan dari kayu, poros utama dari ST 37, poros 2 dari plastik, pengunci dari ST 37	2,64
11	Penempatan komponen ukur	Komp. Ukur disimpan diatas dan disamping komp. Tambahan	2,42
12	Cara perakitan sistem lubang-poros	Lubang dan poros diikat dengan baut "L"	2,89
13	Cara perakitan dengan dipatenkan	Menggunakan LEM dgn daya rekat tinggi	2,75

#### Arsitektur Produk

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membuat sketsa alat ukur anthropometri dinamis manual yang berasal dari alternatif – alternatif solusi yang terpilih.

Sketsa gambar alat ukur anthropometri dinamis manual ini hanya berupa gambaran umum yang belum detail dari alat yang akan dibuat. Informasi yang dihasilkan berupa gambaran bentuk benda secara kasar yang belum ada ukurannya.



Gambar 2.3 Sketsa alat ukur Anthropometri dinamis untuk sendi leher



Gambar 2.3 Sketsa alat ukur Anthropometri dinamis untuk pergelangan tangan

#### Perancangan Konseptual

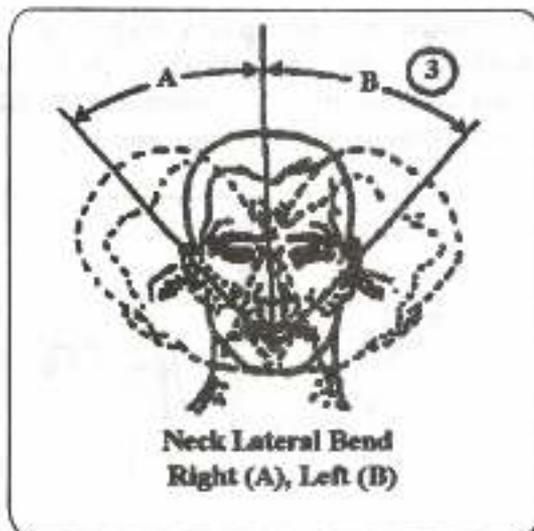
##### Mekanisme kerja alat ukur

##### Mekanisme kerja alat ukur anthropometri dinamis sendi leher

Alat ukur ini terdiri dari dua komponen ukur yaitu busur protractor yang bisa dipasang di depan atau di samping sebelah kanan dengan cara dibongkar pasang, dan di atas komponen rangka. Ketiga posisi komponen ukur tersebut mempunyai fungsi mengukur yang berbeda-beda, yaitu :

1. Komponen ukur yang dipasang di depan

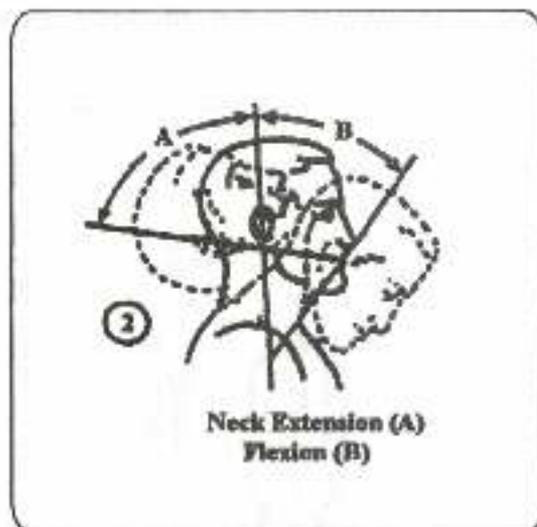
Busur protractor yang ketika dipasang didepan, gunanya adalah untuk mengukur variabel anthropometri *neck lateral bend right* dan *neck lateral bend left*.



Gambar 2.5 Neck lateral bend right dan neck lateral bend left.

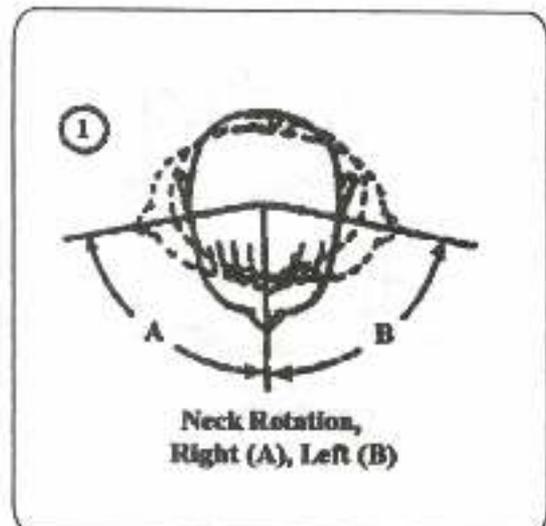
2. Komponen ukur yang dipasang di samping sebelah kanan.

Busur protractor ketika dipasang di samping sebelah kanan, gunanya adalah untuk mengukur variabel anthropometri neck extension dan neck flexion.



Gambar 2.6 Neck extension dan neck flexion.

3. Komponen ukur yang dipasang di depan  
Busur protractor yang dipasang diatas ini gunanya adalah untuk mengukur variabel anthropometri neck rotation right dan neck rotation left.

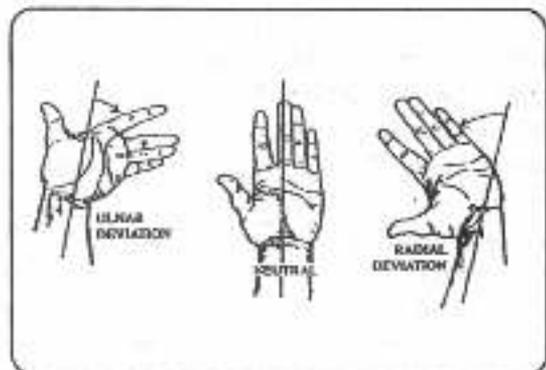


Gambar 2.7 Neck rotation right dan neck rotation left.

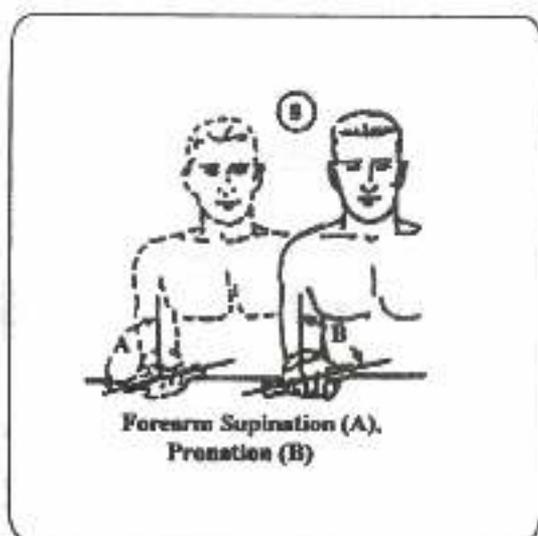
Mekanisme kerja alat ukur anthropometri dinamis pergelangan tangan

Alat ukur ini terdiri dari dua komponen ukur yang dipasang di atas dan di samping sebelah kanan komponen rangka dan sebuah poros (poros 2) yang juga bisa membantu dalam proses pengukuran. Kedua posisi komponen ukur tersebut mempunyai fungsi mengukur yang berbeda-beda, yaitu :

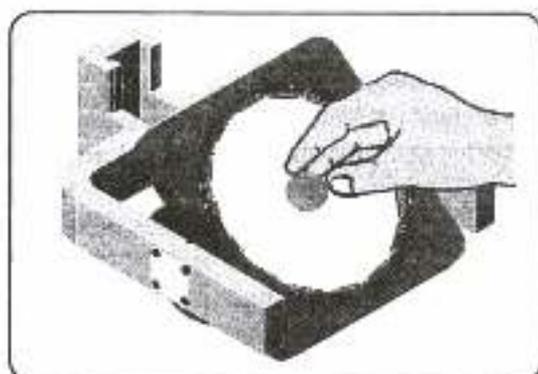
1. Komponen ukur yang dipasang di atas  
Komponen ukur yang disimpan di atas gunanya adalah untuk mengukur variabel anthropometri Ulnar Deviation and radial deviation, Forearm supination and Forearm Pronation.



Gambar 2.8 Ulnar Deviation and radial deviation



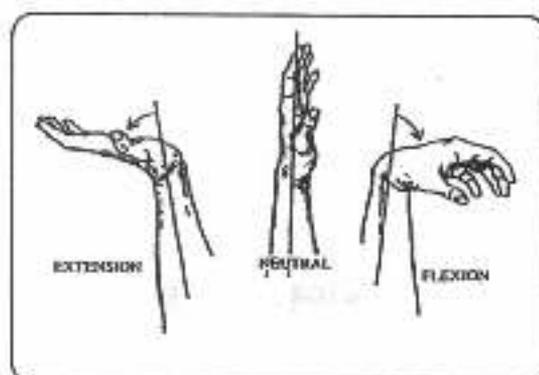
Gambar 2.9 Forearm supination and Forearm Pronation



Gambar 2.10 Posisi awal tangan untuk mengukur Forearm supination and Forearm Pronation

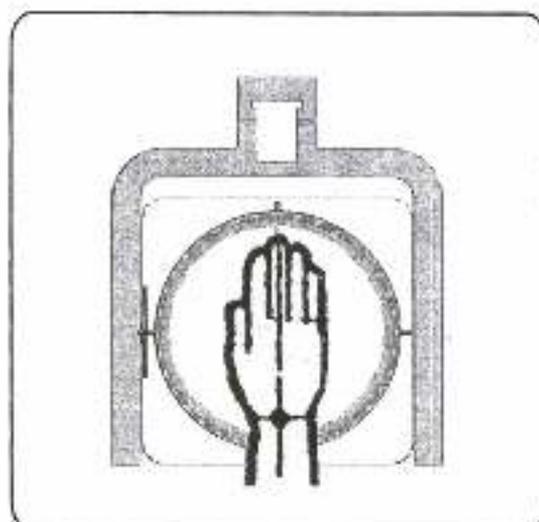
Penunjuk komponen ukur 1 ada dalam satu poros yaitu poros 2. Jadi ketika poros 2 digerakan ke kiri atau ke kanan maka penunjuk komponen ukur juga akan bergerak ke kiri atau kekanan. Walaupun penunjuk komponen 1 ini satu poros dengan poros 2 tapi mempunyai fungsi yang berbeda untuk mengukur variabel anthropometri dinamis. Penunjuk komponen satu ini berfungsi untuk mengukur variabel anthropometri dinamis radial deviation atau Ulnar deviation yaitu dengan cara telapak tangan ditempelkan pada penunjuk komponen ukur 1 (gambar 5.13b) kemudian digerakan ke kiri atau ke kanan. Sedangkan poros 2 berfungsi untuk mengukur variabel anthropometri Forearm Pronation atau Forearm Supination caranya yaitu jari memegang poros 2 kemudian diputar atau digerakan ke kiri atau ke kanan. Nilai pengukuran dari gerakan tadi bisa dilihat pada komponen ukur 1.

1. Komponen ukur yang dipasang di samping  
Komponen ukur yang dipasang di samping gunanya adalah untuk mengukur variabel anthropometri *Extension and Flexion*.



Gambar 2.11 Extension and Flexion

Komponen ukur 2 (komponen ukur yang disimpan di samping) adalah komponen ukur yang berfungsi untuk mengukur variabel anthropometri Flexion dan Extention. Cara pengukurannya adalah telapak tangan ditempelkan pada penunjuk komponen ukur 1 (gambar 5.13b) kemudian setelah menempel ditekan ke depan (flexion) atau ke belakang (Extention)



Gambar 2.12 Peletakan telapak tangan pada alat ukur pergelangan tangan

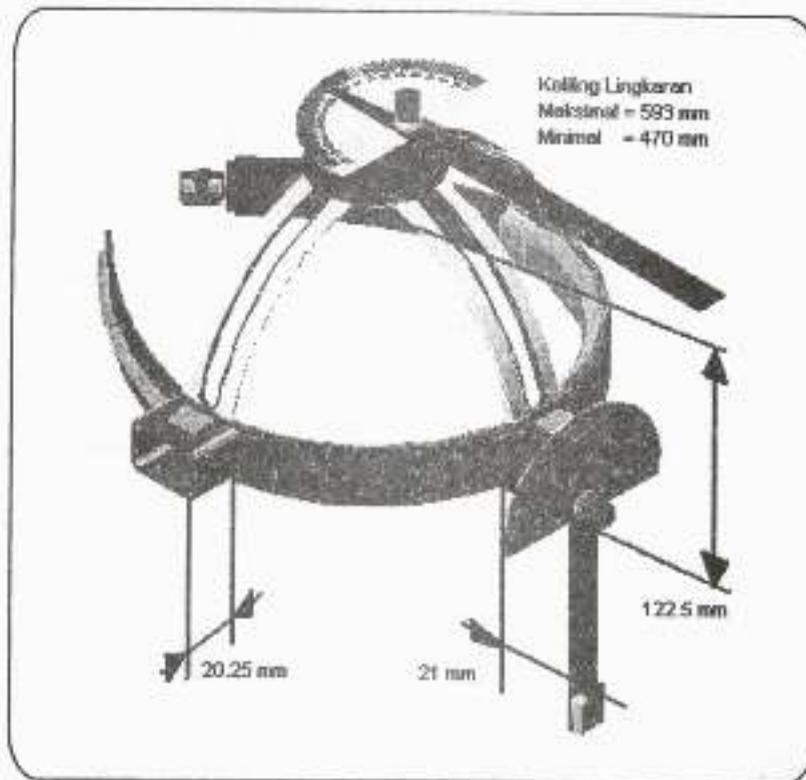
#### Perancangan Detail

**Dimensi Alat ukur berdasarkan data anthropometri**

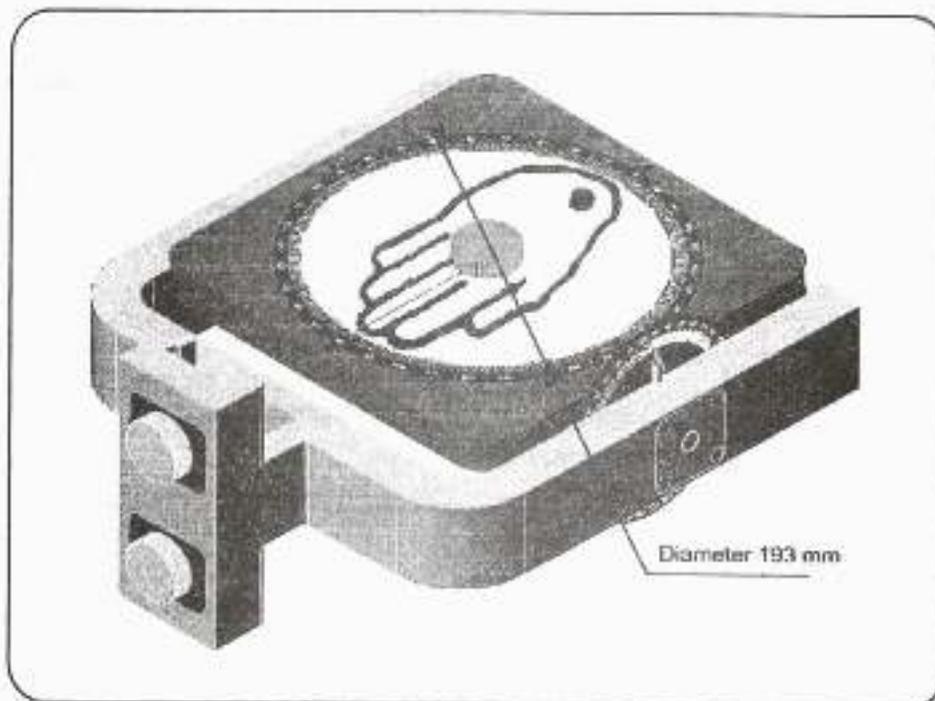
Pada tahap ini dilakukan pembuatan gambar teknik secara detail dari tiap-tiap komponen dalam

bentuk 2 dimensi dan 3 dimensi berdasarkan hasil dari langkah sebelumnya. Setelah itu

kemudian dihitung mengenai perkiraan biaya pembuatan untuk menentukan harga dari alat ukur yang dirancang.



Gambar 2.13 Alat Ukur Anthropometri Dinamis Sendi Leher 3 Dimensi



Gambar 2.14 Alat Ukur Anthropometri Dinamis Pergelangan Tangan 3 Dimensi

### 3. Kesimpulan dan Saran

#### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil wawancara dan kuesioner dengan pengguna alat (keoala LSK dan asisten), alat ukur anthropometri dinamis manual yang diinginkan adalah sebagai berikut (lihat tabel 3.1).
2. Dimensi alat yang dirancang
  - Alat ukur Anthropometri Dinamis Sendi Leher mempunyai dimensi yaitu tinggi = 141.25 mm, keliling (maksimal) = 188.85 mm
  - Alat ukur Antropometri Dinamis

Pergelangan Tangan mempunyai dimensi yaitu Panjang = 353.5 mm, lebar = 296 mm, tinggi = 152.5 mm.

3. Alat ukur anthropometri dinamis yang dirancang dapat mengukur 6 variabel yaitu 3 variabel untuk sendi leher dan 3 variabel untuk pergelangan tangan.
4. Perkiraan harga untuk alat ukur yang dirancang adalah
  - Alat ukur Anthropometri Dinamis Sendi Leher ± Rp. 961.950,00.
  - Alat ukur Antropometri Dinamis Pergelangan Tangan ± Rp. 2.179.000,00.
  - Total Harga = ± Rp. 3.140.950,00.

Tabel 3.1 Alat ukur anthropometri dinamis manual yang diinginkan pengguna

Alat ukur anthropometri dinamis manual yang diinginkan	Total	Bobot (%)
Valid (A1)	8	22,22
Handal (A2)	7	19,44
Multifungsi (A3)	6	16,67
Ekonomis (A4)	4	11,11
Aman bagi pengukur dan yang diukur (A5)	4	11,11
Nyaman bagi pengukur dan yang diukur (A6)	3	8,33
Mudah pada saat digunakan (A7)	2	5,56
Tahan lama (A9)	2	5,56
Portable (A8)	0	0,00

Tabel 3.2 Variabel anthropometri dinamis yang dapat diukur oleh alat ukur yang dirancang

No.		Variabel Anthropometri
1	Sendi leher	A. Neck Rotation Right B. Neck Rotation Left
2		A. Neck Extention B. Neck Flexion
3		A. Neck Lateral Bend Right B. Neck Lateral Bend Left
10	Pergelangan tangan	A. Forearm Supination B. Forearm Pronation
11		Ulnar Deviation and Radial Deviation
12		Ekstension and Flexion

#### Saran

Setelah dilakukan penelitian, ada beberapa saran yang dapat penulis sampaikan, yaitu :

- Ketika kedua alat ukur ini digunakan, pastikan yang mengukur sudah menentukan (memperhatikan) titik awal atau titik nol sebelum dilakukan pengukuran.
- Ketika alat ukur untuk pergelangan tangan digunakan untuk mengukur variabel Extension and Flexion, yang mengukur supaya memperhatikan telapak tangan dan tangan dari orang yang diukur. Pastikan telapak tangan menempel pada alat ukur dan ketika telapak tangan digerakkan pastikan tangannya tidak ikut bergerak agar dihasilkan pengukuran yang lebih akurat.
- Supaya semua gerakan manusia ketika beraktivitas itu dapat diukur, maka sebaiknya dirancang pula alat ukur untuk variabel antropometri dinamis lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ulrich, Karl T. and Steven D. Eppinger, Perancangan dan Pengembangan Produk, Fourth Edition, McGraw-Hill Inc, New York 1987, Penerbit Salemba Teknika, 2001.
- Woodson, Wesley E., Human Factors Design Handbook, McGraw-Hill Book company, 1981.
- Niebel, Benjamin, and Andris Freivalds, Methods Standars and Work Design. Tenth Edition, McGraw-Hill International Editions, 1999.
- Barnes, Ralph M., Motion and Time Study: Design and Measurement of Work. Seventh Edition, New York: John Wiley and Sons, 1980.
- Sutalaksana, Iftikar Z., Anggawisastra, Ruhana , Tjakraatmadja, John H., Teknik Tata Cara Kerja, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1979.
- Nurmianto, Eko, Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2004.

# PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU PELAPISAN TERHADAP KUALITAS LAPISAN NIKEL PADA TEMPERATUR KAMAR

Pradoto Ambardi

*Proses pelapisan nikel temperatur kamar dilakukan dengan memvariasikan waktu proses dan rapat arus. Bila dibandingkan dengan pelapisan nikel temperatur tinggi ( $T = 40 - 70^{\circ}\text{C}$ ), biaya nikel temperatur kamar jauh lebih rendah 57,4%, sehingga diharapkan dapat menurunkan biaya produksi pelapisan.*

*Data pemeriksaan/pengujian yang dilakukan pada spesimen yang telah dilapis menunjukkan bahwa kualitas lapisan nikel temperatur kamar memberikan hasil yang mengkilap, memiliki daya lekat yang baik, dan ketahanan korosi yang cukup tinggi.*

**KATA KUNCI :** Pelapisan nikel temperatur kamar ; Pelapisan nikel temperatur tinggi

## I. PENDAHULUAN

Pelapisan nikel dengan listrik umumnya dilakukan pada larutan elektrolit yang dipanaskan ( $T = 40 - 70^{\circ}\text{C}$ ), dengan maksud untuk menghasilkan efisiensi kerja yang tinggi dan hasil pelapisan yang baik. Sementara itu industri pelapisan pada umumnya beranggapan bahwa pelapisan nikel temperatur kamar menghasilkan lapisan yang getas dan suram, memerlukan waktu pelapisan yang lebih lama dan pengerjaan lanjutan, berupa pemolesan serta pelapisan krom untuk mendapatkan tampak rupa yang lebih baik.

Setelah pemerintah mengeluarkan pengumuman tentang kenaikan Tarif Dasar Listrik dan BBM, banyak industri yang mengeluhkan hal ini, karena banyak faktor produksi yang sangat bergantung pada kedua komponen tersebut sehingga menyebabkan ongkos produksi menjadi naik.

Kenyataan yang ada di lapangan saat ini adalah bahwa konsumen secara umum hanya melihat hasil pelapisan nikel dari segi visualnya saja, tanpa memperhatikan sifat-sifat fisik maupun mekanik lainnya secara mendetail (kecuali untuk beberapa komponen tertentu). Selain itu, konsumen menuntut untuk mendapatkan harga yang tetap dengan mutu yang tidak berubah.

Berdasarkan hal tersebut di atas, perlu dilakukan pembuktian mengenai kebenaran opini tentang buruknya hasil pelapisan nikel temperatur kamar yang sebenarnya juga dapat dijadikan alternatif proses yang dapat menekan biaya

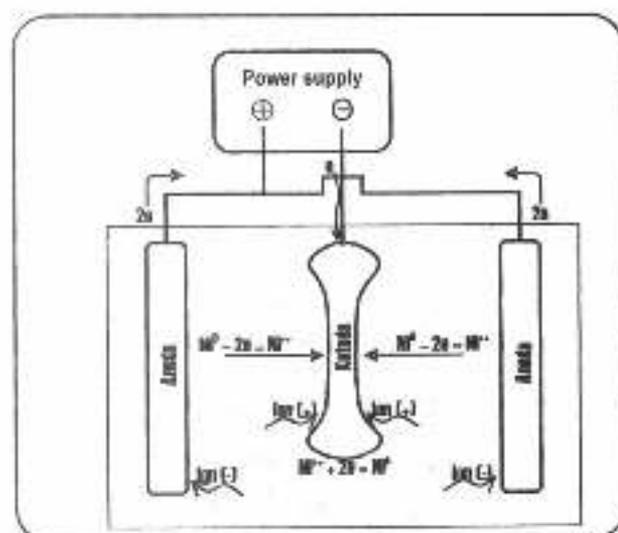
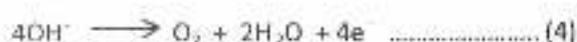
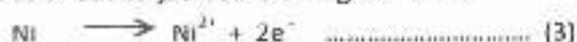
produksi pelapisan.

## II. TINJAUAN UMUM PELAPISAN NIKEL DENGAN CARA LISTRIK

Pada proses elektrolisa nikel (gambar 1.), di katoda terjadi reaksi reduksi dari ion-ion nikel dengan bantuan elektron-elektron yang berasal dari sumber arus searah. Reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut<sup>(1)</sup>:



Pada anoda terjadi reaksi sebagai berikut :



Gambar 1 Perpindahan ion-ion nikel dalam proses electroplating

Dalam pelapisan nikel, nikel sulfat merupakan sumber ion nikel yang akan mengendap di katoda, karena mudah larut dalam air dan merupakan sumber yang menghasilkan bukan ion kompleks. Nikel klorida dijadikan sumber ion klorida yang berfungsi untuk mempercepat pengkorosian anoda nikel dan mempertinggi koefisien difusi ion-ion nikel sehingga mempercepat pengendapan nikel pada katoda<sup>(4)</sup>.

Tanpa adanya  $\text{NiCl}_2$ , sebenarnya proses pelapisan akan tetap berlangsung, maka keberadaan  $\text{NiCl}_2$  dalam larutan elektrolit dapat diganti dengan bahan lain yang memiliki gugus klor ( $\text{Cl}$ ), seperti  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KCl}$ , dan  $\text{NaCl}$ .

Selama pelapisan berlangsung, pH elektrolit akan meningkat akibat terjadinya penguraian  $\text{H}^+$  pada permukaan katoda, sehingga konsentrasi  $\text{H}^+$  pada larutan elektrolit berkurang. Hal ini akan menurunkan efisiensi pelapisan, terjadi pitting (sumuran), lapisan menjadi kasar, dan terjadi penimbunan ion Fe pada larutan.

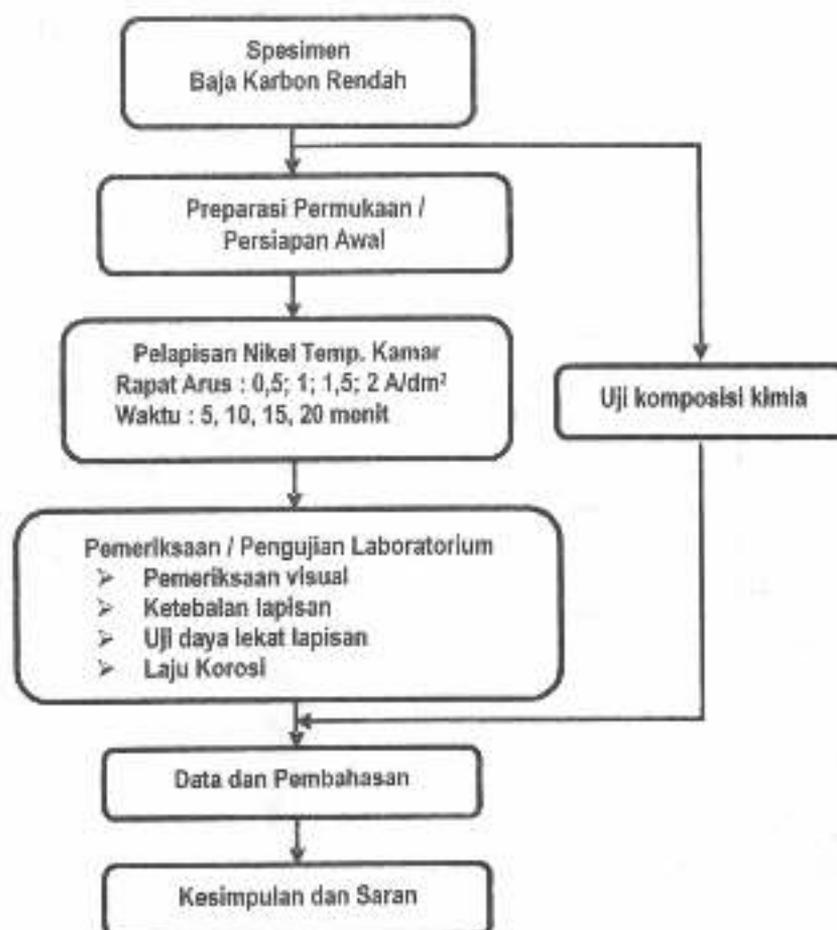
Asam borat yang digunakan sebagai buffer untuk menjaga pH larutan agar tetap memiliki sifat keasaman yang lemah sehingga derajat disosiasi dari asam borat untuk membentuk  $\text{H}^+$  dalam larutan tidak cukup. Oleh karena itu perlu penambahan sedikit asam sulfat untuk menjaga agar konsumsi  $\text{H}^+$  dapat terpenuhi.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Proses Penelitian

Penelitian dimulai dengan pemilihan material baja karbon rendah yang biasanya digunakan untuk komponen asesoris kendaraan bermotor yang kemudian dilakukan pemeriksaan komposisi kimia untuk memastikan spesifikasi dari material yang digunakan.

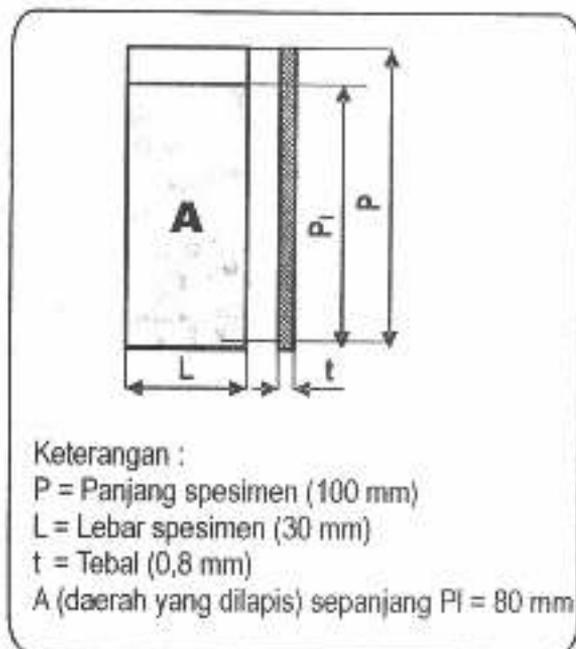
Langkah berikutnya adalah melakukan pelapisan nikel temperatur kamar dengan variasi rapat arus dan waktu pelapisan. Setelah itu, seluruh spesimen diperiksa secara visual lalu diuji daya lekat lapisan, laju korosi, dan ketebalan lapisan.



Gambar 2. Diagram alir proses penelitian

### 3.2. Spesimen

Spesimen yang digunakan adalah pelat baja karbon rendah dengan ukuran sebagai berikut :



Gambar 3. Dimensi spesimen yang digunakan

### 3.3. Pelapisan nikel temperatur kamar

Tabel 1. Kondisi proses dan komposisi elektrolit nikel temperature kamar

Kondisi Proses Pelapisan	Komposisi Larutan Elektrolit[*]
Temperatur : 25 - 30 <sup>o</sup> C pH larutan : 5 - 5,5 Rapat arus : 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 A/dm <sup>2</sup> Waktu : 5 ; 10 ; 15 ; 20 menit	Nikel sulfat : 120 g/l Amonium chloride (NH <sub>4</sub> Cl) : 10 g/l Boric acid (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ) : 15 g/l Brightener mu : 10 ml/l Brightener mt : 1 ml/l

(\*) : \*PENGARUH NH<sub>4</sub>Cl DAN RAPAT ARUS TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN PADA PROSES PELAPISAN NIKEL TEMPERATUR KAMAR \*. Pradoto A, Dadang Sutisna, Siti Yuniarti.

### 3.4. Pemeriksaan/pengujian laboratorium

Pemeriksaan/pengujian yang dilakukan seperti pada gambar 2 akan menghasilkan beberapa data. Baik data yang harus dianalisis melalui perhitungan-perhitungan atau data yang langsung dihasilkan dari pengujian.

Pengujian ketahanan korosi menggunakan alat uji semprot kabut garam dengan kondisi : Larutan NaCl = 5% ; pH = 6,5 - 7,2 ; Temperatur = 32 - 37 °C ; Tekanan = 19 - 22 psi. Pengujian daya lekat lapisan menggunakan Bending Test Instron 850 I sesuai dengan standar JIS Z 2248. Pengukuran ketebalan menggunakan alat Measurescope MM 11-Nikon.

## IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan pengujian komposisi kimia spesimen (baja karbon rendah) dengan menggunakan Vacuum emission spectrometry kemudian barulah dilakukan pelapisan nikel dengan memvariasikan rapat arus dan waktu proses. Setelah itu, hasil lapisan diuji, diperiksa, dan dilakukan beberapa perhitungan seperti berat endapan teoritis, efisiensi pelapisan, dan laju korosi.

### 4.1. Data penelitian

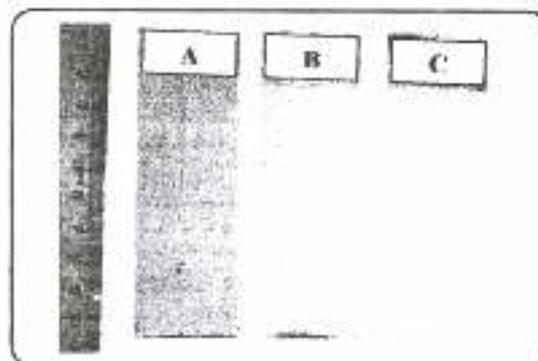
Hasil pengujian komposisi kimia specimen

Tabel 2. Data Komposisi Kimia Logam Dasar

Unsur	Standar AISI 1005 (%)	Hasil Pengujian
Karbon (C)	≤0,06	0,06
Silikon (Si)	≤0,10	0,05
Mangan (Mn)	≤0,35	0,23
Phospor (P)	≤0,04	0,017
Sulfur (S)	≤0,05	0,009

Dari table di atas dapat dilihat bahwa komposisi kimia material yang digunakan sesuai dengan standar AISI 1005.

### Hasil proses pelapisan nikel



Gambar 4. Foto spesimen sebelum dilapis (A), Spesimen dengan hasil lapisan yang menaklap (B), dan hasil lapisan yang suram (C)

NS	RA (A/dm <sup>2</sup> )	t (mnt)	W <sub>akt</sub> (g)	W <sub>teo</sub> (g)	η (%)	T (μm)	ΔW (g)	Lk (mdd)	TR	DL
Awal		-	-	-	-	-	0,132	66	-	-
1	0,5	5	0,04	0,045	88,8	4	0,03	15	J	Tkl
2		10	0,08	0,091	87,9	5	0,023	11,5	J	Tkl
3		15	0,13	0,137	94,8	5,5	0,017	8,5	B	Tkl
4		20	0,18	0,183	98,3	6,75	0,013	6,5	B	Tkl
5		5	0,09	0,091	98,9	4,375	0,022	11	J	Tkl
6	1	10	0,17	0,183	92,8	5,75	0,017	8,5	B	Tkl
7		15	0,27	0,274	98,5	6,25	0,014	7	B	Tkl
8		20	0,3	0,365	82,1	7,25	0,009	4,5	B	Tkl
9		5	0,13	0,137	94,8	5,25	0,015	7,5	B	Tkl
10		10	0,22	0,274	94,8	7	0,012	6	B	Tkl
11	1,5	15	0,38	0,411	80,2	7,5	0,01	5	B	Tkl
12		20	0,5	0,546	92,4	8	0,005	2,5	B	Tkl
13		5	0,18	0,183	91,5	5,75	0,011	5,5	B	Tkl
14	2	10	0,33	0,365	98,3	7,25	0,01	5	B	Tkl
15		15	0,43	0,548	90,4	8,25	0,006	3	B	Tkl
16		20	0,55	0,730	75,3	9,25	0,003	1,5	B	Tkl

Keterangan : spesimen setelah dilapis.

NS = Nomor spesimen

RA = Rapat arus

t = Waktu pelapisan

W<sub>akt</sub> = Berat endapan aktual = Berat spesimen sebelum dilapis – Berat spesimen setelah dilapis.

W<sub>teo</sub> = Berat endapan teoritis (hasil perhitungan HK. Faraday),  $W_{teo} = \frac{Ar \cdot I \cdot t}{n \cdot F}$

η = Efisiensi pelapisan =  $\frac{\text{Berat endapan aktual}}{\text{Berat endapan teoritis}} \times 100\%$

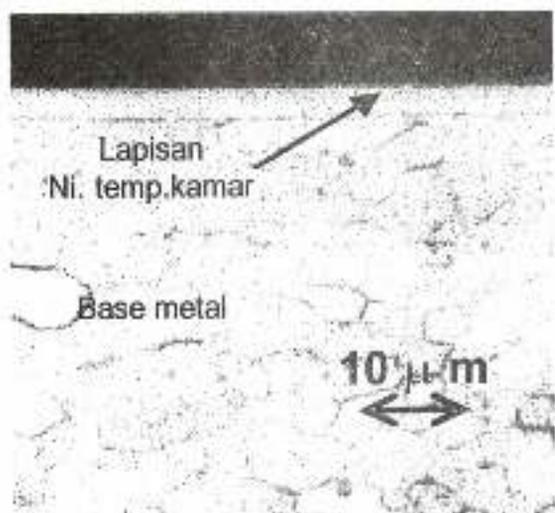
T<sub>i</sub> = Tebal lapisan

W = Selisih berat spesimen sebelum dikorosikan dengan setelah dikorosikan

Lk = Laju korosi,  $mdd = \frac{\Delta W}{A \cdot t}$  dimana A = Luas permukaan, t = waktu pengkorosian

TR = Tampak rupa, J = Jelek (lapisan tidak bagus, tipis/suram), B = Baik (lapisan mengkilat/terang)

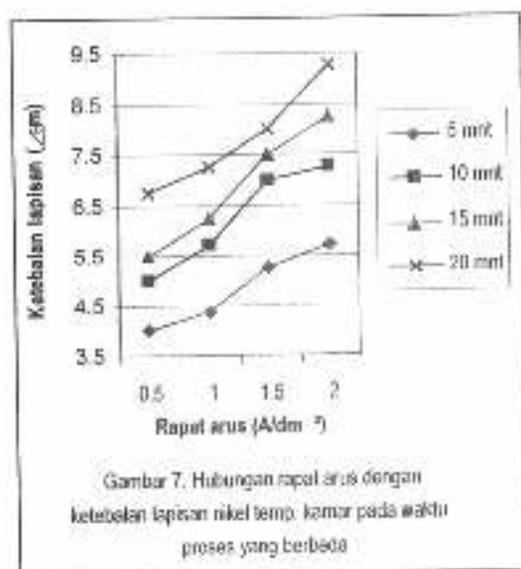
DL = Daya lekat, Kl = Lapisan terkelupas, Tkl = Lapisan tidak terkelupas (daya lekatnya baik)



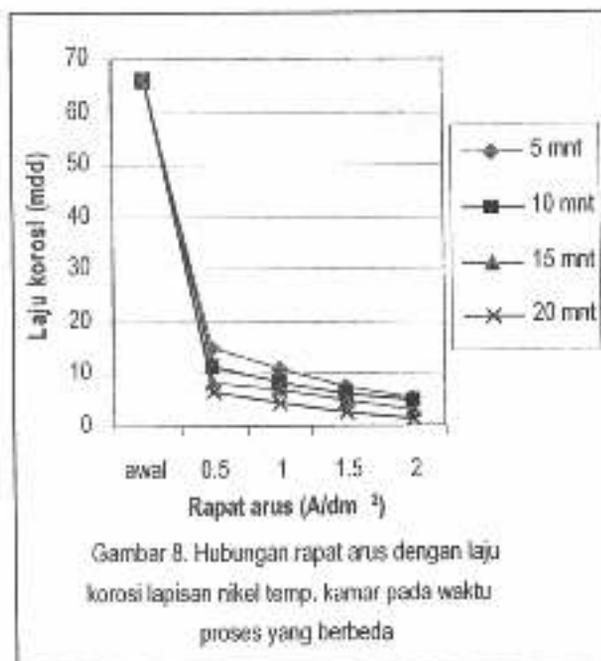
Gambar 5. Foto lapisan nikel temperatur kamar pada baja karbon rendah dengan matriks ferit ( $\alpha_f$ )



Gambar 6. Foto Hasil uji daya lekat lapisan nikel temperatur kamar



Gambar 7. Hubungan rapat arus dengan ketebalan lapisan nikel temp. kamar pada waktu proses yang berbeda



Gambar 8. Hubungan rapat arus dengan laju korosi lapisan nikel temp. kamar pada waktu proses yang berbeda

#### 4.1. Pembahasan

Dari tabel 2. terlihat bahwa komposisi spesimen yang digunakan sesuai dengan baja karbon rendah AISI 1005 yang memiliki fasa ferit ( $\alpha_f$ ) sebagai matriks (gambar 5).

Peningkatan rapat arus dan waktu pelapisan menyebabkan berat endapan dan ketebalan lapisan nikel temperatur kamar menjadi meningkat (table 3. dan gambar 7). Hal ini sesuai dengan hukum Faraday yang menyebutkan bahwa jumlah zat yang terbentuk dan terbebas selama elektrolisa berbanding lurus dengan besarnya arus dan waktu.

Relatif tipisnya lapisan yang terbentuk (maksimum 9,25  $\mu\text{m}$  pada  $RA = 2\text{A/dm}^2$ ;  $t = 20$  menit) menunjukkan bahwa elektrolit yang digunakan memiliki kecepatan pengendapan yang rendah akibat konsentrasi ion logam pada elektrolit yang relatif sedikit (larutan elektrolit cukup encer). Tetapi secara umum, tampak rupa lapisan nikel yang dihasilkan (khususnya untuk rapat arus 1,5 – 2  $\text{A/dm}^2$ ) menunjukkan hasil yang baik (table 3).

Dari table 3 juga dapat dilihat bahwa seluruh lapisan nikel yang dihasilkan memiliki daya lekat yang baik (tidak terkelupas) dengan laju korosi yang rendah (1,5 mdd untuk rapat arus 2  $\text{A/dm}^2$ ;  $t = 20$  menit). Hal tersebut menunjukkan bahwa lapisan nikel temperatur kamar memiliki keuletan yang cukup baik. Jadi, anggapan mengenai kelemahan lapisan nikel temperatur kamar tidak semuanya benar.

Hal lain yang dapat dikemukakan dari pelapisan nikel temperatur kamar adalah biaya pembuatan larutan yang relatif murah (table 4) sehingga dapat dilakukan penghematan biaya sebesar 57,4 %.

Selain itu, biaya listrik yang dikeluarkan untuk pemanasan larutan (2000 liter larutan memerlukan pemanas 6000 Watt) dapat dihilangkan dari komponen operating cost..

Elektrolit nikel dengan pemanasan			Elektrolit nikel temperatur kamar		
Komposisi (*)	Harga satuan (Rp)**	Biaya (Rp)	Komposisi (*)	Harga satuan (Rp)**	Biaya (Rp)
NiSO <sub>4</sub> = 225 g/l	35.000,00 / kg	7.875,00	NiSO <sub>4</sub> = 120 g/l	35.000,00 / kg	4.200,00
NiCl <sub>2</sub> = 45 g/l	60.000,00 / kg	2.700,00	NH <sub>4</sub> Cl = 10 g/l	20.000,00 / kg	200,00
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> = 45 g/l	10.000,00 / kg	450,00	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> = 15 g/l	10.000,00 / kg	150,00
aquadest	250,00 / ltr	250,00	aquadest	250,00 / ltr	250,00

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Untuk rapat arus 1,5 dan 2 A/dm<sup>2</sup>, lapisan nikel temperatur kamar memiliki tampak rupa yang mengkilap/terang.
2. Seluruh lapisan memiliki daya lekat yang baik.
3. Biaya produksi pelapisan nikel temperatur kamar jauh lebih rendah dibandingkan dengan pelapisan nikel dengan pemanasan.

### 5.2. Saran

1. Perlu penelitian lebih jauh mengenai range rapat arus yang dapat menghasilkan kualitas lapisan yang tetap baik.
2. Perlu dilakukan usaha untuk mempercepat laju pengendapan nikel pada benda kerja tanpa mengorbankan kualitas lapisan.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. ASM., "Metal Handbook, vol. 5 : Surface, Cleaning, Finishing and Coating", ninth edition., 1982.
2. AESF., "Training Course in Electroplating & Surface Finishing", American Electroplaters and Surface Finishers Society., 1998.
3. Di Bari, George A., "Nickel Plating Baths", International Nickel Co., Inc., Saddle Brook, New Jersey. 1984
4. Lainer, V.I., "Modern Electroplating", Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1970.
5. Necky Indrakusumah., B.E., "Proses pelapisan Tembaga, Nikel, dan Kromium", Lembaga Metalurgi Nasional LIPI., 1984.

# Irigasi Sistem SRI Sebagai Solusi Kelangkaan Air dan Peningkatan Produksi Padi di Daerah Irigasi Jatiluhur

Ariani Budi Safarina

*Issue kelangkaan air sudah menjadi masalah Internasional. Setiap saat air berkurang sementara kebutuhan terus meningkat seiring dengan bertambahnya penduduk dunia.*

*Manajemen sumberdaya air yang tepat di daerah irigasi Jatiluhur, sangat dibutuhkan untuk masalah ini. Di samping itu juga teknologi yang digunakan.*

*Kebutuhan air untuk pertanian memenuhi peringkat prioritas pertama di Jatiluhur, di samping kebutuhan untuk air bersih dan industri. Dengan demikian teknologi dalam pertanian yang dapat mereduksi kebutuhan air selama pertumbuhan hingga panen, merupakan langkah solusi.*

*Irigasi SRI merupakan sistem pertanian yang kebutuhan airnya 60% dari sistem irigasi biasa, dan produktivitasnya dua hingga tiga kali lipat irigasi biasa. Jika sistem irigasi ini diterapkan di daerah Irigasi Jatiluhur, maka kelangkaan air dan efisiensi pemakaian air dapat dilakukan. Di samping itu air yang masih ada dapat digunakan untuk meningkatkan pelayanan air minum bagi masyarakat dan juga Industri. Dengan demikian profit dari air minum dan industri meningkat, juga benefit dari irigasi.*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Saat ini air menjadi sumberdaya yang langka sehingga dibutuhkan manajemen sumberdaya air yang terintegrasi dan efisien. Pertanian umumnya menggunakan air irigasi dalam jumlah yang besar dibandingkan dengan air untuk rumah tangga dan industri. Dengan demikian memperbaiki manajemen air di bidang pertanian dapat membawa pada manfaat substansial berkaitan dengan ketersediaan air untuk perluasan aktifitas pertanian.

Sistem of Rice Intensification (SRI), dikembangkan oleh Fr. Henri de Laulanié, S.J., pada tahun 1980 di Madagascar, diawali dengan kesempatan untuk memperbaiki produksi padi dimana yang diharapkan bukan hanya peningkatan yang sedikit tetapi berlipat ganda. Dari berbagai riset yang secara luas telah dilakukan petani, SRI terbukti produktif dan menguntungkan sebagaimana dilaporkan oleh Tefy Saina, seorang penduduk asli dan LSM di Madagascar. Kurang dari tujuh tahun yang lalu, SRI diketahui dan dilaksanakan hanya di Madagascar.

Hingga kini terdapat 18 negara termasuk Indonesia yang telah memakai system ini mulai dari China hingga Peru, dengan rata-rata panen hingga 15 ton/ha.

### 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan solusi kelangkaan air di daerah irigasi Jatiluhur, dengan menerapkan irigasi sistem SRI

### 1.3 MANFAAT PENELITIAN

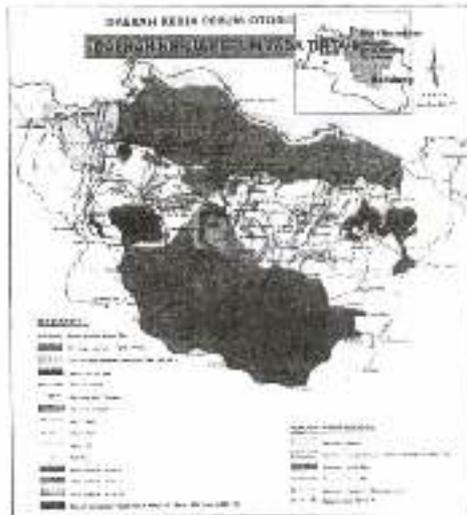
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai masukan bagi pihak pengelola daerah irigasi Jatiluhur, dalam mengatasi kekurangan air di musim kemarau.

## II. METODOLOGI

### 2.1 GAMBARAN UMUM DAERAH IRIGASI JATILUHUR

Daerah irigasi Jatiluhur mendapat suplai air dari outflow waduk Jatiluhur. Air keluaran dari Waduk Jatiluhur dibagi secara mekanis melalui saluran-saluran yang sengaja dibuat untuk irigasi dan disalurkan untuk penyediaan air bagi pertanian untuk kurang lebih 242.000 ha persawahan, penyediaan air industri di sentra industri Purwakarta, Karawang, Bekasi, dan Jakarta Timur, penyediaan air bagi air minum, PAM DKI Jakarta Raya, PDAM Bekasi, dan PDAM Purwakarta, penggelontoran sampah Kota Jakarta dan Bekasi. Skala prioritas pemakalan air adalah irigasi, kemudian air minum dan industri. Saat ini hampir sebagian besar air dimanfaatkan untuk irigasi, yang pengairannya diintegrasikan dengan air sumber

setempat yang telah ada. Pada musim kering air dari Jatiluhur mensuplai 70% dari kebutuhan air irigasi, dan pada musim hujan hanya 30% saja karena sisanya disuplai oleh air sumber setempat. Waduk Jatiluhur dikelola oleh Perum Jasa Tirta II, sejak tahun 1999. Daerah kerja Perum Jasa Tirta II dapat dilihat pada gambar.1

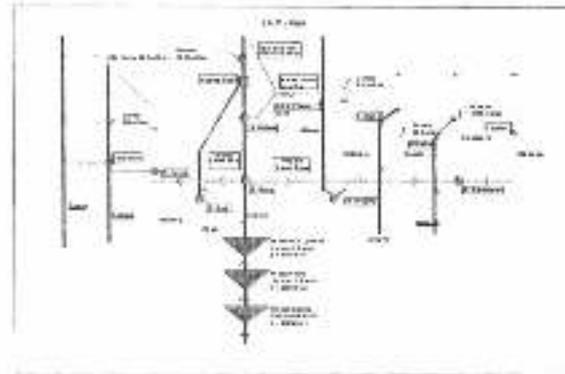


Gambar 1. Daerah kerja PJT II

### SKEMA DI JATILUHUR

Outflow dari waduk Jatiluhur diatur oleh bendung Curug sebelum didistribusikan ke saluran Tarum Barat, saluran Tarum Timur dan saluran Tarum Utara. Saluran Tarum Barat mensuplai kebutuhan air irigasi di Bekasi, Beet dan Karang selain juga dipakai untuk PAMDKI dan industri. Air dari Bendung Curug yang diarahkan ke saluran Tarum barat ini diatur oleh Bendung Beet, Bendung Karang dan Bendung Bekasi. Saluran Tarum Timur selain mengairi daerah irigasi sebelah Timur juga PDAM Indramayu, Exor PT Pertamina dan Tambak. Pengaturan air disini dibantu oleh B.Salam darma, B.Gadung, B.macan, B.Jengkol, B.Barugbug dan B.Pondang. Saluran Tarum Utara dari bendung Curug diatur melalui B.Walahar. Selain untuk pertanian air di sini digunakan juga untuk PDAM, Industri dan tambak. Gambar skema alokasi air outflow Jatiluhur dapat dilihat pada gambar 2.

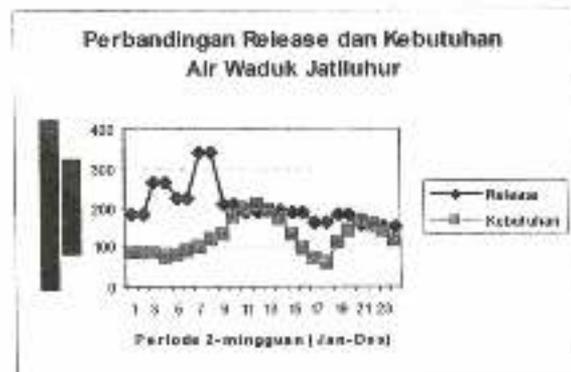
### SKEMA SISTEM PENGAIRAN JATILUHUR



Gambar 2. Skema DJ Jatiluhur

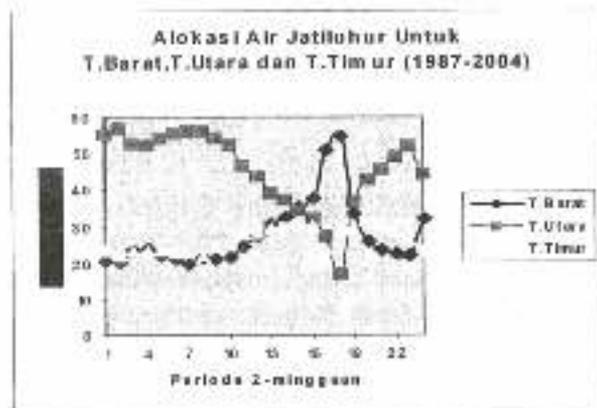
### 2.2PEMANFAATAN AIR DI JATILUHUR

Data alokasi air outflow Jatiluhur dibandingkan dengan kebutuhannya untuk irigasi, air minum dan industri dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Outflow dan Kebutuhan Air Jatiluhur

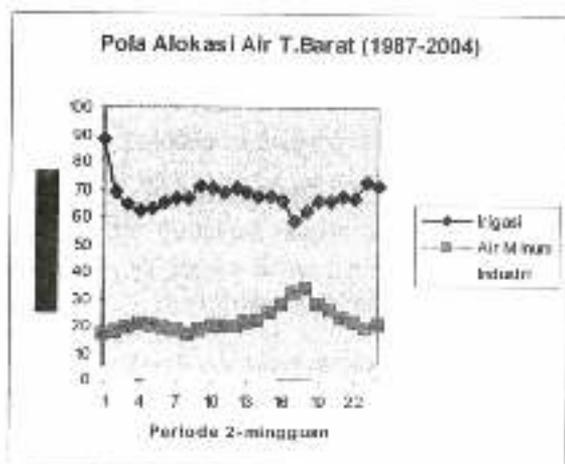
Seperti ditunjukkan pada gambar 2, outflow air Jatiluhur didistribusikan ke saluran Tarum Barat, Tarum Timur dan Tarum Utara. Pengaturan dilakukan di bendung Curug. Adapun pola distribusinya dapat dilihat pada gambar 3.



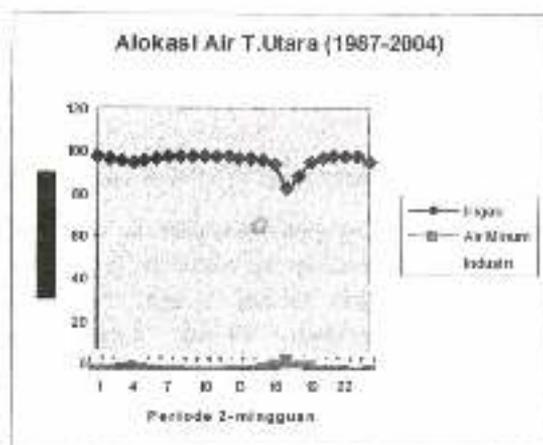
Gambar 3. Pola distribusi outflow Jatiluhur untuk T. Barat, T. Timur dan T. Utara

Dari data yang diperoleh sampai dengan tahun 2004, rata-rata alokasi untuk T.Barat adalah 28%, T.Utara 46% dan T.Timur 26%.

Prioritas utama peruntukkan air adalah untuk irigasi, yang hampir menggunakan 80% dari alokasi. Distribusi peruntukkan air untuk T.Barat, T.Timur dan T.Utara dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4a. Pola Alokasi Air T. Barat

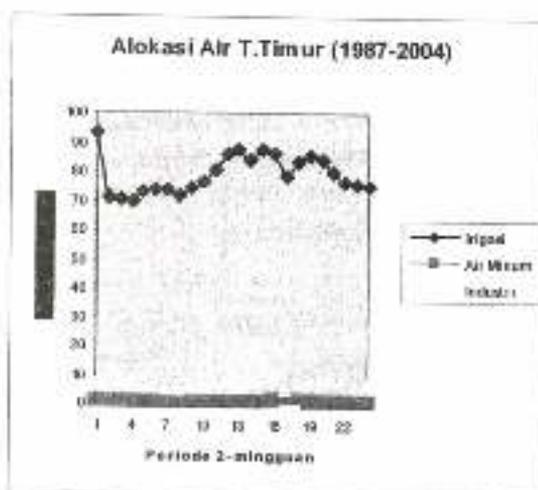


Gambar 4b. Pola Alokasi Air T. Utara

### III. ANALISA

Kebutuhan air untuk Irigasi yang menjadi prioritas, seringkali tidak dapat dipenuhi untuk musim kemarau. Jika hal ini terjadi, maka diadakan sistem golongan yang lebih banyak untuk melakukan pergiliran pemakaian air. Hal ini tentu saja akan mengurangi produktifitas panen.

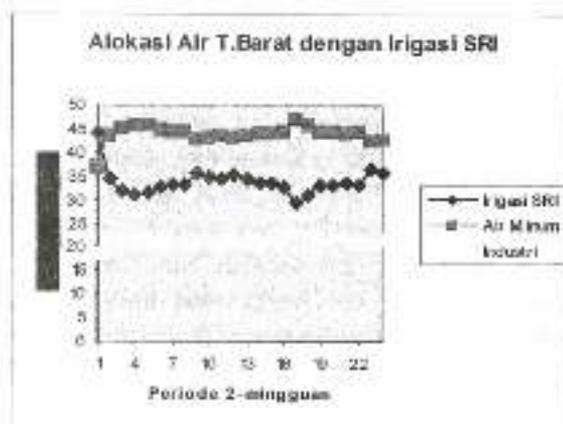
Sistem of Rice Intensification atau SRI, merupakan alternatif yang dapat mengatasi masalah ini.



Gambar 4c. Pola Alokasi Air T. Utara

Disamping kebutuhan air yang dapat direduksi hingga 40%, produktivitas padinya juga dapat meningkat hingga dua atau tiga kali lipat. Produktivitas panen tanpa SRI rata-rata adalah 5 ton/ha. Dengan SRI dapat mencapai 12ton/ha hingga 15ton/ha.

Dengan prediksi reduksi kebutuhan air dan meningkatnya produktivitas panen, maka air yang tersedia dapat digunakan untuk air minum dan industri. Dengan demikian profit dari air minum dan industri dan benefit dari irigasi dapat meningkat seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

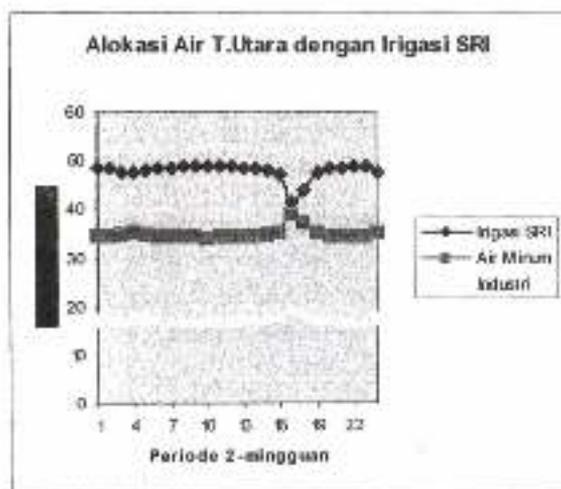


Gambar 5a. Alokasi T.Barat dengan Irigasi SRI

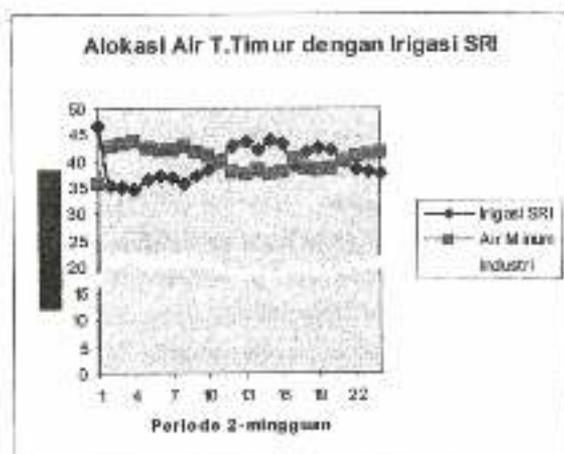
### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 4.1 Kesimpulan

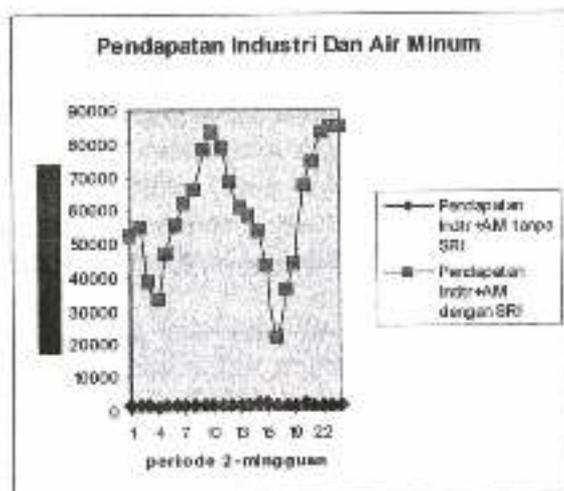
1. System of Rice Intensification (SRI) merupakan solusi untuk mengatasi masalah peningkatan kebutuhan air dan kelangkaan



Gambar 5b. Alokasi T. Utara dengan irigasi SRI



Gambar 5c. Alokasi T. Timur dengan irigasi SRI



Gambar 6. Pendapatan Industri dan Air minum

tersedianya air, karena merupakan sistem irigasi dengan kebutuhan air yang minim dan produktivitas panen yang tinggi.

2. Dengan meningkatnya produktivitas panen berarti SRI dapat meningkatkan kesejahteraan petani sekaligus produksi padi nasional.
3. Reduksi air dari irigasi SRI dapat dialihkan untuk kebutuhan yang lain seperti air minum dan industri, sehingga dapat meningkatkan pelayanan air bersih bagi masyarakat dan meningkatkan pendapatan bagi PJT II.

#### 4.2 Saran

1. Penerapan SRI di Indonesia saat ini masih langka, walaupun pemerintah melalui Dirjen Sumberdaya Air telah mendukung dan melakukan program-program sosialisasi. Hal ini disebabkan karena petani tradisional di Indonesia dengan intelektual yang rendah, sangat sulit melakukan perubahan, setelah puluhan tahun bertani dengan cara nenek moyangnya.
2. Hal tersebut di atas dapat diantisipasi dengan memberikan pelatihan dan pendampingan secara intensif kepada para petani disamping memberi pemahaman tentang berguna dan mengunggulkannya sistem SRI ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Chow VT, Maidment, 1988, Mays Larry W., Applied Hidrologi, McGraw-Hill International Edition  
 Norman Uphoff, 2004, System of Rice Intensification Responds to 21<sup>st</sup> Century Needs, FAO, Rome  
 Soemarto CD, 1987, Hidrologi Teknik, Usaha Nasional, Surabaya, Indonesia  
 Thomas R Sinclair, 2004, Agronomic UFOs Waste Valuable Scientific Resources, Rice Today

# ANALISA UMUR PAKAI BAJA PERKAKAS ASSAB DF3/AISI O1 HASIL PROSES PERLAKUAN PANAS

Adi Ganda P., Pawawoi

*Pada proses pembentukan logam, kondisi gesekan akan terjadi antara benda kerja yang relatif lunak dan perkakas/cetakan (dies) yang keras sehingga akan mengakibatkan keausan. Kualitas produk dan ketelitian dimensi berkaitan langsung dengan keausan perkakas. ASSAB DF 3 / AISI O1 adalah baja perkakas pembentuk (dies) yang dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas. Baja ini memiliki sifat mampu mesin dan ketangguhan yang baik serta laju keausan yang rendah umumnya digunakan untuk proses Press Working.*

*Proses perlakuan panas pada material perkakas ASSAB DF 3 adalah Quenching dan variasi Double Tempering mengakibatkan terjadinya perubahan fasa sehingga dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap keausan.*

*Analisa teoritis umur pakai material perkakas ASSAB DF 3 hasil proses perlakuan panas pada proses Blanking diperoleh hasil optimum yaitu hasil proses Quenching media oli dan Double Tempering pada temperatur  $2 \times 100^{\circ}\text{C}$ . Nilai kekerasan sebesar 56,78 HRC (628,60 HVN) dapat diperoleh sebanyak 19148 buah keping hasil proses Blanking.*

**Kata kunci:** Dies, Quenching, Double Tempering, Blanking

## 1. Pendahuluan

Baja perkakas digunakan sebagai perkakas bentuk maupun perkakas potong untuk berbagai material, salah satunya adalah pada cetakan (dies). Dalam operasional proses pembentukan akan terjadi kontak antara benda kerja dan perkakas cetakan sehingga cetakan (dies) harus memiliki kekerasan yang tinggi dan ketahanan aus yang cukup lama guna meningkatkan umur dalam pemakaiannya.

Proses perlakuan panas (heat treatment) dapat merubah sifat suatu material dengan jalan merubah struktur mikro atau fasa melalui proses pemanasan dan laju pendinginan. Sifat keras umumnya diperoleh dengan melakukan proses pengerasan (hardening) yaitu pemanasan pada temperatur austenit material tersebut yang kemudian dicelup cepat (quenching), dalam hal ini media yang digunakan adalah oli. Hasil proses ini akan diperoleh fasa martensit yang keras dan getas sehingga kemudahan untuk terjadi retak (crack) sangat besar. Untuk menghindari kegetasan biasanya setelah proses hardening kemudian dilakukan proses tempering yaitu material tersebut dipanaskan kembali pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$ .

Material baja perkakas ASSAB DF 3 / AISI O1 diharapkan mampu dikeraskan dan memiliki ketahanan aus yang baik sehingga umur pakainya dapat diperoleh secara optimum.

## 2. Prosedur Percobaan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja perkakas (tool steel) ASSAB DF 3 yang merupakan material baja paduan yang diaplikasikan untuk perkakas pengerjaan dingin (cold work tooling). Tabel 1. menunjukkan komposisi kimia ASSAB DF 3 yang setara dengan standar AISI type O1

### 2.1. Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses pengerasan (hardening) dan double tempering. Hardening dilakukan pada temperatur  $850^{\circ}\text{C}$  dengan media pendingin oli, sedangkan proses tempering dilakukan setelah proses hardening dengan temperatur tempering bervariasi yaitu  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$  dan  $600^{\circ}\text{C}$  yang masing – masing temperatur dilakukan dua kali pemanasan pada setiap spesimennya.

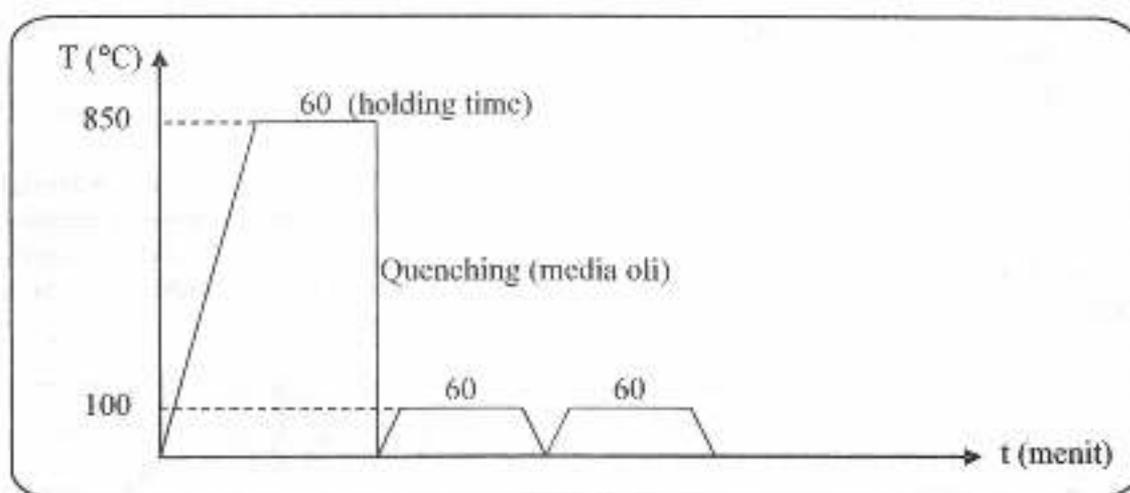
Secara skematik proses perlakuan panas yang dilakukan per spesimen diperlihatkan pada gambar 1.

### 2.2. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji metoda Rockwell skala C. Pengujian dilakukan pada spesimen uji untuk

Tabel 1. Komposisi kimia ASSAB DF 3

No.	Unsur	ASSAB DF 3	AISI 01
1.	Karbon (C)	0,90	0,85 – 0,95
2.	Krom (Cr)	0,50	0,40 – 0,60
3.	Vanadium (V)	0,10	0,20 max
4.	Wolfram (W)	0,50	0,40 – 0,60
5.	Mangan (Mn)	1,20	1,00 – 1,30
6.	Silikon (Si)	0,30	0,20 – 0,40
7.	Ferro (Fe)	sisa	sisa



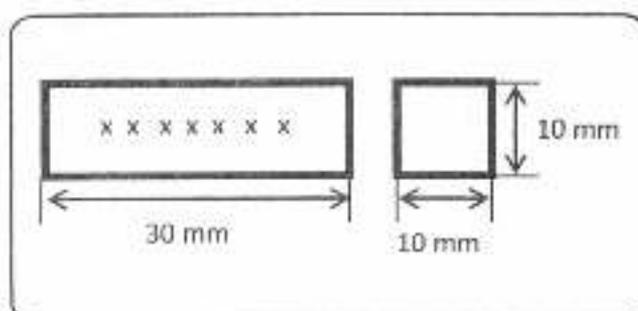
Gambar 1. Proses perlakuan panas untuk spesimen A (Hardening 850C dan Tempering 2 X 100C)

material awal sebelum proses perlakuan panas dan pada spesimen hasil proses perlakuan panas *hardening* serta masing-masing setelah variasi *tempering*.

### 2.3. Pengujian Keausan

Pada proses pengujian keausan dengan menggunakan alat yang

mempergunakan alat yang sesuai dengan prosedur ASTM D.3389, lamanya pembebanan atau waktu pembebanan selama 30 menit dengan putaran 5000 cycles pada pembebanan 10000 gram dan memakai *Abradent* tipe CS.10.



Gambar 2. Lokasi identasi pada spesimen uji

### 3. Hasil dan Pembahasan

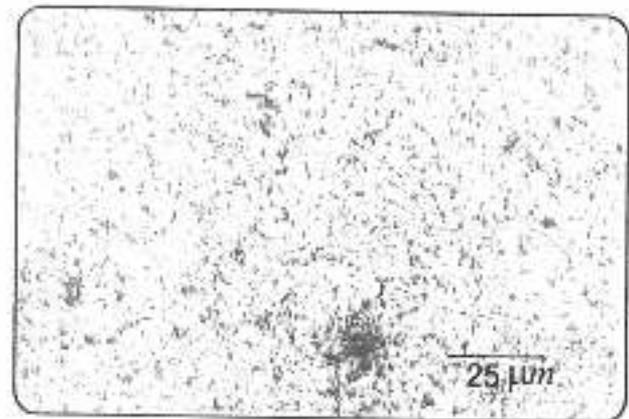
Dari hasil pengujian kekerasan dapat dilihat terjadinya peningkatan kekerasan dari material awal yang mengalami proses perlakuan panas hardening, sedangkan nilai kekerasan menurun setelah mengalami proses tempering, dimana semakin tinggi temperatur tempering yang dilakukan nilai kekerasan menurun. Harga kekerasan suatu perkakas dapat menjadikan dasar untuk dianalisa secara teoritik terhadap umur pakai perkakas tersebut.

Hasil proses pengujian diperoleh dengan menimbang berat spesimen setelah proses dan membandingkannya dengan berat awal sebelum spesimen diproses.

Sehingga dapat diketahui seberapa besar kehilangan beratnya.

Keausan dapat didefinisikan secara umum yaitu kehilangan berat dari material yang dihasilkan dari gesekan relative pada permukaan. Keausan selalu mengakibatkan kehilangan berat dan perubahan dimensi. Pada material perkakas yang pada operasionalnya terjadi gesekan dengan benda kerja sehingga dapat mengakibatkan keausan yang akan menyebabkan toleransi (kelonggaran) pada perkakas berubah yang akan berlanjut dan merusak ketelitian komponen tersebut. Oleh karena itu tujuan dari pengujian keausan adalah untuk mengetahui perbedaan ketahanan aus pada spesimen uji hasil proses perlakuan panas dengan variasi temperatur tempering. Dari hasil pengujian aus diperoleh harga keausan yang berbeda akibat dari proses perlakuan panas dengan dipengaruhi oleh beda temperatur

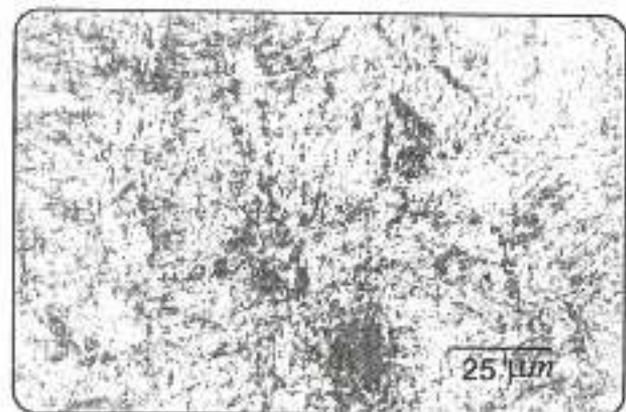
Perbedaan struktur mikro yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3. s/d Gambar 10. yang secara berurutan memperlihatkan struktur mikro material awal, hasil proses hardening 850C, hasil proses hardening 850C + tempering 2 x 100 s/d hardening 850C + tempering 2 x 600.



Etsa : Nitral 3 % 800 X

Gambar 3. Struktur mikro spesimen A

Struktur mikro spesimen A (material awal) diperlihatkan pada Gambar.3. Struktur partikel karbida sferoid yang terdispersi di dalam matrik Ferrite. Struktur ini memberikan karakteristik pada kondisi full annealing



Etsa : Nitral 3 % 800 X

Gambar 4. Struktur mikro spesimen B

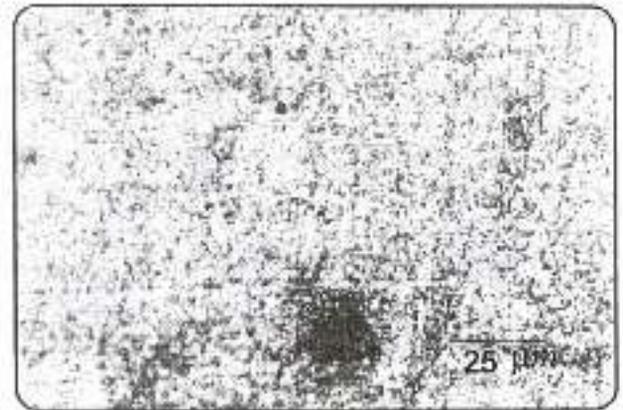
Gambar 4. memperlihatkan struktur mikro spesimen B [hasil proses Hardening 850C dengan media pendingin oli]. Struktur yang terbentuk adalah austenit sisa, bainit di dalam matrik martensit.



Etsa : Nital 3 % 800 X

Gambar 5. Struktur mikro spesimen C1

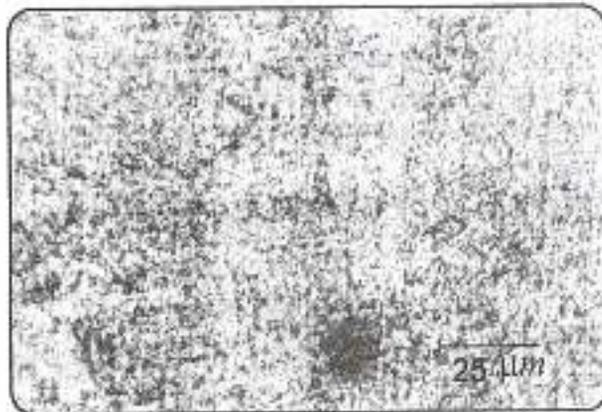
Struktur mikro spesimen C1 (hasil proses Hardening + Tempering ( 2 x 100C )) diperlihatkan pada Gambar 5. Struktur secara visual terlihat seperti spesimen B yaitu carbida dengan matrik martensit temper.



Etsa : Nital 3 % 800 X

Gambar 7. Struktur mikro spesimen C3

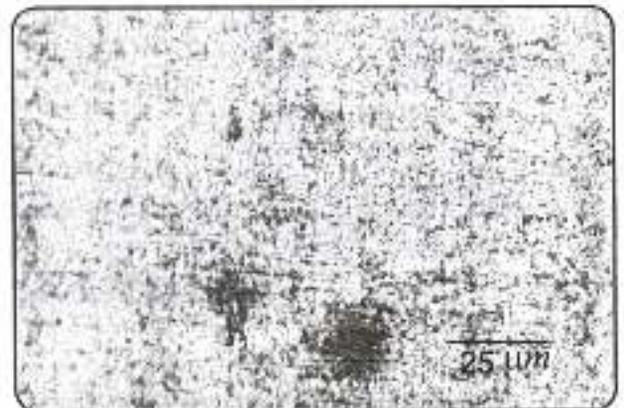
Gambar 7. memperlihatkan struktur mikro spesimen C3 (hasil proses Hardening + Tempering ( 2 x 300C )). Struktur yang terbentuk adalah partikel carbida dalam matrik martensit temper



Etsa : Nital 3 % 800 X

Gambar 6. Struktur mikro spesimen C2

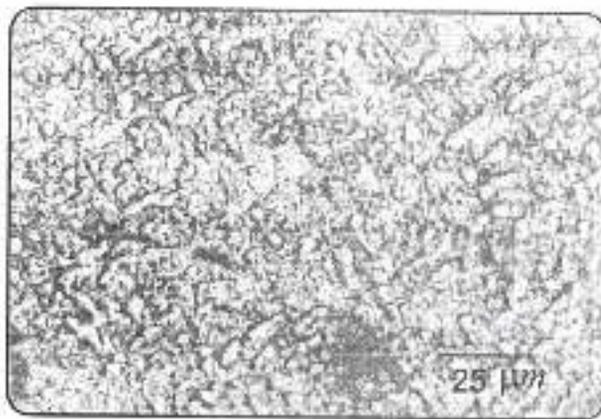
Gambar 6. memperlihatkan struktur mikro spesimen C2 (hasil proses Hardening + Tempering ( 2 x 200C)). Struktur yang terbentuk adalah carbida dalam matrik martensit temper



Etsa : Nital 3 % 800 X

Gambar 8. Struktur mikro spesimen C4

Struktur mikro spesimen C4 (hasil proses Hardening + Tempering ( 2 x 400C )) diperlihatkan pada Gambar 8. Struktur yang terbentuk adalah carbida dalam matrik martensit temper



Etsa : Nital 3 % 800 X

Gambar 9. Struktur mikro spesimen C5

Struktur mikro spesimen C5 (hasil proses Hardening + Tempering ( 2 x 500C )) diperlihatkan pada Gambar 9. Struktur yang terbentuk adalah karbida dengan matrik martensit temper.



Etsa : Nital 3 % 800 X

Gambar 10. Struktur mikro spesimen C6

Gambar 10, memperlihatkan struktur mikro spesimen C6 (hasil proses Hardening + Tempering ( 2 x 600C )). Struktur yang terbentuk adalah karbida dengan matrik martensit temper.

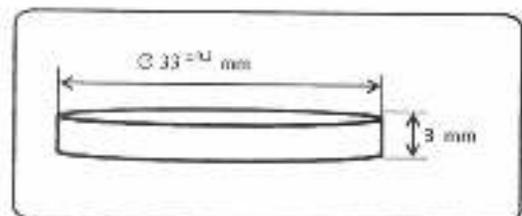
#### Analisa Umur Pakai Teoritis

Umur perkakas ditentukan dengan kriteria dimana perkakas tidak dapat digunakan lagi secara ekonomis atau jika terjadi kerusakan total perkakas. Lebih khusus umur perkakas biasanya didefinisikan dengan suatu nilai tebal keausan rata-rata daerah keausan yang diizinkan

Kerusakan perkakas selama produksi akan sangat merugikan dan harus dihindari

Hal ini mengarah keperkiraan umur perkakas dan pergantian perkakas sebelum habis umur ekonomisnya.

Dari analisa teoritis yang digunakan sebagai contoh dalam perhitungan untuk memperkirakan umur pakai material perkakas pengerjaan dingin Assab DF-3, penulis menghitung berdasarkan harga kekerasan perkakas pada kondisi awal dan dengan kondisi hasil proses perlakuan panas. Adapun perkakas direncanakan guna membuat keping untuk ring dengan proses blanking pada material baja St 37 dengan geometri keping yang akan dibuat diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Geometri keping untuk ring

Mesin yang digunakan merk Open Back Inclined Power Press jenis eksentrik dengan kapasitas beban maksimum 17 ton dan kecepatan produktivitas 5 bh/detik.

Gaya pons (blanking) yang diperlukan adalah :

$$\begin{aligned}
 F_t &= A_s \cdot (teoritis) \\
 &= A_s \cdot 0,7 \cdot S_u \\
 &= d.t. \cdot 0,7 \cdot S_u \\
 &= 3,14 \cdot 33 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 37 \\
 &= 8051,27 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_p &= 1,3 \cdot F \text{ (praktis)} \\
 &= 1,3 \cdot 8051,27 \\
 &= 10.466,66 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Besarnya kehilangan volume perkakas pada kondisi awal (spesimen A) per proses pons (blanking) tersebut adalah :

$$\begin{aligned} V &= K.L.W \\ &= \frac{1,3 \cdot 10^4 \cdot 1,5 \cdot 10.466,66}{290,16} \\ &= 0,00703 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

atau perkakas tersebut akan mengalami pengurangan tebal sebesar :

$$\begin{aligned} V &= A.t \\ t &= V/A \\ &= \frac{0,00703}{310,86} \\ &= 2,26 \cdot 10^{-5} \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan demikian umur ekonomis perkakas tersebut adalah setelah mengalami keausan yang dilizinkan yaitu hingga ukuran produk keluar dari ukuran toleransinya ( 0,2 mm), maka jumlah produk (keping) yang akan dihasilkan hingga perkakas tersebut mencapai umur ekonomisnya adalah :

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ produk} &= \frac{\text{Toleransi}}{\text{Pengurangan Tebal}} \\ &= \frac{0,02 \text{ mm}}{2,26 \times 10^{-5}} \\ &= 88836,726 \approx 8837 \text{ keping} \end{aligned}$$

Jadi umur pakai perkakas awal (spesimen A) dapat menghasilkan 8837 buah keping, atau umur pakai ekonomis dalam waktu selama:

$$\begin{aligned} &= \frac{\Sigma \text{ produk}}{\text{Kecepatan produktivitas}} \\ &= \frac{8836,726}{5 \text{ bh/detik}} \\ &= 1767,745 \text{ detik} \approx 29,46 \text{ menit} \end{aligned}$$

## Analisa Pembahasan

### Komposisi Kimia

Data komposisi kimia spesimen yang diperoleh dari PT. Assab sebagai obyek penelitian, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2. menunjukkan baja paduan dengan unsur utama yang terkandung adalah 0,9% C dengan unsur paduan 0,5 %Cr + 0,1 %V + 0,5%W + 1,2 %Mn + 0,3 %Si dan Fe sebagai sisa. Dari komposisi yang terkandung mengindikasikan bahwa material uji termasuk ke dalam baja karbon tinggi (0,9% C) dengan paduan rendah (0,5 %Cr + 0,1 %V + 0,5%W + 1,2 %Mn + 0,3 %Si) dimana jumlah unsur paduannya < 8 % yang secara aplikasi material tersebut digunakan sebagai baja perkakas.

Dari data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar yang ada, material tersebut setara dengan standar American Iron and Steel Institute (AISI) O1 yaitu baja perkakas untuk pengerjaan dingin (Cold Work Tool Steel).

Seri O ini merupakan jenis baja perkakas yang dapat dikeraskan melalui proses perlakuan panas dengan media pendingin oli (Oil Hardening Tool Steel) yang memiliki sifat mampu mesin dan ketangguhan yang baik serta laju keausan yang rendah, jenis ini biasanya dipergunakan untuk operasi press working yaitu proses Shearing, Blanking, Punching dan Coining.

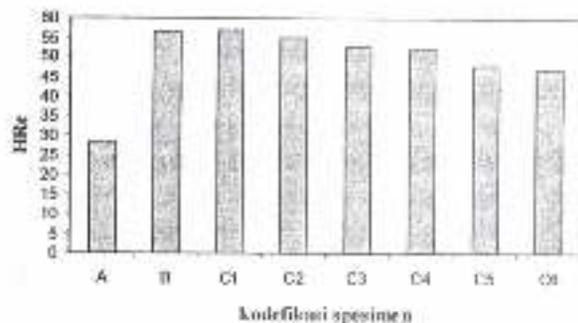
Baja Assab DF3 memiliki unsur –unsur pembentuk karbida yaitu unsur Chrom, Wolfram dan Vanadium yang akan mempengaruhi karakteristik materialnya. Karbida adalah senyawa ikatan antara unsur logam dengan karbon yang memiliki sifat sangat keras. Unsur krom dalam baja perkakas tersebut membentuk karbida M<sub>2</sub>C dengan bentuk sel satuan Orthorombik seperti halnya karbida besi atau Fe<sub>3</sub>C, jenis karbida ini relatif memiliki kekerasan terendah (700 ~ 800 HV) dibandingkan dengan jenis-jenis karbida lainnya yaitu salah satunya jenis karbida MC dengan bentuk sel satuan Face Centered Cubic (FCC), jenis karbida ini yang terbentuk pada material Assab DF 3 adalah karbida Vanadium dan Wolfram. Dengan kekerasan relatif paling tinggi ( 3000 HV) diantara jenis-jenis karbida yang lainnya.

Pengaruh unsur lainnya yang terkandung dalam baja perkakas tersebut adalah unsur Mn yaitu berfungsi untuk mengikat unsur pengotor pada baja

(unsur belerang/sulfur) sehingga membentuk Sulfida Mangan (MnS) yang memiliki titik cair relatif lebih tinggi dari pada Sulfida Besi (FeS), sehingga akan mencegah tercadanya cacat rapuh panas pada saat proses pembentukan panasnya. Unsur lainnya yaitu silikon yang terdapat pada baja perkakas ini adalah berfungsi untuk meningkatkan sifat mampu keras (Hardenability) pada saat proses perlakuan panasnya.

### Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan metoda Rockwell skala C pada spesimen dengan berbagai kondisi dari spesimen awal dan spesimen yang mengalami proses perlakuan panas Hardening dan Tempering ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kekerasan rata-rata terhadap berbagai kondisi proses perlakuan panas yang dilakukan

Gambar 12 memperlihatkan adanya pengaruh perlakuan panas yang dilakukan dengan variasi temperatur tempering terhadap nilai kekerasan pada material yang sama dengan spesimen yang tidak mengalami proses perlakuan panas (spesimen A). Hal ini mengindikasikan bahwa proses perlakuan panas dapat merubah sifat dimana semakin tinggi temperatur temper yang diterapkan nilai kekerasan akan semakin rendah. Hal ini pula didukung dengan persen kehilangan berat (nilai keausan) yang semakin tinggi pada kondisi proses dengan temperatur temper yang semakin tinggi. Proses perlakuan panas pengerasan (Hardening) akan meningkatkan kekerasan baja perkakas Assab DF3 dari kondisi awalnya yaitu kondisi soft anealing. Peningkatan kekerasan yang terjadi adalah sebesar 49,7 % dari nilai kekerasan rata-rata 28,52 HRC menjadi 56,58 HRC. Hal ini disebabkan karena pada saat proses pendinginan cepat pada media pendingin oli, terjadi transformasi fasa dari fasa

austenit menjadi fasa martensit yang memiliki sifat keras dan getas sebagai akibat terjebaknya atom-atom karbon pada rongga-rongga oktahedral Face Centered Cubic (FCC) dari fasa austenit sebelumnya. Atom-atom karbon yang tidak sempat berdifusi sebagai akibat cepatnya laju pendinginan tersebut akan menyebabkan tetragonalitas pada sel satuan fasa martensit yaitu Body Centered Tetragonal (BCT) sehingga menimbulkan medan tegangan disekitar kisinya.

Berdasarkan kandungan unsur karbon dan unsur lainnya yang terdapat pada baja perkakas ini, maka selain fasa martensit yang terbentuk sebagai fasa hasil perlakuan panas hardening ini, akan terbentuk pula fasa austenit sisa yang memiliki sifat lunak dan ulet. Fasa ini merupakan fasa austenit yang belum bertransformasi menjadi martensit sebagai akibat belum tercapainya temperatur M<sub>s</sub> (martensit finish) yang keberadaannya dibawah temperatur kamar.

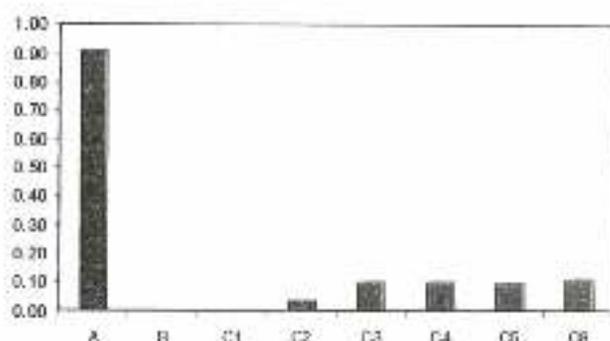
Proses Tempering yaitu proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan dengan tujuan meningkatkan keuletan atau menurunkan kegetasan, menyebabkan beberapa hal yang terjadi pada baja perkakas Assab DF 3 ini.

Proses Temper 100C menyebabkan sedikit peningkatan kekerasan rata-rata dari kekerasan sebelumnya dari kondisi hardening (56,58 HRC menjadi 56,78 HRC), kekerasan tersebut relatif homogen dan sedikit peningkatannya dapat disebabkan oleh karena terjadinya transformasi fasa dari fasa austenit sisa menjadi fasa martensit. Pada proses Tempering ini terjadi pula transformasi fasa dari fasa martensit menjadi martensit temper dimana pada tahap ini sebagian kecil atom yang sebelumnya terjebak, akan berdifusi keluar dari rongga kisi Body Centered Tetragonal (BCT).

Selanjutnya dengan meningkatnya temperatur temper (200, 300, 400, 500 dan 600C) akan meningkatkan pula laju difusi karbon untuk keluar dari rongga kisi martensit dan membentuk fasa karbida besi (Fe<sub>3</sub>C) dan fasa martensit temper. Hal ini pulalah sebagai penyebab terjadinya penurunan kekerasan dari baja perkakas Assab DF 3 pada saat di temper. Proses Tempering ini merupakan suatu proses untuk mengatur kekerasan yang diinginkan dari suatu baja yang disesuaikan dengan aplikasi kondisi kerjanya.

### Pengujian Keausan

Dari hasil pengujian keausan diperoleh nilai kehilangan berat pada setiap spesimen dengan berbagai kondisi perlakuan seperti diperlihatkan pada Gambar 13



Gambar 13. Kehilangan berat terhadap berbagai kondisi proses perlakuan panas yang dilakukan

Pada Gambar 13 terlihat bahwa spesimen yang tidak mengalami proses perlakuan panas (spesimen A) menghasilkan nilai laju keausan yang tinggi, dengan kata lain material tersebut ketahanan ausnya rendah. Sedangkan untuk spesimen B dan C1 tidak mengalami kehilangan berat (nilai 0 gram), namun tidak berarti material tersebut tahan aus tetapi pengujian yang dilakukan relatif singkat (30 menit pada beban 10 kg). Spesimen selanjutnya dengan variasi temperatur temper yang dilakukan, dapat dijelaskan bahwa nilai laju keausannya semakin tinggi dengan semakin tingginya temperatur temper. Hal ini pula didukung dengan nilai kekerasan yang semakin rendah pada kondisi proses dengan temperatur temper yang tinggi. Dengan demikian baja perkakas Assab DF3 pada kondisi awal (soft/full annealing) yang memiliki kekerasan rata-rata terendah (28,52 HRC) akan memiliki ketahanan aus yang paling rendah. Selanjutnya pada kondisi setelah pengerasan dengan struktur fasa keras martensit yang memiliki kekerasan rata-rata (56,58 HRC) akan memiliki laju keausan yang terendah atau memiliki ketahanan aus yang tertinggi tetapi kondisi tersebut fasa martensitnya tidak stabil serta terdapat fasa austenit sisa yang sifatnya lunak sehingga perlu dilakukan proses Tempering dimana proses tersebut akan menyetabilkan fasa martensit dan mentransformasikan fasa austenit sisa. Proses Tempering akan menurunkan kekerasan rata-rata baja perkakas Assab DF3 tetapi akan meningkatkan

laju keausan atau menurunkan pula ketahanan ausnya, sebanding dengan penurunan kekerasan dari baja perkakas tersebut.

### Struktur Mikro

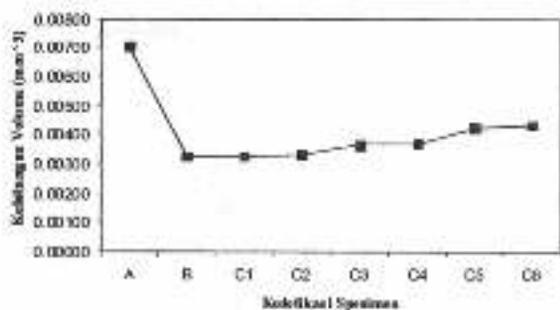
Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur mikro, maka dapat ditunjukkan struktur yang terbentuk dari baja perkakas Assab DF3 pada kondisi awal yaitu kondisi soft atau full annealing. Fasa-fasa yang terdapat pada baja tersebut adalah Partikel bulat karbida dalam matriks Ferrite. Setelah dilakukan proses pengerasan maka struktur yang terbentuk adalah martensit tanpa ditemper, kemungkinan beberapa fasa bainit dan fasa austenit sisa.

Proses Tempering yang dilakukan terhadap baja perkakas Assab DF3 setelah proses hardening, akan menyebabkan perubahan struktur menjadi martensit temper dan partikel karbida. Dengan bertambahnya temperatur temper maka karbida yang terbentuk cenderung semakin meningkat, hal ini ditunjukkan dengan struktur yang semakin kasar. Struktur mikro tersebut sangat erat kaitannya dengan sifat mekanik (kekerasan dan ketahanan aus) dari baja perkakas Assab DF-3 seperti telah dibahas pada sub bab sebelumnya.

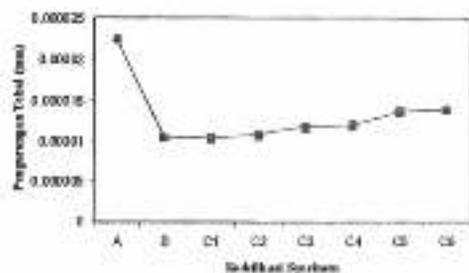
### Umur Pakai Perkakas Assab DF-3

Perkakas pemotong dalam operasinya press forming harus memiliki ketahanan terhadap gaya yang besar dan ketahanan terhadap keausan yang tinggi. Terdapat 2 jenis keausan pada perkakas tersebut yaitu keausan adhesi dimana serpih benda kerja yang melekat pada perkakas seolah-olah terjadi sambungan dan keausan terjadi karena lepasnya sambungan tadi. Jenis keausan lainnya adalah keausan abrasi, terjadi karena partikel-partikel keras dibawah serpih benda kerja mengikis permukaan secara mekanis. Partikel keras tersebut berasal dari unsur keras benda kerja atau perkakas.

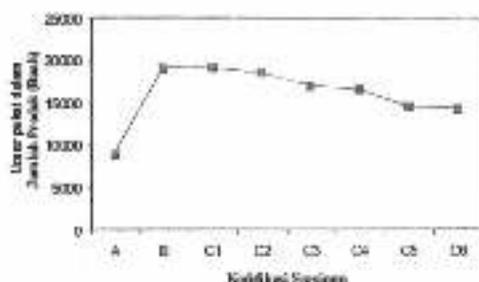
Secara teoritis dapat diperhitungkan umur pakai perkakas yang diteliti dalam pembuatan keping untuk ring dengan proses blanking sebagai contoh. Dari hasil perhitungan umur perkakas dengan berbagai kondisi perlakuan panas yang ditunjukkan pada grafik hubungan umur pakai dengan berbagai kondisi perlakuan panas material perkakas Assab DF-3 seperti diperlihatkan pada Gambar 14 sampai dengan 17.



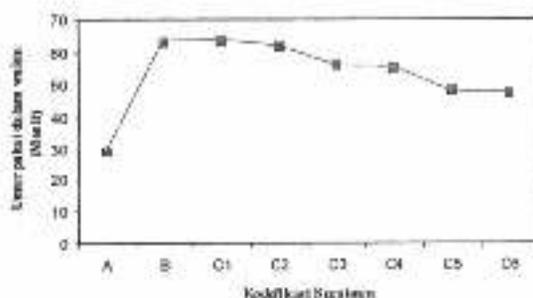
Gambar 14. Kehilangan volume per proses terhadap berbagai kondisi proses perlakuan panas Perkakas Assab DF-3



Gambar 15. Kehilangan tebal per proses terhadap berbagai kondisi proses perlakuan panas Perkakas Assab DF-3



Gambar 15. Umur pakai dalam jumlah produk terhadap berbagai kondisi proses perlakuan panas Perkakas Assab DF-3



Gambar 15. Umur pakai dalam waktu terhadap berbagai kondisi proses perlakuan panas Perkakas Assab DF-3

Berdasarkan Gambar di atas dapat diketahui bahwa kehilangan volume atau pengurangan tebal perkakas setiap kali proses blanking tersebut yang paling rendah adalah material Assab DF-3 hasil proses Hardening + Tempering 100C (spesimen C1) dan menghasilkan umur pakai perkakas dalam jumlah produk maupun dalam satuan waktu yang paling besar yaitu 19148 buah keping dalam waktu 63,827 menit. Setiap peningkatan temperatur temper 100C pada material perkakas hasil proses hardening yaitu dari temperatur temper 100C hingga 600C menyebabkan peningkatan kehilangan volume atau pengurangan tebal perkakas dan atau penurunan umur pakai perkakas rata-rata sebesar 5,5%.

Peningkatan pengurangan tebal atau penurunan umur pakai perkakas blanking Assab DF-3 tersebut sangat ditentukan oleh kekerasan dari material perkakas dan kekerasan perkakas tersebut sangat dipengaruhi oleh perlakuan panas yang dialaminya. Kondisi optimum dari perkakas blanking Assab DF-3 ini adalah pada perlakuan panas Hardening + Tempering 100C, hal ini disebabkan oleh karena terjadinya transformasi fasa dari austenit sisa menjadi martensit, yang dikenal dengan nama Temper Embrittlement.

### Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil uji komposisi kimia, baja perkakas ASSAB DF-3 sesuai dengan komposisi kimia baja perkakas AISI O1
2. Semakin tinggi temperatur proses tempering maka kekerasan akan turun, hal ini terjadi karena meningkatnya laju difusi karbon keluar dari rongga kisi martensit dan membentuk fasa karbida besi dan martensit temper.
3. Nilai kehilangan berat dan presentase keausan yang terkecil diperoleh pada spesimen yang mengalami proses temper dua kali pada temperatur 100 C.
4. Struktur mikro akhir dari spesimen yang mengalami proses pengerasan yang dilanjutkan dengan proses tempering dua kali adalah karbida dalam matriks martensit temper.
5. Secara teoritis umur pakai baja perkakas ASSAB DF-3 yang dipakai dalam pembuatan keping ring dengan proses blanking adalah 63,82 menit dengan jumlah produk 19148 buah.

### Daftar Pustaka

1. W.O Alexander, G.J., Davies, "Essensial Metallurgy for Engineers".
2. Wilson, R., "Metallurgy and Heat Treatment of Tools Steel, Mc. Graw-hill.
3. Thelning, Karl-Erik, "Steel and Its Heat Treatment," Butterwotgs.
4. Rochim S., "Panduan Perlakuan Panas," ITB.

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

Yayan Herdayana Sulung T.

*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 PtAl. 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 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.*

**KATA KUNCI:** Superalloys, Nickel base alloy, Analisa kegagalan, Turbine bucket

### 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 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, seperti pada gambar 1<sup>(1)</sup> Material Superalloys dikelompokkan menjadi tiga kelas utama dan dua kelas tambahan.

Kelompok Superalloys yang dimaksud adalah<sup>(2,3)</sup>:

1. Nickel base Superalloys

2. Cobalt base Superalloys

3. Iron base Superalloys

Dan dua kelas tambahannya adalah<sup>(2)</sup>:

1. Chromium base Superalloys

2. Nickel-iron Superalloys, dimana kelas ini hampir mirip dengan jenis Nickel base Superalloys.

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.

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.

Dengan melakukan penelitian, terhadap komponen turbine bucket yang rusak ini diharapkan berguna untuk :

1. Memberikan informasi kerusakan yang terjadi pada turbine bucket jenis mesin turbin gas.
2. Memberikan gambaran tentang mekanisme kerusakan yang terjadi pada turbine bucket ini.
3. Menentukan langkah pencegahan (preventive) terhadap kerusakan yang serupa / sama pada material MAR-M-246.
4. Mengetahui sejauhmana kerusakan yang dialami oleh bucket.
5. Mempelajari rekomendasi berkenaan dengan pembaharuan, perbaikan ataupun penggantian

Penelitian ini mempunyai keterbatasan, 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.

#### **METODE PENELITIAN**

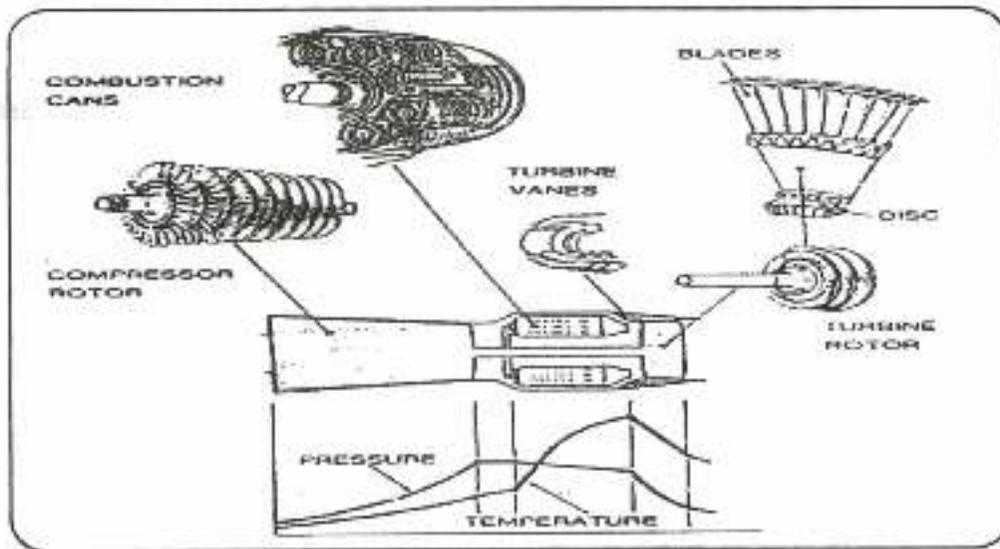
Langkah – langkah dalam penelitian ini dimulai dari pencarian informasi kondisi operasi turbine bucket di lapangan, pemeriksaan secara visual, pemeriksaan struktur mikro, pengujian kekerasan, dan pemeriksaan komposisi kimia dengan menggunakan EDAX. Dibawah ini disajikan skema proses penelitian yang dilakukan secara terinci, lihat gambar 2.

#### **DATA DAN PEMBAHASAN**

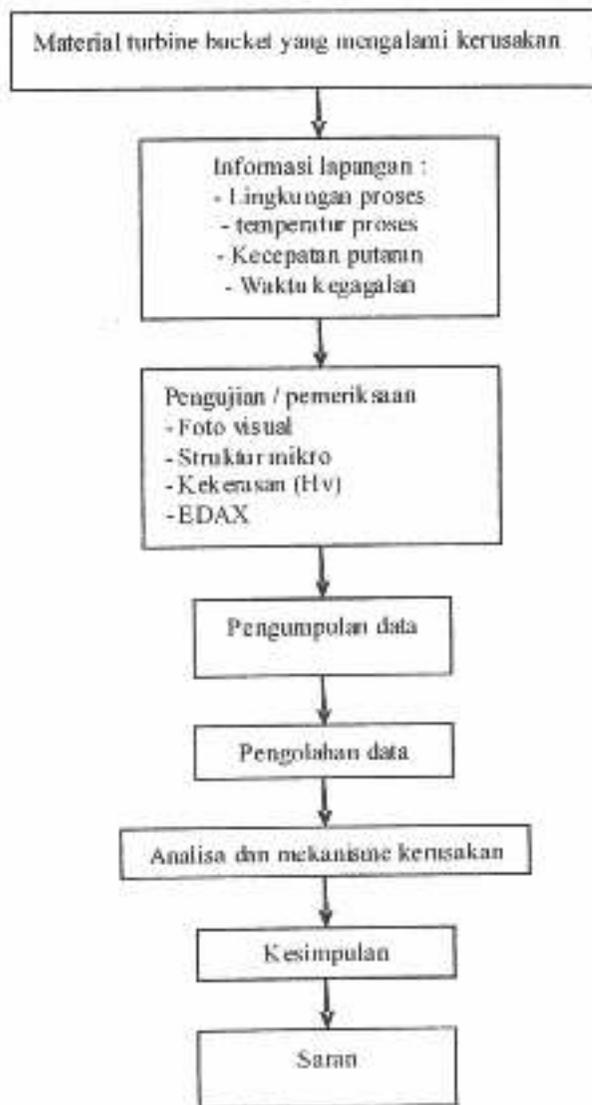
##### **Pemeriksaan secara visual**

##### **1. Indikasi Proses Manufaktur dari Turbin Bucket**

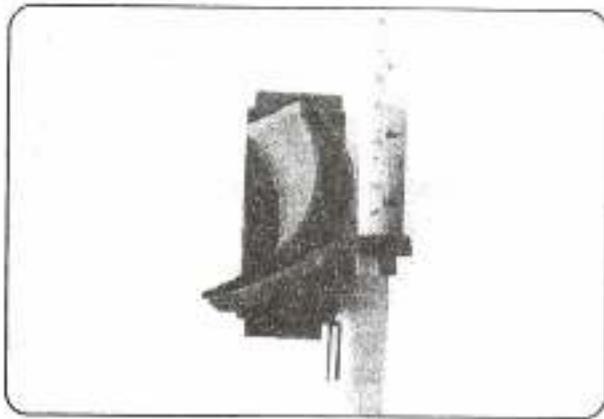
Hasil pemeriksaan secara visual seperti tampak pada gambar 3 di bawah ini tampak adanya rongga ditengah turbine bucket. Tujuan dibuat rongga ditengah ini adalah sebagai pendingin (air cooling) agar turbine bucket tersebut tidak mengalami over heating. Fungsi lainnya yaitu untuk mengurangi berat turbine bucket, karena bila turbine bucket berbentuk pejal, maka turbine bucket tersebut akan lebih berat sehingga memiliki gaya sentrifugal yang jauh lebih tinggi.



Gambar 1. Komponen Mesin Turbin gas

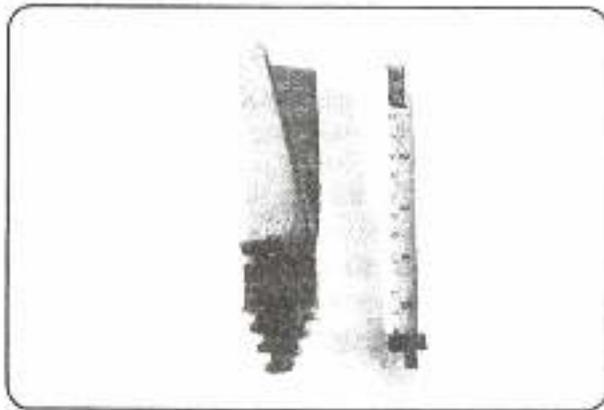


Gambar 2. Skema proses penelitian



Gambar 3. Rongga dalam turbin

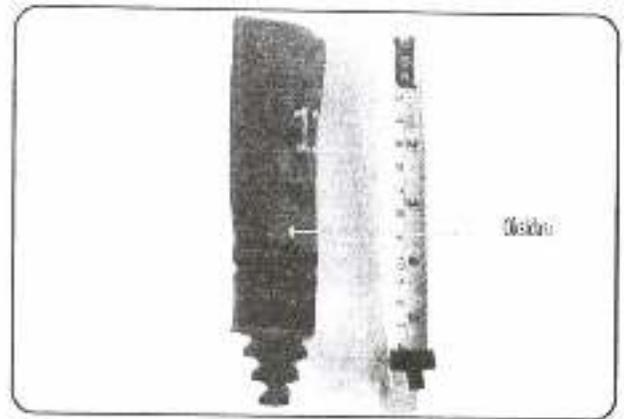
Karena adanya rongga di turbine bucket tersebut, hal ini memberikan indikasi bahwa pembuatannya dilakukan dengan menggunakan proses investment casting dengan sistim coring. Sebab jika pembuatannya menggunakan proses forging, maka untuk membuat rongga akan sangat sulit, karena ketipisan dan kemiringan bentuk sangat rumit (gambar 4). Informasi proses pembuatan akan membantu dalam menentukan komposisi kimia pada bucket apakah termasuk keluarga wrought alloy atau cast alloy.



Gambar 4 Kemiringan dan ketipisan turbine bucket

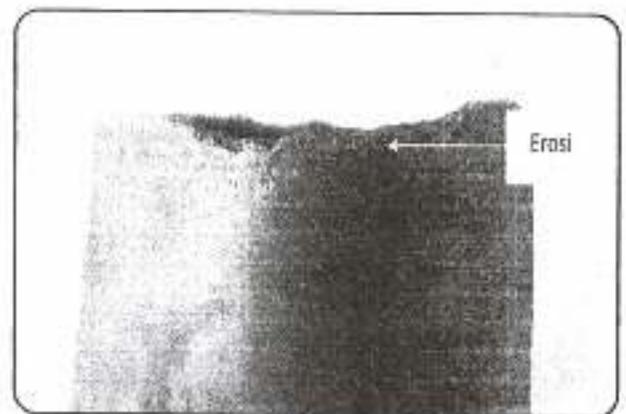
## 2. Indikasi Terjadi Oksidasi dan Erosi

Dari gambar 5, 6 dan 7 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 ( $T > 567$  C).



Gambar 5. Terlihat oksidasi diseluruh permukaan

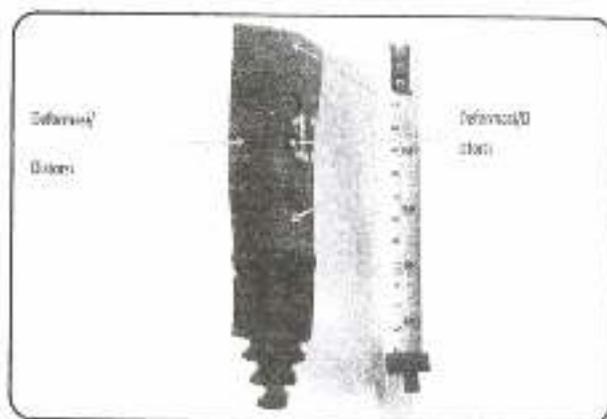
Pada gambar dibawah terlihat bagaimana coating teroksidasi akibat beroperasi pada temperatur tinggi, hal ini bila terjadi terus menerus dengan waktu yang lama akan mengakibatkan menipisnya coating yang selanjutnya akan menyebabkan beroperasinya mekanisme kerusakan lainnya seperti terjadi oksidasi dan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



Gambar 6. Bagian yang terjadi oksidasi & erosi

## 3. 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 8. Tampak terjadinya Deformasi

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

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

Dari gambar 9 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).



Gambar 9. Tampak Hot Corrosion Terjadi di Bagian Ujung

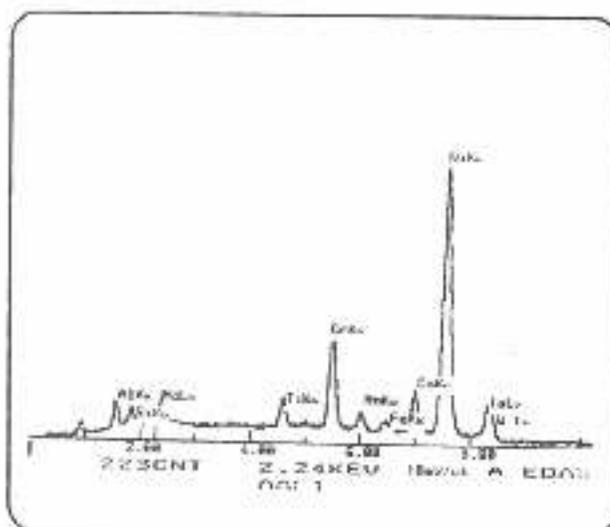
#### Pemeriksaan komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro

##### 1. Pemeriksaan Komposisi Kimia

##### 1.1 Logam dasar (Base Metal)

Hasil pemeriksaan komposisi kimia base metal menggunakan Energy Dispersion Analysis X-Ray (EDAX) terlihat pada Gambar 10 dan Tabel 1

dibawah ini. 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>15</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



Gambar 10. Plot Intensitas Vs Besar Energi Emisi X-ray (EDAX) dari unsur pada Bucket

Unsur aluminium dari hasil pemeriksaan lebih kecil dibanding dengan MAR-M-246, kemungkinan berkurangnya aluminium tersebut akibat terjadinya oksidasi

$2Al + 3/2 O_2 \longrightarrow Al_2O_3$ . 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>16</sup>. Kemungkinan lainnya adalah unsur Aluminium terikat membentuk fasa gamma prime sebagai presipitat penguat.

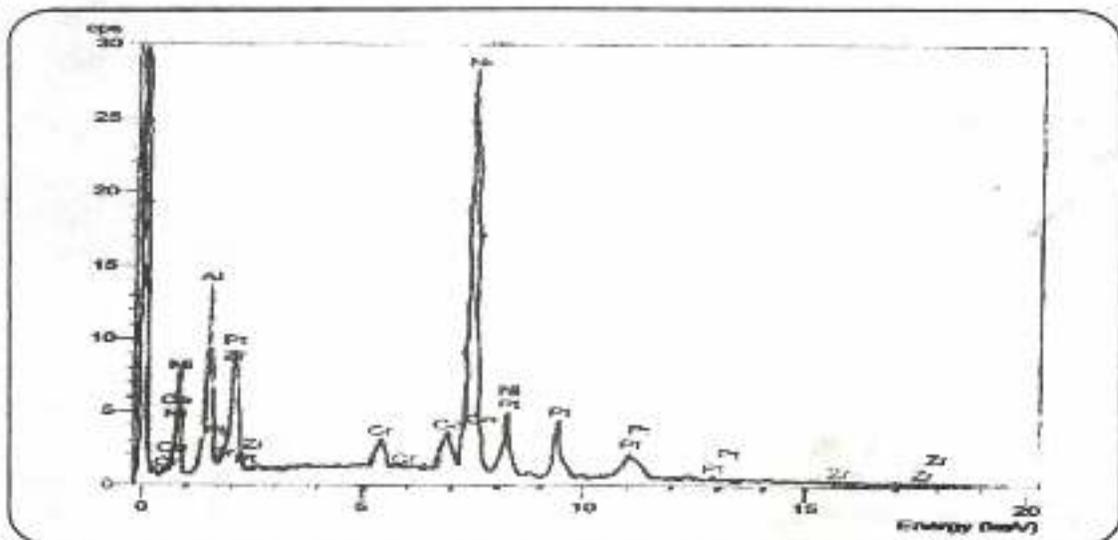
Untuk unsur karbon di material MAR-M-246 kandungan karbonnya 0,15 %, namun dari hasil pengujian EDAX unsur karbon tidak terdeteksi. Hal ini terjadi karena spektrum energi atom karbon diluar range detektor X-Ray sehingga unsur tersebut tidak muncul. Unsur-unsur Mo, Cr, Co, Ta dan W bereaksi dengan karbon membentuk fasa-fasa

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Komposisi Kimia (% mass)

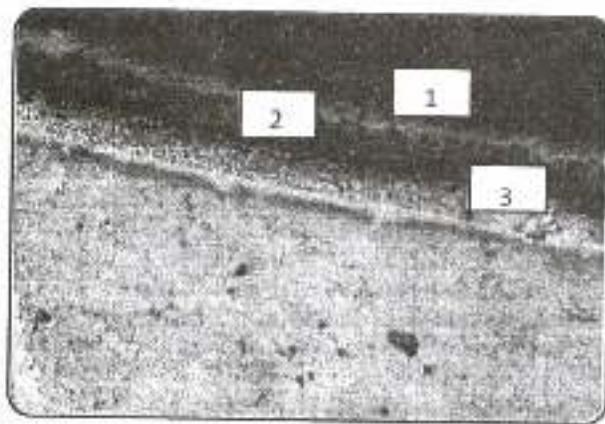
Unsur	Cr	Co	Ti	Mo	Si	Al	Co	Ta	Fe	Mn	W	Ni
Bucket Hasil Pemeriksaan	9,76	8,7	2,12	2,44	0,16	1,52	8,47	0	1,93	0,76	10,89	61,64
MAR-M-246	9,0	10,0	1,5	2,5	-	5,55	10,5	1,5	-	-	10	60

Tabel 2. Komposisi Kimia Coating pada Turbine bucket

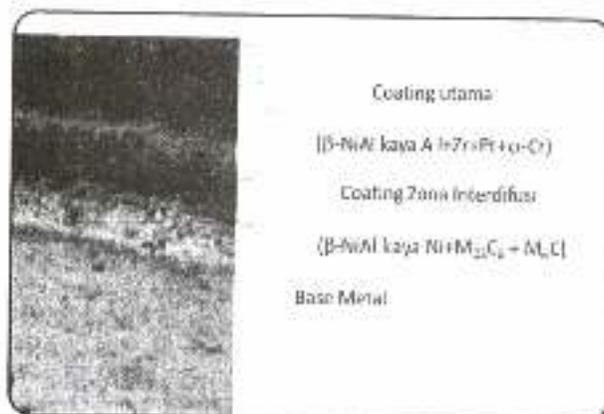
Lokasi tembak 1							
Unsur	Ni	Al	Zr	Cr	Co	Pt	S
% mass	48.89	22.48	14.31	2.25	3.98	7.87	0.21
Lokasi tembak 2							
Unsur	Ni	Al	Zr	Cr	Co	Pt	S
% mass	62.91	19.31	1.43	3.68	5.61	0.23	0.37
Lokasi tembak 3							
Unsur	Ni	Al	Zr	Cr	Co	Pt	S
% mass	26.22	34.64	14.77	10.29	7.32	6.03	0.73



Gambar 11. Plot Intensitas Vs Besar Energi Emisi X-Ray (EDAX) dari unsur pada coating turbine bucket (lokasi tembak 1)



Gambar 12. Penampakan Posisi Tembak Coating pada Turbine bucket



Gambar 13. Profile Coating Menuju Base Metal pada Turbine Bucket

karbida yang berfungsi meningkatkan kekuatan dan ketahanan panas<sup>(4)</sup>. Untuk unsur krom dan alumunium berfungsi untuk perlindungan permukaan membentuk lapisan pasive  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ <sup>(10)</sup>.

### 1.2 Lapisan (Coating)

Pengujian dengan menggunakan EDAX untuk mengidentifikasi jenis coating menunjukkan bahwa coating pada turbine bucket adalah  $\beta\text{-NiAl}$ . Tabel 2 dan gambar 11 dan 12 berturut-turut memperlihatkan komposisi kimia coating dan penampakan coating pada turbine bucket, sedangkan gambar 13 memperlihatkan profile coating menuju base metal.

Dengan melihat coating  $\beta\text{-NiAl}$  ini, maka pada permukaan bagian luar akan terbentuk lapisan oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang merupakan lapisan yang sangat protektif namun rentan terhadap spalling akibat siklik termal. Namun demikian pada pemeriksaan

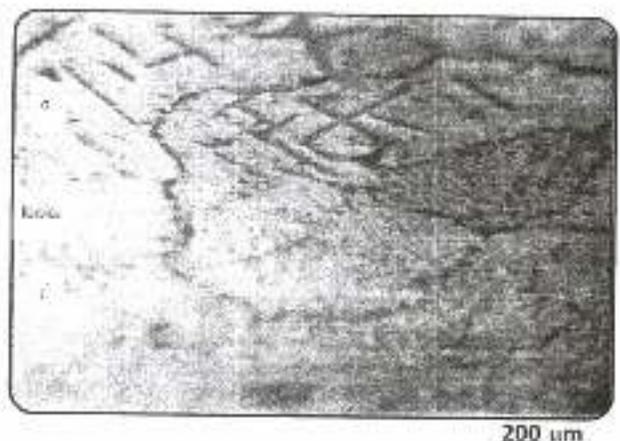
komposisi kimia terdapat unsur Zr yang menunjukkan adanya kemungkinan bucket pernah mengalami pelapisan dengan Zirconium Oksida. Pada pengujian juga muncul platinum (Pt) dan Silicon (Si) yang

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.

### Pemeriksaan Struktur Mikro

#### 1. 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 (Gambar 14). 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  $\text{Ni}_3\text{Al}$  dengan Ti dan berbagai unsur terlarut lainnya. Selama operasi fasa ini dapat membentuk lapisan pada batas butiran disekeliling karbida. Karbida pada batas butiran merupakan fasa yang keras dan merupakan senyawa  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ <sup>(11)</sup>.



Gambar 14. Struktur Mikro Nickel Base superalloys

Pada gambar 14 terlihat juga adanya fasa  $\gamma'$  yang berbentuk pelat memanjang. Berdasarkan hasil penembakan setempat pada fasa tersebut, diketahui bahwa fasa tersebut merupakan senyawa  $\text{CrCo}$ . Fasa ini terbentuk setelah bucket mengalami paparan pada selang temperatur antara 540 – 980C. Fasa ini tidak diharapkan muncul karena

sifatnya yang gelas, sehingga menurunkan sifat ulet dan memperpendek rupture life.

## 2. Struktur mikro lapisan (Coating)

Dari gambar 15 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.



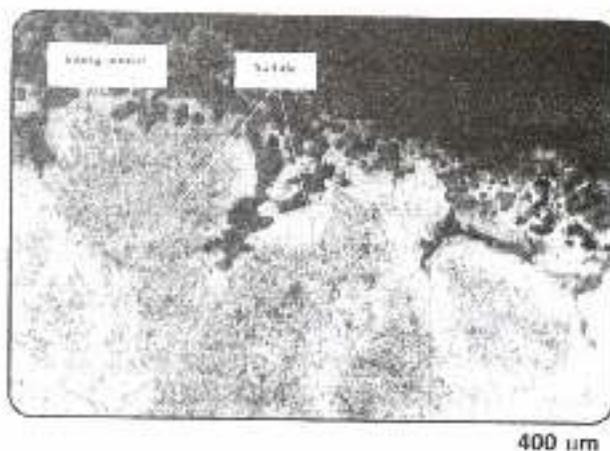
Gambar 15. Lapisan Aluminide, Lapisan Interdifusi dan Base Metal.



Gambar 16. Intergranular Attack

Gambar 16 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 17 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 17 hal ini dibuktikan dari hasil penembakan EDAX pada titik tersebut, dimana ditemukan 36,53 % unsur sulfur (S).



Gambar 17. Oksidasi pada batas butir dan sulfida

## Pemeriksaan Kekerasan / Uji Mekanik Material

Pada Tabel 3 dibawah, ditampilkan harga dari kekerasan bucket tip sebagai berikut:

Tabel 3. 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 ( $\sigma_{0.2}$  BHN) tetapi keuletan turun ( $\epsilon$  %). Implikasi hal tersebut terhadap kehandalan (performance) turbine bucket akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

## Mekanisme kerusakan dan kehandalan (performance) bucket

### 1. 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>16,17</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.

### 2. Kerusakan Akibat Faktor Lingkungan

Pada sample as received (as-coated), lapisan coating adalah NiAl. Akibat paparan 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 di beberapa 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  $\delta$  dan  $\gamma'$  dibawah NiO dan  $Cr_2O_3$  (bentuknya seperti pulau yang memanjang menuju kearah bawah). Dari sinilah kemudian oksidasi menyerang kearah (intergranular

attack) dalam sebagaimana yang kita lihat pada gambar 17 (serangan parah berwarna hitam). 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 (gambar 16 dan 17). 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 rusak akibat deposit garam, dan lapisan tersebut tidak mampu terbentuk kembali. Fenomena ini secara umum terjadi pada selang temperatur 871–1093 C.

### 3. Kerusakan Akibat Faktor Mekanik (External Loading, Strain Rate)

Berdasarkan informasi, bahwa temperatur operasi turbin bucket adalah sekitar 567 C, sedangkan bucket ini (material Nickel Base Alloy) diduga beroperasi sekitar sampai dengan 1093 C. Maka hal ini menyebabkan material mengalami fenomena creep. Gambar 4 memberikan indikasi adanya creep dari bentuk deformasi plastik atau distorsi dari turbine bucket. Proses creep ini merupakan peristiwa progresif dan berjalan dengan waktu. Untuk pembuktian lebih dalam, memerlukan pemeriksaan struktur mikro dibagian terjauh dari bucket yang mendekati row. Fenomena creep secara mikroskopis akan ditandai dengan lahir dan tumbuhnya kekosongan (voids initiation and growth) pada batas butir. Namun karena pada sampel tidak mungkin dilakukan uji merusak melebihi 3 mm, pemeriksaan metalografi tidak dapat dilakukan untuk memverifikasi fenomena ini. Fatigue adalah fenomena kegagalan material akibat

dikenai beban cyclic / fluktuatif. Pada kasus turbine bucket yang berperan dalam low cycle fatigue (LCF) dengan fluktuasi tegangan atau regangan plastis yang cukup tinggi. Pada turbine blade fatigue bisa disebabkan oleh stress cyclic akibat :

- i) fluktuasi gaya sentrifugal
- ii) fluktuasi thermal.

Fatigue akan menyebabkan terjadinya inisiasi retak (crack) pada material, yang seterusnya, retakan ini akan merambat sesuai dengan besar dan arah pembebanan.

Pada turbin bucket yang diperiksa tidak terlihat adanya indikasi fatigue, namun bisa jadi pada bucket yang lain terdapat kerusakan akibat faktor ini. Observasi lapangan (workshop) yang dilakukan memperlihatkan adanya perambatan retak / crack akibat fatigue (dan creep) pada vane tip (trailing edge) dan komponen stator lainnya. Hal ini memberikan indikasi adanya fluktuasi thermal akibat proses shut-down dan start-up (on & off) dari mesin turbin yang mungkin dilakukan terlalu sering.

#### 4. Kerusakan akibat Instabilitas Faktor Metalurgis

Perubahan faktor metalurgis yang terjadi jika ada, dapat mempengaruhi sifat mekanik dan akibatnya menurunkan kehandalan (performance) bucket pada operasi berikutnya.

Hasil pengamatan struktur mikro benda uji Nickel Base Superalloy terlihat fasa ' pada butiran, karbida pada batas butir dan fasa sigma yang berbentuk jarum (plate) seperti terlihat pada gambar 14. Setelah beroperasi selama 7000 jam terjadi pembentukan fasa sigma (CrCo). Hal ini memberikan indikasi bahwa pada spot tersebut telah terekspos pada suhu operasi sekitar 570 Cs/d 980 C. Kehadiran fasa dan morfologi fasa seperti ini akan menurunkan keuletan dan ketangguhan material.

Selanjutnya pada batas butir terlihat adanya pertumbuhan karbida / pembesaran karbida. Namun karena tidak ada benda uji original sebelum dipakai, maka struktur mikro hasil pengujian, secara kuantitatif, tidak dapat dibandingkan. Tetapi bila mengamati karbida yang terjadi di posisi yang jauh dengan permukaan dibandingkan dengan posisi di dekat permukaan, tampak sangat jelas bahwa karbida di dekat permukaan mengalami oksidasi (gambar 17).

Oksidasi karbida dapat berpengaruh pada stabilitas batas butir sehingga menurunkan kekuatan terhadap creep-rupture<sup>13)</sup> karena seperti yang difahami, 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 .

#### 5. 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 dites). 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.

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 platinum (PtAl<sub>3</sub>).

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.

### 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>(1)</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. 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.

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

## SPRAY DRYER

Gatot Trilaksono\*

Peralatan spray driver belum begitu luas penggunaannya di dalam industri keramik. Hanya ada dua contoh yang ingin dikemukakan, itupun hanya berkaitan dengan bahan baku pembuatan keramik, yaitu alumina dan pewarnaan keramik (ceramics colors). Makalah ini ingin menyajikan sedikit teori, karakteristik operasi dan contoh rancangan alat sederhana serta perkembangan pemakainya pada industri di Indonesia.

Spray Drying adalah pengeringan larutan dan bubur (slurries) dengan cara mendispersikan larutan, dalam bentuk tetesan ke dalam aliran panas. Ada tiga proses dasar yang akan menentukan sukses tidaknya pengeringan, yakni atomisasi cairan, pencampuran antara gas dengan tetesan cairan, dan pengeringan cairan. Selain itu, dalam metoda perancangan ketiga peristiwa di atas, tergantung pada:

1. Bentuk dan ukuran partikel yang diinginkan.
2. Sifat fisik umpan.
3. Temperatur maksimum yang bisa dicapai oleh gas-masukan (inlet-gas) dan temperatur produk.

Sampai saat ini peralatan pengering jenis ini masih banyak diimpor. Problema utama untuk menguasai ilmu dan rekayasa terletak pada teknologi atomisasi (pendispersian) larutan sesuai dengan diameter partikel produk yang diinginkan dan pendistribusian gas-masukannya.

### 1. PENDAHULUAN

Jenis operasi yang digunakan untuk mengurangi air dari bahan basah bergantung pada kadar air bahan basah tersebut. Umpamanya, operasi evaporasi digunakan untuk mengambil air dari bahan yang mempunyai kadar air lebih besar jika dibandingkan dengan operasi pengeringan. Di dalam makalah ini akan disajikan salah satu operasi pengeringan, yaitu spray dryer. Alat ini, di negara-negara maju sudah banyak digunakan, terutama untuk mempersiapkan bahan baku industri keramik. Di bawah ini akan didaftarkan beberapa bahan keramik dalam bentuk powder (fasa granular) yang

bisa dihasilkan dari alat ini:

1. Alumina.
2. Ceramic colors.
3. Kaolin
4. Refractory clays
5. Porcelain

Di Indonesia, yang diketahui penulis, ada sebuah pabrik ubin keramik berglasir yang menggunakan peralatan ini untuk mengubah split menjadi bentuk powder sehingga mudah ditangani pada saat dilakukan pencetakan (die).

### 2. SPRAY DRYER

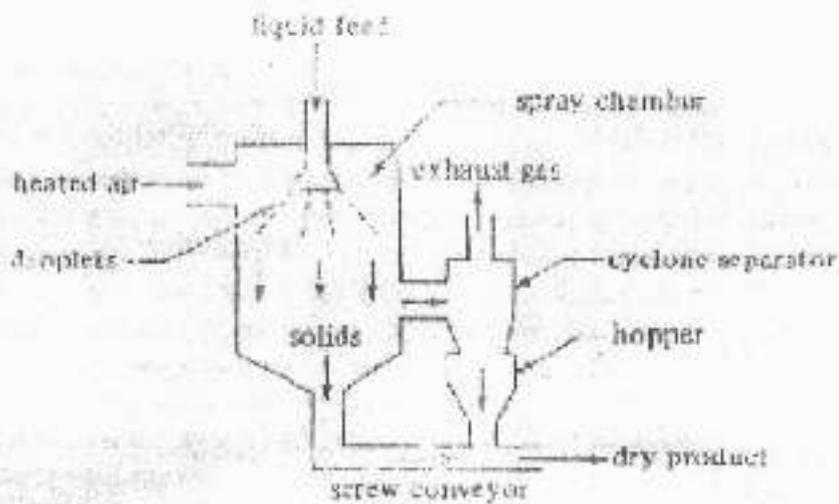
Spray dryer adalah pengeringan larutan atau bubur (slurries) dengan cara mendispersikannya, dalam bentuk tetesan, ke dalam aliran gas panas. Rangkaian peralatan dari operasi pengeringan jenis ini diperlihatkan pada gambar 1. Ada tiga bagian penting dari rangkaian peralatan di atas yaitu nozzle atau spray wheel, ruang pengering (ruang pengering), dan conveyor. Bahan yang akan dikeringkan, diatomisasikan terlebih dahulu melalui nozzle atau spray wheel. Selanjutnya dikontakkan dengan udara panas atau gas bakar di ruang pengering dan kemudian dikeluarkan hasil pengeringannya dengan conveyor.

Ada dua karakteristik utama dari pengeringan jenis ini yakni waktu pengeringan yang pendek dan ukuran produk yang diinginkan, dalam arti porositas dan besar kecilnya ukuran. Singkatnya waktu pengeringan dicapai oleh bahan yang sensitif terhadap panas, sedangkan porositas dan ukuran kecil partikel diperoleh bila bahan tersebut akan dilarutkan kembali.

Ada tiga Fenomena Dasar yang Terjadi Di dalam Spray Dryer agar peralatan ini berjalan sesuai dengan fungsinya.

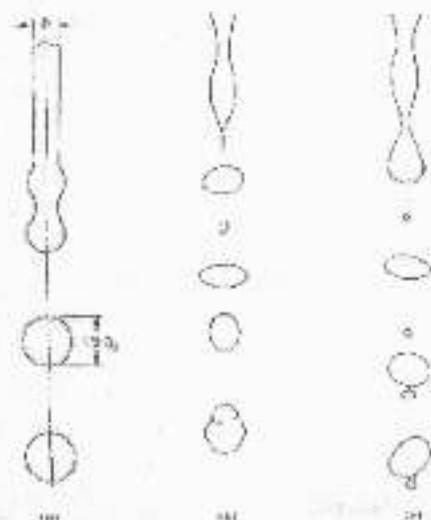
#### Atomisasi

Bahan yang diatomisasi akan menentukan bentuk dan ukuran tetesan. Secara fisik, kombinasi proses terjadi untuk suatu bahan yang berbentuk cairan dalam kolom (liquid column), lembaran (sheet), dan tetesan (drops).

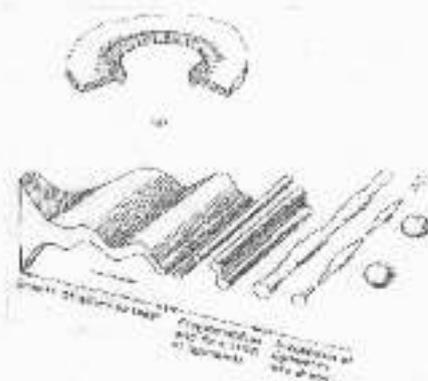


Gambar 1. Rangkaian peralatan spray dryer

where  $D$  = diameter of liquid  
 $d$  = diameter of jet  
 $\rho_l$  = viscosity of liquid



Gambar 2. Pengamatan bentuk tetesan yang keluar dari jet



Gambar 3. Urutan break-up dari cairan berbentuk lembaran

### Liquid-Column Break-up

Secara ideal cairan yang melewati kolom dan kemudian dinaikkan tekannya akan meniatuhkan sederetan tetesan seperti ditunjukkan oleh gambar 2. Untuk cairan berviskositas rendah Rayleigh mengamati bahwa diameter dari tetesan 1,89 dari diameter jetnya, oleh karena itu diameter tetesan yang dihasilkan selalu lebih besar dari diameter jet.

Untuk cairan berviskositas tinggi Weber merumuskan diameter rata-rata sebagai berikut

$$D = 1,89 D_j \left[ 1 + \frac{3\mu_e}{(\sigma \rho_e D_j g_c)^{1/2}} \right]$$

Dimana :  $D$  – diameter tetesan  
 $D_j$  – diameter jet  
 $\mu_e$  : viskositas cairan

### Liquid-sheet Break-up

Urutan pemecahan cairan yang berbentuk lembaran tipis ditampilkan pada gambar 3. Mayer mempelajari bahwa tetesan yang dibentuk dari cairan-lembaran bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$D = 21,4 \left[ \frac{\mu_e (\sigma g_c / \rho_e)^{1/2}}{\rho g U g^2} \right]$$

Dimana :  $U_r$  – kecepatan relatif gas terhadap cairan.

### Droplet Break-Up

Tetesan dipecah lagi menjadi tetesan halus. Banyak kajian dalam masalah ini biasanya difokuskan pada mencari kondisi agar tetesan yang akan dipecah stabil. Dan bilangan Weber ( $N_w$ ) yang menyatakan nisbah antara gaya aerodinamik gas terhadap gaya tegangan permukaan tetesan, dipakai untuk mengukur kestabilan.

### Peralatan Atomisasi

Sarana yang dipakai untuk atomisasi meliputi tiga kategori

1. Pressure nozzle
2. Two-fluid nozzle
3. Rotary device

Bentuk irisan dari ketiga kategori peralatan di atas ditampilkan pada gambar di bawah.

### Kontak Antara Tetesan dengan Gas Panas

Aliran tetesan dari nozzle biasanya turun ke bawah sejalan dengan arah gas panas (parallel flow) sehingga ruang pengering perlu tinggi dan lebar. Walaupun begitu proses pengaliran gas panas berlawanan arah dengan aliran tetesan (counter flow) misalnya pada pengeringan detergen, dan pengeringan dengan aliran campuran (mixed flow) juga dilakukan. Secara termal counter flow lebih menguntungkan, tetapi untuk produk yang sangat sensitif terhadap panas akan mudah rusak karena produk perlu kontak dengan temperatur tinggi untuk meninggalkan pengering.

### Pengeringan Tetesan

T. Miura et al (4), telah menyusun model matematik untuk memperkirakan perpindahan panas dari tetesan pada saat menuruni pengering spray. Perumusan model menghasilkan lima persamaan pokok dan telah pula dilakukan pencocokan (Fitting) dengan data-data percobaan untuk cairan air, larutan NaCl serta larutan susu, dan hasil yang didapat memadai. Kelima persamaan penting tersebut adalah :

1. Persamaan gerak  
Persamaan ini menggambarkan gerakan radikal dan vertikal dari tetesan di dalam ruang pengering.
2. Persamaan laju tetesan  
Persamaan ini mengungkapkan laju penguapan cairan dan bagian ini adalah bagian penting dari pemahaman proses dan teknik rekayasa pengering spray.
3. Persamaan untuk memperkirakan temperatur dan kelembaban gas panas.
4. Persamaan yang menyatakan distribusi ukuran dan temperatur tetesan.
5. Persamaan yang menggambarkan pembentukan pisa padat dari tetesan.

Berbagai jenis pengontakan tetesan dengan gas panas diperlihatkan pada gambar 5.

### Rancangan Alat Pengering Spray

Rancangan alat pengering spray biasanya

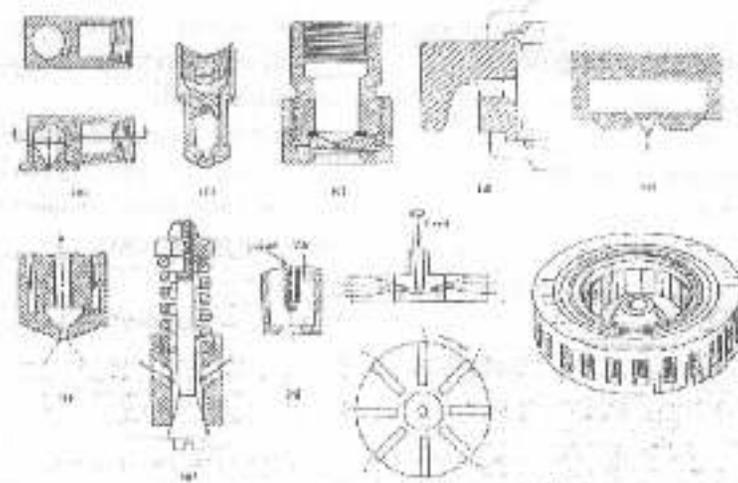
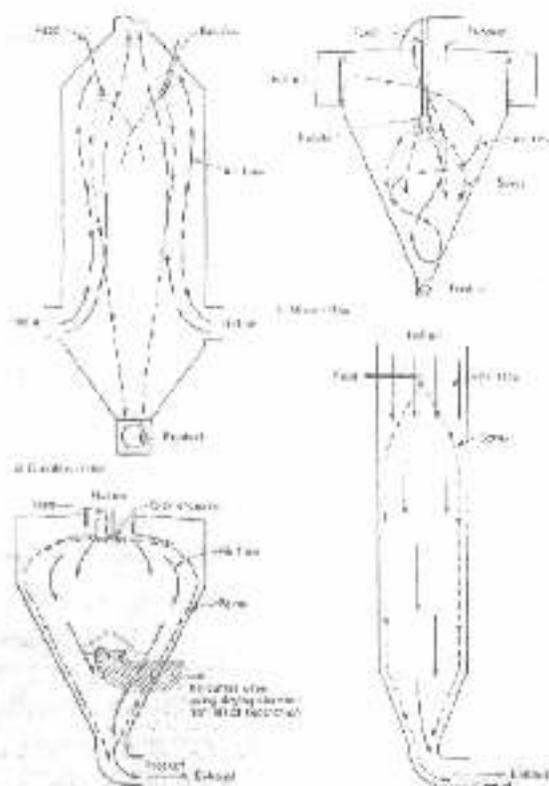


Fig. 10. Multi-orifice nozzle. 11. Side view. 12. Oval orifice. 13. 20. Orifice jet. 14. Orifice jet. 15. Orifice jet. 16. Orifice jet. 17. Orifice jet. 18. Orifice jet. 19. Orifice jet.

Gambar 4. Karakteristik nozzle



Gambar 5. Berbagai jenis pendahtakan umpan dengan gas panas

didasarkan pada pengalaman dan penetapan data-data waktu tinggal (Residence Time), laju air dan kondisi udara; yang didapat pada percobaan skala pilot.

Di bawah ini diberikan contoh rancangan alat pengering spray skala komersial.

Padatan basah yang mengandung air 80% ingin dikeringkan menjadi 5% dengan laju 500 lb/jam.

Data pilot plant menunjukkan bahwa :

Waktu tinggal = 6 det

Kondisi udara masuk : Temperatur =  $230^{\circ}F$

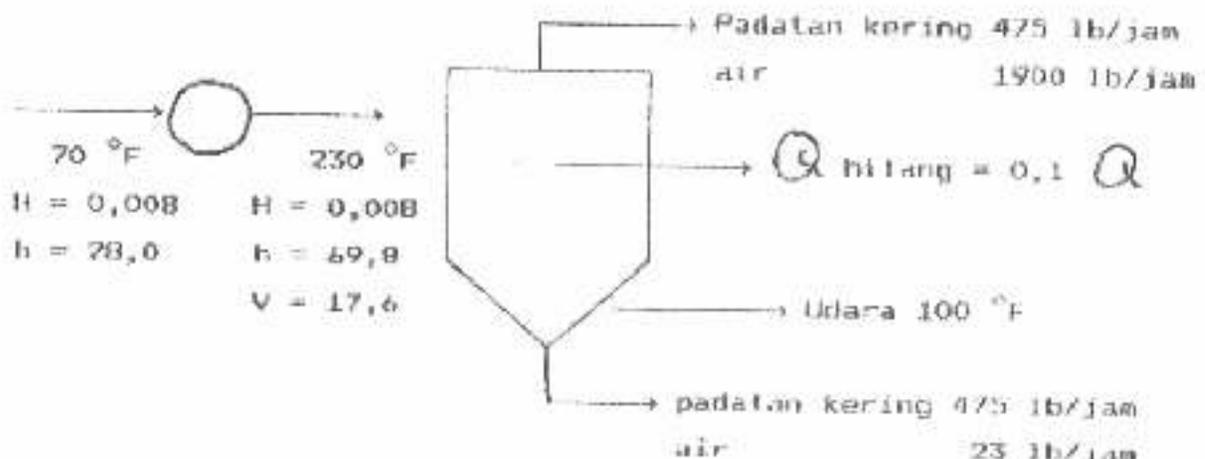
Kelembaban = 0,008 lb/lb (H)

Kondisi udara keluar : Temperatur =  $100^{\circ}F$

Udara ruangan mempunyai temperatur  $70^{\circ}F$  dan ditingkatkan temperaturnya dengan menggunakan kukus (steam).

Hilangnya entalpi ke lingkungan diperkirakan 10 % dari beban panas pada pemanas kukus.

Ruang spray bagian bawah berbentuk kerucut dengan sudut  $60^{\circ}$



Entalpi yang hilang =  $0,1 (69,8 - 28,0) = 4,2$  Btu/lb  
 Entalpi keluar (h) =  $69,8 - 4,2 = 65,6$  Btu/lb  
 Pada  $100^{\circ}F$  dan entalpi di atas akan didapat data kondisi udara yang keluar ruang spray  
 $H = 0,0375$  lb/lb  
 $V = 14,9$  cuft/lb  
 Laju alir udara

$$A = \frac{1900 - 25}{0,0375 - 0,008} = 63559 \text{ lb/jam}$$

$$= \frac{63559 \left[ \frac{17,6 + 14,9}{2} \right]}{3600} = 287 \text{ cfs}$$

Volume pengering =  $287(6) = 1721,4$  cuft  
 Dengan membuat tinggi vertikal ruang pengering spray 4 kali diameter serta kerucut bawah bersudut  $60^{\circ}$  akan didapat diameter ruang spray.

$$1721,4 = 4D \left[ \frac{\pi}{4} D^2 \right] + \frac{0,866\pi D^3}{12}$$

$$= 3,3683 D^3$$

$$= 8,7$$

#### Kesimpulan

Pada akhir bahasan tentang rancangan alat didapat diameter ruang pengering. Untuk peralatan yang lain seperti ukuran serta bentuk nozzle yang akan digunakan atomisasi masih perlu mempertimbangkan berbagai hal, seperti :  
 Bentuk dan ukuran partikel yang diinginkan  
 Sifat fisik umpan  
 Temperatur maksimum yang bisa dicapai oleh gas panas serta temperatur produk.  
 Akhir kata perlu disebutkan bahwa teknik atau rekayasa dari peralatan atomisasi masih langka dalam arti teknologinya belum dikuasai.

## Daftar Pustaka

- Mc. Cabe, et al; "Unit Operation of Chemical Engineering"; Mc Graw Hill, fifth edition, New York, 1992.
- Perry & Chilton; "Chemical Engineer's Handbook"; Mc Graw Hill,

## Era Spiritualitas Bisnis

Jahny Sast

Ketika memberi kuliah dihadapan petinggi Indonesia beberapa waktu yang lalu di Jakarta, Mohammad Yunus mengatakan bahwa yang membuat kemiskinan itu adalah sistem dan bukan manusianya. Tidak ada satupun manusia yang waras di dunia ini mau hidup dalam kemiskinan.

Melalui Grameen Bank yang dirintisnya tahun 1976, Yunus keluar-masuk kampung menyambangi permukiman penduduk yang terkadang amat kumuh, demi tekadnya menata salah satu pilar terpenting untuk mewujudkan perdamaian yaitu; pemberantasan kemiskinan. Saat ini Grameen Bank (bahasa Bengali, artinya bank desa) mampu menyalurkan kredit puluhan juta US\$ per bulan kepada 6,6 juta kaum miskin, 96% di antaranya kaum wanita. Bank ini sekarang memiliki 2.226 cabang di 71.371 desa. Lebih hebat lagi, 94% modal bank ini dimiliki nasabah, yakni kaum papa, sedangkan 6% sisanya dimiliki pemerintah.

Adapun yang membuat jutaan manusia tersentuh nuraninya, karena penghargaan tersebut diberikan justru ketika para pemimpin dunia berkali-kali terbentur pada tembok polarisasi setiap kali mereka berupaya mengatasi kesenjangan antar negara dan bangsa: kesenjangan antara negara kaya dan negara miskin; antara negara Barat dan Timur; antara negara Utara dan Selatan; dan seterusnya. Tanpa suara gaduh, Yunus mampu mengatasi polarisasi itu melalui kesadaran dan aksi nyata bahwa langkah penting dan berharganya program pembebasan kaum papa dari kemiskinan.

Memadukan dua dunia yang berseberangan yaitu bisnis dan spiritualitas, kerap kali menjebak kita dalam perbincangan klise. Bisnis selalu selalu berhubungan dengan dunia yang serba rasional dan terukur, sementara spiritualitas berkait dengan dunia yang serba tidak rasional dan kebenarannya bersifat relatif. spiritualitas berkait dengan dunia yang serba tidak rasional dan kebenarannya bersifat relatif. Kita bisa mengukur bisnis dengan tingkat akurasi tinggi, seperti; kekayaan, omset dan laba/rugi suatu perusahaan – terlebih, perusahaan

, perusahaan publik. Namun, kita amat sulit mengukur seberapa besar peran perusahaan itu, misalnya, dalam memajukan nilai-nilai kemanusiaan.

itu sebabnya, meskipun kini semakin banyak perusahaan yang berusaha sekuat tenaga menunjukkan wajah sosial dan kepedulian moral mereka, tetap saja orang lebih tertarik menyorot “udang di balik batu”-nya. Program-program bagus seperti Corporate Social Responsibility dan Good Corporate Governance, misalnya, masih sering dipersepsikan sebagai upaya perusahaan mendongkrak citra korporatnya, yang ujung-ujungnya diharapkan mampu mendatangkan keuntungan yang lebih besar lagi.

Karena itu, selain terdengar klise, mengukur dunia bisnis dan spiritualitas juga terkesan mengada-ada, bahkan mencari-cari. Keraguan ini terus berkecamuk meskipun kian banyak pakar yang mengangkat tema ini dalam buku mereka. Beberapa di antaranya: *The Corporate Mystic* karya Gay Hendricks dan Kate Ludeman; *Spiritual Quotient* karya Danah Johar dan Ian Marshal; *From Faith and Fortune: The Quiet Revolution to Reform American Business* karya Mark Gunther; *Megatrends 2010: The Rise of Conscious Capitalism* karya Patricia Aburdene – dan masih banyak lagi.

Di tengah keraguan dan sikap skeptis tersebut, dunia dikejutkan sekaligus tersentuh nuraninya atas terpilihnya Muhammad Yunus sebagai penerima Nobel Perdamaian 2006. Dikejutkan, karena berbeda dari para pemenang Nobel Perdamaian tahun-tahun sebelumnya, Yunus bukanlah seorang tokoh politik atau aktivis perdamaian dunia yang terkenal dan vokal membela hak-hak asasi manusia. Ia juga bukan figur yang gigih mengkampanyekan gerakan anti perang ke berbagai negara atau melerai konflik berat kelas dunia.

Berkemeja lengan pendek dan sepatu sandal yang menjadi ciri khasnya, Yunus adalah seorang “guru besar” ekonomi dari salah satu negara termiskin di dunia, yaitu Bangladesh, Yunus terpanggil untuk menghapus kemiskinan di negerinya, sebuah tema

perjuangan yang di tingkat global kerap kali hanya berhenti di tingkat wacana ketimbang aksi nyata. Bagaimana dengan negeri ini ?, konon ada seorang pengusaha yang kini menjabat sebagai menteri Sosial, tetapi sulit bertindak sosial ketika perusahaannya membuat sulit bertindak sosial

ketika perusahaannya membuat bencana di Jawa Timur, pikirnya, bisnis is bisnis, social is other matter, jadi sudah berapa ratus hari sampai hari ini, korban bencana lumpur panas Sidoarjo belum tertuntaskan penderitaannya. Barangkali era spiritual bisnis belum terasa benar implementasinya di negeri ini.

## PETUNJUK BAGI PENULIS

1. Naskah belum pernah diterbitkan dalam media cetak lain, diketik dengan spasi satu 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 dan teknologi.
3. Artikel (hasil penelitian) memuat :
  - Judul
  - Nama Penulis (tanpa gelar akademik)
  - Abstrak (bahasa Indonesia/bahasa Inggris)
  - Kata-kata kunci
  - Pendahuluan (memuat latarbelakang 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 CD** dikirim paling lambat 1 (satu) bulan sebelum bulan penerbitan kepada:

**Redaksi Jurnal Teknik**  
Jl. Gatot Subroto ( Samping PT. PINDAD )  
Bandung  
Tlp : (022)7312741  
E-mail : cyu517@yahoo.com

6. Kepastian pemuatan atau penolakan naskah akan diberitahukan secara tertulis. Penulis yang artikelnya dimuat akan mendapat imbalan Rp. 75.000,- dan **1 (satu) buah Jurnal Teknik** sebagai bukti. Artikel yang tidak dimuat tidak akan dikembalikan, kecuali atas permintaan penulis.

