

**REKAYASA**

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**PENINGKATAN SIFAT-SIFAT FATIK DAN  
MEKANIS BAJA CHROMIZED DENGAN PROSES  
PERLAKUAN PANAS**

**Oleh :**

**Ir. Amru Siregar, MT.  
Ir. Muslih Nasution, MT.  
Ir. Amrinsyah, MM.**

**Dibiayai Oleh:**

**Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi  
Departemen Pendidikan dan Kebudayaan  
Surat Keputusan Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wil. I  
Nomor Kontrak: 217/R.07/III/2012**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA  
NOPEMBER 2012**

**REKAYASA**



**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**PENINGKATAN SIFAT-SIFAT FATIK DAN  
MEKANIS BAJA CHROMIZED DENGAN PROSES  
PERLAKUAN PANAS**

**Oleh :**

**Ir. Amru Siregar, MT.  
Ir. Muslih Nasution, MT.  
Ir. Amrinsyah, MM.**

**Dibiayai Oleh:**

**Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi  
Departemen Pendidikan dan Kebudayaan  
Surat Keputusan Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wil. I  
Nomor Kontrak: 217/R.07/III/2012**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA  
NOPEMBER 2012**

1. Judul Penelitian : Peningkatan Sifat-Sifat Fatik dan Mekanis Baja Chromized dengan Proses Perlakuan Panas
2. Ketua Peneliti
  - a. Nama Lengkap : Ir. Amru Siregar, MT.
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 19590622 199203 1 001
  - d. Jabatan Struktural : Ketua Program Studi Teknik Mesin
  - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
  - f. Bidang Keahlian : Mekanika Bahan
  - g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Mesin
  - h. Perguruan Tinggi : Universitas Medan Area
  - i. Tim Peneliti

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Ir. Muslih Nasution, MT..	Mekanika Bahan	Teknik/T. Mesin	Universitas Islam Sumatera Utara
2.	Ir. Amrinsyah, MM.	Teknik Produksi	Teknik/T. Mesin	Universitas Medan Area

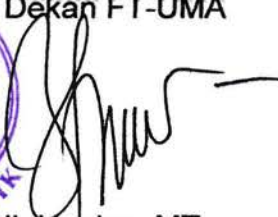
3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

- a. Jangka Waktu Penelitian yang diusulkan : 2 tahun
- b. Biaya total yang disetujui tahun I : Rp. 41.000.000,-
- c. Biaya yang diusulkan tahun II : Rp. 70.000.000,-

Medan, 29 Oktober 2012

Mengetahui,  
Dekan FT-UMA

Ketua Peneliti,

  
Ir. Hj. Haniza, MT.

  
Ir. Amru Siregar, MT.

NIP. 19610131 198703 1 002

NIP. 19590622 199203 1 001

Menyetujui,  
Ketua LP2M UMA



Dr. Ir. Suswati, MP.  
NIP. 19650525 198903 2 002

## ABSTRACT

Machine components for usage the high temperature, besides needed the good mechanical properties, also needed the corrosion resistance properties. Chromized components exhibit superior resistance to a variety of aggressive corrosive mechanisms, including high temperature oxidation, sulfidation, and chloride-related attack. Chromized coatings are diffusion-type coating can be applied by pack cementation, with temperatur about 950<sup>0</sup>C. So that happened degradation fatigue strength of chromized steel. The mechanical properties of chromized steel can be improved by heat-treatment process. In this research conducted hardening and tempering process to chromized steel. Influence of heat-treatment to the mechanical properties, it is has been tested by using machine rotary bending test. While examination of microstmcture can do it by using microscope optic. Analysis influence heat-treatment of chromized steel to fatigue strength, it is increase about (20 ÷ 25)%.

**Key words : *fatigue, chromized steel, hardening, tempering***

## PRAKATA

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah swt yang telah memberikan waktu, petunjuk, kesehatan dan kemampuan sehingga laporan akhir penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini merupakan upaya untuk memberikan kontribusi kepada pembangunan dalam rangka menambah hasanah ilmu pengetahuan dan Teknologi khususnya dalam bidang pengolahan bahan-bahan komponen mesin.

Penulis sangat berharap jika hasil penelitian ini dapat diterapkan pada masyarakat yang memerlukannya, khususnya masyarakat industri produksi komponen-komponen mesin.

Namun demikian penulis juga berharap adanya masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan penelitian ini dari pembaca yang budiman dan saya ucapkan banyak terima kasih.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kepada kelancaran penelitian ini terutama kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan melalui KOPERTIS WILAYAH I Medan.

Medan, Oktober 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
<b>A. LAPORAN KEMAJUAN HASIL PENELITIAN</b>	
Ringkasan	ii
Prakata	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	Y
Daftar Lampiran	vii
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori	5
Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian	19
3.1 Tujuan	19
3.2 Manfaat Penelitian	20
Bab IV Metoda Penelitian	21
Bab V Hasil Penelitian dan Pembahasan	31
5.1 Struktur Mikro Baja chromized	31
5.2 Hasil Uji Kekerasan	34
5.3 Hasil Uji Fatik	36
Bab VI Kesimpulan dan Saran	39
6.1 Kesimpulan	39
6.2 Saran	39
Daftar Pustaka	40
Lampiran-lampiran	41

## Daftar Gambar

Gambar 2.1	Kurva S-N Baja ASSAB 709 Chromized	6
Gambar 2.2	Kurva distribusi Kekerasan pada penampang	6
Gambar 2.3	Pergerakan atom dalam difusi	
Gambar 2.4	Mekanisme difusi dalam larutan padat	9
Gambar 2.5	Daerah perlakuan panas pada diagram kesetimbangan Fe-Fe <sub>3</sub> C	10
Gambar 2.6	Diagram TTT untuk proses anil	11
Gambar 2.7	Diagram transformasi yang menggambarkan terjadinya martensite-temper	
Gambar 2.8	Struktur mikro baja karbon C= 1,0% di- <i>quench</i> dari temperatur austenit	14
Gambar 2.9	Diagram transformasi untuk proses pencelupan tertunda	15
Gambar 2.10	Foto struktur mikro pengaruh penambahan % C pada paduan besi	16
Gambar 2.11	Mekanisme pembentukan retak awal	17
Gambar 4.1	Benda uji untuk kekuatan fatik	22
Gambar 4.2	Benda uji untuk struktur mikro	23
Gambar 4.3	Benda uji untuk struktur mikro dan uji kekerasan	23
Gambar 4.4	Dapur pemanas	24
Gambar 4.5	Mesin uji tarik	24
Gambar 4.6	Mesin uji rotary bending	24
Gambar 4.7	Mikroskop optik	25
Gambar 4.8	Mesin bubut	25
Gambar 4.9	Diagram alir Penelitian	26
Gambar 4.10	Skema rangkaian proses elektroplating	28
Gambar 4.11	Elemen-elemen Pack	28
Gambar 4.11	Urutan proses perlakuan panas	29
Gambar 5.1	Struktur mikro benda uji chromized	31
Gambar 5.2	Struktur mikro benda uji elektroplating	32
Gambar 5.3	Struktur mikro benda uji logam dasar	33
Gambar 5.4	Struktur mikro benda uji chromized dengan SEM	33
Gambar 5.5	Kurva S-N hasil pengujian fatik	36

## Daftar Lampiran :

1. Tabe I : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Raw Material
2. Tabel II : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Chromized dan diperlakukan panas dengan Temperatur Temper 300<sup>0</sup>C.
3. Tabel III : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Chromized dan diperlakukan panas dengan Temperatur Temper 315<sup>0</sup>C.
4. Tabel IV : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Chromized Tanpa perlakuan panas.
5. Foto Mesin Uji Rotary Bending jenis cantilever Beam.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Logam ferrous memiliki daya tahan yang rendah terhadap lingkungan yang korosif dan oksidatif. Baja karbon murni akan mengalami korosi di hampir semua lingkungan atmosfer bila kelembaban relatif melebihi 60% (*Trethewey dan Chamberlain, 1991*). Laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan, tetapi yang paling utama adalah pemasokan oksigen, keasaman (pH) dan hadirnya ion-ion agresif, terutama ion-ion sulfida dan chlorida.

Sejak dulu lapisan permukaan (*coating*) pada komponen-komponen mesin telah banyak digunakan, selain meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan gesekan, juga untuk menambah keindahan. Walaupun perkembangan riset metalurgi yang begitu pesat, namun masih relatif sedikit perhatian terhadap pelapisan bahan untuk pemakaian temperatur tinggi, sampai dengan tahun 1970, (*Pandey dan Banerjee, 1997*). Namun belakangan ini, semakin besar perhatian terhadap pelapisan permukaan logam seperti baja paduan, baja nirkarat (*stainless steel*), nikel paduan tinggi (*nickel superalloy*) dan paduan kobal (*cobalt alloy*). Teknologi pelapisan permukaan logam biasanya digunakan untuk meningkatkan ketahanan gesekan dan ketahanan korosi dari logam dasar (*raw material*). Banyak bentuk-bentuk lapisan permukaan yang telah dikembangkan dan digunakan untuk melapisi permukaan logam. Pelapisan difusi telah banyak digunakan pada temperatur tinggi dan lingkungan yang korosif, (*Agarwal, 1993*). Pelapisan difusi adalah hasil dari beberapa proses, dimana logam atau paduan logam dilapisi dengan logam lain, dan dipanaskan hingga temperatur yang diperlukan, atau larutan padat logam yang terbuka dilapisi pada temperatur yang diperlukan. Oleh karena logam atau paduan ini berdifusi hingga ke logam dasar, membentuk lapisan dengan sejumlah perubahan-perubahan dalam hal komposisi dan sifat-sifat mekanis logam dasar.

*Chromizing*, merupakan proses pelapisan logam dasar dengan chromium, telah dikenal dan banyak digunakan untuk perlindungan lapisan pada temperatur tinggi, seperti pada mesin-mesin pembangkit tenaga uap,

peralatan industri. Struktur lapisan *chromized* terdiri dari matrik ferit yang kaya chromium, diselang-selingi oleh sejumlah chromium karbida yang bervariasi, (Liu dan Wu, 1990; Lakhtin, 1981). Lapisan-lapisan *chromized* menunjukkan daya tahan yang tinggi terhadap mekanisme korosi yang bervariasi, seperti oksidasi pada temperatur tinggi oleh ion-ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ , dan  $\text{O}^{2-}$ , (Kim dkk., (2000), Zhou dkk., (2007), dan Moosa (2008). Selain memiliki sifat daya tahan korosi yang baik, lapisan *chromized* juga memiliki sifat daya tahan gesekan yang sangat baik. (Casteletti dkk., 2009).

Pada proses *chromizing*, lapisan dibentuk oleh difusi atom-atom chromium ke dalam logam dasar. Proses pelapisan terdiri dari *pack* yang berisi campuran serbuk yang terdiri dari sumber chromium, bahan pengisi alumina, dan bahan activator, ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). *Pack* ditutup dengan semen tahan api dan dipanaskan hingga temperatur ( $800^\circ\text{C}$ – $1200^\circ\text{C}$ ), selama (6–12) jam. Atom-atom chromium memiliki difusivitas yang relatif kecil pada temperatur rendah, sehingga proses *pack cementation* harus dilakukan pada temperatur relatif tinggi. Lapisan-lapisan yang dibentuk pada baja karbon, sering terdiri dari sejumlah porositas dan voids secara random dekat permukaan lapisan. (Meier, 1989). Selain masalah porositas dan voids, terjadinya perubahan struktur mikro pada logam dasarnya dan sebagai konsekwensinya terjadi penurunan sifat-sifat mekanis.

Baja karbon *chromized* yang dilapisi dengan teknik *pack cementation* yang konvensional, menunjukkan adanya penurunan hingga mencapai  $\pm 35\%$  (Siregar, 2000). Komponen-komponen *chromized* ini, akan tidak menguntungkan bila ditinjau dari aspek efisiensi pemakaian bahan. Oleh karena itu diperlukan kajian lebih lanjut untuk memperoleh suatu metode atau prosedur untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik dari komponen-komponen yang telah di-*chromized*.

Perlakuan panas (*heat-treatment*) adalah suatu metoda yang paling mudah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis suatu bahan logam. Selain proses *heat-treatment*, penambahan unsur-unsur paduan pada saat proses pengecoran, juga merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis suatu bahan. Proses perlakuan panas terdiri

dari *hardening*, *normalizing*, *tempering*, dan *annealing*. Dalam hal ini kombinasi perlakuan panas yang memungkinkan untuk peningkatan sifat-sifat mekanis baja *chromized* adalah proses-proses *hardening-tempering* atau *hardening-normalizing-tempering*. Selain urutan proses pada perlakuan panas, temperatur proses tempering dan jumlah benda uji, merupakan parameter yang sangat menentukan hasil yang akan diperoleh.

Pada penelitian ini telah diamati kelakuan fatik & sifat-sifat mekanis lainnya dan hubungannya dengan struktur mikro dari baja yang dilapisi dengan chromium, untuk benda uji yang telah diperlakukan panas (*heat-treatment*) lanjut. Proses *chromizing* dilakukan dengan metode kombinasi proses *elektroplating* dan dilanjutkan dengan pemanasan dalam *pack*. Metode kombinasi ini disebut juga dengan proses *electrodeposition*. Pada proses ini, proses *elektroplating* digunakan untuk melapisi permukaan logam dengan atom-atom chromium, sedangkan proses pemanasan dalam *pack* berfungsi untuk mendifusikan atom-atom chromium dari permukaan logam ke bahagian dalam logam dasar (*substrate*). Sasaran utama dari penelitian ini adalah peningkatan sifat-sifat fatik mekanik dari benda uji *chromized* yang telah di *heat-treatment*. Hasil yang akan diperoleh adalah kombinasi urutan proses-proses perlakuan panas, dan temperatur proses *tempering*, sehingga diperoleh sifat-sifat fatik maupun mekanis maksimum pada baja *chromized*. Urutan proses yang telah dilakukan adalah sebagai berikut : (1) Proses *hardening-tempering* dengan temperatur pemanasan pada proses *tempering* = 300°C. (2) Proses *hardening-tempering* dengan temperatur pemanasan pada proses *tempering* = 325°C.

Peningkatan sifat-sifat mekanis baja *chromized* telah diteliti oleh Siregar, (2006). Pada penelitian tersebut benda uji dari baja paduan yang dilapisi chromium dengan teknik *pack cementation*. Baja *chromized* diproses *hardening* dan selanjutnya di-*tempering*. Dari hasil pengujian diperoleh terjadi peningkatan kekuatan fatik sebesar  $\pm 25\%$ . Namun hasil ini belum menunjukkan hasil yang sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh jumlah variasi proses perlakuan panas yang dilakukan cukup terbatas, dimana proses perlakuan panas yang dilakukan hanya dengan satu rangkaian proses saja.

Selain jumlah variasi proses perlakuan panas yang terbatas, jumlah benda uji pada pengujian kekuatan fatik adalah (10÷12) pcs persatu kelompok pengujian.

Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan suatu kombinasi proses perlakuan panas yang tepat untuk memperoleh sifat-sifat mekanis dari komponen-komponen *chromized*. Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa kombinasi perlakuan panas, sehingga diperoleh suatu kombinasi proses perlakuan panas yang ideal untuk komponen-komponen *chromized*, yang menghasilkan sifat-sifat mekanis yang optimum. Selain jenis kombinasi proses perlakuan panas, temperatur proses perlakuan panas dan jumlah benda uji yang digunakan pada saat pengujian, akan mempengaruhi hasil yang diperoleh. Oleh karena itu pada penelitian ini, jumlah benda uji yang akan dilakukan sesuai dengan standar pengujian. Standar jumlah benda uji untuk pengujian fatik adalah (15÷25) pcs untuk penelitian dasar; sedang jumlah benda uji untuk pengujian bertujuan untuk pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi  $\geq 30$  pcs persatu kelompok pengujian, (ASTM E739).

## **1.2. Perumusan Masalah**

Dari uraian di atas, maka dapat dibuat suatu rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : Bagaimana prosedur perlakuan panas (Heat-treatment) baja NS-1045 *chromized* sehingga kekuatan fatik dan sifat-sifat mekanis lainnya, dapat mendekati kekuatan dari sifat-sifat mekanis raw materialnya ?.

## BAB II

### STUDI PUSTAKA dan LANDASAN TEORI

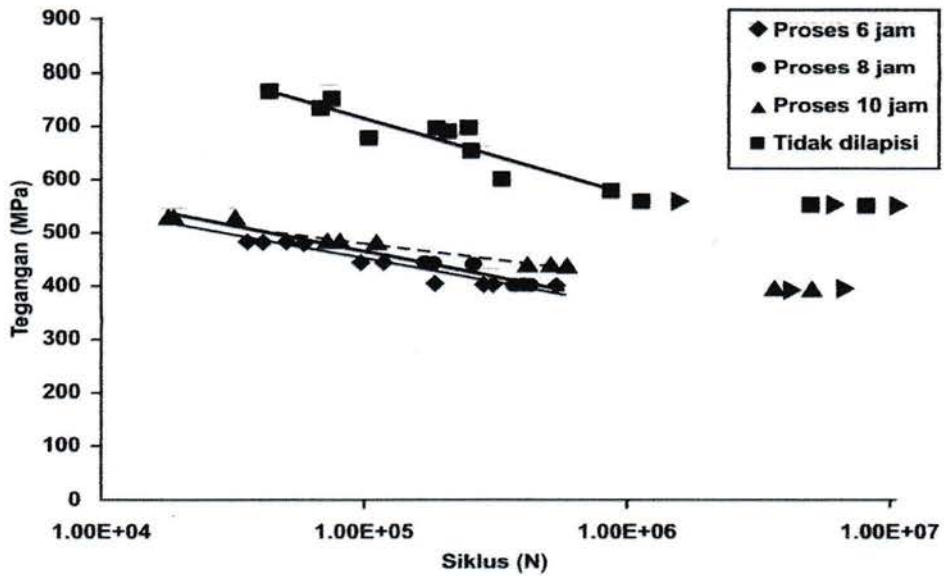
#### II.1. Studi Pustaka

Metode pelapisan logam telah banyak dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi, ketahanan gesekan, maupun untuk keindahan. Namun, secara umum metode-metode tersebut memiliki kelebihan maupun kelemahan, bila ditinjau dari aspek teknologi produksi suatu bahan. Pelapisan logam melalui proses pemanasan hingga sampai temperatur relatif tinggi, akan menyebabkan perubahan struktur mikro bahan yang dilapisi, oleh karena itu sebagai konsekwensinya sifat-sifat mekanis logam yang dilapisi juga akan berubah.

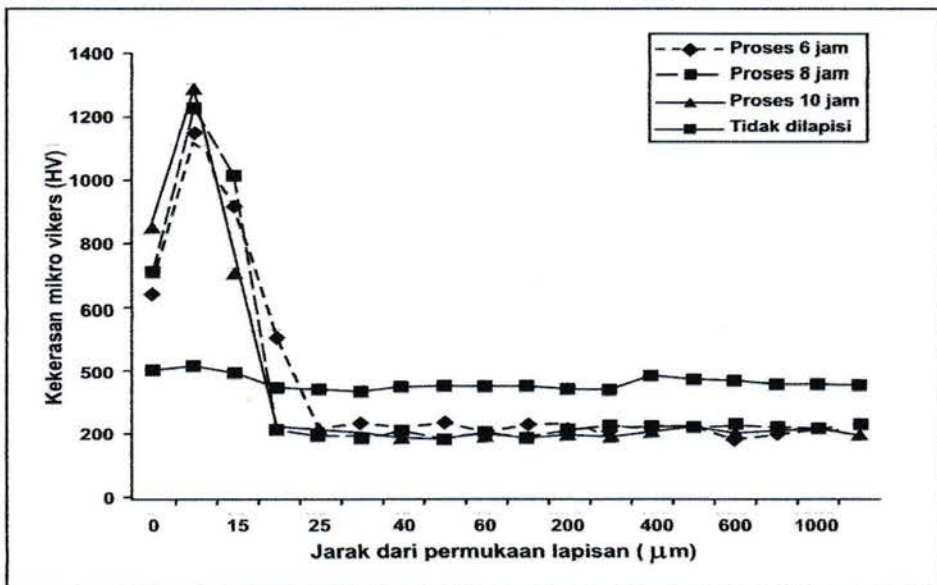
Baja ASSAB 709 dilapisi chromium dengan teknik *pack cementation* telah diteliti oleh Siregar (2000). Proses pelapisan dilakukan dengan memanaskan *pack* pada dapur (*furnance*) hingga mencapai temperatur 1050<sup>0</sup>C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 6 jam, 8 jam, dan 10 jam. Sifat-sifat lelah (fatik) maupun sifat-sifat mekanis dan struktur mikro dari baja yang telah dilapisi, diuji masing-masing menggunakan mesin uji *rotary bending*, mesin uji tarik jenis *hydraulics servopulser*, *vickers microhardness tester*, mikroskop optik, dan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil pengujian fatik disajikan dalam bentuk kurva S-N, seperti diperlihatkan pada gambar 2.1. Kekuatan fatik baja ASSAB yang dilapisi dengan chromium (*chromized*), berkurang hingga mencapai  $\pm 35\%$ , bila dibanding dengan kekuatan fatik dari material dasarnya (benda uji yang tidak dilapisi). Keadaan tersebut mendekati harga sama untuk ketiga jenis perlakuan pada baja yang dilapisi, yang mana variabel dari ketiga jenis perlakuan adalah waktu penahan saat proses pelapisan.

Sifat-sifat baja *chromized* lainnya yang dapat diamati adalah distribusi kekerasan pada penampang benda uji (daerah tebal lapisan *chromized*). Hasil pengujian kekerasan *Vickers mikrohardness* digambarkan pada gambar 2.2. yaitu kurva hubungan antara kekerasan *microhardness* dengan jarak dari permukaan luar, sepanjang penampang benda uji. Dari gambar 2.2.

diperlihatkan adanya penurunan kekerasan pada logam dasarnya hingga mencapai  $\approx 40\%$ , namun sebaliknya kekerasan *vickers microhardness* pada



Gambar 2.1. Kurva S-N baja ASSAB 709 chromized



Gambar 2.2. Kurva distribusi kekerasan pada penampang

zone jarak  $< 20 \mu\text{m}$  dari permukaan luar sepanjang tebal lapisan *chromized* jauh meningkat hingga mencapai 250% dibandingkan dengan kekerasan

material dasarnya, (Siregar, 2000). Hal ini disebabkan oleh karena lapisan *chromized* terdiri dari lapisan ferrite yang kaya dengan chromium yang diselang-selingi oleh karbida chromium yang bervariasi, (Liu dan Wu, 1990). Peningkatan sifat-sifat mekanis baja *chromized* telah diteliti oleh Siregar, (2006). Pada penelitian ini benda uji dari baja paduan yang dilapisi chromium dengan teknik *pack cementation*. Benda uji atau baja *chromized* diproses *hardening* pada temperatur ( $750^{\circ}+850^{\circ}\text{C}$ ) dan di-*tempering* pada temperatur  $250^{\circ}\text{C}$ . Dari hasil pengujian diperoleh terjadi peningkatan kekuatan fatik sebesar  $\pm 25\%$ . Namun hasil ini belum menunjukkan hasil yang sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh jumlah variasi proses perlakuan panas yang dilakukan cukup terbatas, dimana proses perlakuan panas yang dilakukan hanya dengan satu rangkaian proses saja. Selain jumlah variasi proses perlakuan panas yang terbatas, jumlah benda uji pada pengujian kekuatan fatik adalah ( $10 + 12$ ) pcs persatu kelompok pengujian. Oleh karena penelitian tersebut digolongkan pada tingkatan penelitian pemula.

Agarwal (1993), telah meneliti hubungan antara proses dan struktur mikro lapisan *chromized* dengan satu bentuk sistem. Bentuk sistem ini menggunakan kombinasi teknik *electroplating* dan diikuti dengan pemanasan lanjut benda uji yang akan dilapisi. *Electrodeposited* chromium dianalogikan sebagai pengganti sumber chromium pada metode *pack cementation* yang konvensional. Hasil pengamatan yang diperoleh adalah sebagai berikut : (1) Struktur mikro *chromized* dapat terbentuk melalui *electrodeposition* chromium jika didukung dengan proses pemanasan lanjutan. Pada perlakuan panas, proses pemanasan dan pendinginan diatas temperatur *eutectoid* adalah langkah-langkah yang penting, yang memerlukan pengontrolan untuk mendapatkan jenis struktur mikro lapisan *chromized*. (2). Ketika benda uji di-*quenched* tidak ada terbentuk voids, hal ini berarti voids terbentuk ketika pendinginan dilakukan dengan lambat, (3) Retak-retak mikro pada *electroplate chromium* berasal dari oksidasi pada temperatur tinggi.

Hashem dan Aly (1994), meneliti kelakuan fatik dari baja carbon rendah yang dilapisi dengan Titanium alloy. Pelapisan dilakukan melalui difusi titanium dengan teknik *pack cementation* pada permukaan baja carbon. Benda uji

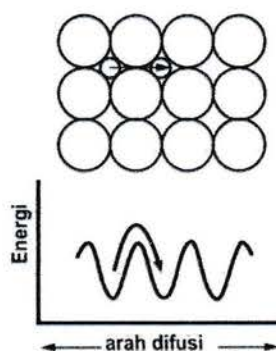
dimasukkan kedalam *pack* yang merupakan campuran serbuk *ferrotitanium*, serbuk Aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) dan Ammonium chlorida ( $NH_4Cl$ ). Semua jenis variasi lapisan berkurang kekuatannya bila dibandingkan dengan benda uji yang tidak dilapisi.

Hotta dkk, (1994) dan (1995), telah meneliti baja yang dilapisi chromium dengan teknik elektroplating menunjukkan terjadi penurunan kekuatan fatik.

## II.2. Landasan Teori

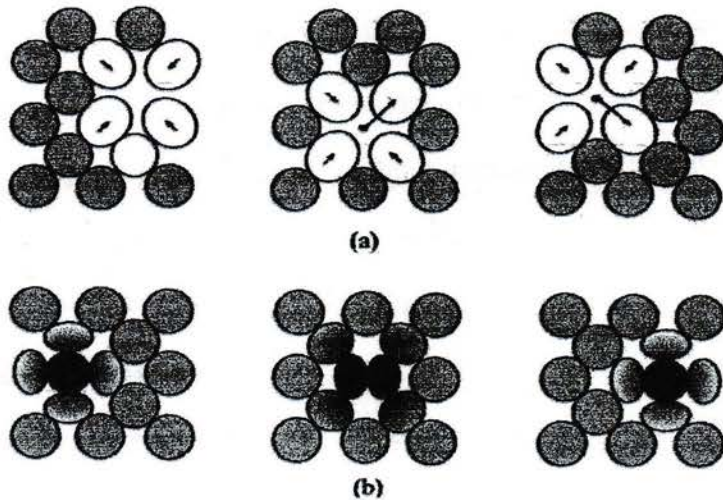
### II.2.1. Proses difusi

Logam dasar yang akan dilapisi (*substrate*) dikubur di dalam sebuah *pack* yang berisi serbuk yang terdiri dari logam yang akan difusikan sebagai *source*, garam halida sebagai *activator*, dan larutan tidak bereaksi sebagai *filler*. Ketika *pack* ini dipanaskan maka garam halida bereaksi menghasilkan *atmosphere* senyawa logam dengan halida, yang akan mentransfer unsur logam ke dalam logam dasar melalui difusi. Permukaan logam dasar yang telah dilapisi kaya dengan senyawa-senyawa logam difusi, yang mempunyai sifat-sifat seperti tahan terhadap korosi, temperatur tinggi, tahan gesekan dan sebagainya. Ketika suhu dinaikkan, enersi kinetik atom-atom meningkat sehingga memungkinkan atom-atom bergetar pada jarak antar atom yang lebih besar atau lebih kecil. Pada suhu tertentu suatu atom mempunyai enersi yang cukup untuk mendokrak ikatannya dan melompat dari satu posisi ke posisi yang lain di dalam kisi. Keadaan ini akan membuat kekosongan yang baru dalam kristal yang mungkin di isi oleh atom-atom lain, suatu proses yang disebut dengan difusi. Enersi yang diperlukan sebuah atom untuk berpindah tempat disebut energi aktivasi, (gambar 2.3).



Gambar 2.3 Pergerakan atom dalam difusi





Gambar 2.4. Mekanisme difusi dalam larutan padat (a) difusi substitusi, dan (2) difusi instertisi

Difusi dapat terjadi dalam logam, hanya jika elemen difusi membentuk larutan padat dengan logam dasar. Gambar 2.4 memperlihatkan secara skematik, mekanisme difusi pada larutan padat. Kecepatan difusi di dalam kristal besi tidak sama untuk setiap jenis atom, tergantung pada jenis larutan padat yang terjadi.

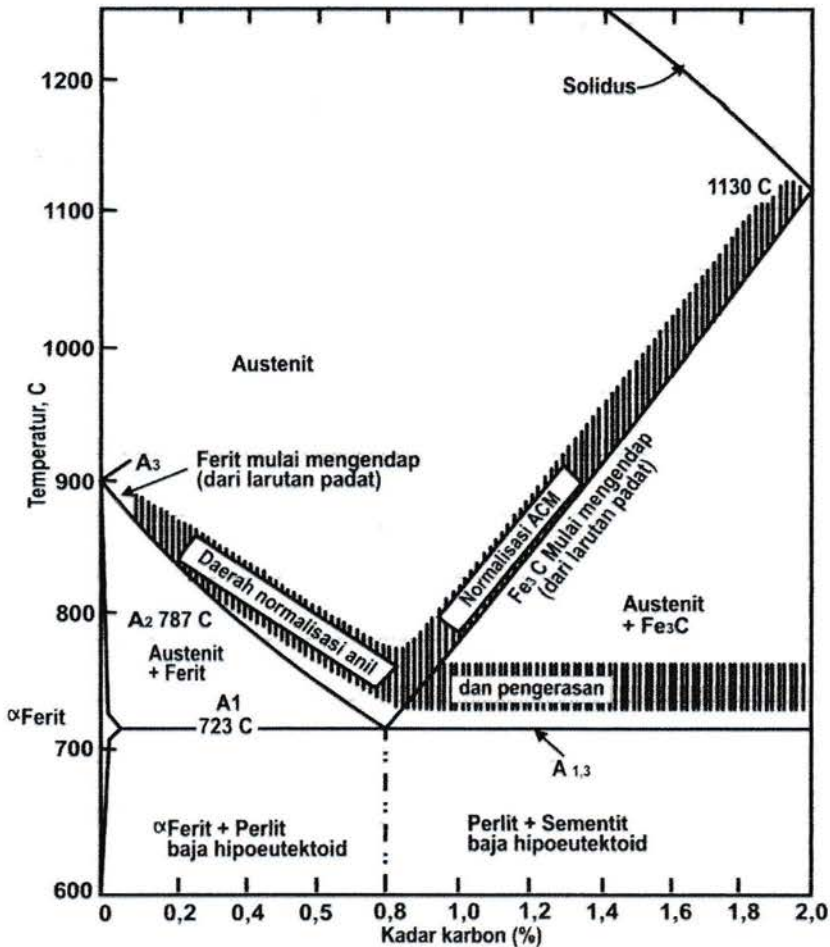
Ketika permukaan baja dijenuhkan dengan atom-atom karbon atau nitrogen yang membentuk larutan padat interstisi, akan berlangsung lebih mudah dibandingkan penjenuhan dengan atom-atom logam lainnya, dimana atom-atom logam tersebut membentuk larutan padat substitusi dengan besi, karena memerlukan energi aktiva yang lebih besar.

Pada larutan padat interstisi, atom-atom karbon dan nitrogen, bergerak dengan mudah dari posisi sisipan satu ke posisi sisipan yang berikutnya dalam kisi, sementara larutan padat substitusi, semua atom memiliki ukuran relatif sama, sehingga mekanisme kekosongan lebih menonjol. Oleh karena itu kecepatan difusi lebih lambat ketika permukaan baja dijenuhkan dengan logam, yang membentuk larutan padat substitusi. Dengan demikian untuk mengantisipasi keadaan ini proses difusi harus dilakukan pada temperatur relatif tinggi.

## II.2.2. Heat treatment

Baja selalu membutuhkan perlakuan panas (*heat treatment*) sebelum dipakai. Perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanisnya, misalnya meningkatkan kekerasan, kekuatan, keuletan atau menetralkan pengaruh negatif akibat proses pembentukan sebelumnya. Jenis-jenis proses perlakuan panas meliputi :

- (1) normalisasi (*normalizing*),
- (2) anil (*annealing*),
- (3) Pengerasan (*hardening*) dan
- (4) temper (*tempering*).

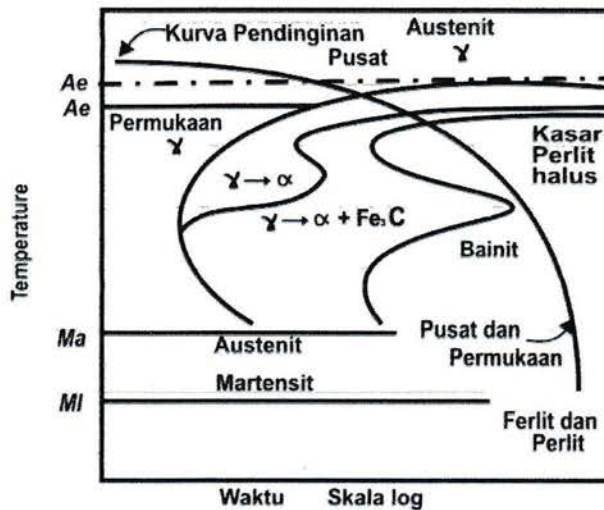


Gambar 2.5. Daerah perlakuan panas pada diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C

- (1) **Normalisasi.** Proses ini dilakukan dengan pemanasan baja sampai 40<sup>o</sup>C diatas temperatur kritis, dan dipertahankan temperaturnya selama dua menit per mm tebal penampang, selanjutnya didinginkan di udara terbuka. Pada proses ini dihasilkan struktur yang terdiri dari pearlit atau pearlit dalam matriks ferit atau pearlit dalam struktur sementit. Oleh karena baja didinginkan di udara

terbuka maka dihasilkan susunan pearlite halus yang akan meningkatkan sifat-sifat- sifat mekanik.

(2) **Anil.** Tujuan utama dari proses ini adalah pelunakan sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui permesinan atau pengerjaan dingin. Hal ini dilakukan dengan memanaskannya sedikit di atas suhu kritis  $A_{c3}$ , di tahan sampai suhu merata dan diikuti dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar suhu dibagian luar dan dalam kira-kira sama kecepatan pendinginan  $150^{\circ} : 200^{\circ} \text{ C/jam}$  rata-rata.

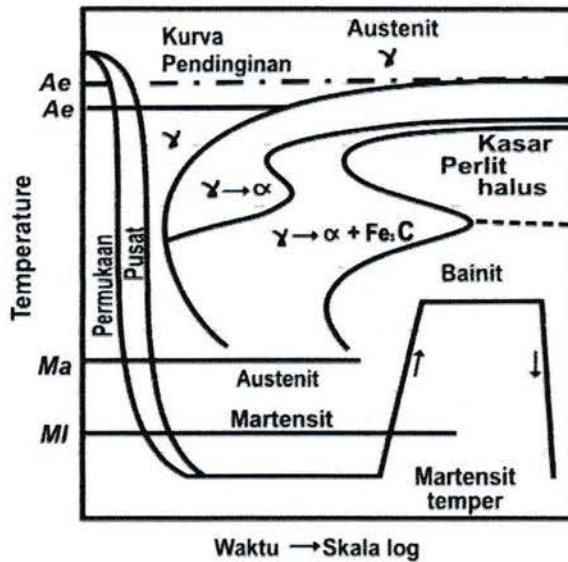


Gambar 2.6. Diagram TTT untuk proses Anil

Proses yang digambarkan pada gambar 2.4 disebut proses anil sempurna (*full annealing*), karena struktur sebelumnya akan berubah, struktur kristal akan merata dan logam lebih lunak, anil juga dapat meniadakan tegangan dalam. Bila logam yang telah dikeraskan dipanaskan diatas daerah kritis, struktur kembali menjadi austenit dan pendinginan perlahan-lahan memungkinkan terjadinya transformasi dari austenit menjadi struktur yang lebih lunak. Baja *hipoeutektoid* bertransformasi menjadi pearlit dan ferit. Suhu pemanasan proses anil tergantung pada komposisi dan untuk baja karbon dapat dilihat pada diagram besi karbida besi. Laju pemanasan ditentukan oleh bentuk dan variasi ukuran propti, harus diusahakan agar suhu merata. Bila suhu anil telah merata, baja didiamkan beberapa lama, biasanya diperlukan waktu sekitar 45 menit untuk ketebalan 25 mm pada penampang yang paling besar. Agar kekerasan

minimal, dan keuletan maksimal, laju pendinginan harus lambat, untuk ini dapat dilakukan dalam dapur. Makin tinggi kadar karbon, makin lambat laju pendinginan.

(3) **Pengerasan.** Pengerasan adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan cepat. Bila kadar karbon diketahui, suhu pemanasannya dapat dibaca dari diagram fasa besi-karhida besi. Akan tetapi bila komposisi baja tidak diketahui, perlu diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya. Cara yang terbaik ialah memanaskannya dan mencelup beberapa potong baja pada berbagai suhu disusul dengan pengujian kekerasan atau pengamatan mikroskopik. Bila suhu yang tepat telah diperoleh akan terjadi perubahan dalam kekerasan dan sifat lainnya. Pada setiap operasi perlakuan panas, laju pemanasan merupakan faktor yang penting. Panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga tidak dapat diperoleh struktur yang merata. Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang merata. Kekerasan yang dicapai tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon dan ukuran benda pada baja paduan, jenis dan jumlah paduan akan mempengaruhi kemampuan pengerasan. Dari diagram transformasi gambar 2.4, jelas bahwa diperlukan pencelupan yang cepat untuk mencegah perpotongan dengan ujung kurva sehingga dapat diperoleh struktur martensit. Untuk baja karbon rendah dan baja karbon sedang, lazim dilakukan pencelupan dalam air.



Gambar 2.7 Diagram transformasi yang menggambarkan terjadinya martensite-temper

Laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Untuk baja karbon tinggi dan baja paduan biasanya digunakan minyak sebagai media pencelupan, kecepatan pendinginannya tidak secepat air. Baja dengan kadar karbon rendah sulit untuk dikeraskan. Dengan meningkatnya kadar karbon sampai sekitar 0,6%, kekerasan akan naik. Pada daerah di atas 0,6% kenaikan harga karbon hanya sedikit pengaruhnya, karena di atas suhu eutektoid baja dalam keadaan anil terdiri dari perlit dan sementit. Baja yang sebagian besar terdiri dari perlit dapat diubah menjadi baja yang keras.

**Struktur baja hardened.** Telah diketahui bahwa austenit merupakan larutan padat karbon dalam besi  $\gamma$ . Baja karbon terdiri dari austemt pada suhu di atas suhu kritis. Bentuk austemt yang dilihat dengan mikroskop pada pembesaran 125 X dapat dilihat pada gambar 2.8. Dengan pencelupan dari suhu yang cukup tinggi biasanya tidak semua austemt berubah, dan austenit sisa ini mempunyai kekerasan setengah dari martensit dan bersifat non-magnetik. Bila baja hipoeutektoid didinginkan secara perlahan-lahan austenit bertransformasi menjadi ferit dan perlit. Baja dengan susunan demikian lunak dan ulet. Bila baja didinginkan dengan lebih cepat akan dihasilkan susunan yang berlainan, baja akan lebih keras akan tetapi kurang ulet. Pendinginan yang cepat seperti pencelupan dalam air akan menghasilkan struktur martensit. Martensit adalah struktur yang paling keras.

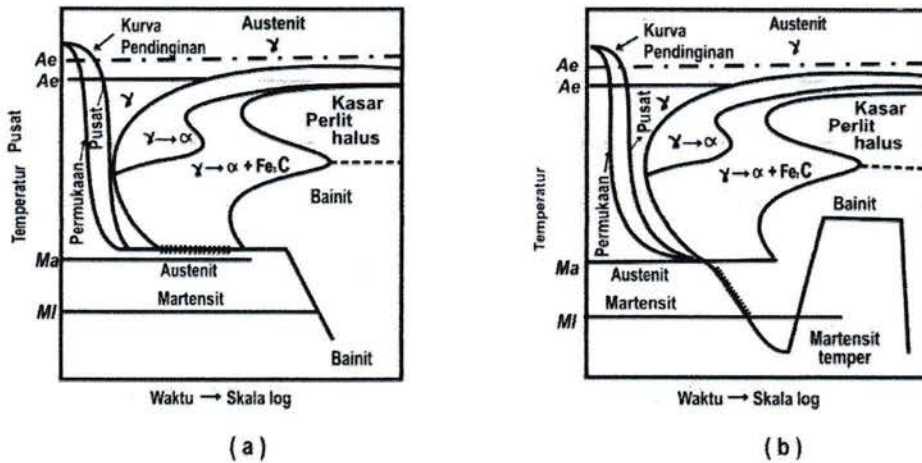


Gambar 2.8 Struktur mikro baja karbon C= 1,0% di-quench dari temperatur austenit

Sementit yang lebih keras sedikit terdapat secara bebas dan dalam jumlah yang kecil dalam baja hipereutektoid sehingga pengaruhnya atas kekerasan baja dapat diabaikan. Fase yang sangat penting dalam baja yang dikeraskan ialah martensit. Martensit diperoleh dengan mencelupkan baja karbon dalam air dan terbentuklah fase transisi yang terjadi karena dekomposisi austenit dengan cepat dan merupakan larutan padat karbon. Di bawah mikroskop tampak jarum-jarum, (gambar 2.8).

(4) **Temper.** Baja yang telah dikeraskan bersifat getas dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses temper, kekerasan dan kegetasan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan berkurang dan kekuatan tarik akan turun pula, sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses temper seperti terlihat pada gambar 2.7, terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan, pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena disini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Struktur akhir hasil temper baja yang dikeraskan disebut martensit temper.

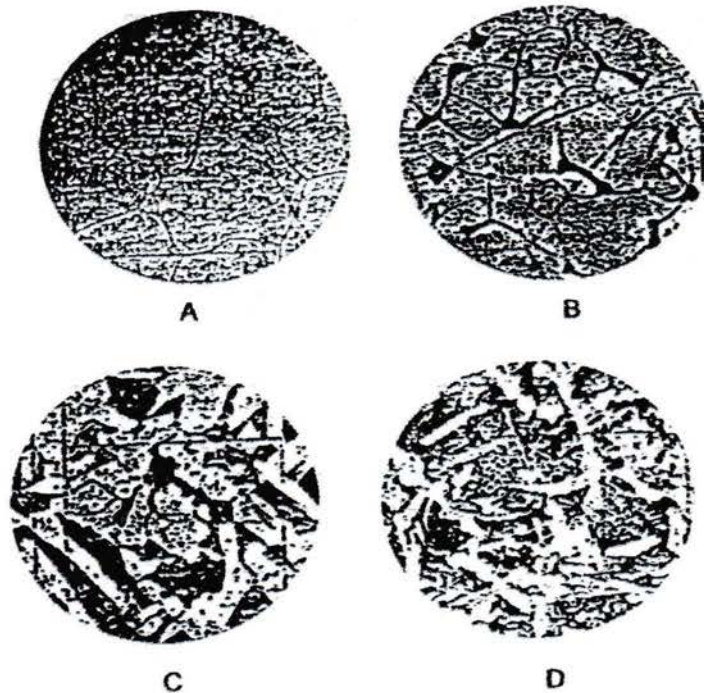
Temper dimungkinkan oleh karena struktur martensit tidak stabil. Temper pada suhu rendah antara  $150^{\circ}$ :  $230^{\circ}$  C tidak menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu.



**Gambar 2.9 Diagram transformasi untuk proses pencelupan tertunda (a) austemper, dan (b) martemper**

bila suhu temper meningkat, martensit terurai lebih cepat sekitar  $315^{\circ}\text{C}$  perubahan fasa menjadi martensit temper berlangsung dengan cepat Proses temper terdiri dari presipitasi dan penggumpalan atau pertumbuhan semenrit Pengendapan semenrit terjadi pada  $315^{\circ}$  diiringi dengan penurunan kekerasan. Peningkatan suhu akan mempercepat penggumpalan karbida, sementara kekerasan turun terus.

Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti atas temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk mencapai kekerasan tertentu. Pada proses temper perlu diperhatikan suhu maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama suhu temper dicapai, selama pemanasan (yang cukup lama) terjadi penurunan kekerasan. Biasanya baja dipanaskan sampai suhu tertentu kemudian dibiarkan cukup lama suhu merata.



Gambar 2.10 Foto struktur mikro pengaruh penambahan % C pada paduan besi; (a) besi murni, (b) 0,12%C, (c) 0,40%C (d) 0,62%C

Ada dua proses khusus dimana diterapkan pencelupan tertunda. Baja yang dikeraskan dicelup dalam dapur garam pada suhu yang lebih rendah sebelum didinginkan lebih lanjut. Proses yang dikenali dengan nama austemper dan martemper memungkinkan diperolehnya sifat mekanik khusus.

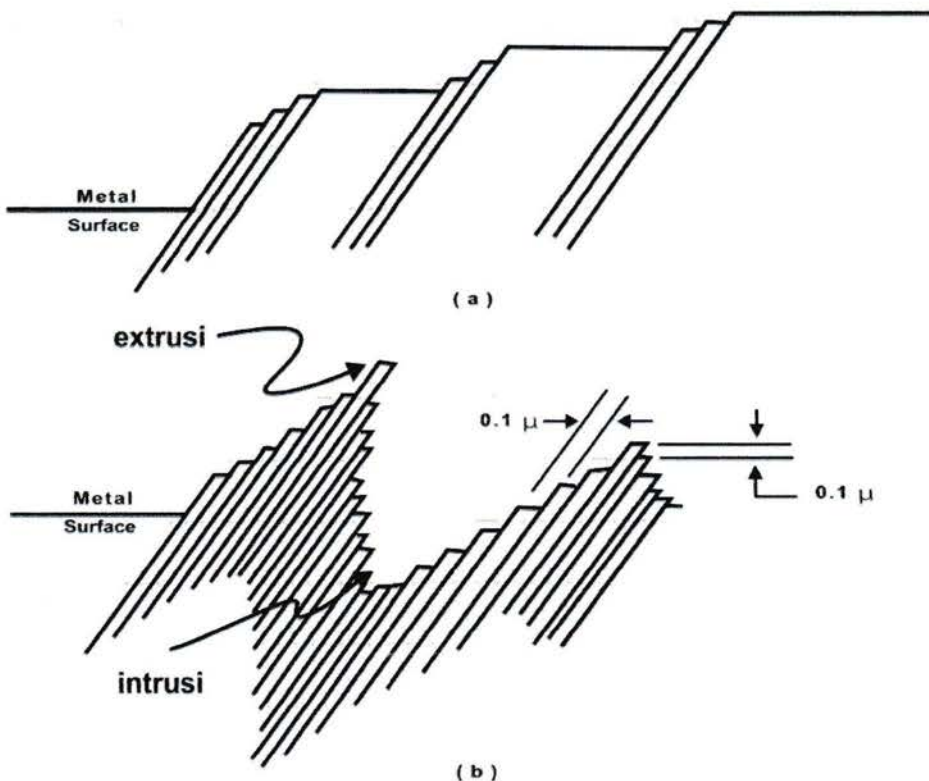
### II.2.3. Kegagalan fatik

Analisa mikro dari pada penampang patahan lelah, dapat dijelaskan bahwa mekanisme kegagalan lelah dapat dikelompokkan menjadi 3 fase yaitu (1) retak fatik tahap awal (*fase inisiasi*), (2) perambatan retak fatik striasi (fase yang dapat dikontrol) dan (3) fase patah ulet.

(1) Retak fatik tahap awal (*fase inisiasi*). Pada fase ini komponen yang dikenai pembebanan berulang/berfluktuasi, retak dapat terbentuk sebagai akibat deformasi plastik yang berulang, sekalipun tegangan nominal berada dibawah beban plastis. Namun tegangan secara lokal dapat naik jauh lebih besar dari tegangan luluh (*yield stress*) hal ini disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan di ujung retak pada suatu inklusi, porous, atau pada takikan. Sebagai



akibatnya terjadi deformasi plastik secara lokal pada skala mikro. Beberapa bentuk ekivalensi yang dapat menjelaskan inisiasi retak fatik ini, dapat diadopsi dari model yang telah dibuat oleh "Wood", seperti dilukiskan pada gambar 2.9. dibawah ini. Pada model Wood ini dapat dilihat bahwa selama periode peningkatan beban-tarik pada siklus tertentu, terjadi deformasi plastik yang mengakibatkan terbentuknya slip (pergeseran) pada bidang yang mengalami tegangan geser maksimum. Selanjutnya pada periode penurunan beban-tekan, bidang slip yang lain akan mengambil posisi dalam arah yang berlawanan, dan sejajar dengan bidang geser sebelumnya. Pergeseran bidang slip ini pada siklus-siklus berikutnya akan dihalangi oleh bidang slip sebelumnya.



Gambar 2.11 Mekanisme pembentukan retak awal

Keadaan seperti ini dapat mengakibatkan deformasi plastik pada bidang-bidang lainnya. Akumulasi deformasi plastik pada siklus-siklus selanjutnya dapat membentuk *extrusi* maupun *intrusi* pada permukaan logam (gambar 2.9). Sebuah intrusi dapat tumbuh menjadi sebuah retak mikro oleh aliran deformasi plastik pada siklus-siklus berikutnya.

(2) Perambatan retak fatik (fase yang dapat dikontrol). Teori Mekanika perpatahan dapat digunakan untuk memprediksi perambatan retak fatik. Jika retak awal telah terbentuk sehingga memungkinkan laju perambatan retak dapat diprediksi, melalui persamaan faktor intensitas tegangan :

$$K = Y \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$$

dalam hal ini; K = faktor intensitas tegangan ( $\text{MNm}^{-3/2}$ ), Y = faktor geometris, a = panjang retak (mm),  $\sigma$  = tegangan (MNm). Dalam pembebanan dinamik, K akan bervariasi sebesar. Perambatan retak dapat diprediksi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{d_a}{d_N} = C(\Delta K)^m$$

di mana C dan m adalah konstanta yang bergantung pada jenis material, yang harganya dipengaruhi oleh lingkungan dan perbandingan tegangan. Apabila C dan m diketahui, maka hubungan antara panjang retak kritis ( $a_c$ ) dan siklus kritis yang menyebabkan retak sampai kritis adalah ( $N_c$ ). Penyelesaian persamaan berikut ini akan diperoleh  $N_c$ :

$$\begin{aligned} \frac{d_a}{d_N} &= C(\Delta K)^m \\ &= C[Y(S_{maks} - S_{min})\sqrt{\pi \cdot a}]^m \\ &= C[Y \cdot S_R \sqrt{\pi \cdot a}]^m \end{aligned}$$

Misalkan retak awal =  $a_i$ , dan  $N_c$  adalah jumlah siklus yang menyebabkan retak merambat dari  $a_i$  sampai  $a^{\wedge}$  (panjang retak kritis), maka persamaan diatas dapat ditulis:

$$\int_{a_i}^{a_c} d_N = \int_{a_i}^{a_c} \frac{d_a}{C\{Y \cdot S_R \cdot \sqrt{\pi \cdot a}\}^m}$$

atau

$$N_c = \frac{2}{C(Y \cdot S_R)^m \pi^{m/2} (2 - m)} \{a_c^{1-m/2} - a_i^{1-m/2}\}$$

dalam hal ini:  $m \neq 2$

## BAB III

### Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### III.1 Tujuan Penelitian

Uraian sebelumnya telah dijelaskan bahwa komponen-komponen mesin yang dilapisi chromium (*chromized*) dengan teknik *pack cementation* menunjukkan penurunan sifat-sifat fatik maupun mekanik yang cukup signifikan. Komponen-komponen yang sedemikian itu sudah barang tentu tidak menguntungkan bila ditinjau dari aspek efisiensi material. Oleh karena itu diperlukan kajian yang lebih mendalam untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik dari komponen-komponen mesin yang di-*chromized*.

Perlakuan panas (*heat-treatment*) adalah metoda yang paling mudah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis suatu bahan/komponen-komponen mesin. Selain proses *heat-treatment*, penambahan unsur-unsur paduan merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis suatu bahan. Proses perlakuan panas terdiri dari *hardening*, *normalizing*, *tempering*, dan *annealing*. Dalam hal ini kombinasi perlakuan panas yang memungkinkan untuk peningkatan sifat-sifat mekanis baja *chromized* adalah proses-proses *hardening-tempering* atau *hardening-normalizing-tempering*. Selain urutan proses pada perlakuan panas, temperatur proses *tempering* dan jumlah benda uji, merupakan parameter yang sangat menentukan hasil yang akan diperoleh.

Penelitian ini akan mengkaji suatu proses perlakuan panas, sehingga diperoleh kombinasi urutan proses-proses, dan temperatur proses *tempering* pada perlakuan panas tersebut, yang menghasilkan sifat-sifat fatik maupun mekanis maksimum pada baja *chromized*. Urutan proses *heat-treatment* yang telah dilakukan pada tahun I adalah proses *hardening-tempering* dengan temperatur *tempering* = 300<sup>0</sup>C dan 315<sup>0</sup>C. Hasil menunjukkan adanya peningkatan sifat-sifat fatik ± 20%. Sedangkan pada tahun II direncanakan akan dilakukan *hardening-tempering* dengan temperatur *tempering* 350<sup>0</sup>C, 375<sup>0</sup>C dan 400<sup>0</sup>C.

### III.2. Manfaat Penelitian

Baja yang telah dilapisi dengan proses chromizing (*chromized*) banyak digunakan pada mesin-mesin pembangkit tenaga uap, peralatan industri, dan mesin-mesin lainnya, yang beroperasi pada temperatur tinggi. Hal ini, karena baja *chromized* memiliki daya tahan yang tinggi terhadap korosi maupun gesekan. Ketahanan baja *chromized* sangat baik terhadap korosi telah diteliti oleh Zhou dkk., (2007), Kim dkk., (2004), dan Moosa (2008). Selain ketahanan terhadap korosi, baja *chromized* memiliki sifat tahan terhadap gesekan pada permukaannya (Casteletti dkk., (2009). Namun baja *chromized* selain memiliki sifat-sifat yang unggul seperti yang disebutkan tadi, baja *chromized* memiliki kekuatan fatik dan mekanis yang lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan fatik maupun sifat-sifat mekanis dari logam dasarnya (Siregar, 2000).

Peningkatan sifat-sifat mekanis baja *chromized* telah diteliti oleh Siregar, (2006). Pada penelitian tersebut benda uji dari baja paduan yang dilapisi chromium dengan teknik *pack cementation*. Baja *chromized* diproses *hardening* dan selanjutnya di-*tempering*. Dari hasil pengujian diperoleh terjadi peningkatan kekuatan fatik sebesar  $\pm 25\%$ . Namun hasil ini belum menunjukkan hasil yang sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh jumlah variasi proses perlakuan panas yang dilakukan cukup terbatas, dimana proses perlakuan panas yang dilakukan hanya dengan satu rangkaian proses saja. Selain jumlah variasi proses perlakuan panas yang terbatas, jumlah benda uji pada pengujian kekuatan fatik adalah (10 ÷ 12) pcs persatu kelompok pengujian. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan suatu kombinasi proses perlakuan panas yang tepat untuk memperoleh sifat-sifat mekanis dari komponen-komponen *chromized*.

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa kombinasi perlakuan panas, sehingga diperoleh suatu kombinasi proses perlakuan panas yang ideal untuk komponen-komponen *chromized*, yang menghasilkan sifat-sifat mekanis yang optimum. Selain jenis kombinasi proses perlakuan panas, temperatur proses perlakuan panas dan jumlah benda uji yang digunakan pada saat pengujian, akan mempengaruhi hasil yang diperoleh. Oleh karena itu pada penelitian ini, jumlah benda uji yang akan dilakukan sesuai dengan standar pengujian.

Standar jumlah benda uji untuk pengujian fatik adalah  $(15 \div 25)$  pcs untuk penelitian dasar; sedang jumlah benda uji untuk pengujian bertujuan untuk pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi  $\geq 30$  pcs persatu kelompok pengujian, (ASTM E739).

## BAB IV METODA PENELITIAN

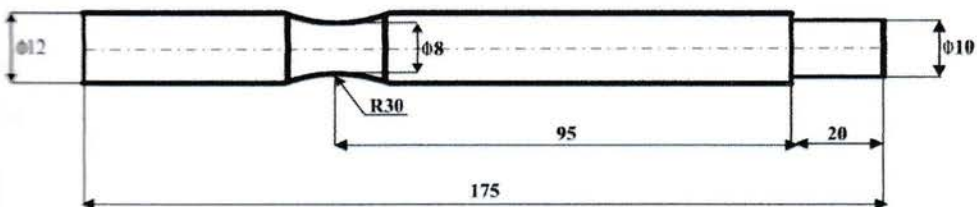
### IV.1. Bahan-Bahan Penelitian

#### IV.1.1. Bahan Benda Uji

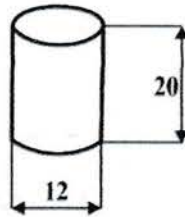
Material penelitian yang digunakan adalah baja karbon NS-1045, yang diperoleh dalam bentuk batangan dengan  $\varnothing = \frac{1}{2}$ " , dengan komposisi C= 0,44%; Si=0,20%; Mn=0,76%; P=0,20%; S=0,21%; Cu= 0,01%; dan Ni=0,02%. Sifat-sifat mekanis baja karbon NS-1045 adalah sebagai berikut : (1) kekuatan maksimum =  $(60 \div 80)$  kgf/mm<sup>2</sup>, (2) kekerasan (*hardness*) =  $(170 \div 220)$  BHN, pada temperatur hardening ( $820^{\circ}\text{C} \div 850^{\circ}\text{C}$ ), dengan media pendingin air dan minyak.

#### IV.1.2. Benda Uji (*Specimen*)

Bahan baja batangan dengan  $\varnothing = \frac{1}{2}$ " , dibentuk menjadi benda uji dengan menggunakan mesin bubut, mesin milling, dan mesin gerinda. Jenis-jenis benda uji terdiri dari benda uji untuk pengujian tarik, pengujian kekuatan fatik seperti diperlihatkan pada gambar 3.1., pengujian kekerasan Vickers, pengujian struktur mikro dengan mikroskop optik, seperti diperlihatkan pada gambar 3.2, dan pengujian struktur mikro dengan SEM, seperti diperlihatkan pada gambar 3.3. Benda-benda uji ini dikelompokkan menjadi dua, yaitu benda uji yang diperlakukan dan benda uji yang tidak diperlakukan. Selanjutnya benda uji yang diperlakukan dibedakan lagi menjadi dua jenis yaitu benda uji yang hanya dilapisi dengan proses chromizing, dan benda uji yang dilapisi dengan proses chromizing & di-*heat treatment*.



Gambar 4.1. Benda uji untuk uji kekuatan Fatik



Gambar 4.2. Benda uji untuk struktur Mikro



Gambar 4.3. Benda uji untuk uji struktur mikro dan uji kekerasan

#### IV.1.3. Bahan-Bahan Pengisi Pack pada Proses Chromizing

- (a). Serbuk Chromium Oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Bahan diffusi yang digunakan pada proses pelapisan (*coating*) adalah senyawa chromium oksida dalam bentuk serbuk dari jenis teknis.
- (b). Amonium chlorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Berfungsi sebagai aktivator di dalam campuran pack. Serbuk Ammonium chlorida yang digunakan adalah jenis campuran teknis.
- (c). Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Berfungsi sebagai media dan untuk menjaga agar tidak terjadi penggumpalan campuran dalam pack.

#### IV.2. Alat-Alat yang Digunakan

IV.2.1. Perlengkapan proses *chromizing*. Pada pembuatan pack diperlukan peralatan-peralatan; (a) tabung dari bahan *stainless steel* dengan ukuran;  $\varnothing = 34 \text{ mm} \times 220 \text{ mm}$ , (b) *methanol* & *acetone*, sebagai pembersih benda uji, (c) Semen tahan api dan pasir yang berfungsi sebagai penutup pack, (d) bak, berfungsi sebagai tempat pencampuran dari elemen-elemen penyusun pack.

IV.2.2. Dapur pemanas (*Furnance*). Alat ini berfungsi sebagai alat pemanas benda uji pada saat proses *chromizing* dan proses *heat-treatment*.



**Gambar 4.4. Dapur pemanas (Furnance)**

**IV.2.3. Mesin Uji tarik (*Tensile Test Machine*). Berfungsi untuk uji tarik benda uji.**



**Gambar 4.5. Mesin uji tarik**

**IV.2.4. Mesin Uji Rotary Bending. Berfungsi untuk pengujian kekuatan fatik dari benda-benda uji. Jenis mesin rotary bending ini adalah jenis cantilever.**



**Gambar 4.6. Mesin uji rotary bending**



**IV.2.5. Mikroskop optik.** berfungsi untuk melihat/menguji struktur mikro dengan pebesaran maksimum  $\leq 500X$ .



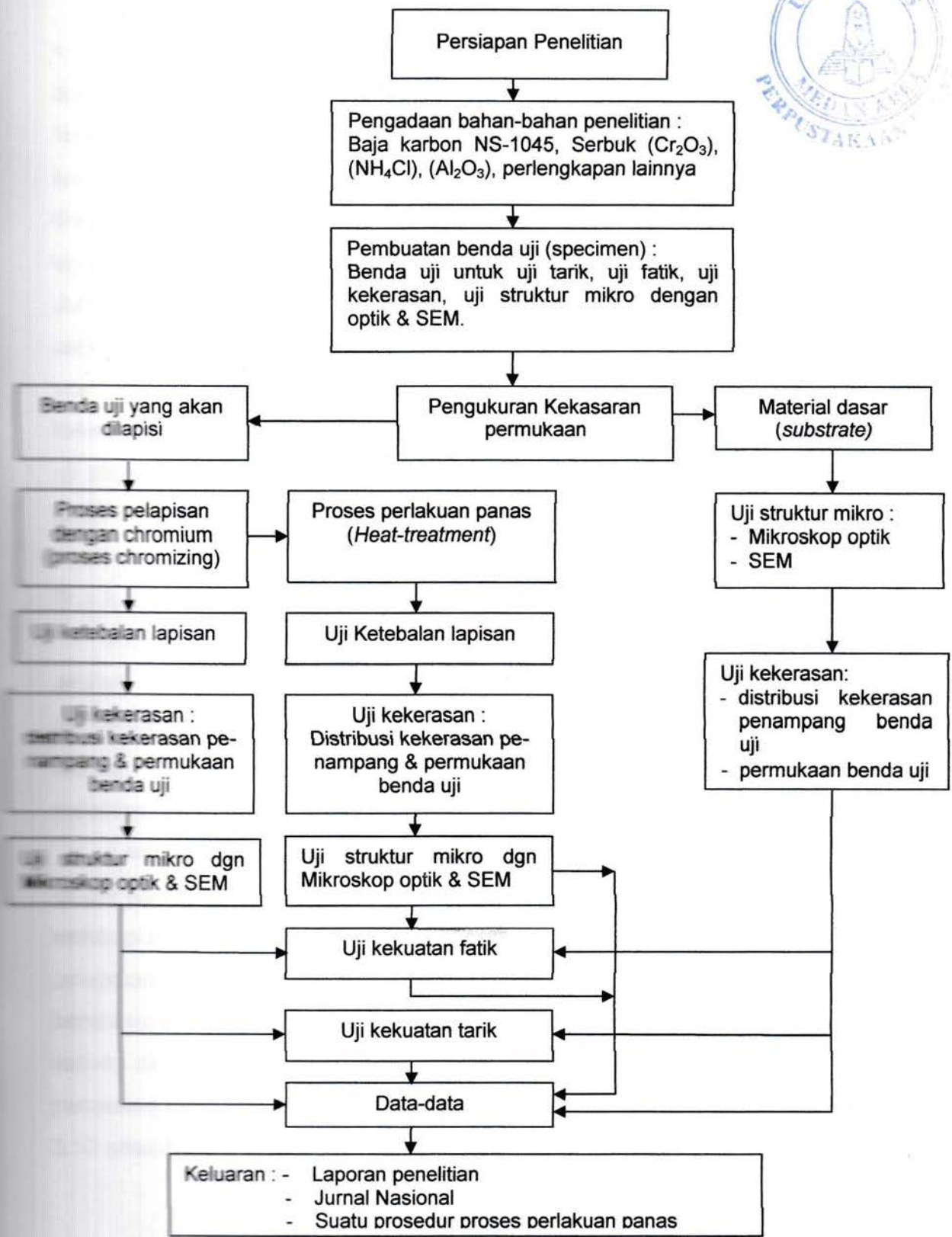
**Gambar 4.7. Mikroskop optik**

**IV.2.6. Mesin bubut, mesin milling, dan mesin gerinda.** Berfungsi untuk membentuk dan menghaluskan permukaan benda uji.



**Gambar 4.8 Mesin Bubut**

### IV.3. Tahapan Penelitian Tahun



Gambar 4.9. Diagram alir penelitian

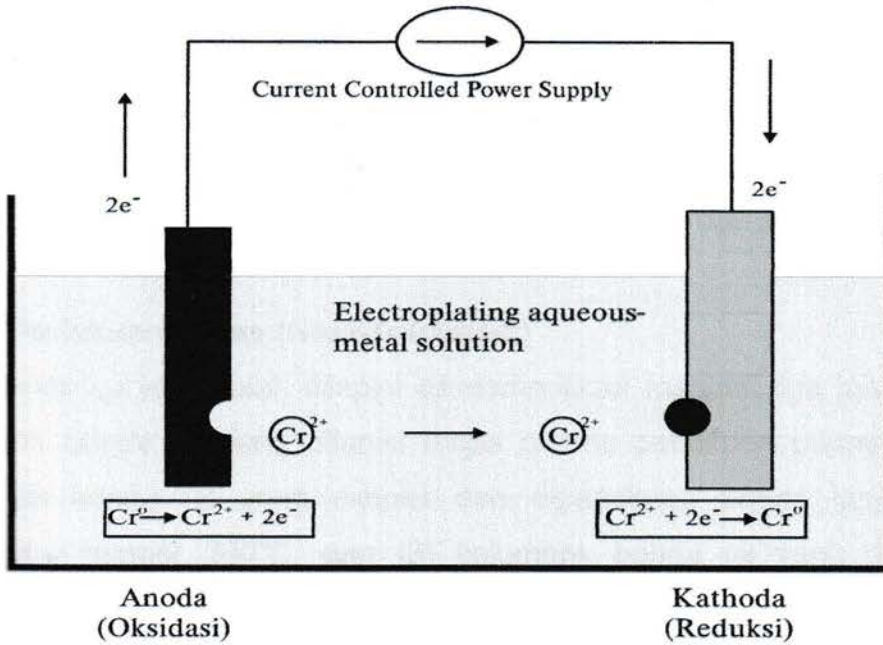
#### IV.3.1. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibentuk dari baja karbon NS-1045 bentuk batangan dengan  $\varnothing = 1\frac{1}{2}$ ". Benda uji dibentuk dengan menggunakan mesin bubut, mesin milling, dan mesin gerinda. Benda uji untuk pengujian tarik dan pengujian kekuatan fatik dikelompokkan menjadi empat jenis yaitu (1) benda uji logam dasar, (2) benda uji yang dilapisi dengan proses chromizing saja, (3) benda uji yang dilapisi dan di-heat treatment dengan temperatur tempering  $300^{\circ}\text{C}$ , (4) benda uji yang dilapisi dan di-heat treatment dengan temperatur tempering  $315^{\circ}\text{C}$ . Jumlah benda uji untuk uji kekuatan tarik 12 pcs (masing-masing 3 pcs untuk setiap kelompok benda uji) dan uji kekuatan fatik 120 pcs (masing-masing 30 pcs untuk setiap kelompok pengujian). Sedangkan benda uji untuk uji kekerasan Vickers & mikro Vickers 20 pcs (masing-masing 10 pcs), dan untuk uji struktur mikro dengan mikroskop optik & SEM 20 pcs, (masing-masing 10 pcs).

#### IV.3.2. Elektroplating

Pelapisan benda uji dengan chromium dengan teknik elektrodeposisi adalah lebih tepat dan lebih murah dibandingkan dengan teknik pack sementasi yang konvensional. Benda uji terlebih dahulu dibersihkan sebelum dilapisi, dengan menggunakan mesin gerinda dan diikuti dengan mesin polishing, selanjutnya dibilas dengan aseton.

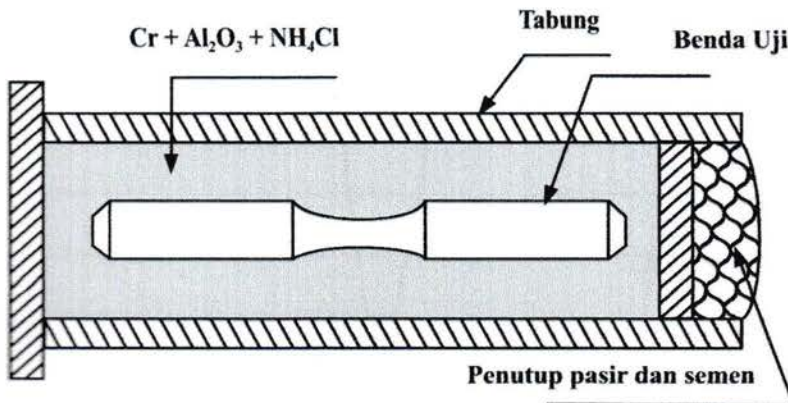
Larutan plating terdiri dari 300 gr/liter  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 2,5 gr/liter  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan 4,5 gr/liter Natrium floursilikat, yang berfungsi sebagai aktifator. Temperatur larutan elektroplating adalah  $55^{\circ}\text{C}$ , dan kerapatan arus  $4000 \text{ ampere/m}^2$ , dan waktu pelapisan 35 menit. Sebuah batang Pb digunakan sebagai anoda, sedangkan benda uji yang akan dilapisi bertindak sebagai katoda. Jarak antara anoda dan katoda diperkirakan sekitar 1,5 "-2". Lapisan-lapisan yang dihasilkan memiliki permukaan yang halus dan ketebalan rata-rata lapisan adalah  $15 \mu\text{m}$ . Gambar 3.10 adalah gambar skema proses elektroplating.



**Gambar 4.10 Skema Rangkaian Proses elektroplating**

**IV.3.3. Proses Pemanasan Pack**

Pelapisan dengan chromium (*proses chromizing*) terdiri dari dua tahapan yaitu dengan teknik *elektroplating* dan dilanjutkan dengan teknik *pack cementation*. Pada proses *pack cementation* ini diperlukan tabung (*retort*) sebagai tempat untuk memanaskan campuran elemen-elemen penyusun *pack*. Tabung ini dibentuk dari pipa batangan *stainless steel* dengan  $\varnothing = 34 \text{ mm}$ .



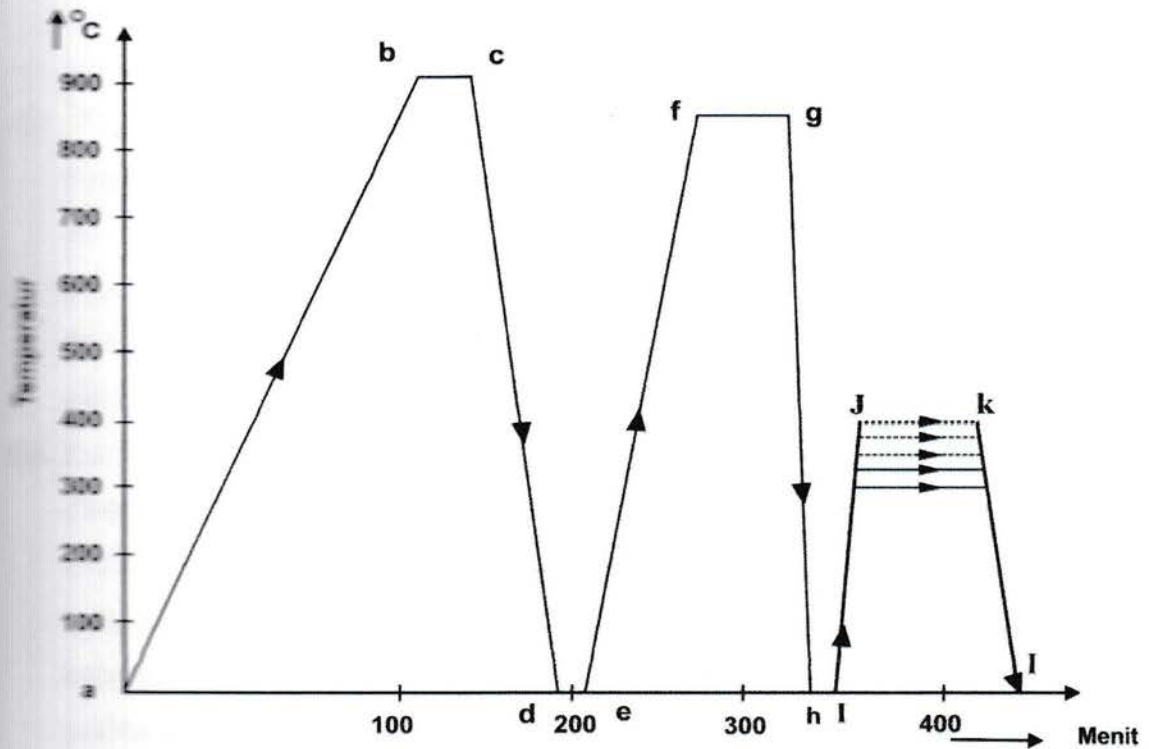
**Gambar 4.11. Tabung dan campuran elemen**

Sebelum *pack* dipanaskan terlebih dahulu diisi dengan benda uji yang akan dilapisi dan elemen-elemen penyusunnya yang terdiri dari, serbuk chromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), Ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Elemen-elemen tersebut dicampur secara homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung dan ditutup dengan campuran semen dan pasir.

#### IV.3.4. Perlakuan Panas (*Heat-Treatment*)

Benda uji yang telah dilapisi dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu (1) kelompok benda uji yang dilapisi tanpa proses perlakuan panas lanjut, (2) kelompok benda uji yang dilapisi dan diperlakukan panas lanjut dengan temperatur temper  $300^\circ\text{C}$ , dan (3) kelompok benda uji yang dilapisi dan diperlakukan panas lanjut dengan temperatur temper  $315^\circ\text{C}$ .

Pada proses perlakuan panas, benda uji yang telah dilapisi dipanaskan kembali sampai hingga temperatur *austenite* dan ditahan selama waktu 30 menit.



Gambar 4.12 urutan proses perlakuan panas

Selanjutnya di-*quenching* dengan media pendingin minyak pelumas (*proses hardening*). Benda uji yang telah diproses *hardening* ini, selanjutnya akan di-*tempering* kembali. Pada proses *tempering* benda uji dipanaskan kembali sampai temperatur 300°C dan 315°C, masing-masing untuk setia kelompok benda uji. selanjutnya ditahan pada temperatur tersebut untuk beberapa waktu, dan kemudian di dinginkan. Temperatur *tempering* merupakan variabel yang membedakan antara satu kelompok benda uji dengan kelompok benda uji lainnya. Banyak kombinasi perlakuan panas (urutan perlakuan panas) pada benda uji, untuk menghasilkan sifat-sifat mekanis yang bervariasi. Prosedur proses perlakuan panas ditunjukkan pada gambar 4.11.

**Keterangan gambar 4.11 :**

- (1). Proses anil. Proses chromizing identik dengan proses anil, karena pada proses chromizing benda uji dipanaskan hingga temperatur 950°C, dan ditahan selama 7 jam. Benda uji yang telah dichromizing ini, mengalami pelunakan (pada gambar 4.11, ditunjukkan dengan garis proses a-b-c-d)
- (2). Proses pengerasan (*hardening process*). Pada proses ini benda uji dipanaskan kembali hingga temperatur bervariasi yaitu temperatur 825°C, dan 850°C, dan selanjutnya ditahan selama 30 menit untuk memperoleh temperatur yang merata diseluruh permukaan benda uji. Selanjutnya dicelup ke dalam oli sebagai pendingin. (ditunjukkan garis e-f-g-h pada gambar 4.11).
- (3). Proses Temper (*Tempering process*). Pada proses ini benda uji yang telah dikeraskan sebelumnya dipanaskan kembali hingga temperatur 300°C dan 315°C, dan ditahan selama 30 menit untuk mendapatkan temperatur yang merata diseluruh permukaan benda uji. Selanjutnya didinginkan di udara terbuka, garis i-j-k-l pada kurva di atas. Garis J-K yang utuh adalah garis pemanasan tempering yang sudah dilakukan, Sedangkan garis putus-putus adalah temperatur temper untuk tahun II.

#### **IV.3.4. Pengujian Fatik**

Sejumlah benda uji yang terdiri dari : (a) benda uji *chromized* yang telah diperlakukan panas yaitu anil, pengerasan, dan temper. (b) benda uji *chromized* yang tidak diperlakukan panas lanjut. (c) Benda uji yang tidak di-*chromized* dan tidak diperlakukan panas. Semua benda uji ini diuji fatik dengan menggunakan mesin uji *rotary bending* jenis *cantilever*. Mesin uji *rotary bending* ini beroperasi pada putaran 2850 rpm, dalam lingkungan udara yang tidak korosif. Pada pengujian diperoleh data-data uji fatik untuk semua benda uji.

#### **IV.3.5. Uji Struktur mikro**

Uji struktur mikro semua benda uji, baik yang diperlakukan panas maupun yang tidak diperlakukan panas. Pada pengujian ini akan dilakukan menggunakan mikroskop optik dan scanning elektron mikroskop. Spesimen uji struktur mikro ini, terlebih dahulu dipoles hingga mengkilap dan di-etsa, dengan menggunakan natal (campuran  $H_2SO_4$  dengan alkohol). Selanjutnya diambil fotonya.

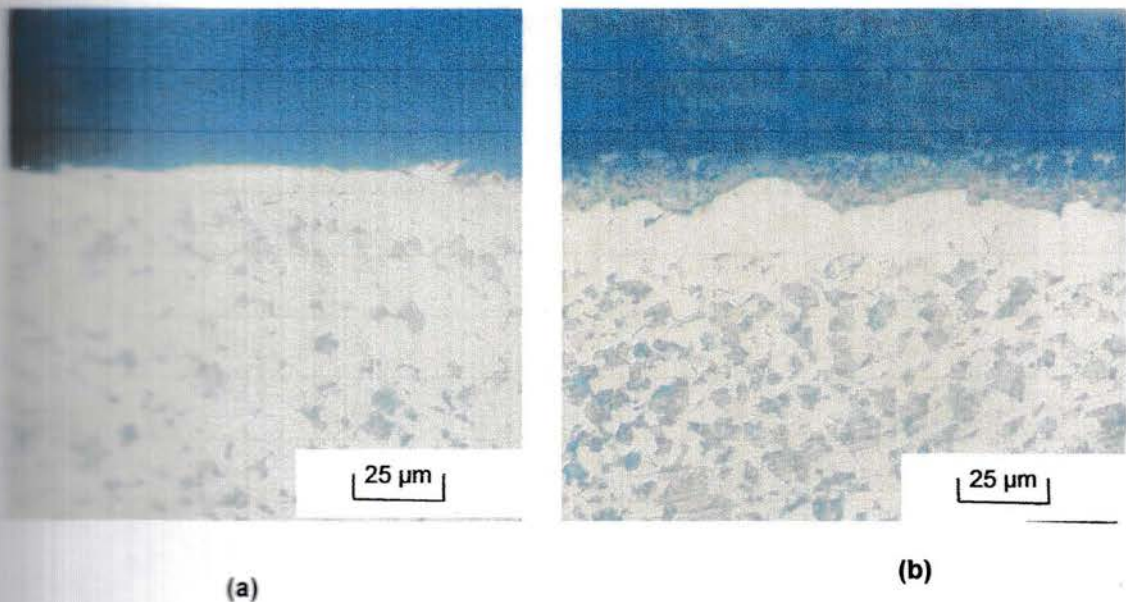
## BAB V

### HASIL dan PEMBAHASAN

#### V.1. Struktur mikro lapisan *chromized* dan Logam dasar

Diagram fase Fe-Cr paduan dengan kandungan chrom (Cr) lebih besar dari 12% akan terbentuk fase ferit pada semua tingkat temperatur, dan tidak ada transformasi *martensite* yang mungkin terjadi. Oleh karena itu lapisan *Chromized* terdiri dari matriks ferit dan unsur-unsur chromium sebagai hasil difusi, dan diselang-selingi oleh sejumlah chromium carbida, (Lakhtin, 1981).

Gambar 5.1 adalah hasil foto struktur mikro dengan mikroskop optik dengan perbesaran 200X. Gambar 5.1.a. adalah foto struktur mikro untuk benda uji yang dilapisi chromium dengan teknik *electrodeposition* tanpa diikuti perlakuan panas. Sedangkan gambar 5.1.b. adalah foto struktur mikro untuk benda uji yang dilapisi chromium dengan teknik *electrodeposition* dan dilanjutkan dengan perlakuan panas (*heat-treatment*). Tebal lapisan adalah sekitar 25  $\mu\text{m}$ . Dari foto struktur mikro ini dapat dilihat perbedaan antara benda uji yang diperlakukan panas (*heat-treatment*) dengan benda uji yang tidak diperlakukan panas.

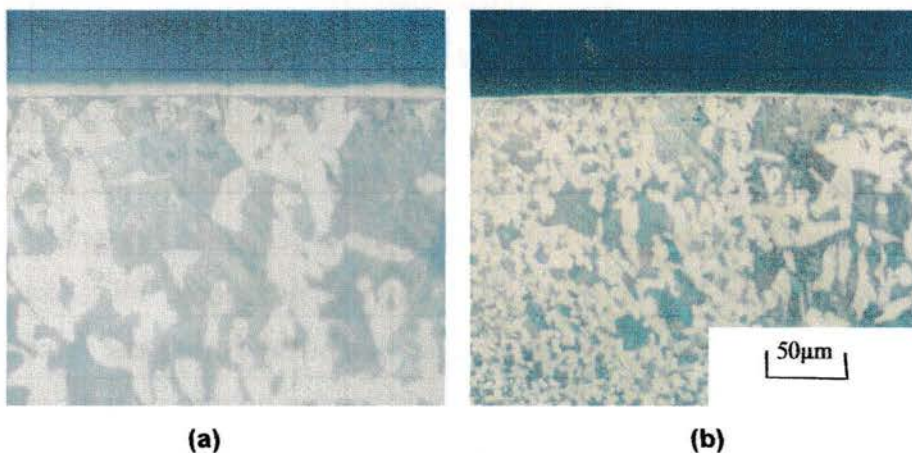


Gambar 5.1. (a) Struktur mikro benda uji *chromized* tanpa perlakuan panas, dan (b) Struktur mikro benda uji *chromized* dengan perlakuan panas.



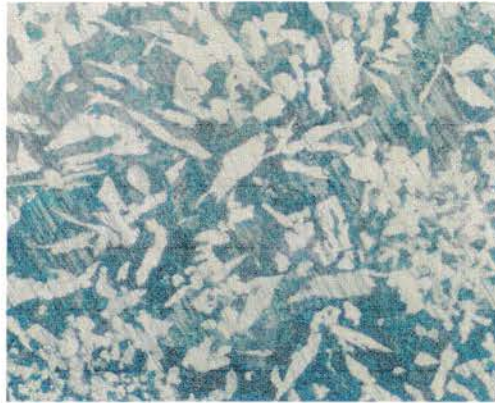
Benda uji yang telah diperlakukan panas memiliki struktur campuran fasa *ferite* dan *pearlite*, dalam hal ini *pearlite* yang lebih dominan, sedangkan benda uji yang tidak diperlakukan panas, didominasi oleh *ferit* dibandingkan dengan *pearlite*.

Sedangkan gambar 5.2 adalah foto struktur mikro untuk benda uji telah *electroplating* (a) dengan perbesaran 200X, dan (b) dengan perbesaran 100X. Gambar 5.3 adalah hasil foto struktur mikro logam dasar dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X. Dari gambar 5.1., gambar 5.2. dan gambar 5.3., ini dapat dilihat bahwa : (1) tebal lapisan *chromized* lebih tipis pada benda uji yang hanya dilapisi dengan proses *electroplating*, bila dibanding dengan tebal lapisan *chromized* yang dilapisi dengan kombinasi *electroplating* dan pemanasan pada *pack*. (2) terjadinya difusi atom-atom Cr dari permukaan luar ke bagian dalam dari logam dasar. Hal ini disebabkan oleh karena pemanasan sampai temperatur yang relatif tinggi terjadi peningkatan energi kinetik atom-atom Cr yang sangat besar, sehingga memungkinkan untuk berdifusi ke dalam logam dasar. Kedalaman atom-atom Cr untuk berdifusi ke bagian dalam logam dasar, merupakan fungsi dari waktu penahanan, temperatur pemanasan, dan pengaruh lingkungan di dalam *pack* itu sendiri. (Agarwal, 1993). (3) Dari ketiga gambar struktur mikro dapat dilihat bahwa terjadi perubahan struktur mikro logam dasar, menjadi struktur mikro benda uji yang dilapisi dengan kombinasi *electroplating* dan *pack cementation*.



Gambar 5.2. Struktur mikro benda uji *electroplating* (a) perbesaran 200X, dan (b) perbesaran 100X

Hal ini butiran lebih besar pada benda uji yang mengalami proses pelapisan kombinasi *electroplating* dan *pack cementation*. Sifat-sifat mekanis benda uji yang dilapisi dengan proses kombinasi *electroplating* dan *pack cementation* menurun dratis.



Gambar 5.3. Struktur mikro logam dasar



Gambar 5.4 Struktur mikro benda uji chromized dengan SEM

Gambar 5.4. merupakan struktur mikro benda uji yang mengalami proses pelapisan dengan kombinasi *electroplating* dan pemanasan dalam *pack*. Foto struktur mikro ini dihasilkan dengan menggunakan SEM. Untuk keperluan pembahasan, tebal *chromized* ini dibagi menjadi 3 sub lapisan. Pada sub lapisan I dengan ketebalan sekitar 10  $\mu\text{m}$  atau ditunjukkan dengan warna putih pada gambar 5.4. Walaupun komposisi kimianya tidak diperoleh secara kuantitatif, tetapi dikenali sebagai senyawa yang banyak mengandung chromium. Dengan demikian pada sub lapisan I terdiri dari sebagian besar

chromium dalam matriks ferit. Penumpukan chromium ini terjadi akibat dirintangi oleh carbida-carbida yang terbentuk pada sub lapisan II, (Lakhtin, 1981). Sub lapisan II dengan ketebalan sekitar 15  $\mu\text{m}$ , dikenali dengan warna gelap yang mengandung bintik-bintik putih seperti diperlihatkan pada gambar 5.4. Bintik-bintik putih ini merupakan difusi atom-atom chromium dari sub lapisan I menuju bahagian dalam logam dasar, hingga sampai pada sub lapisan II. Walaupun data komposisi kimia sub lapisan 2 ini tidak diperoleh secara kuantitatif namun dikenali bahwa lapisan sub II ini memiliki kekerasan yang tinggi (Siregar, 2000), maka kekerasan yang tinggi tersebut dianggap sebagai petunjuk bahwa pada sub lapisan II terbentuk chromium carbide. Chromium carbide, dikenal sebagai senyawa yang keras.

Selanjutnya pada sub lapisan III, merupakan daerah logam dasar. Pada daerah ini belum dijumpai difusi atom-atom chromium. Daerah sub lapisan III ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan sub lapisan I maupun sub lapisan II. Gambar 5.3. adalah gambar struktur mikro untuk benda uji yang tidak dilapisi. Struktur mikro ini adalah hasil foto mikroskop optik dengan pembesaran 200X. Struktur mikro dari benda uji yang tidak dilapisi ini adalah fasa *bainite* yang terdiri butiran-butiran halus dari *pearlite* dan *sementite*. Oleh karena itu fasa bainite ini mempunyai sifat ulet dan kuat dengan kekerasan relatif tinggi.

## V.2. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Vickers Hardness Tester. Pengujian kekerasan dilakukan untuk tiga kelompok sampel, yang terdiri dari : (1) benda uji yang mengalami proses *electroplating* dan proses pemanasan *pack* atau disebut benda uji yang mengalami proses *elektrodeposisi*, (2) benda uji yang mengalami proses *elektrodeposisi* dan dilanjutkan dengan *heat-treatment*, (3) benda uji yang dilapisi hanya dengan proses *electroplating* saja, dan (4) benda uji tanpa proses (*raw material*).

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu benda uji dibentuk dan dipoles hingga mengkilap. Selanjutnya benda uji ini di-*etsa* dengan campuran asam kuat. Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan yang telah di-

etsa. Harga-harga kekerasan vickers pada benda uji diperoleh seperti diperlihatkan pada tabel IV.1. Nilai kekerasan ini merupakan konversi besaran dari hasil pengukuran.

**Tabel V.1. Nilai Kekerasan Vickers (HV)**

No	Jenis Benda uji	Spesimen (1)	Spesimen (2)	Spesimen (3)	Rata-rata
1.	Benda uji jenis (1)	175,56	172,36	170,12	172,68
2.	Benda uji Jenis (2)	197,27	195,20	189,22	193,89
3.	Benda Uji Jenis (3)	185,31	183,22	184,32	184,25
4.	Benda uji jenis (4)	187,31	189,22	187,32	187,95

Tabel 4.1. memberikan informasi bahwa kekerasan benda uji jenis (1), jenis (2), maupun jenis (3), mengalami perubahan untuk setiap jenis perlakuan. Benda uji jenis (1) atau baja yang mengalami proses *elektroplating* dan *pack cementation* memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan benda uji jenis (2), benda uji jenis (3), maupun benda uji jenis raw material. Benda uji jenis (2) adalah baja yang dilapisi dengan proses *elektrodeposisi dan dipanaskan lanjut (heat-treatment)*, memiliki kekerasan yang paling tinggi bila dibandingkan dengan benda uji jenis (1), benda uji jenis (3), maupun benda uji jenis (4). Kekerasan benda uji jenis (2) ini, bahkan melebihi kekerasan benda uji raw materialnya, walaupun perbedaan nilai kekerasan kedua jenis benda uji ini tidak begitu signifikan. Benda uji jenis (3) adalah benda uji yang hanya dilapisi dengan elektroplating. Kekerasan benda uji ini terjadi penurunan sedikit dibawah kekerasan benda uji raw material. Sedangkan benda uji jenis (4) adalah benda uji tanpa perlakuan (*raw material*).

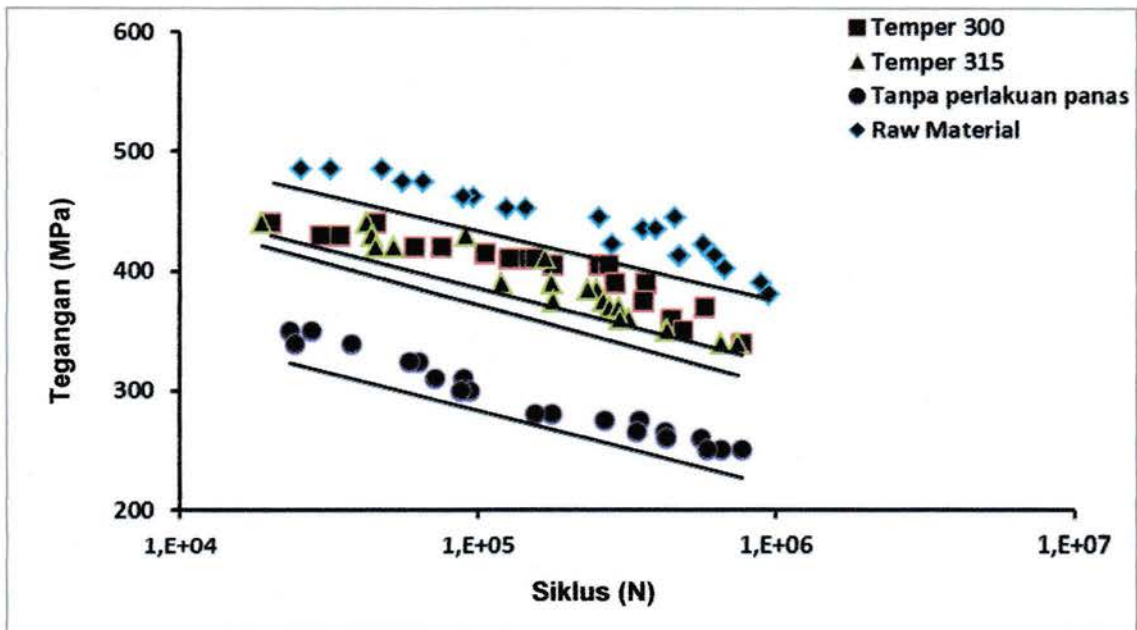
### V.3. Hasil Uji Fatik

Sifat-sifat fatik benda uji diperoleh dari hasil uji lelah dengan menggunakan mesin uji rotary bending jenis *cantilever beam* dan beroperasi pada putaran 2850 rpm. Hasil pengujian fatik merupakan data-data yang menunjukkan hubungan antara tegangan (S) dan siklus kegagalan (N), seperti diperlihatkan pada tabel 1 s/d 4 pada lampiran. Tabel-tabel tersebut terdiri dari

data-data hasil pengujian fatik yang dibuat berdasarkan pengelompokan benda-benda uji yaitu : (1) benda uji untuk logam dasar (*raw material*), (2) benda uji *chromized* yang di-*heat treatment* (yaitu *hardening* pada temperatur  $850^{\circ}\text{C}$  & di-*quench*, dan selanjutnya ditemper dengan temperatur *tempering*  $300^{\circ}\text{C}$ , (3) benda uji *chromized* yang di-*heat treatment* (yaitu *hardening* pada temperatur  $850^{\circ}\text{C}$  & di-*quench*, dan selanjutnya ditemper dengan temperatur *tempering*  $315^{\circ}\text{C}$ , dan (4) benda uji *chromized* tanpa perlakuan panas. Dari data-data tersebut dapat dibuat kurva S-N, seperti diperlihatkan pada gambar 5.5.

Gambar 5.5 menunjukkan kurva S-N untuk benda uji *chromized* tanpa perlakuan panas terjadi penurunan kekuatan fatik ( $30\div 35\%$ ) terhadap kekuatan fatik benda uji *raw material*. Penurunan kekuatan fatik tersebut disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur mikro logam dasarnya. Hal ini disebabkan oleh karena pada proses pemanasan *pack* yang dilakukan adalah proses pemanasan diatas temperatur rekristalisasi dalam waktu yang relatif lama dan selanjutnya diikuti dengan pendinginan secara perlahan-lahan atau hampir sama dengan proses pelunakan.

Dari gambar 5.5 tersebut juga dapat dilihat bahwa benda uji dilapisi dengan teknik elektrodeposisi (proses *elektroplating* dan diikuti pemanasan dalam *pack*), dan selanjutnya di-*heat treatment*, terjadi peningkatan kekuatan fatik dibandingkan dengan benda uji yang dilapisi tanpa perlakuan panas. Terjadi peningkatan kekuatan fatik  $\pm (15\div 20)\%$  dari benda uji *chromized* tanpa perlakuan panas. Peningkatan ini terjadi disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur mikro benda uji tersebut. Hal ini dapat juga dibandingkan struktur mikro pada gambar 5.1. yaitu struktur mikro benda uji yang di-*chromized* tanpa perlakuan panas dan struktur mikro benda uji yang di-*chromized* & di-*heat treatment*.



Gambar 5.5. Kurva S-N Hasil Pengujian Fatik

Dari gambar 5.5 tersebut juga diperlihatkan untuk benda uji *chromized* yang telah diperlakukan panas masih berada dibawah kekuatan fatik dari benda uji *raw material*, yaitu kira-kira  $(10 \div 15)\%$ . Sifat-sifat fatik ini sudah mengalami kenaikan sekitar  $(20 \div 25)\%$  dari keadaan sebelum diperlakukan panas (tanpa *heat-treatment*).

Benda uji *chromized*, yang diikuti dengan proses perlakuan panas lanjutan mempunyai kekuatan sifat-sifat fatik hampir sama untuk kedua jenis kelompok benda uji ini. Benda uji *chromized* & di-*heat treatment* dengan temperatur temper  $300^{\circ}\text{C}$ , sedikit lebih baik dibandingkan dengan benda uji *chromized* & di-*heat-treatment* dengan temperatur temper  $315^{\circ}\text{C}$ . Namun nilai perbedaan ini tidak begitu signifikan, sehingga belum dapat dikatakan bahwa benda uji *chromized* yang di-*heat treatment* dengan temperatur temper  $300^{\circ}\text{C}$ , lebih baik kekuatan fatiknya, dibandingkan dengan benda uji *chromized* yang di-*heat treatment* dengan temperatur temper  $315^{\circ}\text{C}$ .

Dari kurva S-N ini dapat diambil kesimpulan sementara bahwa prosedur perlakuan panas dari baja *chromized* dapat dilakukan kombinasi proses *hardening* & *temper*, dimana temperatur temper  $\geq 300^{\circ}\text{C}$ .

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

#### VI.1. Kesimpulan

1. Baja karbon NS-1045 *chromized* yang diperlakukan panas (*heat-treatment*), terjadi peningkatan (20÷25) %, dibandingkan dengan baja *chromized* tanpa perlakuan panas.
2. Prosedur peningkatan sifat-sifat fatik dan mekanis baja *chromized* adalah proses *hardening* pada temperatur 850<sup>0</sup>C, dan proses temper pada temperatur ≥ 300<sup>0</sup>C.

#### VI.2. Saran-saran

Penelitian bidang material ini memerlukan peralatan-peralatan yang presisi. Perlu diketahui bahwa di kota Medan masih minim sekali peralatan-peralatan dibidang Material. Penulis sangat sulit untuk mendapatkan peralatan-peralatan yang menunjang penelitian. Kalau ada peralatan di PTKI Medan dan di Prodi Teknik Mesin UNIMED, tidak sempurna lagi karena peralatannya produk lama terutama alat mikroskop optik dan SEM yang digital. Oleh karena itu penulis memerlukan waktu yang lebih lama, karena mungkin suatu waktu ada kesempatan untuk melakukan pengujian sebagian di luar kota Medan.

## Daftar Pustaka

1. ASTM E739, "Statistical Analysis of linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life ( $\epsilon$ -N) Fatigue Data".
2. Agarwal, V., 1993, "A model system for the study of chromized Coatings", A Thesis Presented to the Graduate Committee of Lehigh University in Candidacy for the Degree of Master of Science.
3. Casteletti, L.C., Fernandes, F.A.P., and Heck, S.C., 2009, "Pack and Salt Bath Diffusion Treatment on Steels", Heat Treating Progress, Member of ASM International and member, ASM Heat Treating Society.
4. Hashem, A. M., and Aly, I. H., 1994, "High Cycle Fatigue Life Of Coated Low Carbon Steel", Fatigue, 16, 321-329. "Steel in Bending Fatigue", Surface and Coating, Techn. 70, 121-129.
5. Hotta, S., Saruki, K., and Arai, I., 1994, "Endurance Limit of thin hard coated Steel in Bending Fatigue", Surface and Coating, Techn. 70, 121-129
6. Hotta, S., Itou, Y., Saruki, k., and Arai, I., 1995, "Fatigue Strength at a Number of Cycle Thin hard Coated Steel with Quench-Hardened Substrate", Surface and Coating, Techn. 73, 5-13.
7. Kim H. S., Yoon J. H., dan Han J. H., 2004, "Influence of Chromizing Treatment on the Corrosion Behavior of AISI 316 Stainless Steel in Supercritical Water Oxidation", Metal and Material International, Vol. 10, No.1, 83~88.
8. Lakhtin, Y., 1981, "Chemical Heat-Treatment of steel", Engng Physical Metal, Foreign, Lang. Publish House Moscow.
9. Liu, C. T., and Wu, J. D., 1990, "The Structure and High Temperature Corrossion Properties of Chromized Coating", Surface and Coating Techn., 43/44. 493~499.
10. Moosa, A. A., (2008), "Oxidation Properties of Steel-T22 Alloy Coated by Simulta-neous Ge-Doped Chromizing-Siliconizing Process", Eng.&Tech., Vol. 26, No.6.
11. Meier G.H., Cheng C., Perkins R.A., and Bakker W., Surf. and Coat. Techn. 9/40 (1989) 53-64.



12. Pandey, J.L., and Banerjee, M.K.,1997, "*Hight Temperature Resistance Coating*", *Anti-Corossion Methode and Mat.*, 44(6), 368-375.
13. Shiozawa, K., Nishino, S., and Handa, K., 1992," *The Influence of Appl. Stress Ratio and Fat. Strenght of Tin-Coated Carbon Steel*", *JSME, Int. J., Series I*, 35,3,347-353.
14. Siregar, A., 2000, "*Pengaruh Chromizing Baja ASSAB 709 Terhadap Kelakuan Fatik*", Tesis Program Studi Teknik Mesin, UGM, Yogyakarta.
15. Siregar, A., 2006,"*Pengaruh Hardening dan Tempering Terhadap Kelakuan Fatik dari Baja Paduan yang di-Chromized*", SEMAI Teknologi, Universitas Medan Area.
16. Trethewey, R., dan Chamberlian, J., 1991,"*Korosi*", 282, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
17. Zhou. Y., B., Zhang, H. J. dan Wang, Y. D., (2007), "*Effect of Y2O3 on microstructure and oxidation of chromizing coating*", *transaction of nonferrous Metals Society of China*, 18, 1122-1127.

## Lampiran I

**Table I : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Raw Material**

No. Spesimen	Tegangan (Mpa)	Siklus (N)
1	485	25700
2	485	47850
3	485	32300
4	475	65750
5	475	56200
6	462	97000
7	462	89400
8	452	146300
9	452	125300
10	445	257000
11	445	458700
12	435	357800
13	435	398000
14	422	284000
15	422	572000
16	412	476800
17	412	623500
18	412	475000
19	402	678500
20	390	892100
21	380	947400

**Tabel II : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Chromized dan diperlakukan panas dengan Temperatur Temper 300°C**

No. Spesimen	Tegangan (Mpa)	Siklus (N)
1	440	20260
2	440	45700
3	430	32500
4	430	34560
5	430	29700
6	420	61560
7	420	75800
8	415	106250
9	410	137500
10	410	156700
11	410	128600
12	405	256600
13	405	178900
14	405	275800
15	390	364800
16	390	289500
17	375	357800
18	370	578000
19	360	445100
20	350	486600
21	340	769800

**Tabel III : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Chromized dan diperlakukan panas dengan Temperatur Temper 315<sup>0</sup>C**

No. Spesimen	Tegangan (Mpa)	Siklus (N)
1	440	18900
2	440	42660
3	430	91260
4	430	44500
5	420	45780
6	420	52400
7	410	169020
8	390	120560
9	390	178300
10	385	250600
11	385	234500
12	375	178900
13	375	265300
14	370	276800
15	370	298200
16	360	320700
17	360	299600
18	350	429950
19	350	435600
20	340	657800
21	340	744200

**Tabel IV : Data Pengujian Fatik untuk Benda Uji Chromized Tanpa perlakuan panas**

No. Spesimen	Tegangan (Mpa)	Siklus (N)
1	350	23400
2	350	27800
3	340	24350
4	340	37900
5	325	63450
6	325	59300
7	310	72160
8	310	89200
9	300	93760
10	300	87500
11	280	178350
12	280	156700
13	275	350170
14	275	265890
15	265	342790
16	265	425890
17	260	431200
18	260	560200
19	250	657240
20	250	768340
21	250	590700

**Lampiran V :**



**Gambar 1 : Foto Mesin Uji Rotary Bending jenis cantilever Beam**