

ANALISA SIFAT-SIFAT FATIK DAN MEKANIS BAJA KARBON NS-1045 CHROMIZED

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana pada Program Studi Teknik
Mesin**

Oleh :

**ODIT YOTA DAMANIK
08.813.0027**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
M E D A N
2013**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

ANALISA SIFAT-SIFAT FATIK DAN MEKANIS BAJA KARBON NS-1045 CHROMIZED

TUGAS AKHIR

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Tugas Akhir pada Program Studi Teknik

Mesin

Oleh :

ODIT YOTA DAMANIK
08.813.0027

Disetujui:

Pembimbing I,

(Ir. Amru Siregar, MT)

Pembimbing II

(Ir. Amrinsyah, MM)

Mengetahui:



(Ir. Agus A. Susanto, MT)



Program Studi

(Ir. Amru Siregar, MT)

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

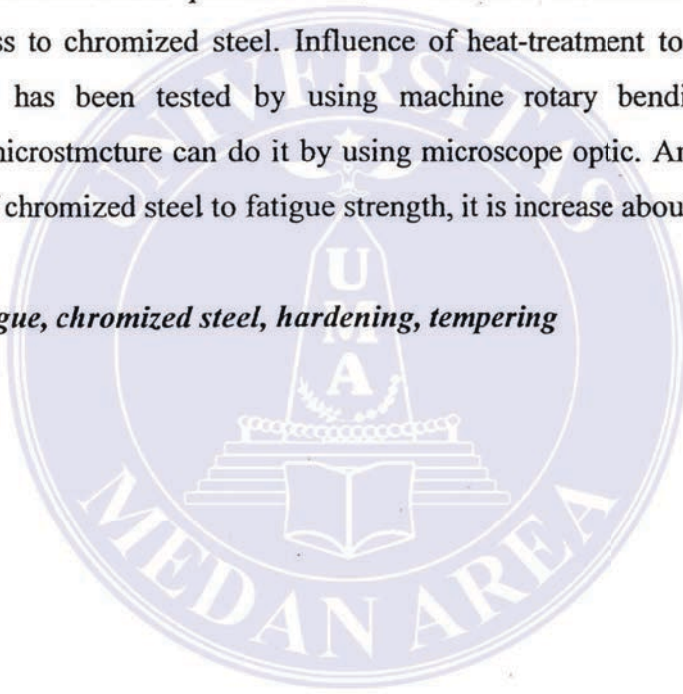
Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

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 950⁰C. 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*



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PRAKATA	ii
DAFTAR LAMPIRAN	iii
DAFTAR ISI	iv
ABSTRACT	xvi
I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Manfaat Penelitian	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA dan LANDASAN TEORI	
II.1. Tinjauan Pustaka	4
II.2. Landasan Teori	9
II.2.1. Pelapisan difusi	9
II.2.2. Struktur mikro lapisan chromizing	11
II.2.3. Fasa-fasa karbida dalam baja paduan	14
II.2.4. Mekanisme difusi	16
II.2.5. Difusivitas	18
II.2.6. Kelelahan	19
II.2.7. Mekanisme kegagalan fatik	21
II.2.8. Kurva S-N	23
II.2.9. Batas kelelahan	24
II.2.10. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelelahan	26
II.2.11. Kerusakan leleh kumulatif	32
II.2.12. heat treatment	33
II.2.9. Batas kelelahan	24
II.2.10. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelelahan	26
II.2.11. Kerusakan leleh kumulatif	32

III. METODE PENELITIAN

UNIVERSITAS MEDAN AREA III.1. Bahan-Bahan/Materi penelitian

III.1.1. Bahan-Benda uji	42
--------------------------------	----

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



III.1.2. Benda Uji	42
III.2. .Alat-Alat yang digunakan	43
III.2.1. Perlengkapan proses chromizing	43
III.2.2. Dapur pemanas	43
III.2.3. Mesin uji tarik	44
III.2.4. Mesin uji rotary bendingr	44
III.2.5 Mikroskop optik	45
III.2.4. Mesin bubutr	45
III.3. Prosedur Penelitian	47
III.3.1 Pembentukan benda uji	48
III.3.2. Elektroplating	48
III.3.3 Proses Pemanasan pack.....	49
III.3.4. Pengujian Fatik	50
III.3.5 Uji Struktur Mikro	50
IV. HASIL dan PEMBAHASAN	
IV.1. Struktur Mikro Baja chromized dan Logam Dasar.....	51
IV.2. Hasil Uji Kekerasan	55
IV.3. Hasil Uji Fatik	57
BAB V. Kesimpulan	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

adalah hasil dari beberapa proses, dimana logam atau paduan logam dilapisi

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

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, diselangselingi 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 Cl^- , F^- , S^{2-} , dan 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, (NH_4Cl). *Pack* ditutup dengan semen tahan api dan dipanaskan hingga temperatur ($800^{\circ}C \div 1200^{\circ}C$), selama (6-12) jam. Atom-atom chromium memiliki difusivitas yang relatif kecil pada temperatur rendah, sehingga proses *pack*

UNIVERSITAS MEDAN AREA

cementation harus dilakukan pada temperatur relatif tinggi. Lapisan-lapisan yang

- © Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

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.

Dengan adanya perubahan sifat-sifat mekanis ini perlu dilakukan penelitian seperti yang telah dijelaskan di atas. Beberapa penelitian sebelumnya akan yang berkenaan dengan dengan pelapisan logam, akan digunakan sebagai bahan rujukan dalam penelitian ini.

1.2. Manfaat Penelitian

Dengan dilaksanakannya penelitian ini akan bermanfaat untuk :

- 1) Akan memberikan kontribusi yang nyata pada bidang Ilmu pengetahuan dan Teknologi, terutama pada Ilmu Teknologi Bahan.
- 2) Dapat menambah wawasan para ahli rekayasa, khususnya untuk komponen-komponen pada pemakaian temperatur tinggi.
- 3) Hasil penelitian ini, dapat digunakan sebagai bahan rujukan pada penelitian selanjutnya.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui : pengaruh pelapisan baja karbon jenis NS-1045 dengan chromium menggunakan Teknik elektrodeposition, terhadap sifat-sifat fatik dan sifat-sifat mekanisnya.

BAB II

STUDI PUSTAKA dan LANDASAN TEORI

II.1. Tinjauan Pustaka

Pelapisan logam telah banyak dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan lingkungan yang korosif dan oksidatif, ketahanan terhadap gesekan dan ketahanan terhadap pengikisan. Pelapisan permukaan umumnya menghasilkan permukaan yang lebih keras dan tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*). Perubahan sifat-sifat mekanis dan distribusi tegangan, akan mengakibatkan perubahan kekuatan fatik dan diharapkan untuk beberapa kondisi kekuatan fatik akan meningkat.

Ferreire dkk. (1997), meneliti kelakuan fatik dan 42CrMo4 steel yang dilapisi (coated) dengan W, WN, WTi, dan WTiN dengan teknik *physical vapour deposition* (PVD), pengujian fatik dilakukan dengan *three point bending test* pada frekuensi 25 Hz, dengan perbandingan tegangan $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0$. Dari hasil pengujian diamati, untuk daerah tingkat tegangan rendah umur fatik meningkat hanya untuk beberapa jenis lapisan. Untuk daerah tingkat tegangan 950 MPa, umur fatik tidak meningkat untuk sernua kondisi pengujian, dan benda uji yang dilapisi dengan W, menunjukkan umur fatik paling rendah bila dibandingkan dengan lapisan-lapisan lainnya, dan yang tidak dilapisi. Untuk tingkat tegangan 850 MPa, umur fatik benda uji yang dilapisi dengan WTi, meningkat hila dibandingkan dengan benda uji yang tidak dilapisi, dan tidak ada perubahan umur

fatik yang dapat diarnati untuk lapisan WTiN dan WN hila dibandingkan dengan benda uji yang tidak dilapisi.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Perbedaan kekuatan fatik ini dipengaruhi oleh faktor tegangan sisa dan kekerasan lapisan permukaan. Harga kekerasan permukaan untuk semua jenis lapisan meningkat bila dibandingkan dengan kekerasan permukaan logam dasar sebelum dilapisi, dimana kekerasan tertinggi pada lapisan WTi.

Hashem dan Aly (1994) meneliti kelakuan fatik dan baja carbon rendah yang dilapisi dengan Titanium alloy. Pelapisan dilakukan melalui diffusi 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). Selanjutnya hasil pelapisan ini dilakukan pengujian fatik dengan tingkat tegangan yang bervariasi pada putaran 1420 rpm. Dengan memperoleh siklus patah benda uji yang dilapisi (N1) dan siklus patah benda uji yang tidak dilapisi (N), dapat ditentukan factor life fatigue (FLF). FLF ini menunjukkan perubahan umur fatik. Dengan variasi waktu proses pelapisan dihasilkan sifat-sifat lapisan yang berbeda. Semua jenis lapisan berkurang umur fatiknya bila dibandingkan dengan benda uji yang tidak dilapisi.

Lapisan TiN pada baja carbon meningkatkan umur fatik dan meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang korosif, (Shiozawa dkk. 1990 dan 1991). Penelitian lanjutan dilakukan oleh Shiozawa dkk. (1992) yaitu pengaruh lapisan TiN dengan teknik physical vapour deposition (PVD), dan chemical vapour deposition (CVD) pada baja carbon terhadap kelakuan fatiknya, dengan variasi

perbandingan tegangan. Pengujian dilakukan pada perbandingan tegangan $R = 0$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

dan R = 1. Dan basis uji tank statik dan uji fatik dengan dua tingkat perbandingan

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

tegangan diamati : (1) Bahwa sifat-sifat mekanis dan logam dasar yang dilapisi (coated) tidak berubah akibat proses pelapisan. (2) Kerusakankerusakan pada lapisan yang dilapisi dengan PVD terjadi pada saat tensile strain 0,38% dan 0,87% untuk CVD. (3) Umur fatik yang dilapisi dengan PVD meningkat, untuk perbandingan tegangan R0, kecuali pada range tingkat tegangan tinggi. (4) Umur fatik yang dilapisi dengan CVD untuk perbandingan tegangan R0, lebih kecil bila dibandingkan dengan benda uji yang tidak dilapisi.

(5) Peningkatan umur fatik terjadi pada benda uji yang dilapisi dengan PVD maupun CVD, untuk perbandingan tegangan R -1. (6) Perbedaan umur fatik akibat pemakaian perbandingan tegangan ini disebabkan oleh kelakuan retak awal antara lapisan dengan logam dasar.

Dugdale dkk. (1996) menemukan bahwa lapisan logam dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan gesekan cutting tools. Kesimpulan ini diperoleh setelah meneliti kepingan daun gergaji (*bandsaw*) yang dilapisi dengan TiN dan dengan chromium.

Shiozawa dkk. (1996) meneliti kelakuan fatik korosi dan baja carbon - yang dilapisi dengan chromium nitrid (*CrN*). Benda uji bentuk silindris dilapisi *CrN* dengan teknik *physical vapour deposition (PVD)*. Benda uji yang telah dilapisi, dilakukan pengujian fatik korosi dengan cantilever rotary bending test dalam lingkungan larutan garam 3%. Dari hasil pengujian diambil kesimpulan bahwa peningkatan kekuatan korosi tergantung pada tebal lapisan *chromium nitride (CrN)*.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

Hotta dkk. (1994), meneliti kelakuan fatik baja ATSi D-2, ASP30, 4140 dan baja perkakas sebagai logam dasar. Benda uji bentuk silindris dengan takikan bentuk V melingkar di setengah panjangnya, dilapisi vanadium carbida (VC) dengan teknik thermoreactive deposition and dffusi (TRD) dan lapisan chromium dengan teknik elektroplating. Benda uji yang telah dilapisi, diuji fatik dengan rotary bending test. Dan hasil pengujian dapat diamati bahwa: (1) Perubahan ketebalan lapisan VC dan 3-18 im tidak mempengaruhi batas kelelahan (*endurance limit*) dan baja ASP, tetapi batas kelelahan dan baja yang dilapisi lebih kecil dan baja yang dikeraskan (*hardened*), karena penurunan kekerasan dengan tegangan sisa tank dan logam dasar. (2) Kekasaran (*roughness*) permukaan tidak mempengaruhi batas kelelahan dan AISi D-2 steel dalam batas kekasaran $R_{max} = (0,3-11)$ pun. (3) Batas kelelahan dan baja AISi D-2 berkurang di sekitar tekukan. (4) Menunjukkan ada hubungan (relasi) antara batas kelelahan dengan tegangan sisa dan kekerasan dan logam dasar. (5) Lapisan *chromium* dengan teknik elektroplating menurunkan batas kelelahan dan baja AISi D-2.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Hotta dkk. (1995), dan berbagai jenis V baja carbon rendah yang dikeraskan sebagai logam dasar. Benda uji dilapisi dengan kombinasi teknik pelapisan yaitu thermoreactive deposition (TRD) untuk lapisan *vanadium carbida (VC)* dan *chromium carbida (Cr)*, *Chemical vopour deposition ((Ti))* untuk *titanium carbida (TiC)*, *physical VapoUr deposition (P Vi))* untuk *titanium Nitrid (TiN)* dan chromiwn plating. Benda uji yang telah dilapisi dilakukan uji i fatik dengan *rotary bending test* pada putaran 3600 rpm

ditentukan oleh kelakuan patah dan logam dasar dan sangat tergantung pada kekerasan maupun tegangan sisa dan lapisan permukaan logam dasar. (2) Pelapisan dengan chromium plating menurunkan kekuatan fatik. Sebaliknya tidak dijumpai penurunan kekuatan fatik untuk benda uji yang dilapisi dengan carbida dan Nitrid. (3) Kehadiran lapisan carbida dan Nitrid akan memperlambat perambatan retak dari logam dasar dan dapat menaikkan kekuatan baja temper yang dilapisi.

Stamm dkk. (1996) meneliti pengaruh perlakuan permukaan dengan laser / (*laser surface treatment*) pada baja mrrkarat AISI 316L yaitu dengan menggunakan daya 3700 watt dan daya 5000 watt. Pengujian fatik dilakukan dengan mengontrol tegangan menggunakan *servo hydraulic machine*, dengan perbandingan tegangan R 0,01 dan frekwensi 30 Hz. Dan hasil pengujian menunjukkan bahwa: (1) Penlakuan permukaan dengan laser, meningkatkan kekuatan fatik dan baja nirkarat AISI 316L. (2) Struktur mikro dan lapisan permukaan mempunyai pengaruh besar terhadap kelakuan fatik. dan (3) Menjelaskan bahwa perlakuan permukaan dengan laser dapat digunakan pada material yang tidak dapat dikeraskan melalui transformasi fasa. Hal yang sama diteliti oleh Zhu dkk. (1996) baja-chrom dilapisi dengan teknik laser cladding. Dan hasil pengujian fatik menunjukkan umur fatik korosi baja chrom yang dilapisi, jauh lebih baik dibandingkan dengan baja chrom yang tidak dilapisi.

Takahashi dkk. (1996) meneliti lapisan *chromium* pada Ti-AL dengan teknik *ion plantation* melalui pemanasan untuk menghasilkan lapisan difusi dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

komposisi 44Ti-36Al-20Cr. Hasil pengujian fatik dengan mengontrol regangan

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dapat diartikan, bahwa kekuatan fatik pada sikius rendah berkurang dan kerapuhan dan logam dasar semakin berkurang.

Dzyubinski (1995), meneliti umur fatik dan baja St-20 sebagai logam dasar, dilapisi dengan teknik thermal sprayed. Benda uji dilapisi dengan serbuk Fe-Cr dan Ni-Cr. Pelapisan dilakukan melalui enam proses yang berbeda. Dan penelitian ini disimpulkan bahwa kondisi proses pelapisan merupakan faktor yang menentukan umur fatik. Pelapisan dengan teknik plasma spraying menunjukkan karakteristik kekuatan fatik yang tinggi.

Sonobe dkk. (1996), meneliti lapisan chromium Nitrida (CrN) pada baja (0,37% C) dengan menggunakan teknik physical vapour deposition (PVD) bertingkat, dan hasil pengamatan menunjukkan daya tahan korosi lebih rendah dan benda uji yang dilapisi dengan teknik konvensional. Evaluasi kekuatan fatik korosi dilakukan dengan menggunakan mesin cantilever rotary bending test dalam larutan 3% NaCl, menunjukkan peningkatan kekuatan fatik pada pelapisan dengan teknik PVD dibandingkan dengan pelapisan teknik konvensional.

II.2. Landasan Teori

II.2.1. Pelapisan difusi

Komponen-komponen mesin untuk pemakaian pada suhu tinggi, seperti pada pembangkit tenaga uap, memerlukan material yang memiliki kombinasi yang baik antara sifat mekanis dan kestabilan permukaan. Komponen-komponen ini selain mengalami tegangan luar yang relatif tinggi, juga harus berinteraksi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

dengan lingkungan yang korosif dan oksidatif, kesemuanya ini sering terjadi pada

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

suhu tinggi. Baja paduan dengan perlakuan permukaan dapat memenuhi kebutuhan ini.

Baja yang dilapisi dengan chromium (*chromized*) dapat membenikan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Hal ini dipenuhi oleh adanya lapisan pelindung seperti lapisan yang terdiri dari struktur fasa ferit-chromium dan diselang-selingi dengan *chromium* carbida. Struktur lapisan seperti ini dapat memberikan ketahanan korosi sampai kira-kira 800°C, (Liu & Wu, 1990; Lakhtin, 1981). Lapisan *chromized* pada baja paduan dapat dihasilkan melalui pelapisan difusi (*diffusion coating*). Untuk mendapatkan lapisan difusi, maka teknik pack cementation dapat digunakan, selain karena lebih sederhana juga lebih murah dibanding dengan metode yang lain.

Pack cementation dilakukan dengan mempersiapkan pack yang merupakan campuran serbuk chromium murni atau Ferro chromium (5-15%) berat, Ammonium chlorida (NH_4Cl), (1—5%) berat, dan sisanya Aluminium oksida (Al_2O_3). Logam dasar dikubur didalam tabung (*Retort*) yang terbuat dari bahan stainless steel, yang telah diisi dengan campuran pack, dan selanjutnya ditutup dengan semen Al_2O_3 . Kemudian dilakukan pemanasan tabung di dalam dapur pada temperatur (1100—1200°C) dengan penahanan selama (5—12) jam, tidak termasuk waktu pemanasan untuk mencapai temperatur ini. Selanjutnya didinginkan didalam dapur sampai temperatur kamar, (Lakhtin, 1981).

Kondisi proses pelapisan akan mempengaruhi sifat-sifat *chromized* yang dihasilkan. Variasi temperatur pemanasan maupun jangka waktu penahanan

temperatur akan mengakibatkan variasi sifat-sifat dan ketebalan lapisan yang dihasilkan, (Taufiqurachman, 1992).

Urutan reaksi dalam campuran chromizing atau pack selama proses pelapisan berlangsung sebagai berikut:



Reaksi pertukaran Fe dengan Cr dapat terjadi disebabkan adanya kontak langsung dalam campuran adalah:



Atom-atom chromium (Cr) yang bebas memiliki energi aktifitas yang besar. Dengan demikian chromium akan berdifusi ke permukaan logam dasar dan *folatil ferro chiorida* (FeCl_2) yang dihasilkan akan dikeluarkan dan dalam pack. Sementara atom-atom carbon berdifusi dan arah bagian dalam logam dasar menuju bagian luar dan kemudian akan bersatu dengan chromium pada daerah permukaan baja, membentuk senyawa carbida. Dengan demikian pada lapisan permukaan akan terbentuk lapisan-lapisan, yang terdiri dari fasa feritchromium dan chromium carbida. (Lakhtin, 1981)

II.2.2. Struktur mikro lapisan chromized

Memperhatikan diagram fasa Fe-Cr pada gambar 2.1. chromium (Cr) dapat

larut di dalam besi yang dapat memperluas daerah besi α (Ferit). Dalam besi

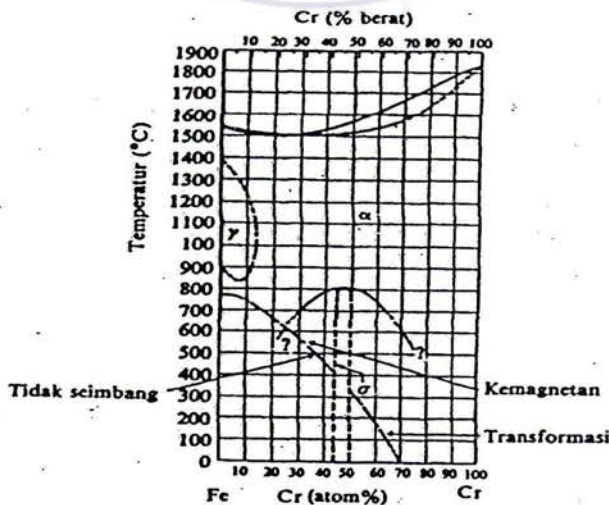
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

yang kandungan chromiumnya lebih besar 12% mempunyai fasa α , mulai dan temperatur pembekuan sampai temperatur kamar, dan tidak ada transformasi martensite yang mungkin terjadi. Dengan demikian, lapisan *chromized* yang banyak mengandung chromium, terdiri dan fasa ferit-chromium.

Ketika besi di-*chrornizing* maka lapisan *chromized*-nya terdiri larutan padat chromium dalam besi α (ferrit,) dan untuk baja carbon tinggi di-*chrornizing*, maka lapisan chromized-nya terdiri dan fasa ferit-chromium dan chromium carbida ($(FeCr)_7C_3$). Pembentukan chromium carbida disebabkan oleh difusi carbon dan lapisan dalam baja dan bersatu dengan chromium yang berdifusi dan permukaan logam, sehingga terbentuk lapisan chromium carbida. Carbida-carbida ini merintang chromium untuk berdifusi lebih jauh ke dalam logam dasar. Sebagai akibatnya permukaan lapisan difusi paling luar sebagian besar terdiri dari unsur-unsur chromium dan larutan ferit-chromium, dan semakin ke dalam diselang-selingi oleh chromium carbida. Lapisan terluar terlihat dengan berwarna putih gambar II.2.



UNIVERSITAS MEDAN AREA

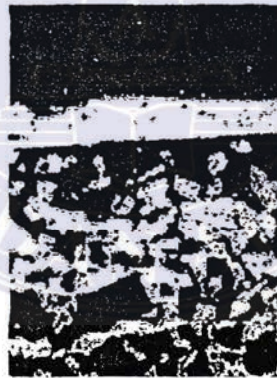
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Gambar 2.1 Diagram fasa Fe-Cr (Surduia)

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

Unsur carbon mempunyai kecepatan difusi yang lebih tinggi dibanding dengan kecepatan difusi chromium. Oleh karena itu tidak semua carbon bereaksi pada pembentukan lapisan carbida, tetapi sebahagian membentuk lapisan transisi dengan kandungan carbon tinggi. Lapisan carbida $(FeCr)_7C_3$ yang dibentuk pada permukaan lapisan difusi sangat tinggi kekerasannya, dengan demikian lapisan *chromized* pada demikian lapisan *chromized* pada besi mempunyai kekerasan antara 250-300 VHN, sedangkan lapisan *chromized* pada baja carbon tinggi mempunyai kekerasan antara 1200-1300 VHN, (Lakhtin, 1981).



Gambar 2.2 Struktur mikro lapisan *chromized* pada baja C=0,4 (Lakhtin, 1981)

Henry (Ellis, 1992), menemukan adanya porosity pada lapisan *chromized*, dan kemudian diklasifikasikan menjadi 4 kategori yaitu :

a. Porosity ringan. Semua porosity berada dalam satu pita yang dekat dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

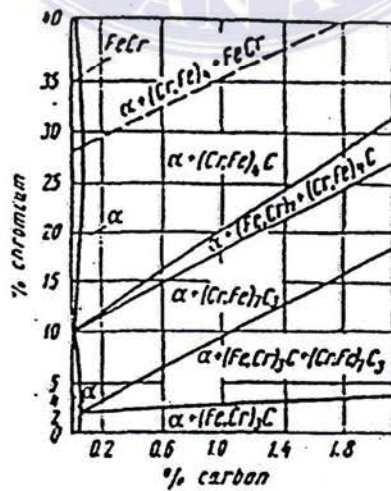
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

- b. Porosity menengah. Semua porosity berada dalam pita yang mendekati permukaan lapisan.
- c. Porosity menengah — berat. Sebagian besar porosity dalam pita- pita yang saling terpisah menuju lapisan chromized.
- d. Porosity berat. Sebagian besar porosity yang memanjang dan melebar menuju lapisan chromized.

II.2.3. Fasa-fasa karbida dalam baja paduan

Semua unsur-unsur paduan dalam hubungannya dengan carbon (C) diklasifikasikan menjadi 2 kelompok : (a) unsur-unsur yang tidak membentuk karbida dalam baja (Ni, Cu, Si dan Co), unsur-unsur ini berfungsi untuk memudahkan pertumbuhan grafit. (b) Unsur-unsur yang dapat membentuk karbida dalam baja (Mn, Cr, W, Mo, V, Ti dan Nb), unsur-unsur ini akan membentuk karbida yang stabil dalam baja.



Karbida-karbida tertentu kemungkinan terbentuk misalnya sementit, dapat terbentuk jika perbandingan carbon dan unsur paduan yang larut di dalam baja tepat sekali. Komposisi sementit dapat ditulis dengan rumus $(Fe, M)_3C$, dimana M adalah unsur pembentuk karbida. Misalnya unsur chromium akan membentuk $(Fe, Cr)_3C$. Penelitian menunjukkan chromium dapat menggantikan Fe sampai 25% jumlah atom, (Lakhtin, 1981). Gambar 2.3 menunjukkan diagram kesetimbangan Fe-Cr-C pada temperatur ruang, diagram ini menunjukkan bahwa paduan sementit terbentuk jika kandungan chromium tidak lebih kecil dari 2%.

Pada kandungan chromium yang lebih tinggi, dapat terbentuk karbida $(Cr, Fe)_7C_3$, sedangkan pada kandungan chromium diatas (10- 12%) terbentuk karbida $(Cr, Fe)_4C$ atau $(Cr, Fe)_{23}C_6$. Semua karbidakarbida dapat dibagi ke dalam 2 kelompok. Kelompok pertama meliputi, Fe_3C , Mn_3C , Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, FeW_2C , Fe_2Mo_2C dan lain-lain, dengan kisikisi kubik yang kompleks, satu satuan sel mengandung 92 atom chromium dan 24 atom carbon. Sementara Cr_7C_3 mempunyai kisi-kisi heksagonal yang kompleks, satu sel satuan mengandung 56 atom Cr dan 24 atom C. Karbida-karbida kelompok kedua adalah W_2C , WC , Mo_2C , VC , NbC , TiC , ZrC , TaC , Ta_2C dan lain-lain. Semua karbida-karbida mampu larut dalam unsur-unsur logam, tetapi berbeda dalam beberapa tingkatan. Misalnya karbida Cr_7C_3 dapat larut dalam Fe sampai 55% $(Cr, Fe)_7C_1$ pada temperatur kamar. Sementara karbida $Cr_{23}C_6$ dapat larut dalam Fe sampai 35% (Lakhtin, 1981). Semua karbida-karbida dikenal sebagai senyawa yang

mempunyai kekerasan yang tinggi. Gambar II.4 menunjukkan kekerasan

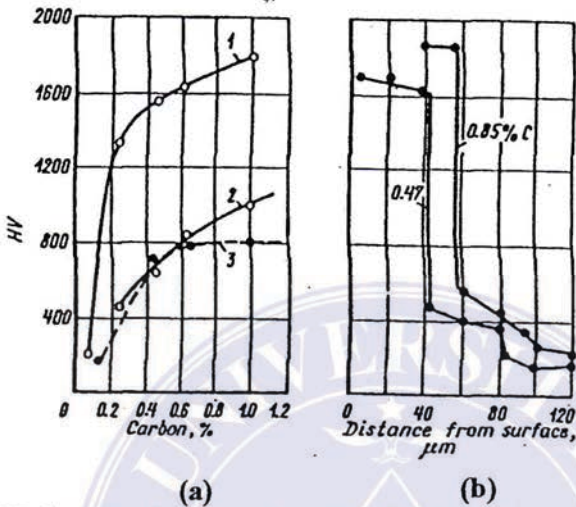
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

permukaan lapisan chromized yang mempunyai kekerasan tinggi. Dengan demikian lapisan chromized tersebut banyak mengandung chromium carbida.



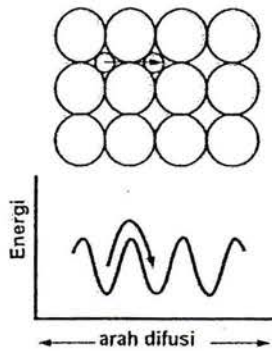
GAMBAR 2.4 Kekerasan lapisan chromized, (a) 1-lapisan chromized, 2-Zona transisi, 3-logam dasar, (b) sebagai fungsi jarak dan permukaan (GeHer, 1978)

II.2.4. Mekanisme difusi

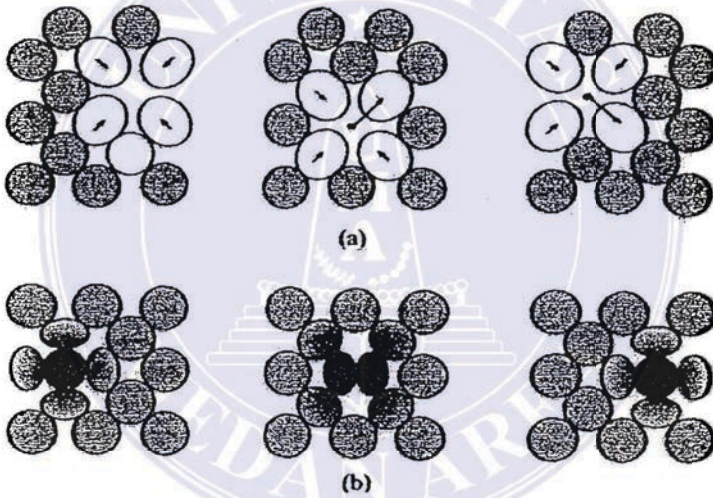
Bila suhu naik, peningkatan enersi mernungkinan atom-atom bergetar pada jarak antar atom yang lebih besar atau lebih kecil. Pada suhu tertentu suatu atom mempunyai enersi yang cukup untuk mendobrak ikatannya dan melompat keposisi baru dalam kisi. Keadaan mi akan membuat kekosongan yang baru dalam kisi kristal yang rnungkin diisi oleh atom-atom lain, suatu proses yang disebut difusi. Enersi yang diperlukan sebuah atom untuk berpindah tempat disebut enersi aktivasi. Difusi dapat terjadi dalam logam, hanya jika elernen difusi membentuk larutan padat dengan logam dasar. Gambar 2.6 menjelaskan secara skematik, mekanisme difusi pada larutan padat. Kecepatan difusi di

dalam kristal besi tidak sarna untuk setiap jenis atom, tergantung pada jenis

UNIVERSITAS MEDAN AREA
larutan padat yang terdidi



Gambar 2.5 Pergerakan atom dalam difusi



GAMBAR 2.6 Mekanisme difusi dalani lartitan padat. (a) difusi, (b) difusi intertisi (Van Vlack)

permukaan baja dijenuhkan dengan atom-atom carbon atau nitrogen yang membentuk larutan padat intertisi, akan berlangsung lebih mudah dibandingkan dengan penjenuhan dengan atom-atom logam. Karena atom-atom logam membentuk larutan padat substitusi dengan besi sehingga memerlukan enersi aktiva yang lebih besar. Pada larutan padat intertisi, atom-atom carbon

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.2.5. Difusivitas

Fluks atom (J_x) yang berdifusi pada permukaan logam dasar sebanding dengan gradient konsentrasi. Dapat ditulis dalam bentuk persamaan (*Hukum Fick I*).

$$J_x = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \dots \dots \dots II.1$$

Jumlah atom-atom yang berdifusi dalam satu satuan waktu yang melalui satu satuan luas pada satu satuan gradient konsentrasi disebut koefisien difusi atau difusivitas (D), dapat ditulis dalam bentuk persamaan differensial orde dua (*Hukum Fick II*):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \dots \dots \dots II.2$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan dengan matematika analitik, dengan asumsi temperatur adalah konstan, dengan demikian diperoleh persamaan Arrhenius:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \dots\dots\dots II.3$$

Besaran D_0 adalah konstanta tidak berdimensi yang dipengaruhi oleh temperatur, R = konstanta Boltzman, Q enersi aktiva dan atom dan T = temperatur absolut.

Dengan demikian, difusivitas persamaan II.3 tergantung dan jenis larutan padat yang terbentuk, struktur larutan padat, dan perubahan suhu. Fluks atom persamaan II.1 dipengaruhi oleh gradient konsentrasi, yang menjernin tersedianya atom-atom elemen difusi pada media disekelilingnya. Dan persamaan II.1 dan persamaan II.3 dapat dinyatakan tebal lapisan yang terbentuk (H) adalah:

$$H^2 = 4kDt \dots\dots\dots II.4$$

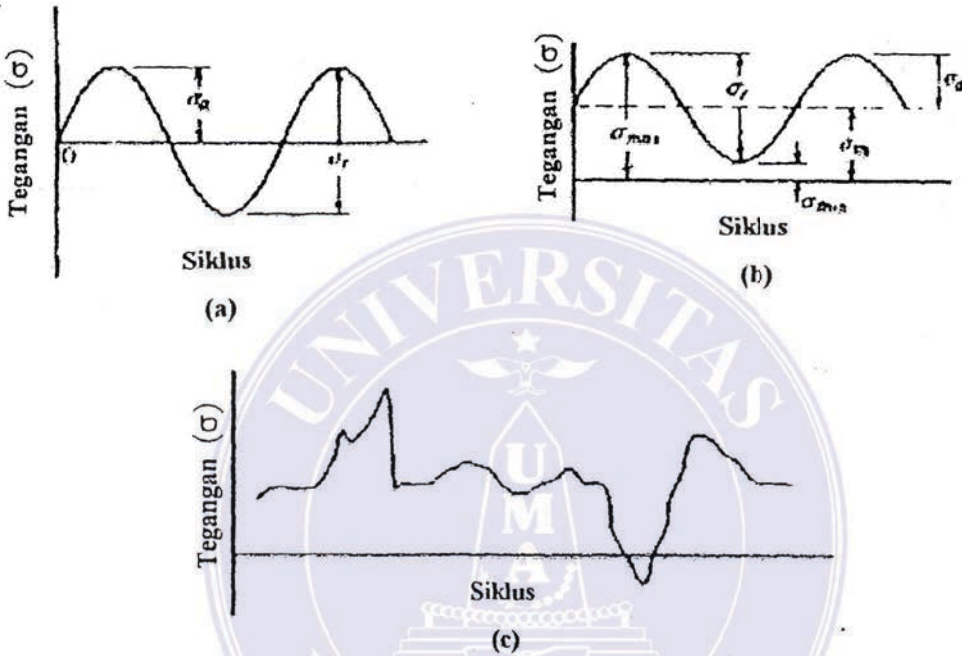
Besaran (k) adalah konstanta yang tergantung pada konsentrasi permukaan dan t waktu pelapisan.

II.2.6. Kelelahan Logam

Komponen-komponen mesin yang dikenai tegangan berulang akan rusak pada tegangan yang jauh lebih rendah dibanding yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada penerapan beban tunggal. Kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik disebut kegagalan fatik (*fatigue Failure*).



Beban dinamik dapat dibedakan menjadi 3 jenis : (1) Beban dinamik amplitudo konstan tank (+ σ) dan tekan (- σ). (2) Beban dinamik amplitudo berubah-ubah. dan (3) Beban dinamik amplitudo tidak beraturan.



GAMBAR 2.7. Siklus tegangan, (a) amplitudo konstan, (b) amplitudo tidak konstan, dan (3) amplitudo tidak tentu

Gambar 2.7 menunjukkan siklus jenis pembebanan dinamik. Dari gambar tersebut dapat didefenisikan beberapa besaran tegangan yaitu: tegangan rata-rata (σ_m) = $(\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2$, jangkauan tegangan (σ_r) = $\sigma_{max} - \sigma_{min}$ dan amplitudo tegangan (σ_a) = $\sigma_r / 2$.

Kegagalan fatik adalah hal yang sangat memhahayakan karena terjadi tanpa petunjuk awal. Walaupun mekanismenya telah berlangsung sejak pemakaian komponen tersebut. Proses fatik dimulai sekitar daerah yang mempunyai tegangan

semua kegagalan fatik yaitu perambatan retak pada struktur mikro melampaui batas yang diizinkan. Kegagalan fatik memperlihatkan patah yang terlihat rapuh, tanpa deformasi pada patahan tersebut. Pada skala makroskopik, permukaan fatik biasanya dikenal dengan bentuk bidang patahannya, ada bagian yang halus akibat gesekan yang terjadi sewaktu retak merambat, dan daerah kasar patahan ulet terjadi pada waktu penampang tidak mampu menenima beban.

Beberapa faktor penyebab terjadi kegagalan fatik, selain tegangan yang terlalu tinggi dan berfluktuasi juga dipengaruhi kekasaran permukaan, goresan yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan. Retak mikro yang muncul sewaktu perlakuan panas dapat juga sebagai sumber kegagalan lelah, seperti munculnya lubang-lubang kecil, inklusi atau bentuk dislokasi lainnya dalam logam. Kondisi lingkungan korosif dapat menaikkan tegangan, karena dapat membentuk lubang-lubang pengikisan diantara batas-batas butir.

II.2.7. Mekanisme kegagalan fatik

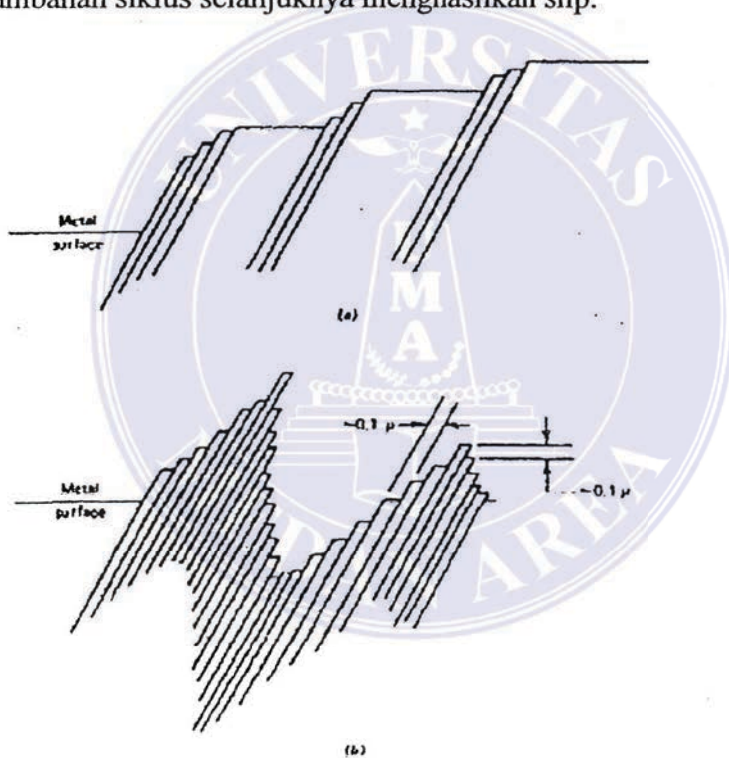
Kebanyakan logam struktur adalah polikristalin yang terdiri dari susunan beberapa knistal atau butiran. Setiap butiran mempunyai sifatsifat mekanis, arah susunan dan sifat-sifat arah tersendiri. Beberapa butiran berorientasi membentuk bidang-bidang yang mudah slip dalam arah tegangan geser maksimum. Pada logam ulet slip terjadi didalam suatu butiran, yaitu berpindahnya beberapa dislokasi sepanjang bidang kristalografi. Perpindahan ini dapat mengakibatkan terjadinya slip antara satu bidang atau beberapa bidang dengan bidang-bidang

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dilihat untuk siklus pembebanan lainnya. Pada pembebanan tingkat tegangan yang lebih rendah terjadi slip yang halus gambar II.7.b. Garis-garis gelincir dalam gambar II.7.a maupun gambar II.7.b kelihatan sejajar di dalam sebuah butiran yang dilihat tegak lurus permukaan bebas. Pada pembebanan satu arah biasanya slip terjadi pada seluruh butiran, sedangkan pada kelelahan slip terjadi hanya pada beberapa butiran saja dan pada butiran yang lain tidak tampak adanya garis tersebut. Pertambahan siklus selanjutnya menghasilkan slip.



GAMBAR 2.8 Slip pada logam ulet, (a) Statik, (b) beban dinamik (Fuch H.)

Slip adalah hasil pembentukan yang sistematik dan pergerakan bidang gelincir yang kecil sekitar 10^{-7} cm/siklus. Gerakan maju mundur dan slip yang

halus pada fatik dapat membentuk ekstrusi dan instruksi pita gelincir seperti

UNIVERSITAS MEDAN AREA

gambar 2.8.b

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Pembentukan awal retak lelah tersebut sesuai dengan kenyataan bahwa retak lelah mulai terjadi pada instruksi dan ekstrusi pita gelincir. Retak tahap awal merambat sepanjang pita gelincir dalam satu arah. Pada logam polikristalin retakan dapat berkembang sejauh beberapa diameter butiran sebelum perambatan retak tahap berikutnya. Pada perambatan tahap kedua ditandai dengan adanya riak patahan lelah. Adanya striasi mi menunjukkan kegagalan yang terjadi akibat kelelahan.

Kemungkinan dapat atau tidaknya merambat retak mikro harus melalui beberapa tahapan. Pertama slip terjadi, diikuti retak-retak halus yang hanya dapat dilihat dengan alat pembesaran yang tinggi. Retakretak mi terus berkembang dibawah sikius pembebanan dan akhirnya dapat dilihat dengan mata biasa. Retak-retak mi cenderung berkombinasi yang akhirnya membentuk retak-retak kritis dan tiba-tiba patah terjadi.

II.2.8. Kurva S-N

Metode untuk memprediksi kegagalan suatu struktur adalah suatu metode untuk memilih fungsi kegagalan yang dapat menghubungkan parameter-parameternya dengan umur kelelahan (N) dari struktur.

Kebanyakan pendekatan umum, untuk memprediksi kegagalan diklasifikasikan dalam tiga kategori, yang tergantung pada fungsi prediksi kegagalan yang diambil

1. Berdasarkan pendekatan kurva S-N yang mengasumsikan daerah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

tegangan normal (σ_n) sebagai parameter fungsi kegagalan. Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id) 22/9/23

2. Pendekatan regangan lokal yang mempertimbangkan daerah regangan lokal-non linear (A_s).
3. Pendekatan mekanika perpatahan yang mengambil daerah faktor instensitas tegangan (A_K), (Ballio 1997).

Fungsi prediksi kegagalan yang menggunakan dasar pendekatan kurva S-N mempunyai bentuk:

$$NS^m = K \dots \dots \dots II.5$$

Besaran (N) menyatakan jumlah siklus kegagalan pada tegangan atau regangan konstan (S). Sementara konstanta tidak berdimensi (m), dan parameter tidak berdimensi (K) bergantung pada bentuk dan sifat-sifat mekanis material.

Pendekatan ini sangat *simple* dan memberikan interpretasi yang benar daei fasa perambatan retak yang stabil. Oleh sebab itu pendekatan berdasarkan kurva S-N banyak digunakan dalam beberapa peraturan perancangan, (Ballio 1997).

II.2.9. Batas kelelahan

Pengujian kekuatan fatik banyak dilakukan untuk benda uji yang permukaannya dihaluskan dengan menggunakan *rotary bending test* atau siklus tarik-kompresi. Hasil-hasil pengujian disajikan dalam bentuk diagram tegangan–jumlah siklus (diagram S-N). Wohler menemukan bahwa pengujian baja menunjukkan adanya suatu batas kelelahan, yaitu suatu tingkat tegangan dimana material mampu menahan beban berulang dalam waktu tidak terbatas,

UNIVERSITAS MEDAN AREA

tanpa menunjukkan tanda-tanda kerusakan. Tetapi beberapa material tidak

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

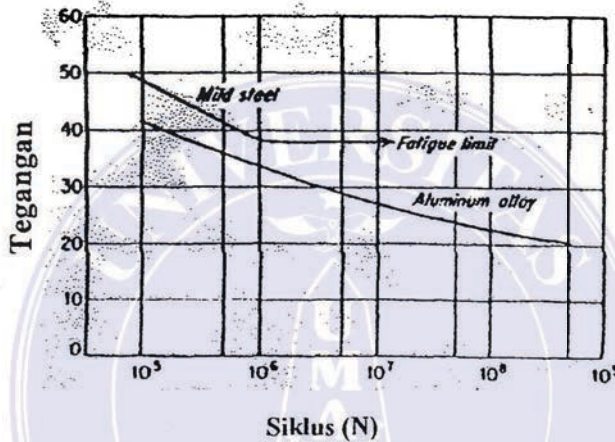
Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

menunjukkan adanya batas kelelahan dimana material tersebut akan mengalami kerusakan, pada kondisi tegangan rendah jika dikenai tegangan siklus secara terus-menerus. Gambar 2.9 menunjukkan baja paduan mempunyai batas kelelahan, sedangkan paduan aluminium tidak mempunyai batas kelelahan pada pengujian fatik dengan tegangan bolak-balik secara terus menerus.



GAMBAR 2.9 Batas kelelahan dan baja dan aluminium tidak mempunyai batas kelelahan (Dieter)

Dua bentuk sebaran data kegagalan (*scatter of failure*) yang diperoleh pada pengujian dengan kontrol tegangan amplitudo konstan. Sebaran data ini digunakan untuk menggambarkan diagram S-N dalam koordinat semi-log atau log-log. Kurva S-N dengan kemiringan kontinue yang memuat beberapa data titik dengan tingkat tegangan yang berbeda untuk setiap titik. Paling sedikit 6 benda uji yang dibutuhkan untuk menggambarkan suatu hubungan tegangan — siklus dalam bentuk kurva S-N, (ASTM E739). Mula-mula benda uji diuji pada tingkat tegangan σ_1 , (kg/mm^2) dengan besar $(\sigma_1)(0,6-0,8)a$ untuk baja maka diperoleh

jumlah siklus kegagalan (n_1). Tegangan-tegangan σ_2 , σ_3 , dan seterusnya, untuk

benda uji kedua, dan berikutnya, dengan ketentuan penurunan tingkat tegangan 2 s/d 4 kg/mm², atau tergantung pada siklus terjadinya kegagalan pada benda uji pertama. Bentuk sebaran data yang lainnya menunjukkan keiniringan diskontinue dalam kurva S-N. Pengujian dilakukan untuk beberapa benda uji untuk setiap tingkat tegangan. Kemudian tingkat tegangan diturunkan, dilakukan pengujian untuk beberapa benda uji pada tingkat mi, demikian seterusnya untuk tingkat tegangan yang lebih rendah dan tergantung kepada jumlah benda ujinya.

II.2.10. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelelahan

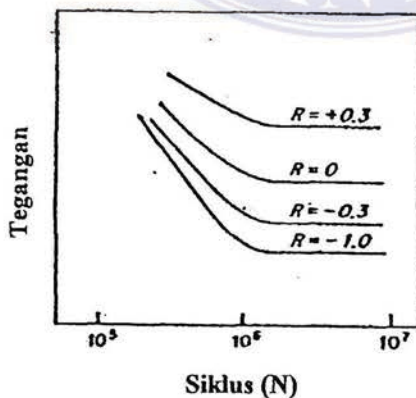
Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi umur kelelahan dari suatu komponen dapat klasifikasikan menjadi 3 faktor yaitu: (a) faktor mekanis, (b) faktor metalurgi, dan (c) faktor lingkungan.

a. **Faktor Mekanis.** Yang termasuk faktor mekanis ini (1) konsentrasi tegangan, (2) efek ukuran, (3) efek permukaan, dan (4) tegangan rata-rata.

1. Komponen-komponen yang mempunyai, bentuk geometris tidak kontinyu dan mengalami perubahan bentuk merupakan sumber konsentrasi tegangan yang sangat potensial seperti, takikan, lubang ulir, suaian tekan (press-fit), lubang dan sebagainya. Pada tempat-tempat tersebut tegangan akan lebih besar dan pada tempat-tempat lain, sehingga kegagalan bisa diinulai dan tempat yang menimbulkan konsentrasi tegangan tersebut. Dalam perancangan komponen mesin bentuk-bentuk seperti disebutkan diatas perlu dihindari / dikurangi sedapat mungkin, dengan tujuan untuk

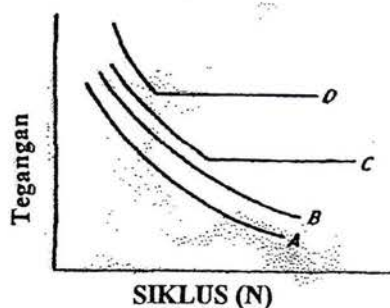
geometris, konsentrasi tegangan dapat juga timbul akibat kekasaran permukaan atau berasal dan struktur metalurgi, seperti porositas, inidusi dan dekarburasi, (Dieter, 1981).

2. Pengalaman secara praktis menunjukkan bahwa terdapat efek ukuran yaitu kekuatan lelah elemen mesin yang besar lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan lelah benda uji yang lebih kecil. Hal ini dapat terjadi karena penambahan diameter menyebabkan penambahan volume atau luas penampang benda. Kegagalan biasanya selalu dimulai pada perinukaan luar, semakin besar luas permukaan, maka semakin besar kemungkinan terjadi kegagalan, (Collin 1981).
3. Kelakuan fatik dan komponen-komponen mesin sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan. Kondisi permukaan yang dapat mempengaruhi kelelahan tersebut adalah kekasaran permukaan dan tegangan sisa permukaan.



GAMBAR 2.10 Perubahan batas kelelahan akibat perubahan perbandingan tegangan

Kekasaran permukaan tergantung pada penyelesaian akhir permukaan dengan permesinan. Benda uji yang dipoles halus, akan menghasilkan harga uji lelah yang lebih tinggi, karena kekasaran permukaan dapat menimbulkan konsentrasi tegangan. Dengan demikian penyelesaian akhir permukaan yang berbeda dapat mengakibatkan perbedaan kelakuan fatik yang cukup besar. Perubahan sifat-sifat permukaan akan besar pengaruhnya, terhadap kekuatan lelah. Perbaikan sifat-sifat lelah yang nyata dapat diperoleh dan pembentukan permukaan yang lebih keras dan lebih kuat pada logam dasarnya. Akan tetapi belum dapat dipastikan umur lelah akan meningkat, dengan bertambahnya kekerasan permukaan. Karakteristik lelah permukaan material, yang mengalami peningkatan kekerasan ialah, bahwa kegagalan akan mulai terbentuk pada daerah antara permukaan yang keras dengan permukaan lunak, merambat ke daerah bagian dalam logam dan jarang sekali berawal dari permukaan luar. Sehingga menyebabkan penurunan kekuatan fatik dan 10% s/d 50 % dalam beberapa keadaan, (Collin, 1981).



GAMBAR 2.11 Batas kelelahan berubah akibat pengaruh unsur paduan, (A) logam murni, (B) pengaruh elemen-elemen larutan padat terhadap A, (C) batas lelah yang disebabkan oleh penyepuhan regang oleh interstisi, (D) batas lelah melalui penguatan penyepuhan regang (Dieter, 1981)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

Pada umumnya pelapisan pada permukaan baja akan memperkecil batas lelah baja tersebut. Pelapisan chrom, sukar untuk dapat dilakukan tanpa merusak sifat-sifat lelahnya. Sedangkan pelapisan kadmium yang lebih lunak mempunyai efek yang lebih kecil terhadap lelah. Pengaruh yang penurunan ini disebabkan oleh perubahan-perubahan tegangan sisa, adhesi, porositas dan kekerasan. Tegangan sisa pada lapisan permukaan memainkan peranan yang penting terhadap sifat-sifat fatik komponen-komponen mesin. Jika tegangan sisa pada permukaan adalah tarik, kekuatan lelah dikurangi. Jika tegangan sisa pada permukaan adalah tekan, maka kekuatan lelah ditingkatkan. Tegangan-tegangan sisa tekan merupakan tegangan-tegangan terkunci yang terdapat pada bagian yang tidak terkena gaya luar. Tegangan sisa tekan dapat dianggap identik dengan tegangan – tegangan yang dihasilkan oleh beban luar dalam arah yang berlawanan, sehingga dapat meniadakan sebahagian tegangan tank luar, dan pada gilirannya akan memperkecil kemungkinan kegagalan lelah pada titik tersebut.

4. Tegangan rata-rata yang bekerja pada suatu komponen akan berpengaruh terhadap unsur kelelahannya. Hal ini dapat dijelaskan dengan gambar 2.10

b. **Faktor meta1uri.** Faktor-faktor metalurgi yang dapat mempengaruhi umur kelelahan dan logam atau paduan yaitu : (1) Pengaruh ukuran butir, material

UNIVERSITAS MEDAN AREA

yang mempunyai butiran halus menunjukkan kelelahan fatik yang lebih baik

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



dibandingkan dengan material yang mempunyai butiran kasar pada komposisi yang sama, (Collin, 1981). Ketahanan lelah sebanding dengan (*diameter butiran*)^{-1/2}. Ketergantungan ketahanan fatik pada ukuran butir juga tergantung pada bentuk deformasi. Efek ukuran butiran terhadap ketahanan fatik yang paling besar adalah pada tegangan rendah dengan siklus tinggi dimana yang paling menonjol adalah retakan tahap pertama. (2) Arah butiran material hasil proses tempa maupun pengerjaan dingin terhadap arah pembebanan mempunyai pengaruh terhadap kekuatan fatik. Arah pembebanan kearah transversal, menghasilkan kekuatan fatik yang kecil dibanding arah pembebanan longitudinal. (3) Material yang mempunyai struktur mikro halus akan mempunyai umur fatik yang lebih tinggi, bila dibandingkan dengan material dengan struktur mikro yang kasar. Misalnya, struktur mikro hasil celup dan temper, menghasilkan sifat-sifat lelah yang optimum pada baja paduan rendah yang telah mengalami perlakuan panas. Akan tetapi pada tingkat kekerasan diatas Rc 40, struktur bainite yang diperoleh dengan proses austempering, menghasilkan sifat lelah yang lebih baik, dibanding dengan struktur mikro hasil pencelupan dan temper pada kekerasan yang sama. Sifat-sifat lelah pada tingkat kekerasan yang tinggi sangat peka terhadap kondisi permukaan benda uji, tegangan sisa dan inklusi. Adanya bercak-bercak dekarburasi pada permukaan benda uji, secara dratis akan memperburuk sifat-sifat lelah, (Dieter, 1981). (4) Adanya batas kelelahan pada bahan-bahan tertentu khususnya paduan besi dan

UNIVERSITAS MEDAN AREA *secara skematik pada gambar (2.11)* pada kehadiran elemen interstisi. Hal ini dijelaskan

c. **Faktor Lingkungan.** Ada beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kelakuan fatik dan material, khususnya logam yaitu (1) Lelah korosi, batas kelelahan berubah akibat pengaruh unsur paduan (A), logam mumi (B), pengaruh elemen-elemen larutan padat terhadap A. (C) batas lelah yang disebabkan oleh penyepuhan regang oleh instertisi (D) batas lelah melalui penguatan penyepuhan regang, (gambar 11.10). Proses yang berlangsung secara bersamaan antara tegangan berulang dan serangan kimia disebut lelah korosi. Serangan korosi, biasanya menghasilkan lubang-lubang pada permukaan logam. Lubang-lubang ini bertindak sebagai takikan dan menyebabkan pengurangan kekuatan fatik. (2) *Fretting* adalah kerusakan permukaan yang terjadi apabila dua buah permukaan saling bersentuhan dan mengalami sedikit pergerakan yang relatif kecil. Retakan lelah sering terjadi pada daerah yang rusak. *Fretting* disebabkan oleh kombinasi efek mekanik dan kimia. (3) Faktor temperatur, umumnya mempengaruhi kekuatan fatik dan logam. Kekuatan lelah logam akan turun dengan bertambahnya suhu di atas suhu karnar. Suatu kekecualian adalah pada baja lunak, yang menunjukkan kekuatan lelah maximum pada suhu 400° hingga 600°F. Bahan besi yang biasanya memperlihatkan batas lelah yang tajam pada uji suhu karnar, tidak akan mempunyai batas lelah lagi apabila pengujian dilakukan pada suhu di atas 8000 F. Selain itu, uji lelah pada suhu tinggi akan tergantung pada frekwensi tegangan, (Dieter, 1981).

II.2.11. Kerusakan Lelah Kumulatif

Pada uji lelah yang biasa dilakukan, beban benda uji dibebam gaya dengan amplitudo tetap hingga patah. Pengujian dapat dilakukan pada sejumlah nilai tegangan yang berbeda-beda untuk memperoleh kurva S-N. Dalam berbagai penerapan praktis tegangan berulangnya tidak konstan melainkan terdapat fluktuasi beberapa tingkat tegangan pada frekwensi yang tinggi.

Prediksi kerusakan lelah kumulatif akibat pemberian sikius tegangan atau prediksi umur komponen-komponen untuk sejumlah tingkat tegangan adalah sulit. Diagram S-N yang diperoleh pada uji fatik dengan pembebanan amplitudo konstan, tidak memberikan informasi, tanpa melalui beberapa analisa. Beberapa peneliti telah mempelajari gejala kerusakan kumulatif dan mengusulkan mekanisme penentuan kerusakan kumulatif pada komponen-komponen mesin.

Miner menganggap bahwa gejala kerusakan lelah kumulatif dibawah pembebanan berulang berkenaan dengan jumlah kerja yang diserap oleh material. Jumlah kerja yang diserap mi menghasilkan praksi-praksi kerusakan. Jumlah sikius pembebanan yang digunakan dinyatakan sebagai persentase dan jumlah sikius kegagalan pada tingkat tegangan yang diberikan akan sebanding dengan umur lelah yang telah digunakan. Jika U menunjukkan jurnlah netto kerja yang diserap material pada saat gagal maka :

$$U_i/U = n_i/N \dots\dots\dots (II.6)$$

besaran U_i menunjukkan kerja yang diserap ketika material diberi

tegangan σ_i untuk siklus n_i , dan N adalah jumlah siklus yang dibutuhkan

material supaya terjadi kegagalan pada tingkat tegangan σ . Kegagalan akan terjadi jika:

$$U_1 + U_2 + U_3 + \dots = U \dots \dots \dots (II.7)$$

atau dengan substitusi pers (II.6) ke persamaan (II.7),

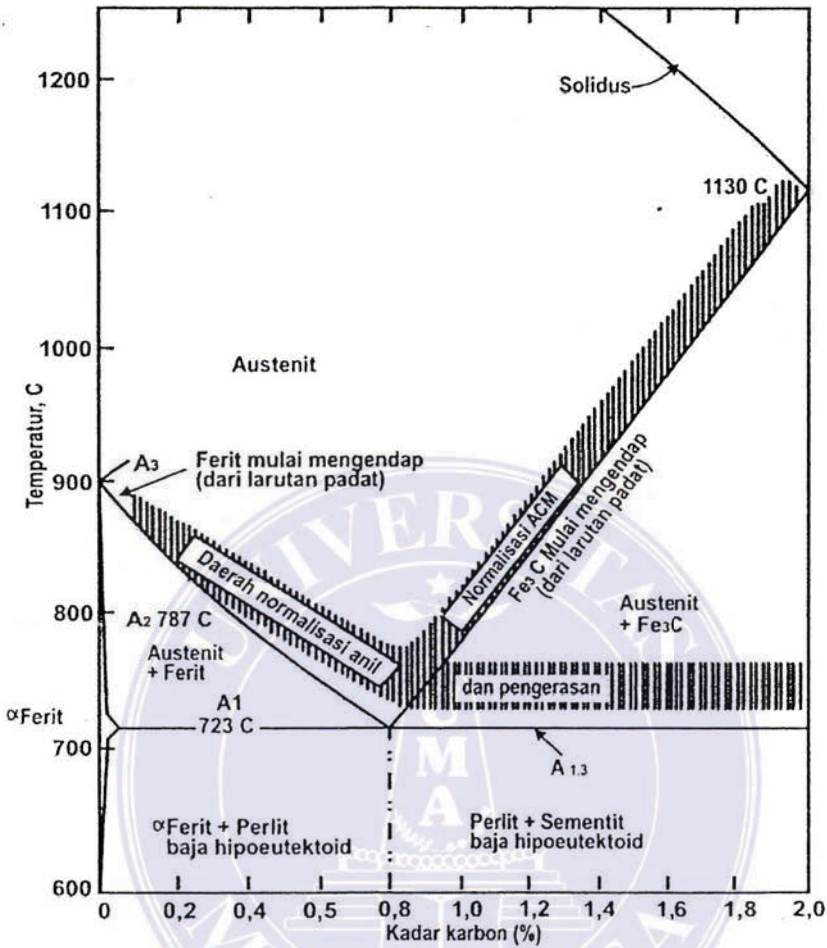
$$U_1/U + U_2/U + U_3/U + \dots = 1 \quad \text{dan}$$

$$n_i/N_i = 1 \dots \dots \dots (II.8)$$

II.2.12. 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 :

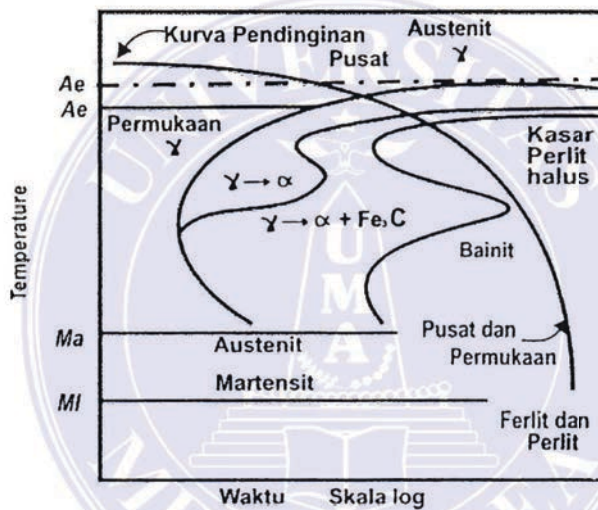
- (1) normalisasi (*normalizing*), (2) anil (*annealing*), (3) Pengerasan (*hardening*) dan
- (4) temper (*tempering*).



Gambar 2.12. Daerah perlakuan panas pada diagram kesetimbangan Fe-

(1) **Normalisasi.** Proses ini dilakukan dengan pemanasan baja sampai 40⁰C diatas temperatur kritis, dan dipertahankan temperturnya 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 $150^{\circ} : 200^{\circ}$ C/jam rata-rata.



Gambar 2.13 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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

menjadi pearlit dan ferit. Suhu pemanasan proses anil tergantung pada komposisi

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

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.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Kekerasan yang dicapai tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon, dan

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

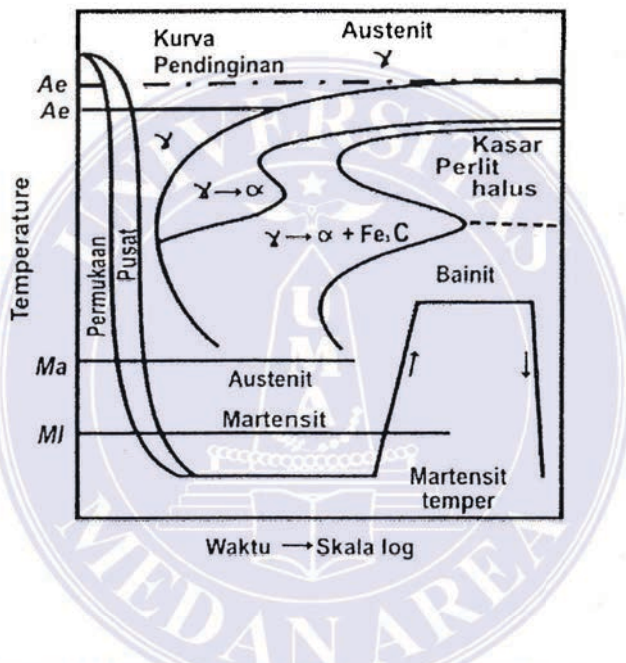
Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

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 2.14 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 γ . 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 ausrenit 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.

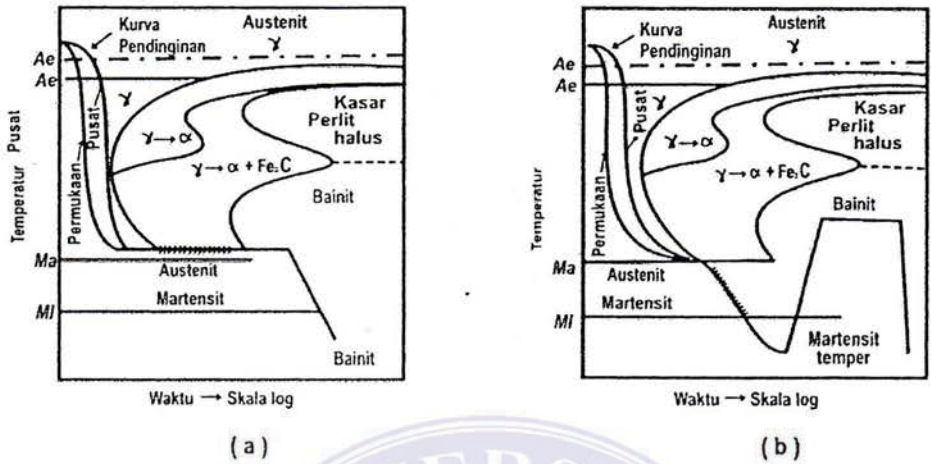


Gambar 2.15 Struktur mikro baja karbon C= 1,0% di-quench dari temperatur austenit

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° : 230° C tidak menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu.



Gambar 2.16 Diagram transformasi untuk proses pencelupan tertunda (a) austemper, dan (b) martemper

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

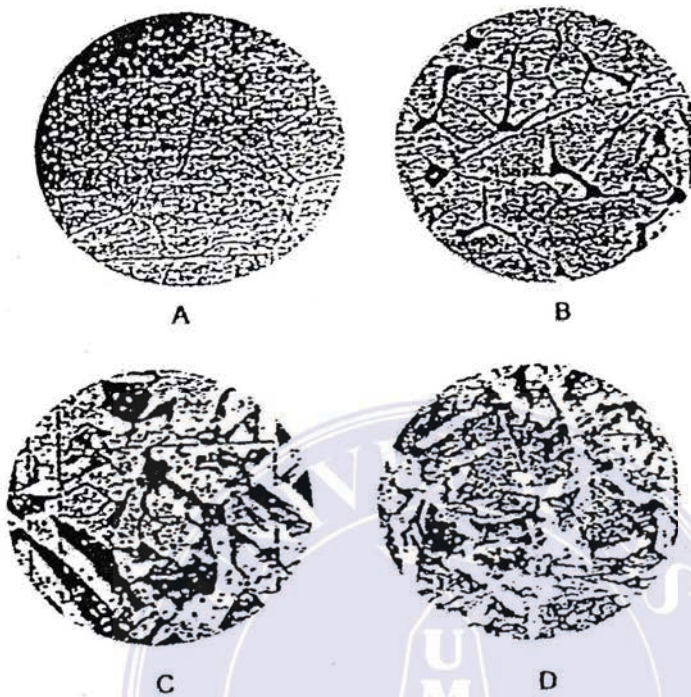
Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti atas temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk mencapai kekerasan tertentu. Pada proses temper perlu diperhatikan suhu maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama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

dibiarkan cukup lama suhu merata.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23



Gambar 2.17 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.

BAB III

METODA PENELITIAN

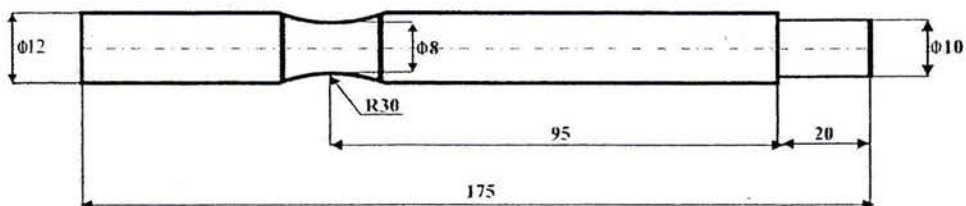
III.1. Bahan-Bahan Penelitian

III.1.1. Bahan Benda Uji

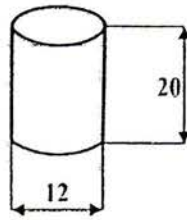
Material penelitian yang digunakan adalah baja karbon NS-1045, yang diperoleh dalam bentuk batangan dengan $\varnothing = \frac{1}{2}$ " , dengan komposisi C= 0,44%; Si=0,20%; Mn=0,76%; P=0,20%; S=0,21%; Cu= 0,01%; dan Ni=0,02%. Sifat-sifat mekanis baja karbon NS-1045 adalah sebagai berikut : (1) kekuatan maksimum = (60 ÷ 80) kgf/mm², (2) kekerasan (*hardness*) = (170 ÷ 220) BHN, pada temperatur hardening (820⁰C ÷ 850⁰C), dengan media pendingin air dan minyak.

III.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., Benda-benda uji ini dikelompokkan menjadi dua, yaitu benda uji yang diperlakukan dan benda uji yang tidak diperlakukan.



Gambar 3.1. Benda uji untuk uji kekuatan Fatik



Gambar 3.2. Benda uji untuk uji struktur mikro dan uji kekerasan

III.1.3. Bahan-Bahan Pengisi Pack pada Proses Chromizing

- Serbuk Chromium Oksida (Cr_2O_3). Bahan diffusi yang digunakan pada proses pelapisan (*coating*) adalah senyawa chromium oksida dalam bentuk serbuk dari jenis teknis.
- Amonium chlorida (NH_4Cl). Berfungsi sebagai aktivator di dalam campuran *pack*. Serbuk Ammonium chlorida yang digunakan adalah jenis campuran teknis.
- Aluminium oksida (Al_2O_3). Berfungsi sebagai media dan untuk menjaga agar tidak terjadi penggumpalan campuran dalam *pack*.

III.2. Alat-Alat yang Digunakan

III.2.1. Perlengkapan proses *chromizing*. Pada pembuatan *pack* diperlukan peralatan-peralatan; (a) tabung dari bahan *stainless steel* dengan ukuran; $\text{Ø} = 34 \text{ mm} \times 220 \text{ mm}$, (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*.

III.2.2. Dapur pemanas (*Furnance*). Alat ini berfungsi sebagai alat pemanas benda uji pada saat proses *chromizing*.

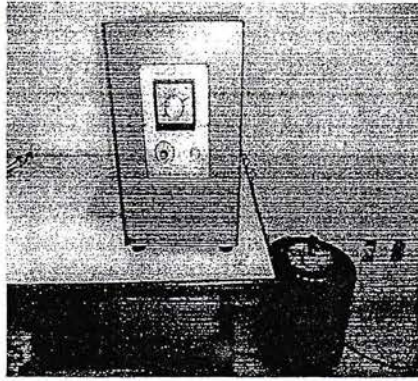
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

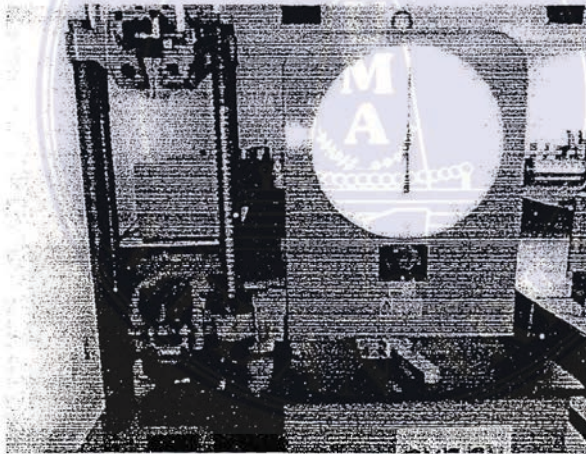
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23



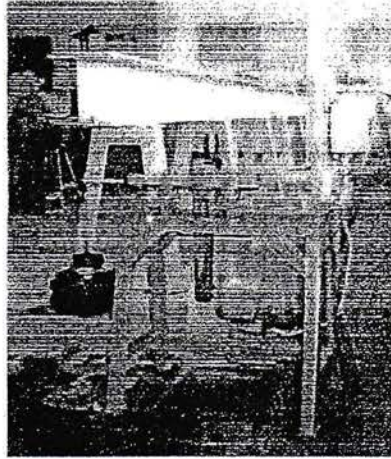
Gambar 3.3. Dapur pemanas (Furnance)

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



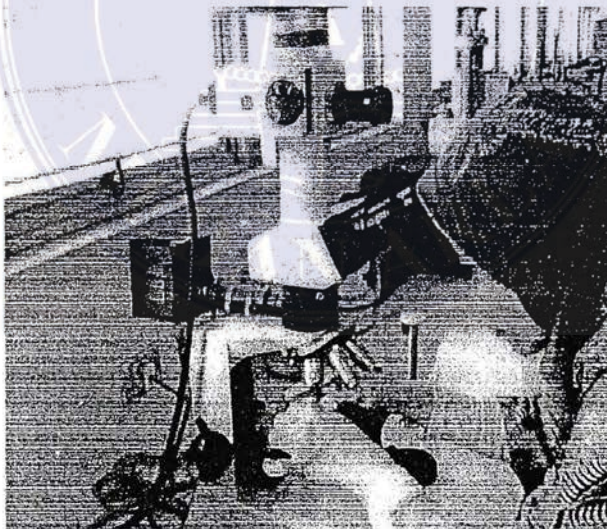
Gambar 3.4. Mesin uji tarik

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



Gambar 3.5. Mesin uji rotary bending

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



Gambar 3.6. Mikroskop optik

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

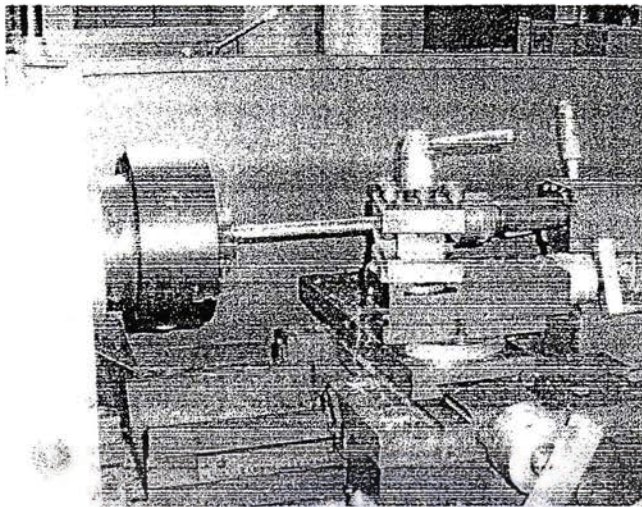
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

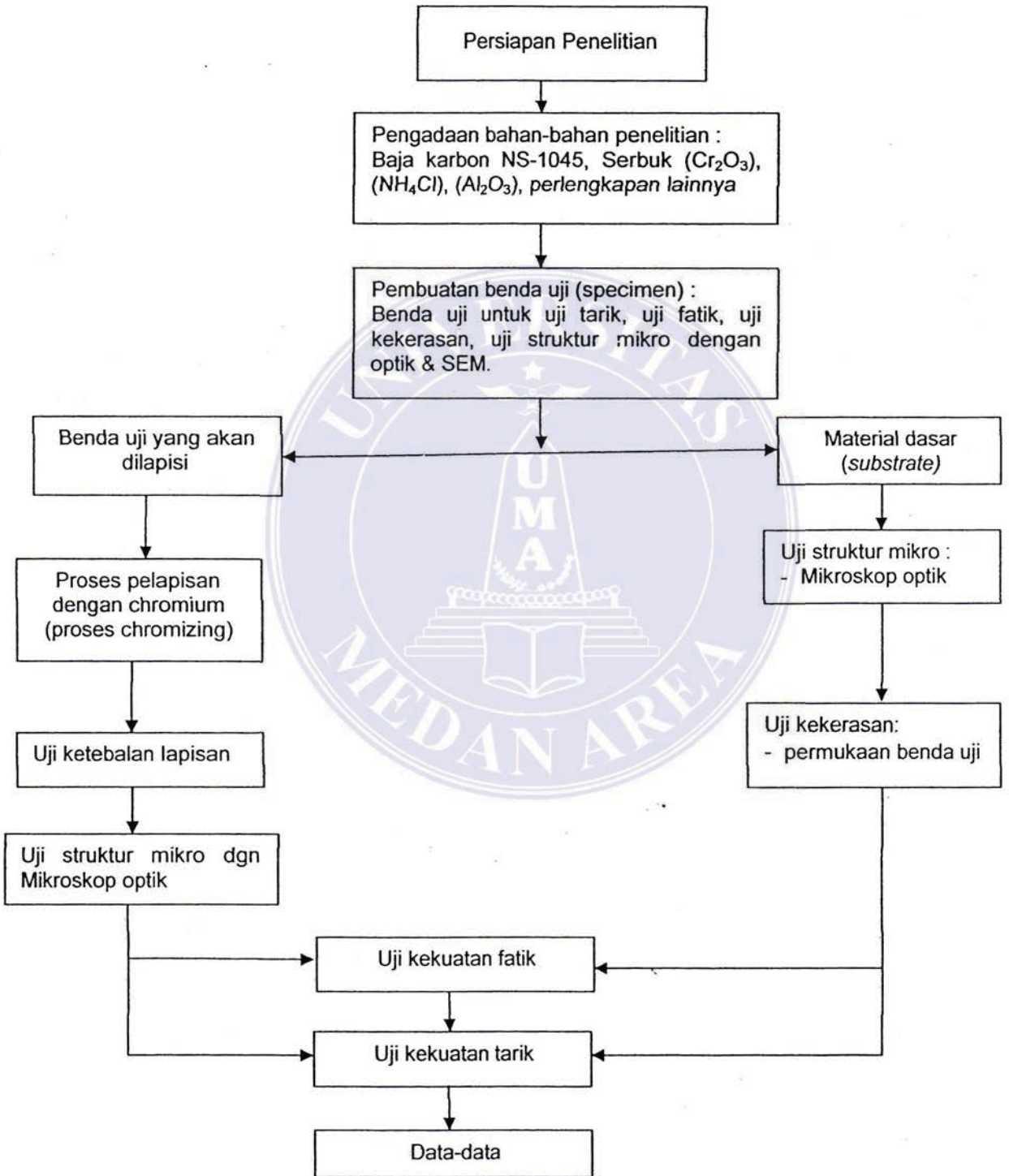
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23



Gambar 3.7 Mesin Bubut



III.3. Prosedur Penelitian



UNIVERSITAS MEDAN AREA 3.8 Diagram alir penelitian

III.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 dua jenis yaitu (1) benda uji logam dasar, (2) benda uji yang dilapisi dengan proses chromizing saja. Jumlah benda uji untuk uji kekuatan tarik 6 pcs (masing-masing 3 pcs untuk setiap kelompok benda uji) dan uji kekuatan fatik 20 pcs (masing-masing 10 pcs untuk setiap kelompok pengujian). Sedangkan benda uji untuk uji kekerasan Vickers & mikro Vickers 4 pcs (masing-masing 2 pcs), dan untuk uji struktur mikro dengan mikroskop optic.

III.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 Cr_2O_3 , 2,5 gr/liter H_2SO_4 , dan 4,5 gr/liter Natrium floursilikat, yang berfungsi sebagai aktifator. Temperatur larutan elektroplating adalah 55°C , dan kerapatan arus 4000 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 3.9 adalah gambar skema proses elektroplating.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

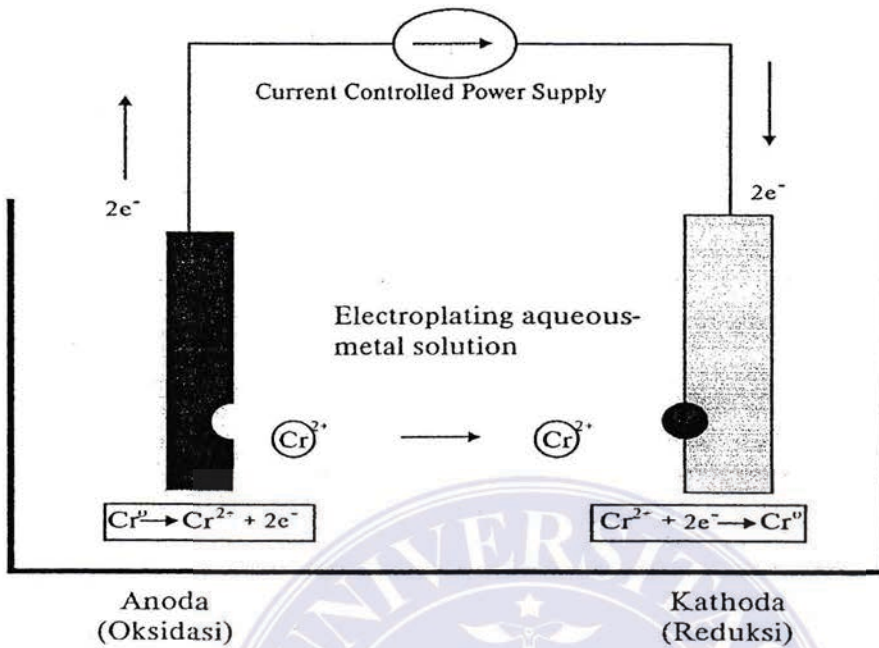
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

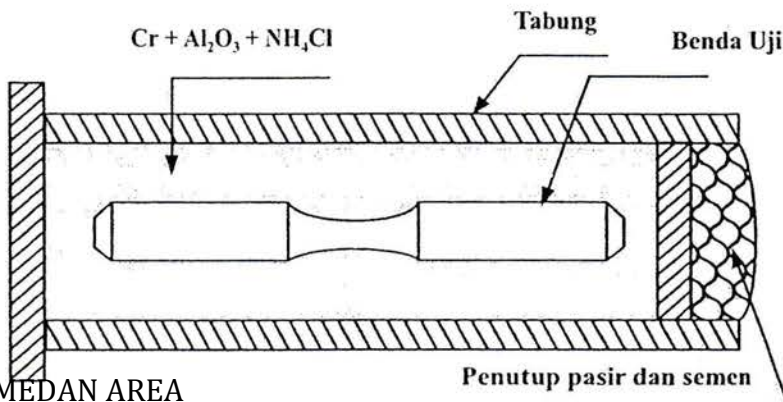
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



Gambar 3.9 Skema Rangkaian Proses elektroplating

III.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 $\varnothing = 34$ mm.



Gambar 3.10. 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 (Cr_2O_3), Ammonium chloride (NH_4Cl), Aluminium oksida (Al_2O_3). Elemen-elemen tersebut dicampur secara homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung dan ditutup dengan campuran semen dan pasir.

III.3.4. Pengujian Fatik

Sejumlah benda uji yang terdiri dari : (a) benda uji *chromized* yang tidak diperlakukan panas lanjut, dan (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.

III.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

KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Proses peningkatan sifat-sifat fatik dan mekanis baja karbon NS-1045 *chromized* adalah kombinasi proses *hardening* pada temperatur 850°C , dan proses *tempering* pada temperatur $\geq 300^{\circ}\text{C}$.
2. Hasil pengujian fatik baja karbon NS-1045 *chromized* yang diperlakukan panas (*haet-treatment*), terjadi peningkatan kekuatan fatik $\pm (20\div 25) \%$, dibandingkan dengan kekuatan fatik baja karbon NS-1045 *chromized*, tanpa perlakuan panas.
3. Hasil pengujian kekerasan baja karbon NS-1045 *chromized* yang diperlakukan dengan perlakuan panas (*haet-treatment*), terjadi peningkatan kekerasan $\pm (10\div 15) \%$, dibandingkan dengan kekerasan baja karbon NS-1045 *chromized*, tanpa perlakuan panas.
4. Struktur mikro baja karbon NS-1045 *chromized* yang diperlakukan dengan perlakuan panas (*haet-treatment*), terdiri dari campuran pearlit dan karbida, sedangkan struktur mikro baja karbon NS-1045 *chromized* tanpa perlakuan terdiri dari campuran ferit dan pearlit.

5.2. Saran-Saran

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium PTKI Medan dan di laboratorium Program studi Teknik mesin. Selama melakukan penelitian banyak kendala yang dihadapi, misalnya peralatan yang digunakan sudah kadaluarsa, tertinggal oleh kemajuan teknologi peralatan itu sendiri.

2. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan yang

UNIVERSITAS MEDAN AREA
diharapkan, seperti foto struktur mikro yang tidak memuaskar.

© Hak Cipta Ditahan, seperti foto struktur mikro yang tidak memuaskar. Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id) 22/9/23

Daftar Pustaka

1. ASTM E739, "Statistical Analisis of linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (ϵ -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, "Hight Cycle Fatigue Life Of Coated Low Carbon Steel", Fatigue, 16, 321-329. teel 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 Strenght at a Number og 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 Hight 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

UNIVERSITAS MEDAN AREA
(1989) 55-64

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)22/9/23

12. Pandey, J.L., and Banerjee, M.K., 1997, "*High Temperature Resistance Coating*", *Anti-Corrosion 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.