

SKRIPSI

**ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL
PENARIKAN PANAS DALAM MEDIA *CARBON* MENGGUNAKAN
MATERIAL *ECONOMIZER***

Disusun dan diajukan oleh:

**GABRIEL YURANTA
D021181514**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PENARIKAN PANAS DALAM MEDIA *CARBON* MENGGUNAKAN MATERIAL *ECONOMIZER*

Disusun dan diajukan oleh

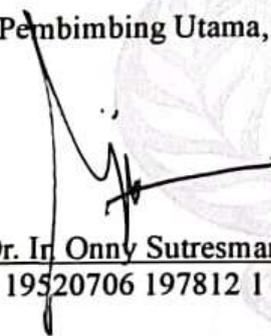
GABRIEL YURANTA
D021181514

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 15 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT.
NIP. 19520706 197812 1 001


Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT.
NIP. 19740415 199903 1 001

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Gabriel Yuranta

NIM : D021181514

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Penarikan Panas Dalam Media Carbon Menggunakan Material *Economizer*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Gabriel Yuranta
D021181514

ABSTRAK

Gabriel Yuranta. *Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Penarikan Panas Dalam Media Carbon Menggunakan Material Economizer*. (dibimbing oleh Onny Sutresman dan Lukmanul Hakim Arma)

Sifat mekanik terdiri dari keuletan, kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan. sifat mekanik merupakan acuan untuk melakukan proses selanjutnya terhadap suatu material. Economizer adalah bagian utama dari boiler yang berfungsi untuk menaikkan temperatur feedwater dengan cara menyerap panas dari gas buang yang keluar sebelum feedwater masuk ke inlet manifold dinding tungku. Dekarburisasi dari suatu permukaan logam yang dikenai panas akan menimbulkan kerugian seperti timbulnya gejala kelelahan. Dekarburisasi adalah fenomena berkurangnya kadar karbon pada lapisan permukaan paduan baja akibat adanya reaksi dengan salah satu atau beberapa zat kimiawi pada suatu medium tertentu. Karburisasi adalah salah satu teknik pengerasan permukaan yang paling banyak digunakan untuk baja, terutama karena dapat menawarkan kombinasi sifat mekanik yang unggul. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan mikrostruktur terhadap perlakuan penarikan panas dengan media karbon pada material baja AISI 1020 dengan karburisasi dari arang tumpung 90%, katalis Na_2CO_3 10% dan variasi temperatur 450°C, 500°C dan 550°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada perlakuan karburisasi dengan penarikan memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan pada perlakuan karburisasi tanpa penarikan. Kekerasan pada perlakuan karburisasi dengan penarikan memiliki kekerasan rata-rata sebesar 93,3 HRB (450°C), 95,8 HRB (500°C), 96,1 HRB (550°C) sedangkan kekerasan pada perlakuan karburisasi tanpa penarikan memiliki kekerasan rata-rata sebesar 92,5 HRB (450°C), 93,3 HRB (500°C), 94 HRB (550°C). Terlihat bahwa kekerasan akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan juga adanya pengaruh gaya tarik pada saat proses karburisasi. Dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya perubahan ukuran butir fasa perlit dan ferrit pada perlakuan karburisasi tanpa penarikan dan perlakuan karburisasi dengan penarikan.

Kata kunci: Penarikan panas, karburisasi padat, dekarburisasi, pergeseran batas butir, sifat mekanik, mikrostruktur.

ABSTRACT

Gabriel Yuranta. *Hardness and Microstructure Analysis of Hot Drawing Results in Carbon Media Using the Economizer Material.* (supervised by Onny Sutresman and Lukmanul Hakim Arma)

Mechanical properties consist of ductility, hardness, strength and toughness. Mechanical properties are a reference for carrying out further processing of a material. The economizer is the main part of the boiler which functions to increase the temperature of the feedwater by absorbing hot from the exhaust gases that come out before the feedwater enters the inlet manifold of the furnace wall. Decarburization of a metal surface exposed to hot will cause losses such as fatigue symptoms. Decarburization is a phenomenon of reduced carbon content in the surface layer of steel alloys due to reactions with one or several chemical substances in a particular medium. Carburizing is one of the most widely used surface hardening techniques for steel, mainly because it can offer a superior combination of mechanical properties. This study aims to determine the value of hardness and microstructure against hot drawing treatment with carbon media on AISI 1020 steel material with the addition of carbon from 90% shell charcoal, 10% Na₂CO₃ catalyst and temperature variations of 450°C, 500°C and 550°C. The results showed that the hardness value in the carburization treatment with drawing had a higher hardness compared to the hardness in the carbon treatment without drawing. The hardness of the carburization treatment with drawing had an average hardness of 93.3 HRB (450°C), 95.8 HRB (500°C), 96.1 HRB (550°C) while hardness in the carburization treatment without drawing has an average hardness of 92.5 HRB (450°C), 93.3 HRB (500°C), 94 HRB (550°C). It can be seen that the hardness will increase in a row with increasing temperature and also the influence of tensile forces during the carburization process. From the results of microstructure observations, it was shown that there was a change in the grain size of the pearlite and ferrite phases in the carburization treatment without drawing and the carburization treatment with drawing.

key words; Hot Drawing, pack carburization, decarburization, grain boundary sliding, mechanical properties, microstructure.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTARCT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
I.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Economizer</i>	6
2.1.1 <i>Klasifikasi Economizer Tube</i>	7
2.1.1.1 <i>Counter, Parallel, and Cros Flows</i>	7
2.1.1.2 <i>Steaming and Nonsteaming</i>	8
2.1.1.3 <i>Cast Iron and Steel Tubes</i>	8
2.1.1.4 <i>Bare Tube</i>	9
2.1.1.5 <i>Finned Tube</i>	9
2.1.1.6 <i>Staggered Tubes</i>	11
2.1.1.7 <i>Horizontal and Vertical Tubes</i>	11
2.2 Baja Karbon (Carbon Steel).....	12
2.2.1 Diagram Fasa Baja Karbon (Fe-Fe ₃ C).....	12
2.2.2 Unsur Kandungan Baja	15
2.2.3 Klasifikasi Baja	16
2.3 Sifat Mekanik.....	17
2.4 AISI 1020.....	19
2.5 Dekarburisasi	20
2.6 Mekanisme Terjadinya Pergeseran Batas Butir.....	21
2.7 Karburasi (<i>Carburizing</i>)	22
2.7.1 Pack Carburizing	23
2.8 <i>Energizer</i> (Katalis).....	25
2.9 Pengujian Sifat Mekanik.....	26

2.9.1	Pengujian Kekerasan atau Hardness Test.....	26
2.9.2	Pengujian Tarik	29
2.10	Pengamatan <i>Struktur</i> Mikro.....	31
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		34
3.1	Waktu dan Tempat.....	34
3.2	Alat dan Bahan	34
3.2.1	Alat	34
3.2.2	Bahan.....	37
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	39
3.4	Prosedur Penelitian	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Data Hasil Pengujian Kekerasan	44
4.1.1	Data Pengujian Kekerasan Permukaan kearah Inti	47
4.2	Hasil Uji Metalografi.....	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	<i>Economizer: (A) Skema posisi economizer (B) tampilan samping dan tabung spiral economizer (Mamoru Ozawa, 2021).</i>	7
Gambar 2	(a) <i>Cast iron finned-tube economizer. (b) Cast iron gilled steel tube (c) Helically finned tube (Kumar Rayaprolu, 2009).</i>	8
Gambar 3	<i>Tubes with plate fins (Kumar Rayaprolu, 2009).</i>	10
Gambar 4	(a) <i>Gas flow over fin tubes. (b) Longitudinal fin (Kumar Rayaprolu, 2009).</i>	11
Gambar 5	(a) <i>Economizer tubes Horizontal, (b) Economizer Tubes Vertikal</i> ...	12
Gambar 6	Diagram fasa besi karbon (Agung, 2019)	13
Gambar 7	Skema Pack Carburizing	19
Gambar 8	Skema <i>Grain Boundry Sliding: (a) Bentuk dan susunan butir sebelum terjadi pergeseran dan perubahan dimensi, (b) Bentuk butir yang mengalami perubahan dimensi akibat pengaruh difusi kekosongan dan mengakibatkan timbulnya kekosongan (rongga), (c) Bentuk butir setelah terjadi pergeseran batas butir dan kekosongan menjadi hilang</i>	22
Gambar 9	Geometri Indentor Brinell	26
Gambar 10	Geometri Indentor Vickers.....	28
Gambar 11	Jejak Hasil Penekanan Indentor	28
Gambar 12	Indentor <i>Rockweel</i>	28
Gambar 13	Ilustrasi Pengujian Tarik (Nurdin, H. 2019)	29
Gambar 14	(a) Mesin uji tarik, (b) plot pertambahan beban vs pertambahan panjang yang direkam oleh mesin uji tarik (Sofian, B.T. 2021).....	29
Gambar 15	Spesifikasi dari pesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar berdasarkan Standar ASTM E8 (ASTM E8).....	30
Gambar 16	Spesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar berdasarkan ASTM E8 (ASTM E8).....	30
Gambar 17	Spesifikasi dari pesimen Uji Tarik Bentuk Tubular berdasarkan Standar ASTM E8 (ASTM E8)	31
Gambar 18	Spesimen Uji Tarik Bentuk Tubular berdasarkan ASTM E8 (ASTM E8)	31
Gambar 19	(a) penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen. Sumber: Wiliam D. Callister, JR. (2012).....	33
Gambar 20	<i>Controller Temperature Digital</i>	34
Gambar 21	Termocouple.....	34
Gambar 22	Regulator Tegangan	35
Gambar 23	<i>Force Meter Digital</i>	35
Gambar 24	Kontaktor.....	35
Gambar 25	Sarung tangan.....	36

Gambar 26 Timbangan miligram	36
Gambar 27 Alat uji kekerasan.....	36
Gambar 28 Pengamatan struktur mikro	37
Gambar 29 Alat Tarik Panas	37
Gambar 30 Spesimen Baja AISI 1020	37
Gambar 31 Karbon aktif dari arang tampurung	38
Gambar 32 Natrium Karbonat (Na_2CO_3)	38
Gambar 33 Wadah untuk media karbon.....	40
Gambar 34 Skema Proses Penarikan panas dengan Media Karbon.....	41
Gambar 35 Proses Penarikan Panas Menggunakan Media Karbon	43
Gambar 36 Bekas Jejak Indentor Pada Spesimen	44
Gambar 37 Diagram Pengujian Kekerasan	46
Gambar 38 Bekas Jejak Indentor Pada Spesimen: (a) Karburisasi tanpa penarikan temperatur 550°C , (b) Karburisasi dengan penarikan temperatur 550°C	47
Gambar 39 Grafik pengujian kekerasan permukaan kearah inti.....	48
Gambar 40 Struktur Mikro: (a) Struktur mikro raw material AISI 1020 dengan pembesaran 1000 X, (b) Struktur mikro hasil perlakuan panas tanpa karburisasi pada temperatur 550°C dengan pembesaran 1000 X, (c) Struktur mikro hasil perlakuan karburisasi tanpa penarikan pada temperatur 550°C dengan pembesaran 500 X, (d) Struktur mikro hasil perlakuan penarikan panas menggunakan media karbon pada temperatur 550°C dengan pembesaran 500 X.....	50
Gambar 41 Struktur mikro hasil perlakuan penarikan panas menggunakan media karbon pada temperatur 550°C dengan pembesaran 1000 x.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Klasifikasi <i>Economizer</i> (Kumar Rayaprolu, 2009)	7
Tabel 2.	Helical <i>Fin Tubes for Economizer</i> (Kumar Rayaprolu, 2009)	9
Tabel 3.	Klasifikasi baja karbon berdasar kandungan karbon.....	16
Tabel 4.	Spesifikasi Komposisi Kimia AISI 1020.....	18
Tabel 5.	Nilai Kekerasan Rata-rata Semua Perlakuan.....	37
Tabel 6.	Data pengujian kekerasan permukaan kearah inti	47

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Si	Siliakon
Mn	Mangan
C	<i>Carbon</i>
Cr	Chrom
Fe	Besi
Ni	Nikel
Co	<i>Carbon Monoksida</i>
Co ₂	<i>Carbon Dioksida</i>
CI ECON	<i>Cast Iron Economizer</i>
ECON	Economizer
M	Meter
FCC	Face Center Cubic
BCC	Body Center Cubic
ASTM	Asociety Standart Testing Material
ASME	American Society Material Engineers
BaCO ₃	Barium Karbonat
K ₂ CO ₃	Kalium Karbonat
Na ₂ CO ₃	Natrium Karbonat
P	Beban Bola Penekanan yang diberikan
D	Diameter Bola Penekanan
D	Diameter Jejak
L	Diagonal Rata-rata

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel dan Grafik Hasil Penelitian	58
Lampiran 2 Foto Kegiatan Penelitian	62
Lampiran 3 Foto Mikro Spesimen	65

KATA PENGANTAR

Puji syukur Ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PENARIKAN PANAS DALAM MEDIA *CARBON* MENGGUNAKAN MATERIAL ECONOMIZER”** yang mana merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta ayahanda Yunus Bongi Tato' dan ibunda Hermin Rante, juga kepada saudara(i) Paulus Megi Tato' dan Megawati Yoranta yang selalu mendukung baik dengan materil juga dengan doa dan semangat.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr.Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT dan kepada Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Ketua Departemen dan Sekertaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta staff dalam membantu administrasi dalam pengurusan tugas akhir ini.
4. Yth. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan membagikan ilmu kepada penulis.
5. Pak Edi Iskandar Sebagai Laboran di Laboratorium Metalurgi Fisik yang membantu penulis dalam pengambilan data penelitian.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2018 (REACTOR 18) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
7. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dan mendukung dalam penelitian ini.

8. Teman-teman REVOLUTION yang selalu memberikan dukungan dan motivasi pada pengerjaan penelitian ini
9. Teman-teman RUKIBERZ 09 yang selalu memberikan dukungan pada pengerjaan penelitian ini.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan baik dalam penulisan maupun dalam pengambilan data sepenuhnya adalah tanggung jawab penulis. Karena itu, penulis memohon saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 15 Agustus 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sifat mekanik terdiri dari keuletan, kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan. sifat mekanik merupakan acuan untuk melakukan proses selanjutnya terhadap suatu material. Dalam pembuatan suatu konstruksi diperlukan material sesuai dengan standard yang digunakan. Sebagai contoh dalam pembuatan konstruksi sebuah instalasi proses produksi minyak dan gas alam diperlukan material yang kuat untuk menerima beban dan tegangan yang diterima oleh material. Material juga harus elastis agar pada saat terjadi pembebanan standar atau berlebih tidak mengalami patah (Media Nofri, 2018).

Salah satu penerapan baja karbon (*Carbon Steel*) terdapat pada *Economizer Tube*. *Economizer* adalah bagian utama dari *boiler* yang berfungsi untuk menaikkan temperatur *feedwater* dengan cara menyerap panas dari gas buang yang keluar sebelum *feedwater* masuk ke *inlet manifold* dinding tungku, *feedwater* masuk ke *economizer* melalui *header inlet economizer* dan kemudian mengalir ke atas melalui *bank economizer* dalam aliran berlawanan ke jalur gas buang ke bawah untuk meningkatkan laju perpindahan panas secara efisien (Ozawa, M. 2021).

Pada analisa kegagalan yang di lakukan oleh Gregorius Sasongko dan Sri Nugroho yang dimana terjadi retakan (*crack*) pada bagian samping pipa *Elbow* yang berhubungan langsung dengan api dari *burner*. Penyebab kegagalan tersebut karena adanya fenomena *decarburization* pada permukaan pipa yang timbul akibat suhu tinggi sehingga mengurangi nilai kekerasan pada bagian permukaan material. Dekarburisasi adalah fenomena berkurangnya kadar karbon pada lapisan permukaan paduan baja akibat adanya reaksi dengan salah satu atau beberapa zat kimiawi pada suatu medium tertentu. Dekarburisasi dari suatu permukaan logam yang dikenai panas akan menimbulkan kerugian seperti timbulnya gejala kelelahan. Bahan yang mengalami dekarburisasi akan menurun sifat mekaniknya. Kecuali pada kondisi ekstrem dimana lapisan dekarburisasi tersebut cukup tipis maka tidak akan menimbulkan sifat yang buruk terhadap bahan (Soedardjo S.A., dkk. 2000). Penelitian yang dilakukan oleh Barry Abdurrahman pada *waterwall tube*, dimana

terjadi fenomena *void*, *crack*, *deposit*, kekerasan yang cenderung turun, dan juga kadar kandungan Na yang tinggi sehingga merusak lapisan magnetite besi. Dan saat kadar H mengendap pada deposit dan bereaksi dengan kadar C sehingga menghilangkan pearlite dan terjadi *decarburizing*. Mekanisme terjadinya dekarburisasi yaitu aktivitas karbon di dalam baja lebih tinggi dibanding dengan di lingkungan sebagai hasil dari perlakuan panas atau panas bekerja di media (biasanya oksigen) yang bereaksi dengan karbon, maka yang terjadi C (Carbon) yang ada di dalam baja berdifusi ke permukaan, bereaksi dengan oksigen dan lepas ke lingkungan sebagai CO atau CO₂. Urutan kemudahan reaksi dengan oksigen adalah Si, Mn, Cr, C, Fe dan Ni. Mengingat besaran energi bebas reaksi Si, Mn, Cr relatif berdekatan, maka pada proses reaksi yang menghasilkan karbon rendah (C < 1%), kandungan unsur-unsur Si, Mn dan Cr akan berkurang lebih kecil atau mendekati persen kandungan unsur C. Unsur besi dan nikel diperkirakan juga mengalami pengurangan, namun tidak sebesar pengurangan yang dialami unsur-unsur yang disebutkan sebelumnya (Adil Jamali, dkk, 2014).

Salah satu proses yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan pada permukaan adalah dengan proses karburasi. Karburasi adalah salah satu teknik pengerasan permukaan yang paling banyak digunakan untuk baja, terutama karena dapat menawarkan kombinasi sifat mekanik yang unggul. Secara umum, selama proses karburasi, baja karbon rendah yang mengandung 0,10-0,25% C dipanaskan pada suhu tinggi, biasanya dalam kisaran suhu (900-1100°C) (Abdulrazzaq, Mohammed Abdulraoof, 2016). Proses karburasi dilakukan pada baja yang mempunyai kandungan karbon yang rendah, namun proses ini juga dapat dilakukan pada baja karbon menengah. Baja karbon rendah sendiri memiliki keuletan yang tinggi, kekerasan yang rendah, mudah di las tetapi memiliki sifat *machinability* yang rendah.

Dari hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen-komponen yang bekerja di temperatur tinggi (Power Plant), dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan tidak mampu menahan suhu tinggi, sehingga material tersebut mengalami keretakan hingga pecah. Salah satu faktor yang mempengaruhi kegagalan tersebut adalah dikarenakan material mengalami fenomena dekarburisasi sehingga mengurangi

kekerasan permukaan material. Berdasarkan hasil uraian-uraian tersebutlah sehingga membuat kami tertarik untuk melakukan penelitian dengan melakukan rekondisi pada permukaan material yang mengalami dekarburisasi dengan metode penarikan panas dengan penambahan media karbon kemudian menguji kekerasan dan melakukan pengamatan struktur mikro pada material yang sudah dilakukan pengujian. Penulis menuangkannya dalam bentuk tugas akhir dengan judul **“ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PENARIKAN PANAS DALAM MEDIA *CARBON* MENGGUNAKAN MATERIAL *ECONOMIZER*”**.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana nilai kekerasan material setelah dilakukan proses penarikan panas dengan media karbon?
2. Bagaimana nilai kedalaman difusi karbon pada material yang telah mengalami penarikan panas dengan media karbon?
3. Bagaimana struktur mikro dari material yang dilakukan proses penarikan panas dengan media karbon?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai kekerasan material setelah dilakukan proses penarikan panas dengan media karbon;
2. Mengetahui nilai kedalaman difusi karbon pada material AISI 1020 yang telah mengalami proses penarikan panas dengan media karbon;
3. Mengetahui struktur mikro dari material yang dilakukan proses penarikan panas dengan media karbon.

I.4 Batasan Masalah

Agar dalam penulisan penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Bahan yang digunakan sebagai spesimen adalah baja karbon rendah AISI 1020;
2. Media *Carbon* yang digunakan untuk proses karburisasi adalah arang tampurung, dan untuk energizernya menggunakan bahan kimia Natrium Karbonat (Na_2CO_3) dengan komposisi 10%;
3. Temperatur yang digunakan pada proses karburisasi untuk masing-masing spesimen berbeda, yakni 450°C , 500°C dan 550°C dengan waktu penahan 4 jam;
4. Proses karburisasi dilakukan bersamaan dengan penarikan panas;
5. Pada pengujian mekanik, terdapat 3 spesimen di tiap-tiap temperatur yang berbeda;

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui sifat mekanik material yang telah dilakukan proses penarikan panas dengan media karbon dan menambah ilmu pengetahuan mengenai ilmu metalurgi.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya pengetahuan bahan, perlakuan panas, dan juga pengujian bahan.

I.6 Sistematika Penulisan

BAB I: Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II: Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan tema penelitian dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.

BAB III: Metode Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode pengumpulan data, alat dan bahan yang digunakan, diagram alir penelitian serta langkah dan proses penelitian.

BAB IV: Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian disertai dengan table dan grafik yang didapat selama melakukan pengambilan data.

BAB V: Penutup

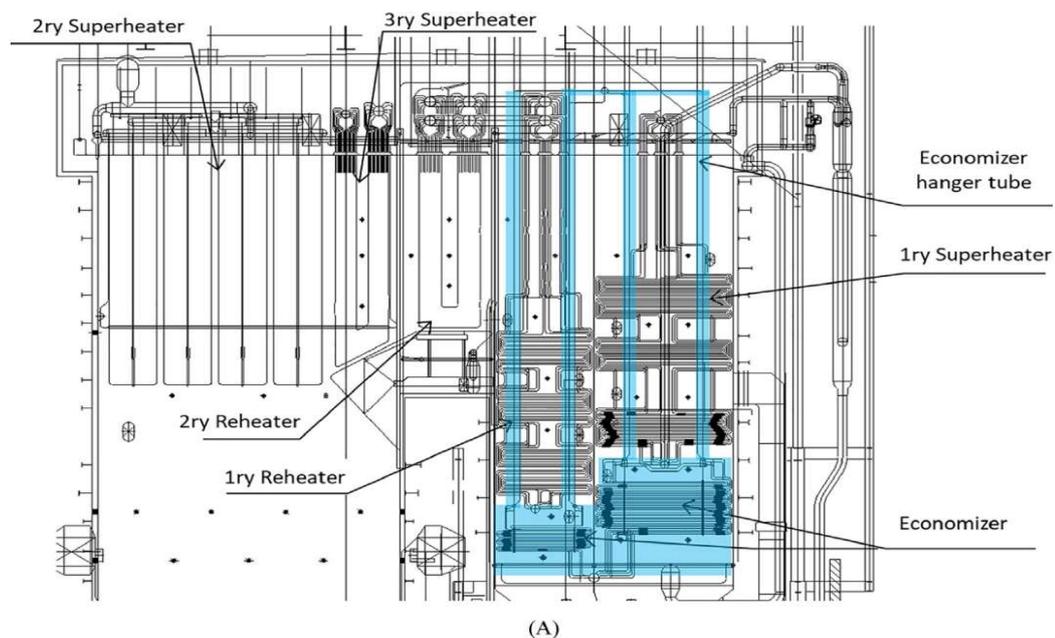
Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya dan lampiran.

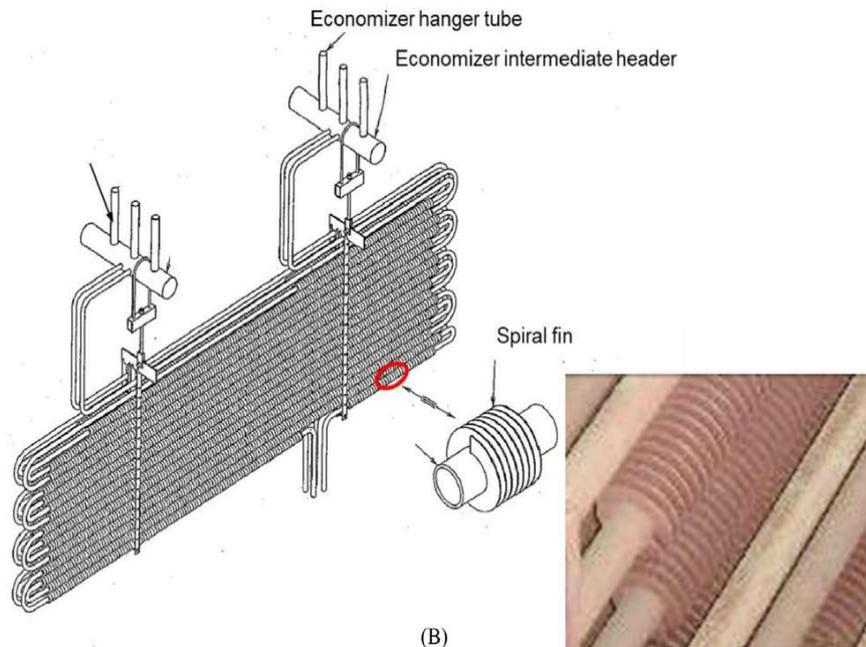
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Economizer*

Sebelum tahap penguapan, air dipanaskan terlebih dahulu, pemanasan awal biasanya dilakukan dengan gas buang di bagian permukaan perpindahan panas yang disebut *economizer*. Pemanasan awal menurunkan suhu gas buang akhir dan meningkatkan penghematan energi. (Inilah sebabnya mengapa permukaan perpindahan panas yang melakukan pemanasan awal disebut *economizer*) (Esa Kari Vakkilainen, 2016). Fungsi dari *economizer* adalah untuk menaikkan temperatur *feedwater* dengan cara menyerap panas dari gas buang yang keluar sebelum *feedwater* masuk ke *inlet manifold* dinding tungku (Mamoru Ozawa, 2021). *Economizer* menggunakan sisa gas buang yang berasal dari *superheating* atau *reheating* pada temperatur antara 370°C - 540°C . Di dalam sebuah proses, membuang gas bertemperatur tinggi berarti membuang energi yang sangat banyak (356) *Tube economizer* biasanya memiliki diameter luar sebesar 45-70 mm dan disusun secara vertikal, yang setiap tubenya dihubungkan dengan *u-tube* (dipasang vertikal) sehingga *economizer* ini menghubungkan antara *inlet* dan *outlet headers* (Nag, 2006). Jenis baja yang biasa digunakan pada *tube economizer* adalah baja karbon (Carbon Steel).





Gambar 1. Economizer: (A) Skema posisi economizer (B) tampilan samping dan tabung spiral economizer (Mamoru Ozawa, 2021)

2.1.1 Klasifikasi *Economizer Tube*

Economizer Tube dapat diklasifikasikan berdasarkan desain, konstruksi, dan susunan, seperti yang diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi *Economizer* (Kumar Rayaprolu, 2009)

By Design	By Tube Type	By Arrangement
Counter Flow	Cast iron	In-line
Parallel flow	Steel Tube	Staggered
Cross flow		
Steaming	Bare Tube	Horizontal
Nonsteaming	Finned tube	Vertical
Single tube per loop		
Multiple tubes per loop		

Sumber: Kumar Rayaprolu (2009)

2.1.1.1 *Counter, Parallel, and Cross Flows*

Dalam kebanyakan kasus, *economizer* diatur dalam mode aliran balik (counter flow) untuk memaksimalkan dan meminimalkan perpindahan panas pada permukaan. Tidak seperti di *superheater*, tidak ada masalah suhu logam yang dapat diperbaiki dengan menerapkan aliran paralel (parallel flow). Hanya dalam kasus luar biasa di mana ada kendala dalam pengaturan, aliran paralel dapat diterapkan.

Dalam paket *boiler* aliran silang diterapkan karena membantu menghemat ketinggian *economizer*. Aliran silang dengan gas yang mengalir tegak lurus terhadap aliran air tidak seefisien aliran balik tetapi lebih baik daripada aliran paralel (Kumar Rayaprolu, 2009).

2.1.1.2 *Steaming and Nonsteaming*

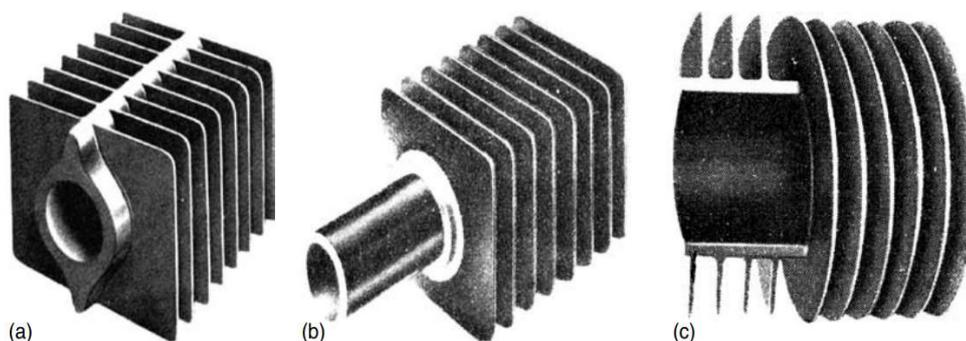
Suhu outlet air umpan sebaiknya 30°C lebih rendah dari suhu saturasi. Perbedaan ini dikenal sebagai suhu pendekatan yang mencegah penguapan dan penumbukan air (Kumar Rayaprolu, 2009). Juga temperatur gas ke air tidak dipersempit, yang meningkatkan *hotting surfaces* tanpa menambah temperatur air.

Penguapan *economizer* ketika kenaikan temperatur air > 67 % dari perbedaan di antara keduanya temperatur saturasi dan *inlet economizer*. Kesederhanaan dan keleluasaan saat operasional memerlukan *economizer nonsteaming*.

Terkadang, kondisi ini sebenarnya bermanfaat untuk meningkatkan permukaan *economizer* dan menghasilkan uap di dalamnya. Maka *header outlet economizer* harus berada di bawah level *drum*. Perawatan harus diambil untuk menghindari loop atau lereng ke bawah baik *economizer tube* dan *tube* air dari *economizer* ke *drum* sehingga semua uap yang dihasilkan terus-menerus mengarah ke atas ke *drum*. Tergantung pada pembangkit uap, mungkin diperlukan untuk menyediakan siklon khusus tambahan untuk pemisahan.

Biasanya 8 % pembangkit uap dianggap sebagai batas aman, meskipun ada kasus 20 % uap dihasilkan pada *economizer*. Pengolahan air harus sangat ketat.

2.1.1.3 *Cast Iron and Steel Tubes*



Gambar 2. (a) *Cast iron finned-tube economizer*. (b) *Cast iron gilled steel tube*. (c) *Helically finned tube* (Kumar Rayaprolu, 2009).

CI (Cast Iron) memiliki keterbatasan dalam menahan tekanan karena strukturnya yang berpori. Desain tekanan sampai dengan 17,5 atm, *cast iron economizer* bersirip (Gambar 2.a) merupakan pilihan yang sangat baik asalkan kualitas pengecoran tekanan baik. Penggunaannya dalam *boiler* modern telah menurun drastis, dan tabung baja sangat populer karena kekuatan dan keringannya.

1. Sirip yang lebih tinggi menurunkan efisiensi perpindahan panas
2. Sirip yang lebih tebal meningkatkan efisiensi perpindahan panas
3. Kepadatan sirip yang lebih tinggi meningkatkan *hotting surface* dan pengotoran

2.1.1.4 Bare Tube

Bare Tube (*tube* tanpa sirip) dapat diandalkan dan efektif untuk aplikasi di lingkungan berdebu dan menghilangkan ketidakpastian yang berhubungan dengan *Finned Tubes* (pengotoran dan erosi sirip). Bila dibandingkan dengan *economizer tubes* bersirip, *tube* tanpa sirip memiliki keuntungan, yaitu *Supporting* lebih mudah.

1. Meniup jelaga lebih efektif.
2. Pengaturannya sederhana.
3. Bank *tube* bisa lebih dalam pada 2 m.
4. Rongga antar bank membutuhkan kedalaman yang lebih kecil karena *soot blowing* tidak memakan banyak ruang.
5. Suhu keluar gas bisa lebih rendah.
6. Penurunan tekanan bisa sedikit lebih rendah

2.1.1.5 Finned Tubes

Extended-surface/finned tube economizer kompak dan umumnya ekonomis. Koefisien perpindahan panas pada sisi air ($>5600 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ or $\sim 5000 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ or $\sim 1000 \text{ Btu/ft}^2 \text{ h } ^\circ\text{F}$) jauh lebih tinggi daripada di sisi gas ($\sim 5.6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ or $\sim 50 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ or $\sim 10 \text{ Btu/ft}^2 \text{ h } ^\circ\text{F}$). membuat kasus yang baik untuk menggunakan tabung sirip, disediakan pengotoran tabung (mengarah ke sirip tersumbat) dan penurunan kinerja yang dihasilkan dihilangkan.

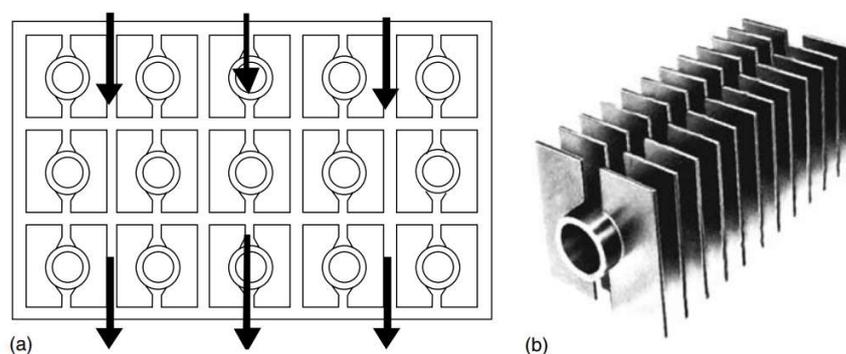
Ada beberapa jenis *Extended-surface* yang cocok untuk *economizer*.

- 1) *Helical fins. High-frequency continuous helically finned tubes* (gambar 2.c) adalah yang paling populer. Untuk aplikasi *economizer*, tabung dan sirip memiliki eksekusi *carbon steel* (SC) yang rendah. *Tube* biasanya berukuran 31,8, 38,1, 44,5, dan 50,8 mm. *Staggered* atau *triangular pitching* hanya cocok untuk gas bersih seperti gas alam. Jarak dan ketebalan sirip meningkat saat gas menjadi lebih berdebu. Tabel 2 memperlihatkan Spesifikasi sirip *heliks* untuk *economizer tubes*. Pendekatan konservatif adalah mengadopsi jarak sirip satu langkah lebih rendah dari yang ditentukan dalam tabel. Penting agar *tube* tetap bebas dari *fouling* dengan membatasi kedalaman tepian hingga 1,5 m dan menggunakan tipe *rake*.
- 2) *Plate or rectangular fins* (gambar 3) adalah *carbon steel* rendah, resistansi dilas, dan berbentuk persegi atau persegi panjang. Sirip biasanya setebal 3 mm dan berjarak 13 dan 25,4 mm.

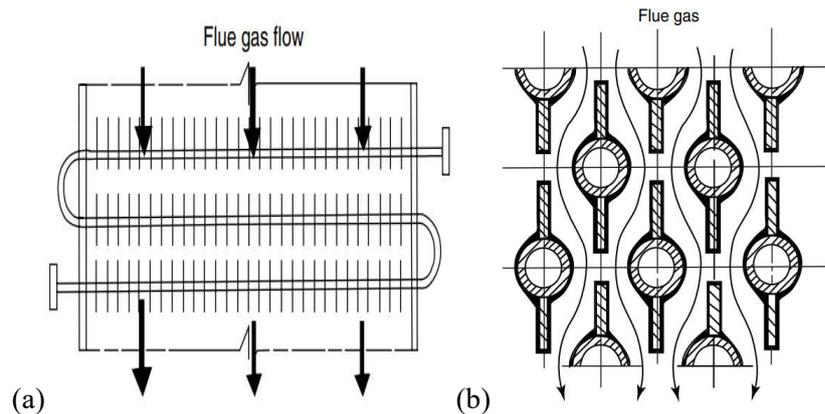
Tabel 2. *Helical Fin Tubes for Economizer* (Kumar Rayaprolu, 2009)

Fuel	Fins per		Thickness (mm)	Staggered	Fin Height (mm-Typical)
	Inch	Meter			
Natural gas	8	315	0.75-1.5	Yes	19-22
Light distillate	4	157	0.75-3.0	No	19-22
Heavy oil	3	117	1.25-3.0	No	19-22
Coal	2	78	1.25-3.0	No	19-22

Sumber: Kumar Rayaprolu (2009)



Gambar 3. *Tubes with plate fins* (Kumar Rayaprolu, 2009).



Gambar 4. (a) *Gas flow over fin tubes.* (b) *Longitudinal fin* (Kumar Rayaprolu, 2009).

(1/2 dan 1 inci) terpisah. Kecepatan gas dibatasi hingga 15 m/s untuk gas bersih. Sirip ini digunakan di lingkungan *non-korosif* dengan pembakaran gas, minyak, dan batubara bahkan dengan partikulat yang cukup tinggi. hembusan jelaga tipe *rake* diperlukan untuk menjaga permukaan tetap bersih. Aplikasi batubara menimbulkan bahaya penyumbatan *fly ash*.

- 3) *Longitudinal fins* (gambar 4.b) untuk aplikasi batubara merupakan metode populer untuk menghemat permukaan. Susunan *staggered* biasanya diadopsi meskipun ada laporan retakan tabung sirip yang berkembang selama periode operasi yang lama dengan *boiler* berbahan bakar minyak. Penyumbatan dan erosi dapat dialami pada *boiler* berbahan bakar batubara.

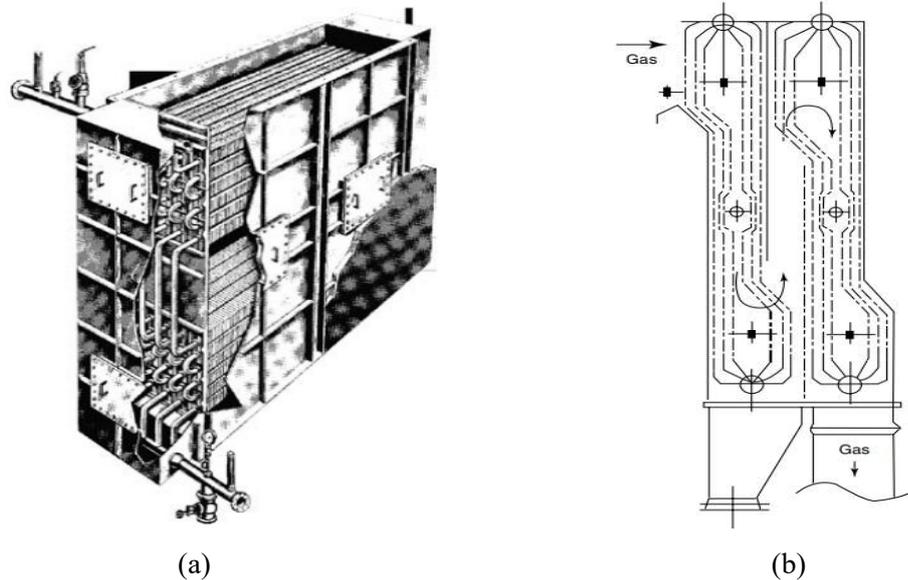
2.1.1.6 *Staggered Tubes*

Staggered tubes menghasilkan laju perpindahan panas yang lebih baik dan membuat pengaturan menjadi padat tetapi berisiko erosi *tube* karena debu dalam gas buang. Hanya untuk gas alam dan minyak sulingan ringan dan gas limbah bersih tertentu yang cocok untuk pengaturan bertingkat, sedangkan itu tidak berlaku untuk aplikasi batu bara dan minyak berat. Generator uap pemulihan panas selalu menggunakan pengaturan bertingkat, karena gas buang generator turbin bersih.

2.1.1.7 . *Horizontal and Vertical Tubes*

Sebagian besar *economizer* cenderung secara *horizontal* dan sepenuhnya dapat dikeringkan (Gambar 5.a) *Tube* vertikal digunakan dalam kasus-kasus khusus

seperti *boiler recovery black liquid* dan *boiler* bahan bakar limbah kota di mana abu lengket mudah siap pada permukaan *horizontal*. Tingkat perpindahan panas lebih rendah dan karenanya permukaan yang dibutuhkan jauh lebih tinggi (Gambar 5.b).



Gambar 5. (a) *Economizer tubes Horizontal*. (b) *Economizer tubes Vertikal* (Rayaprolu, 2009).

2.2 Baja Karbon (Carbon Steel)

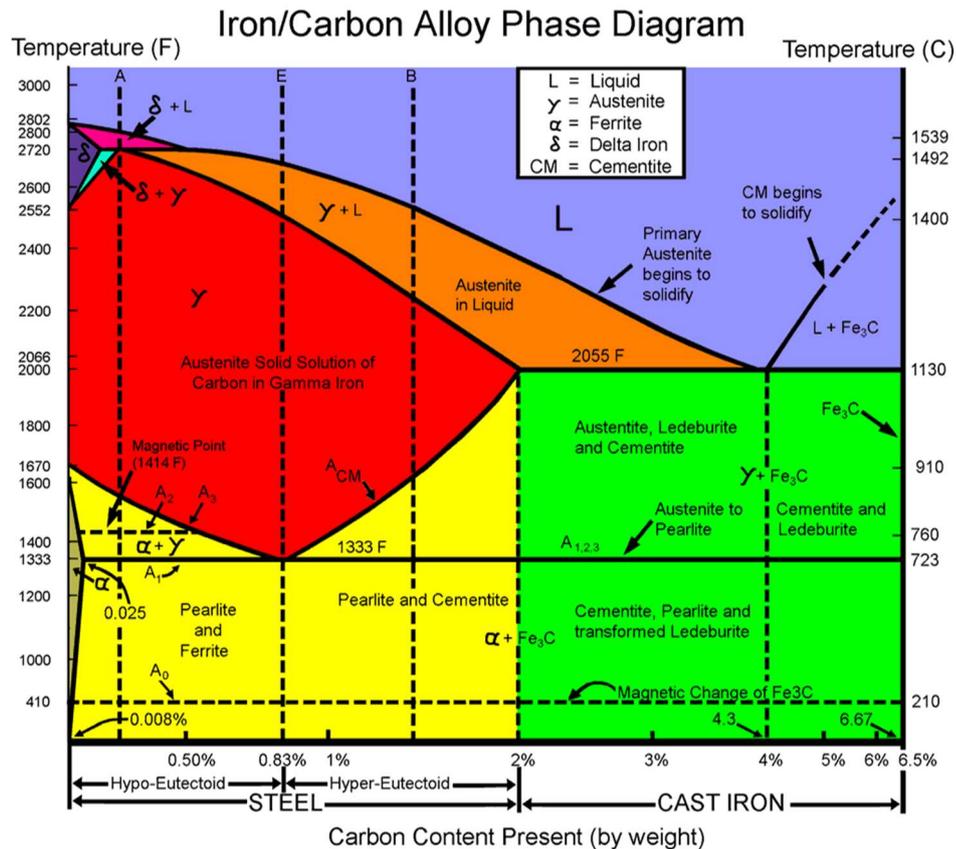
Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C), dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, atau penemperan. Karbon (C) merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dibidang teknik dalam bentuk pelat, pipa, batang, profil dan sebagainya.

Secara garis besar baja dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon terbagi menjadi tiga macam yaitu: Baja karbon rendah (<0,25%), baja karbon sedang (0,25-0,55), baja karbon tinggi (>0,55%). Sedangkan baja paduan terdiri dari baja paduan rendah dan baja paduan tinggi. Penggunaan baja berbeda-beda berdasarkan kandungan unsur paduan karbon (Media Nofri, 2018).

2.2.1 Diagram Fasa Baja Karbon (Fe-Fe₃C)

Menurut George Krauss, diagram fasa baja karbon dapat digunakan sebagai dasar untuk melaksanakan perlakuan panas. Penggunaan diagram ini relatif terbatas

karena beberapa metode perlakuan panas digunakan untuk menghasilkan struktur yang non-equilibrium. Akan tetapi pengetahuan mengenai perubahan fasa pada kondisi seimbang memberikan ilmu pengetahuan dasar untuk melakukan perlakuan panas. Bagian diagram Fe-Fe₃C yang mengandung karbon dibawah 2 % menjadi perhatian utama untuk perlakuan panas baja.



Gambar 6. Diagram fasa besi karbon (Agung, 2019)

Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anil, normalizing maupun proses pengerasan.

Pada diagram Fe-Fe₃C muncul larutan padat (δ , α , γ) atau disebut besi delta (δ), austenit (γ) dan ferrit (α). Ferrit merupakan struktur kubik pemusatan ruang (kpr) dan austenit merupakan struktur kristal kubik pemusatan sisi (kps) sedangkan besi δ mempunyai struktur kristal kubik pemusatan ruang (kpr) pada temperatur tinggi. Bila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai

komposisi kimia Fe_3C yang sifatnya keras dan getas. Kelarutan karbon pada tiap – tiap fasa sangat berlawanan karena perbedaan struktur kristalnya. Ferrit mempunyai struktur kpr, ruangan antar atom rapat kecil dan pepat, sehingga daya larut karbon dalam ferrit rendah.

Fasa-fasa yang ada pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Ferrit*

Ferrit adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (Body Center Cubic). *Ferrit* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu alpha-ferrit atau pada temperatur tinggi, yaitu delta-ferrit. Secara umum fasa ini bersifat lunak, ulet, dan magnetic hingga temperatur tertentu. Kelarutan karbon di dalam fasa ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fasa larutan padat lain di dalam baja, yaitu fasa Austenit. Pada temperatur ruang kelarutan karbon di dalam alpha-ferrit hanya mengeksploitasi sifat-sifat ferrit. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal ferrit misalnya, banyak di produksi untuk proses pembentukan logam lembaran.

2. *Cementit*

Cementite atau carbide dalam system paduan berbasis besi adalah stoichiometric inter-metallic compound Fe_3C , bentuk sel satuannya ortorombik dan bersifat keras dan getas (65-68) HRC. *Cementite* dapat berada didalam system besi baja dalam berbagai bentuk seperti bentuk bola, bentuk *lembaran* (berselang seling dengan alpha ferrit), atau partikel-partikel carbide kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa melalui siklus pemanasan dan pendinginan.

3. *Perlit*

Perlit adalah campuran ferrit dan cementit berlapis dalam suatu struktur butir, memiliki nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan lambat menghasilkan *Perlit kasar*, sedangkan struktur mikro *Perlit* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *Perlit kasar* kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *Perlit halus*.

4. *Martensit*

Martensit terbentuk dari pendinginan cepat fasa austenit sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC,

unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro martensit seperti bentuk jarum-jarum halus, bersifat keras (20- 67) HRC, dan getas.

5. Austenit

Fase austenit memiliki struktur atom FCC (Face Centered Cubic) yang mengandung unsur karbon hingga maksimum 1.7% (Agung, 2019). Dalam keadaan setimbang fasa austenit ditemukan pada temperatur tinggi. Fasa ini bersifat *non magnetic* dan ulet, pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat austenit lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fasa Ferrit.

2.2.2 Unsur Kandungan Baja Karbon

Selain besi sebagai kandungan utama baja, terdapat beberapa unsur yang menjadi bahan pembentuk baja, yaitu:

1. Karbon (C)

Karbon merupakan unsur penting di dalam baja karena baja tersusun atas besi (Fe) dan karbon (C). Karburisasi digunakan untuk mengeraskan baja. Lebih tinggi kandungan karbon, maka baja semakin keras dan getas. Tetapi semakin banyak kandungan karbon maka keuletan material berkurang.

2. Silikon (Si)

Silikon (Si) merupakan unsur yang umum terdapat pada setiap baja. Silikon tidak membentuk karbida melainkan larut dalam ferrit. Penambahan silikon membuat sifat kekuatan dan ketangguhan baja naik. Tetapi jika kandungan silikon besar (melebihi 0,4%), maka elastisitas dan keuletan dari material turun perlahan.

3. Mangan (Mn)

Mangan (Mn) juga merupakan unsur paduan yang selalu ada pada baja, seperti silikon. Mangan bekerja sebagai deoksidiser. Mangan mengurangi kecenderungan terjadinya hot shortness yang ditimbulkan oleh belerang. Mn juga mencegah terbentuknya FeS yang membentuk eutektik pada besi. Adanya mangan menaikkan kekuatan dan kekerasan yang lebih efektif daripada menaikkan kadar karbon.

4. Fosfor (P)

Fosfor (P) merupakan salah satu bahan yang cukup berbahaya bila terdapat terlalu banyak di dalam baja. Fosfor dapat mengikat Fe dan menjadi penyebab utama pada perapuhan baja pada keadaan dingin. Kandungan fosfor maksimum dalam baja adalah 0,6. Fosfor berfungsi untuk meningkatkan fluiditas dalam pengecoran logam. Fosfor larut dalam ferrit dan menaikkan kekuatan pada baja.

5. Sulfur (S)

Sulfur (S) memiliki pengaruh yang hampir sama persis dengan fosfor, yaitu larut di dalam ferrit dan menaikkan kekuatan, dan juga menaikkan kegetasan dalam material. Kandungan sulfur yang terlalu banyak juga membuat baja mudah retak pada saat temperatur tinggi.

6. Chrom (Cr)

Chrom (Cr) di dalam baja dapat membentuk karbida pada besi. Selain itu kromium juga membantu meningkatkan temperatur austenisasi pada baja. Selain itu juga chrom juga meningkatkan ketahanan korosi, menaikkan keuletan, ketahanan aus dan kekerasan pada baja.

7. Molibden (Mo)

Molibden (Mo) merupakan paduan yang membentuk karbida. Molibden juga menaikkan kekerasan dan kekuatan pada temperatur tinggi. Dan juga mencegah terjadinya kegetasan pada pemanasan ulang (Jeremy Adrian, 2016).

2.2.3 Klasifikasi Baja

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0.25% - 1,7%. Selain itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti Sulfur (S), Fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn), dan Vanadium. Baja menurut kandungan karbonnya dapat dibagi menjadi 3 (tiga) kategori yaitu:

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,25% C, Baja karbon rendah memiliki ketangguhan aus yang rendah. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Media Nofri, 2018). Baja ini dimanfaatkan untuk panel bodi pada mobil, pelat kaleng/tabung dan kabel.

Produk baja yang dihasilkan dari proses pengerolan berpenampang pelat dengan kandungan karbon mencapai 0,3% dan kandungan mangan mencapai 1,5% banyak digunakan untuk *stamping, forging, seamless tubes* dan *boiler plate*.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,25% C – 0,55% C. Baja karbon sedang memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah (Media Nofri, 2018). Baja ini biasa digunakan sebagai material pada komponen mesin seperti shaft, axle, roda gigi, crackshaft, kopling dan sebagainya. Baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,4 - 0,60% juga sering digunakan sebagai material untuk rel kereta api, roda kereta api dan poros rel kereta.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,55% C – 1,7% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas (Media Nofri, 2018). Baja karbon tinggi banyak digunakan sebagai material pada pembuatan pegas dan kawat dengan kekuatan tinggi.

Tabel 3. Klasifikasi baja karbon berdasar kandungan karbon

No	Jenis Baja Karbon	Presentase Unsur Karbon (% C)
1	Baja Karbon Rendah	$\leq 0,25 \%$
2	Baja Karbon Medium	0,25 % - 0,55%
3	Baja Karbon Tinggi	$\geq 0,55 \%$

Sumber: Wardoyo, J.T. (2005)

2.3 Sifat Mekanik

Sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen yang terbuat dari bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan/komponen tersebut (Suarsana, 2017).

Sifat mekanik merupakan kemampuan suatu bahan/material dalam menerima beban mekanis, baik beban statis maupun beban dinamis. Contoh: ketangguhan, kelelahan, kekerasan, ketahanan mulur, kekuatan tarik, dll. Terdapat acuan data sifat mekanis material yang menentukan spesifikasi standar material tersebut. Data tersebut diperoleh dengan uji mekanis sesuai standar yang ditentukan. Data tersebut hanya berlaku pada kondisi yang disebutkan, bila material telah mengalami perlakuan tertentu, sifat mekanisnya dapat berubah. Beberapa standar spesifikasi yang biasa digunakan, antara lain: ISO, SAE, JIS, AISI, DIN. Beberapa spesifikasi sifat mekanis yang dimiliki material yaitu:

1. *Strength* (kekuatan)

Yaitu kemampuan material/bahan untuk menahan pengaruh gaya-gaya luar yang bekerja sampai pada batas kerusakan. Beberapa macam kekuatan logam dapat dibaca dalam materi pengujian sifat mekanis logam.

2. *Stiffness* (kekakuan)

Yaitu kemampuan bahan untuk menahan perubahan bentuk (deformasi). Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.

3. *Elasticity* (elastisitas)

Yaitu sifat bahan yang dapat kembali (*regain*) ke bentuk semula setelah deformasi terjadi, pada saat gaya luar atau beban dihilangkan.

4. *Plasticity* (plastisitas)

Yaitu sifat material yang tidak dapat kembali (*retain*) ke bentuk semula akibat deformasi dibawah beban permanen. Sering disebut deformasi permanen.

5. *Ductility* (keliatan)

Yaitu kemampuan bahan untuk menahan beban patah dan mudah dibentuk atau diolah seperti pengerolan, penarikan dan sebagainya. Semakin besar keliatan suatu bahan maka semakin aman terhadap kemungkinan patah. Keliatan pada umumnya dinyatakan oleh regangan teknis sampai titik patah (*break*) dari suatu pengujian tarik. Besarnya keliatan dinyatakan dalam persentasi perpanjangan dan persentasi pengecilan luas.

6. Keuletan

Menyatakan energi yang diabsorpsi oleh bahan sampai titik patah, yaitu merupakan luas bidang dibawah kurva tegangan regangan.

7. Patah Lelah

Patahan lelah disebabkan oleh tegangan berulang dan juga dapat terjadi pada tegangan kurang dari $\frac{1}{3}$ kekuatan tarik statik pada bahan struktur tanpa konsentrasi tegangan. Dalam keadaan dimana pemusatan tegangan diperhitungkan, mungkin bahan akan putus pada tegangan yang lebih rendah. Jadi kelelahan memegang peran utama dalam putusnya bahan secara mendadak pada penggunaan suatu struktur atau komponen. Proses terjadinya patah lelah, yaitu: terjadinya retakan awal, perambatan retakan lelah, patahan static terhadap luas penampang sisa. Sedangkan untuk mencegahnya maka perlu dilakukan pengawasan pada setiap prosesnya

8. *Creep* (melar)

Beberapa bahan dapat berdeformasi secara kontinu dan perlahan-lahan dalam periode waktu yang lama jika dibebani secara tetap. Deformasi semacam ini, yang tergantung pada waktu disebut melar.

9. Keausan

Terjadi karena adanya gesekan (friction) pada bidang kontak saat sebuah komponen bergerak dengan tahanan. Jika hal tersebut terjadi secara terus-menerus maka abrasi (pengikisan) akan berlanjut dan merusak keliatan komponen yang selanjutnya berkembang terus menjadi lebih parah sampai suatu saat patah.

10. Kekerasan

Adalah kemampuan bahan untuk menahan beban yang tinggi termasuk kemampuan logam memotong logam yang lain. Kekerasan dapat juga didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance).

2.4 AISI 1020

Baja AISI 1020 termasuk dalam kategori baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar 0,20%. Baja jenis ini sering digunakan sebagai bahan pembuatan pipa untuk fluida bertekanan rendah dan menengah, pipa ketel, dan juga untuk pipa pengalir uap panas yang biasa digunakan pada sistem pembangkit listrik Dalam

jangka penggunaan yang cukup lama baja ini dapat mengalami degradasi dan juga kerusakan yang disebabkan oleh korosi. Menurut standart AISI (American Iron and Steel Institute) dan DIN CK22.C22, komposisi kimia dari baja AISI 1020 dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Spesifikasi Komposisi Kimia AISI 1020

Kode	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Fe
AISI 1020	0,17- 0,23	0,15- 0,35	0,30- 0,60	0,040 max	0.050 max	99.08 - 99.53

Sumber: ASM (1990)

Tabel 5. Spesifikasi Sifat Mekanik AISI 1020

Sifat Mekanik Baja AISI 1020	
Ultimate tensile strength (Mpa/Ksi)	392/56,9
Yield strength (Mpa/Ksi)	233/33,8
Modulus of Elasticity (GPa/10 ⁴ psi)	186/27
Reduction in area (%)	64
Hardness, Vickers (Converted from Brinell hardness)	115

Sumber: ASM (1990)

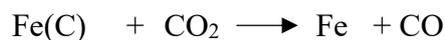
2.5 Dekarburisasi

Dekarburisasi (Decarburizing) adalah fenomena hilangnya karbon dari lapisan permukaan paduan yang mengandung karbon akibat reaksi dengan satu atau lebih zat kimia dalam media yang berkontak dengan permukaan (J. R. Davids, 1998).

Kedalaman dekarburisasi merupakan suatu fungsi dari temperatur pengerjaan panas, waktu, atmosfer tungku seperti gas yang mengandung udara atau air. Dekarburisasi melunakkan dan melemahkan lapisan permukaan sehingga dapat mengurangi ketahanan aus dan ketahanan lelah. Pengerasan permukaan lapisan permukaan dekarburisasi dapat menghasilkan tegangan sisa tarik (residual tensile stress) yang dapat mengurangi batas lelah material. Walaupun demikian sifat Lelah yang hilang akibat proses dekarburisasi dapat berubah melalui rekarburisasi.

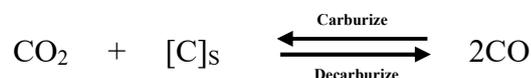
Kehadiran oksigen, uap air dan karbondioksida dalam atmosfer dapat menyebabkan dekarburisasi menurut reaksi di bawah ini:





Fe(C) menunjukkan karbon yang larut dalam austenit

Umumnya jika campuran mengandung CO₂ yang berlebih maka permukaan baja akan mengalami dekarburisasi bahkan bisa terbentuk oksidasi. Teroksidasi artinya akan terbentuk lapisan oksidasi besi di permukaan. Jika campuran mengandung CO berlebih maka baja akan mengalami karburisasi bahkan mungkin bisa saja di permukaan terbentuk *sementit* atau *grafit* seperti reaksi dibawah ini:



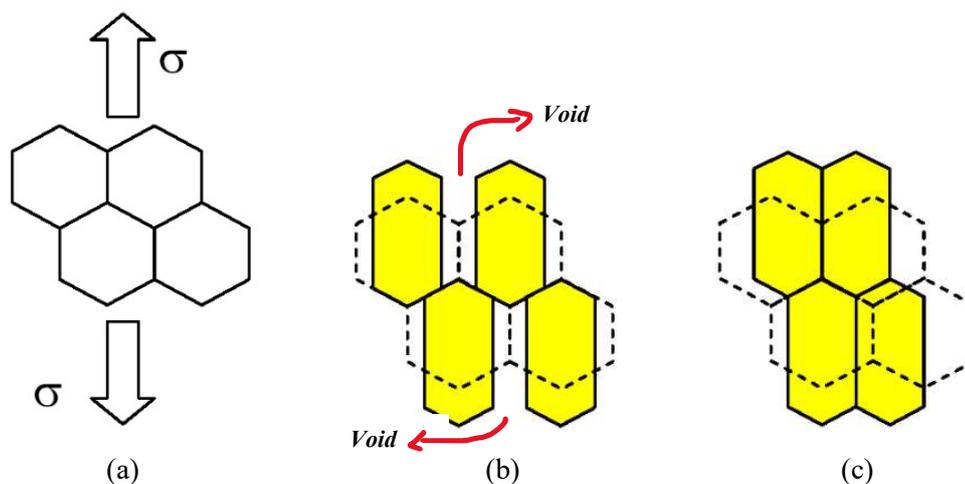
[C]_s menyatakan atom karbon larut dalam baja. Jika reaksi mengarah ke kanan maka akan berbentuk dekarburisasi sedangkan jika reaksi mengarah ke kiri maka akan berbentuk karburisasi. Reaksi diatas menunjukkan molekul CO terurai pada permukaan baja, melarutkan karbon dalam baja menghasilkan molekul CO₂ (R. Henny Mulyani, 2011). Dekarburisasi atau terlepasnya atom karbon dipermukaan baja ini sesuai dengan definisi proses difusi, yaitu atom akan bergerak ke lingkungan dengan konsentrasi atom yang lebih rendah (Soemowidagdo A. L. & Mujiyono, 2009).

/

2.6 Mekanisme Terjadinya Pergeseran Batas Butir

Pergeseran batas butir (*grain boundary sliding*) adalah proses pergeseran/pergerakan butir yang terjadi searah dengan batas butir, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pergeseran batas butir tersebut terjadi akibat meningkatnya suhu atau menurunnya laju regangan. Mekanisme *grain boundary sliding* terjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Pada Gambar ini, butir digambarkan sebagai bentuk segi enam dan tersusun seperti diperlihatkan pada Gambar 7a. Apabila butir logam tersebut mengalami tegangan tarik sebagai akibatnya pada masing-masing butir terjadi *vacancy diffusion* dan mengalami

perpanjangan ke arah tegangan tarik seperti ditunjukkan pada Gambar 7b (Hasa, M. H. Al, 1996).



Gambar 7. Skema *Grain Boundry Sliding*: (a) Bentuk dan susunan butir sebelum terjadi pergeseran dan perubahan dimensi, (b) Bentuk butir yang mengalami perubahan dimensi akibat pengaruh difusi kekosongan dan mengakibatkan timbulnya kekosongan (rongga), (c) Bentuk butir setelah terjadi pergeseran batas butir dan kekosongan menjadi hilang.

Perubahan dimensi dari butir-butir ini menyebabkan timbulnya kekosongan (void), seperti diperlihatkan pada Gambar 7b. Kemudian kekosongan tersebut akan hilang setelah terjadi *grain boundary sliding*, seperti ditunjukkan pada Gambar 7c. Dengan demikian, panjang susunan butir pada arah tegangan tarik yang diperlihatkan pada Gambar 7c menjadi lebih panjang dari susunan butir sebelumnya. Tegangan tarik yang berkerja pada sisi atas dan sisi bawah dari butir tersebut mengakibatkan jumlah *vacancy* pada sisi tersebut semakin banyak, sehingga jumlah *vacancy* pada sisi atas dan sisi bawah jauh lebih banyak bila dibandingkan dengan jumlah *vacancy* pada sisi kiri dan sisi kanan. Demikian pula sebaliknya akan terjadi aliran difusi atom dari sisi kiri dan sisi kanan ke arah sisi atas dan sisi bawah. Dengan demikian butir akan mengalami perubahan dimensi, yaitu memanjang ke arah tegangan tarik, seperti diperlihatkan pada Gambar 7c (Hasa, M. H. Al, 1996).

2.7 Karburasi (Carburizing)

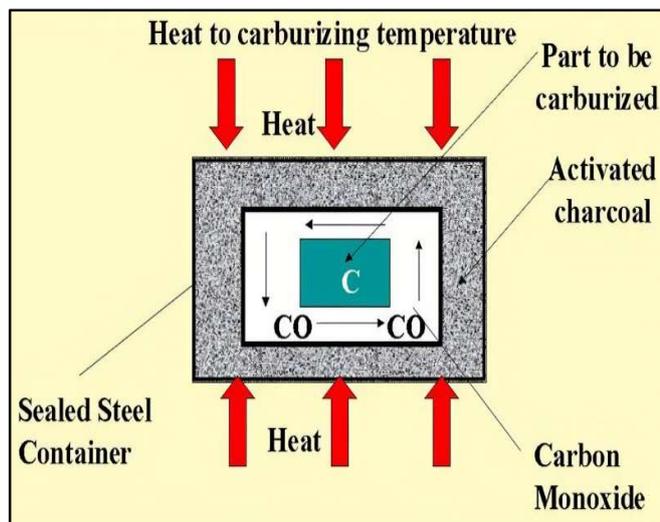
Salah satu proses perlakuan panas untuk penguatan permukaan material adalah karburasi, karburasi adalah proses penguatan lapisan permukaan baja dengan cara

mendifusikan karbon pada rentang temperatur A_{c3} (austenit) dimana baja berada dalam fasa austenit dengan sel satuan FCC (Face Centered Cubic) (Gerri Rinaldi, 2014). karburasi pada umumnya diterapkan pada jenis-jenis baja yang tidak mudah dikeraskan dengan cara pendinginan (Quenching) langsung karena dipengaruhi oleh kandungan karbon yang kecil yaitu di bawah 0.3%, seperti pada baja karbon rendah. Agar baja tersebut dapat ditingkatkan kekerasan pada permukaannya, maka perubahan komposisi baja dilakukan dengan cara mendifusikan karbon pada permukaannya. Difusi adalah proses pergerakan atom-atom mengubah posisi mereka relatif terhadap tetangganya pada suatu fase dibawah pengaruh energi panas dan gradien konsentras (Raghavan, 2006).

Proses carburizing pada prinsipnya dilakukan dengan cara memanaskan baja tersebut sampai temperatur austenit. Pada umumnya dilakukan pada temperatur sekitar 815 – 955 °C (1500 – 1750 °F) dengan media yang memiliki karbon potensial yang tinggi, sehingga terjadi difusi atom-atom karbon dari media ke dalam lapisan permukaan baja. Proses difusi ini akan menghasilkan gradien karbon dari permukaan ke inti, yang memungkinkan permukaan baja tersebut bisa dikeraskan dengan cara quenching (Gerri Rinaldi, 2014).

2.7.1 Pack Carburizing

Karburasi dapat dilakukan dalam lingkungan gas (gas carburizing), karburasi cair (liquid carburizing), dan campuran padat (pack carburizing). Dalam proses karburasi, karbon bebas berdifusi ke lapisan permukaan baja yang memiliki kandungan karbon yang rendah. Kandungan karbon di permukaan dapat mencapai kandungan karbon potensial dari medium. Walaupun demikian, kandungan karbon tidak dapat melewati batas kelarutan dalam fasa logam tersebut.



Gambar 8. Skema *Pack Carburizing*

Sumber: <http://4mechtech.blogspot.com/2013/11/case-hardening-process-carburising.html>

Pack Carburizing dilakukan dengan memanaskan logam di atas temperatur austenit dengan lama holding time sesuai yang diinginkan. Selama proses berlangsung, unsur *Carbon* sebagai unsur carburizer utama masuk kedalam pori-pori permukaan logam, sedang sebagai bahan katalis bisa ditambahkan bahan tambah kalsium hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ dan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terdapat dalam tulang sapi sebagai adsorben aktif atau sebagai pengganti barium karbonat (BaCO_3) dalam proses pengerasan logam ferro. Kalsium karbonat (CaCO_3) dalam proses pack carburizing akan berperan sebagai energizer atau katalis, dalam hal ini akan membantu peningkatan kekerasan permukaan logam ferro yang cukup signifikan. (Adityo Noor, 2019). Energizer yang dapat digunakan adalah BaCO_3 , BaCl , BaO , CaO , K_2CO_3 , Na_2CO_3 , K_2SO_4 , dan $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Pada temperatur tinggi, energizer berfungsi untuk mempercepat pembentukan gas CO (Gerri Rinaldi, 2014). Pada proses pack carburizing biasanya dilakukan pada temperatur 815 – 955 °C (1500 – 1750 °F), dimana baja berada dalam fasa austenit. Seiring dengan peningkatan temperatur, total kandungan karbon akan meningkat karena kelarutan karbon dalam austenit juga semakin meningkat. Lama waktu penahanan (holding time) bergantung pada kedalaman difusi karbon yang diinginkan. Tujuan dari holding time yaitu untuk mendifusikan karbon secara homogen pada permukaan baja.

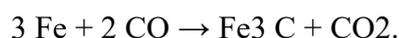
2.8 *Energizer* (Katalis)

Penggunaan katalis sangat berpengaruh pada proses karburisasi. Pada suhu yang tinggi katalis berfungsi membentuk atau mempercepat pembentukan gas CO. Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai katalisator pada proses carburizing sehingga dapat mempercepat pembentukan gas CO, yaitu BaCO₃, K₂CO₃, dan Na₂CO₃ yang berfungsi sebagai pengubah bentuk karbon sehingga menjadi gas CO₂ secara keseluruhan. Adapun proses reaksi katalis-katalisnya dapat ditunjukkan sebagai berikut:

1. Barium Karbonat (BaCO₃)



Gas CO yang terjadi kemudian larut ke dalam fasa austenit atau bereaksi dengan Fe sebagai berikut:

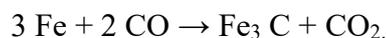


Gas CO yang terbentuk dari reaksi di atas kemudian bereaksi dengan BaO dan membentuk BaCO₃, sehingga BaCO₃ senantiasa ada dalam proses sehingga reaksi-reaksi dapat berjalan terus.

2. Kalium karbonat (K₂ CO₃)

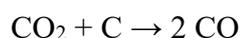


Gas CO yang terjadi kemudian larut ke dalam fasa *austenit* atau bereaksi dengan Fe sebagai berikut:



Gas CO yang terbentuk dari reaksi diatas kemudian bereaksi dengan K₂O dan membentuk K₂CO₃, sehingga K₂CO₃ senantiasa ada dalam proses sehingga reaksi-reaksi dapat berjalan terus.

3. Natrium karbonat (Na₂CO₃)



Gas CO yang terjadi kemudian larut ke dalam fasa austenit atau bereaksi dengan Na₂O dan membentuk Na₂CO₃.

Komposisi arang batok kelapa dengan katalis yang digunakan adalah 90 % arang batok kelapa 10 % katalis.

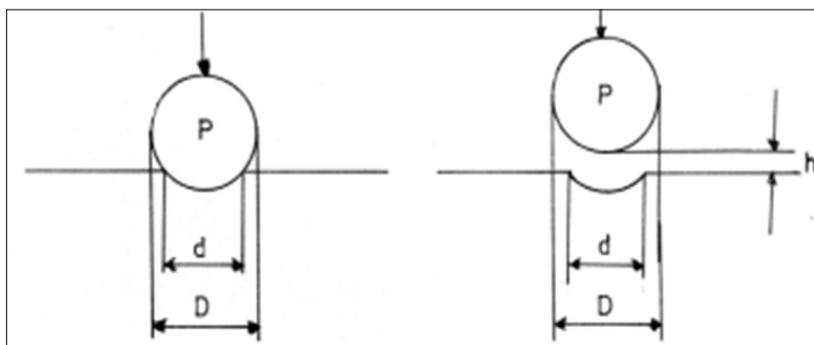
2.9 Pengujian Sifat Mekanik

2.9.1 Pengujian Kekerasan atau Hardness Test

Pengujian kekerasan adalah jenis pengujian mekanik yang penting untuk logam ferrous dan *non-ferrous*. Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui ketahanan dari deformasi plastis, bila diberikan beban/gaya dari luar. Prinsip pengujian kekerasan terhadap spesimen uji yang permukaannya telah dipreparasi dilakukan penekanan dengan indentor. Beban yang digunakan untuk setiap jenis logam adalah berbeda, tergantung terhadap metode pengujian dan pengukuran yang digunakan. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam yaitu, Metode Brinell, Metode Vickers dan Metode Rockwel.

1. Metode *Brinell*

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan indentor yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar 9 Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini:



Gambar 9. Geometri Indentor Brinell

$$H = \frac{2P}{[\pi D(-\sqrt{D^2 - d^2})]} = \frac{P}{D \cdot h} \quad (1)$$

Dimana,

P = Beban bola penekanan yang diberikan (Kgf),

D = Diameter bola penekanan (mm),

D = Diameter jejak (mm).

Pemilihan diameter bola dan besar beban tergantung pada jenis logam serta ketebalannya. Perubahan indentor akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan HB yang sama.

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2} \quad (2)$$

Jika D terlalu besar dan P terlalu kecil, maka bekas lekukan akan terlalu kecil sehingga sukar diukur dan akan memberi informasi yang keliru. Jika D terlalu kecil dan P terlalu besar dapat berakibat amblasnya bola, sehingga memberikan harga kekerasan yang keliru. Beberapa parameter penting yang mempengaruhi harga kekerasan Brinell:

- 1) Kekerasan permukaan.
- 2) Posisi spesimen saat pengujian.
- 3) Kebersihan permukaan spesimen

2. Metode *Vickers*

Pengujian dengan metode ini prosesnya sama dengan metode Brinell yang berbeda hanya pada bentuk indentor yaitu berbentuk piramida bujur sangkar dengan sudut puncak 136 terbuat dari intan, seperti terlihat pada Gambar 10 Harga kekerasan Vickers diperoleh dengan rumus:

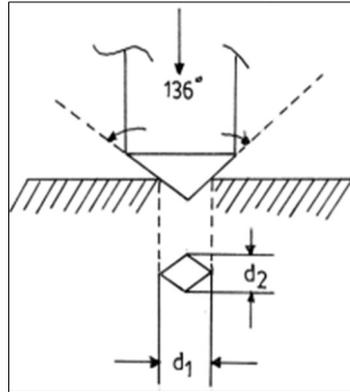
$$H_v = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854 \cdot P}{L^2} \quad (3)$$

dimana,

P = Beban yang diberikan (kg),

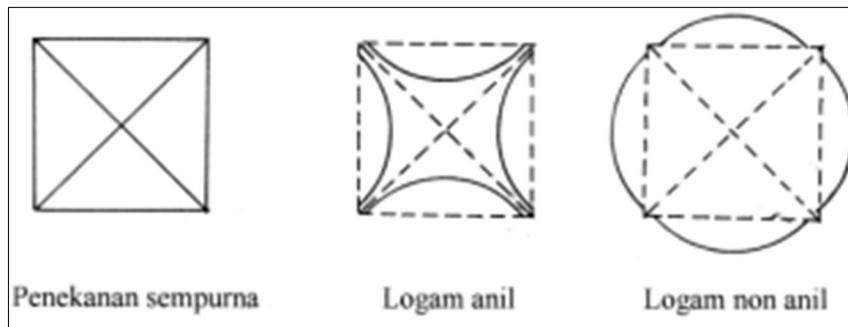
L = Diagonal rata-rata (mm) = (d1+d2)/2, θ = Sudut puncak 136.

Uji kekerasan Vickers mempunyai kelebihan dalam jangkauan pemeriksaan yang luas dengan pemakaiannya beban tunggal (HV5- HV1500). Beban yang dipakai biasanya antara 1 (satu) - 120 kg.



Gambar 10. Geometri Indentor Vickers

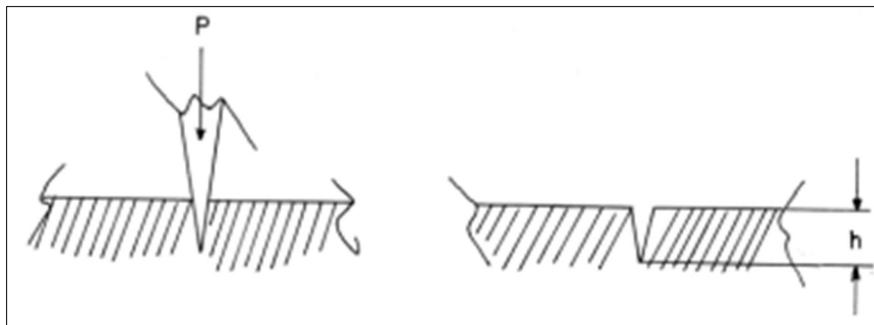
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 11.



Gambar 11. Jejak Hasil Penekanan Indentor

3. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan indentor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 12. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.

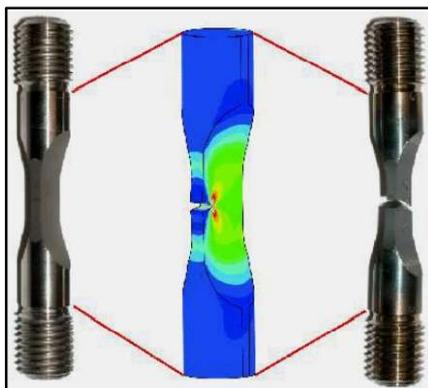


Gambar 12. Indentor *Rockwell*

- 1) Metode *Rockwell C* (HRC), menggunakan indentor kerucut intan sudut 120 dengan diameter ujung 0,2 mm. Beban yang dipakai 150 kg dengan pre-load 10 kg. Pengujian untuk steel dan hardened steel dengan $h > (0,6-0,7)$ mm.

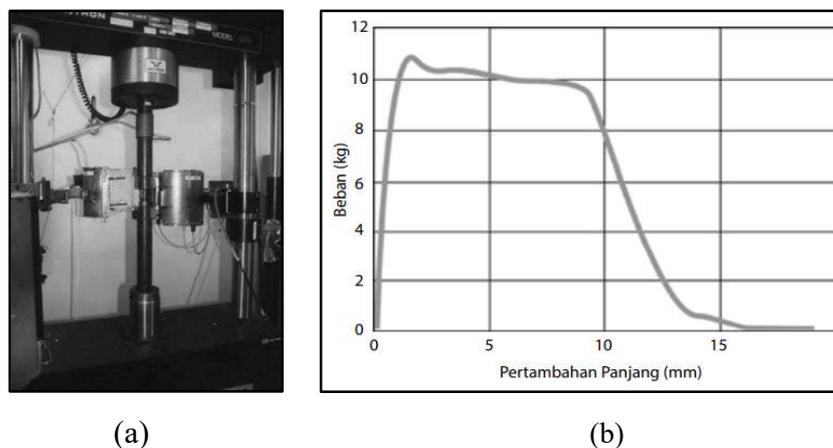
- 2) Metode *Rockwell A* (HRA), Menggunakan indentor sama dengan *Rockwell C* dan beban yang sama pula 150 kg. pengujian untuk material $h < (0,4-6)$ mm.
- 3) Metode *Rockwell B* (HRB), Menggunakan indentor baja bentuk bola dengan diameter 1116” dan beban 100 kg dipakai untuk material *unhardened steel* dan *non-ferrous*.

2.9.2 Pengujian Tarik



Gambar 13. Ilustrasi Pengujian Tarik (Nurdin, H. 2019)

Cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material adalah dengan melakukan pengujian tarik, menggunakan bentuk spesimen seperti tulang (lihat Gambar 13) dengan ukuran sesuai standar (ASTM, JIS, BS, dan lain-lain). Spesimen kemudian dipasang dalam mesin uji tarik (lihat Gambar 14.a dan diberi beban statik yang meningkat secara perlahan sampai spesimen akhirnya patah. Selama pembebanan, mesin merekam pertambahan beban dan perpanjangan spesimen dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 14.b (Sofian, B.T. 2021).



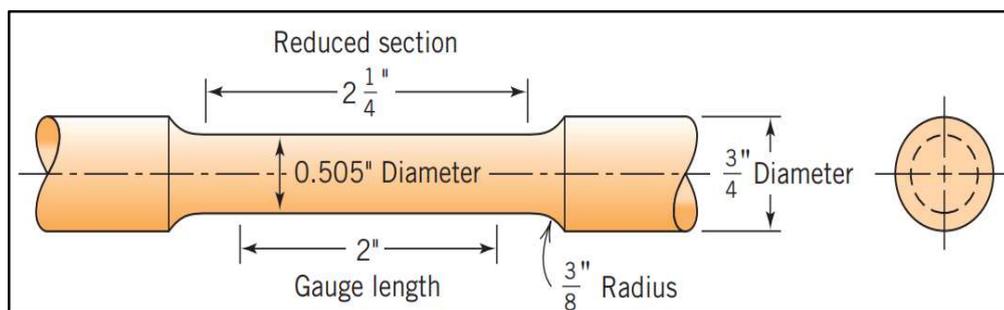
Gambar 14. (a) Mesin uji tarik, (b) plot pertambahan beban vs pertambahan panjang yang direkam oleh mesin uji tarik (Sofian, B.T. 2021)

Uji tarik banyak digunakan untuk mengukur kekakuan, kekuatan dan keuletan suatu bahan.

Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

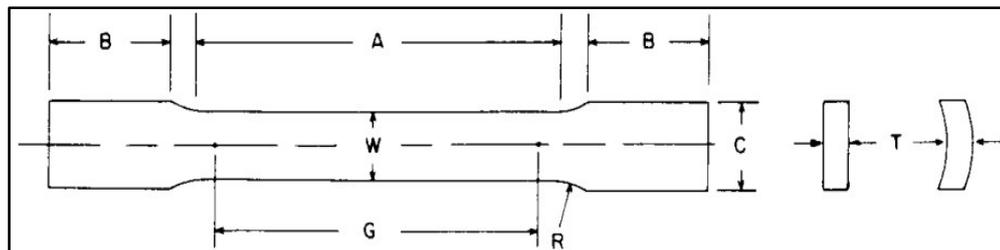
Gambar 15. Spesifikasi dari pesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar berdasarkan Standar ASTM E8 (ASTM E8)



Gambar 16. Spesimen Uji Tarik Bentuk Round Bar berdasarkan ASTM E8 (ASTM E8)

	Dimensions						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	40.0 ± 2.0 [1.5 ± 0.125-0.25]	40.0 ± 0.2 [1.5 ± 0.125-0.25]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	12.5 [0.5]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]
A—Length of reduced section, min	60 [2.25]	60 [2.25]	230 [9]	60 [2.25]	120 [4.5]	60 [2.25]	120 [4.5]
B—Length of grip section, min (Note 2)	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	20 [0.75]	50 [2]	50 [2]	25 [1]	25 [1]	40 [1.5]	40 [1.5]

Gambar 17. Spesifikasi dari pesimen Uji Tarik Bentuk Tubular berdasarkan Standar ASTM E8 (ASTM E8)



Gambar 18. Spesimen Uji Tarik Bentuk Tubular berdasarkan ASTM E8 (ASTM E8)

2.10 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro digunakan untuk mengetahui keadaan atau kondisi suatu logam ditinjau dari strukturnya dengan menggunakan mikroskop. Serta dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk mengetahui kerusakan suatu komponen. Berdasarkan hasil metalografi yang dilakukan dapat diketahui bahwa tidak ditemukan adanya cacat pada permukaan, sehingga material masih layak digunakan (Pancatatva, 2016).

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukkan dengan besar,

bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau metalografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

1. Sectioning (Pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya.

2. Grinding (Pengamplasan kasar)

Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. Grinding dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

3. Polishing (Pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Hasil yang baik dapat diperoleh dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

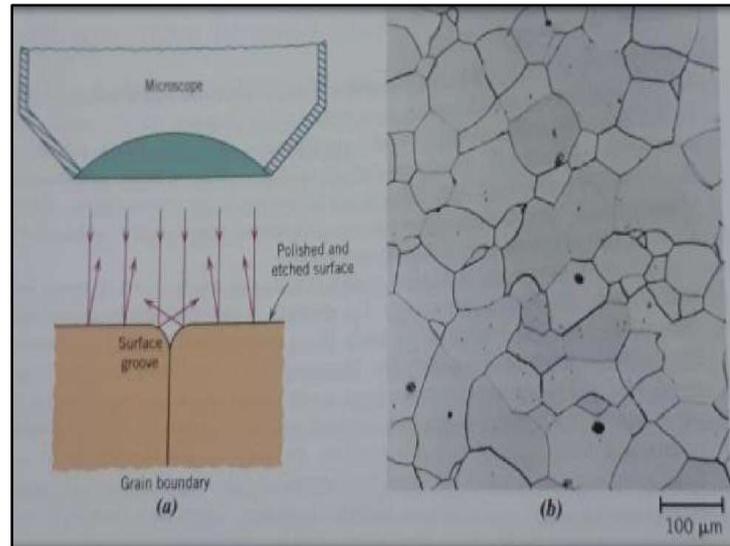
- a. Pemolesan, sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan.
- b. Penekanan, Pengamplasan pada mesin amplas jangan terlalu ditekan, apabila terlalu ditekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan-goresan yang tidak teratur.

4. Etching (Pengetsaan)

Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut dietsa. Dalam pengetsaan jangan terlalu kuat karena akan terjadi kegosongan pada benda uji.

5. Pemotretan

Pemotretan digunakan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro dari spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop. Pada Gambar 19.b terlihat contoh A melalui mikroskop.



Gambar 19. (a) penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen.

Sumber: Wiliam D. Callister, JR. (2012)