

SKRIPSI

**PENGARUH SUHU AUSTENISASI DAN MEDIA PENDINGIN
PADA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA
KARBON TINGGI (JIS G 3506)**

Disusun dan diajukan oleh:

MIFTAHUL TABRINA

D021191075



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH SUHU AUSTENISASI DAN MEDIA PENDINGIN
PADA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA
KARBON TINGGI (JIS G 3506)**

Disusun dan diajukan oleh

Miftahul Tabrina

D021 19 1075

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 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

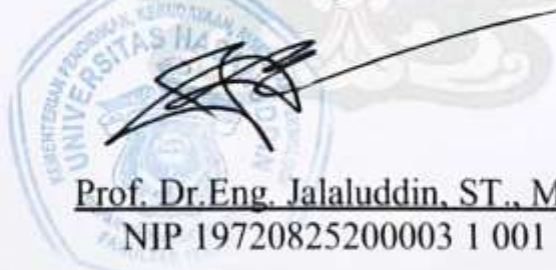


Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., M.T.
NIP 19740415 199903 1 001



Dr. Hairul Arsyad, ST., M.T.
NIP 19750322 200212 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP 19720825200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Miftahul Tabrina
NIM : D021 19 1075
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengaruh Suhu Austenisasi Dan Media Pendingin Pada Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis laintelah di beri 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 atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap di klarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari doen pembimbing.

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

Gowa, 5 November 2023

Yang menyatakan



Miftahul Tabrina

ABSTRAK

MIFTAHUL TABRINA. *Pengaruh Suhu Austenisasi Dan Media Pendingin Pada Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)* (dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma.,ST.,MT dan Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT)

perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat, membuat industri memegang peranan penting di dalamnya. Hal ini terbukti dengan banyaknya penggunaan baja pada berbagai komponen-komponen mesin, bahan kerja dan konstruksi bangunan. Penelitian ini dilakukan pada baja karbon tinggi (JIS G 3506) berupa batang kawat baja berdiameter 13 mm dengan panjang setiap sampel 15 - 20 mm. Tujuan penelitian adalah menganalisa temperatur austenisasi JIS G 3506 dan media pendingin terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro baja karbon tinggi. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur austenisasi 700°C, 730°C, 760°C dan 800°C. Variasi media pendingin yang digunakan adalah air, oli SAE 10 dan udara. Hasil pengujian kekerasan pada suhu 700°C dan 730°C mengalami penurunan dari kekerasan awal spesimen dan pada suhu 760°C dan 800°C memiliki nilai kekerasan yang tinggi pengaruh dari suhu austenisasi dan media pendingin air dan oli, sedangkan pada media udara mengalami penurunan kekerasan akibat rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Hasil pengamatan struktur mikro *raw material* menunjukkan fasa perlit dan sementit, pada suhu 700°C dan 730°C tidak terjadinya perubahan dikarenakan pemanasan pada baja karbon dengan kandungan karbon 0,9% memiliki temperatur kritis di suhu 750°C, sedangkan pada suhu 760°C dan 800°C merupakan pemanasan di atas suhu kritis sehingga terlihat perubahan yang signifikan dimana yang terbentuk tergantung pada media pendingin yang digunakan. Hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM) pada suhu 700°C dan 730°C media pendingin oli struktur yang terbentuk yaitu bintik bintik sferoid akibat terjadinya sferoidisasi, pada suhu 800°C media pendingin oli fasa yang terbentuk yaitu bainit dan perlit.

Kata kunci: temperatur austenisasi, media pendingin, sifat mekanik, struktur mikro

ABSTRACT

MIFTAHUL TABRINA. *The Influence of Austenitizing Temperature and Cooling Medium on the Hardness Properties and Microstructure of High Carbon Steel (JIS G 3506) (supervised by Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma., ST., MT and Dr. Hairul Arsyad, ST., MT)*

The rapid development of science and technology has made the industry play a crucial role within it. This is evidenced by the widespread use of steel in various machine components, work materials, and building constructions. This research was conducted on high carbon steel (JIS G 3506) in the form of a 13 mm diameter steel wire rod with a length of each sample ranging from 15 to 20 mm. The aim of the research is to analyze the austenitizing temperature of JIS G 3506 and the cooling medium's effect on the hardness properties and microstructure of high carbon steel. This study employed variations of austenitizing temperatures at 700°C, 730°C, 760°C, and 800°C. The cooling medium variations used were water, SAE 10 oil, and air. The hardness test results at 700°C and 730°C showed a decrease from the initial hardness of the specimens, while at 760°C and 800°C, high hardness values were observed, influenced by the austenitizing temperature and the cooling media of water and oil. On the other hand, the air medium resulted in decreased hardness due to recrystallization and grain growth. The observation results of the microstructure of the raw material showed the presence of pearlite and cementite phases. At temperatures of 700°C and 730°C, no changes occurred due to the heating of the carbon steel with a carbon content of 0.9%, which has a critical temperature at 750°C. Meanwhile, at temperatures of 760°C and 800°C, heating occurred above the critical temperature, resulting in significant changes, with the formation depending on the cooling medium used. Scanning electron microscope (SEM) testing at 700°C and 730°C with oil as the cooling medium resulted in the formation of spheroid spots due to spheroidization, while at 800°C with oil as the cooling medium, the formed phases were bainite and pearlite.

Keywords: austenitizing temperature, cooling medium, mechanical properties, microstructure.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Baja... ..	4
2.2 Sifat Sifat Logam	6
2.3 Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)	8
2.4 Diagram Fe-C.....	9
2.5 Diagram TTT/CCT.....	13
2.6 Perlakuan Panas	17
2.7 Sferoidisasi	20
2.9 Uji Kekerasan.....	23
2.10 Uji Metalografi.....	26
2.11 Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	26
2.12 Pengaplikasian Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Waktu dan Tempat.....	32
3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.4 Prosedur Penelitian.....	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Kekerasan.....	41
4.2 Struktur Mikro.....	46
4.3 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	54
4.4 Komposisi Kimia	58
BAB V PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram Fe-c.....	10
Gambar 2 <i>Ferrite</i>	11
Gambar 3 <i>Perlite</i>	11
Gambar 4 <i>Austenite</i>	12
Gambar 5 Sementit dan Perlit	12
Gambar 6 <i>Bainite</i>	13
Gambar 7 <i>Martensite</i>	13
Gambar 8 Diagram TTT	14
Gambar 9 Diagram CCT.....	15
Gambar 10 Diagram Fe-C (perlakuan panas annealing).....	20
Gambar 11 Mekanisme pendinginan quenching.....	22
Gambar 12 Geometri Indentor Brinell	24
Gambar 13 Geometri Indentor Vickers.....	25
Gambar 14 Proses <i>hot coiling</i>	28
Gambar 15 <i>Hardening</i>	28
Gambar 16 Jembatan beton pratekan.....	29
Gambar 17 Tiang pancang beton pratekan.....	30
Gambar 18 Bangunan gedung bertingkat.....	31
Gambar 19 <i>Furnace</i> (Max 1200°C).....	32
Gambar 20 Sarung tangan.....	33
Gambar 21 Termokopel	33
Gambar 22 Penjepit spesimen.....	33
Gambar 23 <i>Micro Vickers</i>	34
Gambar 24 3D laser microscope.....	34
Gambar 25 Alat pengujian scanning electron microscope (SEM).....	35
Gambar 26 Stopwatch.....	35
Gambar 27 Baja karbon tinggi (JIS G 3506)	36
Gambar 28 Kertas amplas	36
Gambar 29 Flow Chart Penelitian.....	38
Gambar 30 Penggunaan termokopel di dalam tungku	39
Gambar 31 Nilai kekerasan rata rata setiap perlakuan spesimen.....	42
Gambar 32 Struktur mikro sampel tanpa perlakuan (normal)	47

Gambar 33 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 700°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air; (b) pendingin oli; (c) pendingin udara.....	48
Gambar 34 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 730°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air; (b) pendingin oli; (c) pendingin udara.....	49
Gambar 35 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 760°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air, (b) pendingin oli, (c) pendingin udara.....	50
Gambar 36 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 800°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air, (b) pendingin oli, (c) pendingin udara.....	51
Gambar 37 Struktur mikro baja sebelum dan sesudah di heat treatment	53
Gambar 38 Hasil pengujian SEM baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan media pendingin oli pada suhu (a) suhu 700°C (b) suhu 730°C	55
Gambar 39 Struktur mikro baja hipoeutektoid yang dianil dengan perlakuan spheroidisasi pada suhu 700 °C; a) t=0, b) t=2h, dan c) t= 10h.....	56
Gambar 40 Hasil pengujian SEM baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan media pendingin oli pada suhu 800°C	56
Gambar 41 Diagram TTT	57
Gambar 42 Diagram Fe-C (karbon 0,917%).....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komposisi kimia baja karbon tinggi (JIS G 3506).....	8
Tabel 2 Hasil Pengambilan Data Kekerasan Spesimen Baja Karbon Tinggi JIS G 3506 .	42
Tabel 3 Komposisi kimia <i>specification sheet</i> baja karbon tinggi JIS G 3506.....	58
Tabel 4 Hasil uji komposisi kimia baja karbon tinggi JIS G 3506.....	58

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
Fe	Besi
C	Karbon
S	Sulfur
P	Fosfor
Si	Silicon
Mn	Mangan
Cr	Kromium
Ni	Nikel
%	Presentase naik turun
δ	Besi delta
γ	Austenit
α	Ferit
Fs	Ferit start
Ps	Perlit start
Pf	Perlit finish
Bs	Bainit start
Bf	Bainit finish
Ms	Martensit start
Mf	Martensit finish
$^{\circ}\text{C}$	Temperatur
HVN	<i>Vickers hardness number</i>
BHN	<i>Brinell hardness number</i>
F	Gaya
Db	Diameter bola indentor
Di	Diameter indentasi permukaan
D	Panjang diagonal rata-rata
θ	Sudut
W	Watt

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar A.1 Struktur mikro sampel tanpa perlakuan (normal)

Gambar A.2 Struktur mikro pemanasan suhu 700°C media pendingin air

Gambar A.3 Struktur mikro pemanasan suhu 700°C media pendingin oli

Gambar A.4 Struktur mikro pemanasan suhu 700°C media pendingin udara

Gambar A.5 Struktur mikro pemanasan suhu 730°C media pendingin air

Gambar A.6 Struktur mikro pemanasan suhu 730°C media pendingin oli

Gambar A.7 Struktur mikro pemanasan suhu 730°C media pendingin udara

Gambar A.8 Struktur mikro pemanasan suhu 760°C media pendingin air

Gambar A.9 Struktur mikro pemanasan suhu 760°C media pendingin oli

Gambar A.10 Struktur mikro pemanasan suhu 760°C media pendingin udara

Gambar A.11 Struktur mikro pemanasan suhu 800°C media pendingin air

Gambar A.12 Struktur mikro pemanasan suhu 800°C media pendingin oli

Gambar A.13 Struktur mikro pemanasan suhu 800°C media pendingin udara

Gambar A.14 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 700°C media pendingin oli (1000x)

Gambar A.15 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 700°C media pendingin oli (3000x)

Gambar A.16 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 700°C media pendingin oli (5000x)

Gambar A.17 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 730°C media pendingin oli (1000x)

Gambar A.18 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 730°C media pendingin oli (3000x)

Gambar A.19 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 730°C media pendingin oli (5000x)

Gambar A.20 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 800°C media pendingin oli (1000x)

Gambar A.21 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 800°C media pendingin oli (3000x)

Gambar A.22 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 800°C media pendingin oli (5000x)

Gambar B.1 Proses *Heat treatment* baja karbon tinggi (JIS G 3506)

Gambar B.2 Proses etsa permukaan material sebelum proses metalografi

Gambar B.3 Proses pengujian kekerasan baja karbon tinggi (JIS G 3506)

Gambar B.4 Proses pengujian metalografi

Gambar B.5 Proses pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur peneliti panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan segala limpah rahmatnya sehingga peneliti dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik yang dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh suhu austenisasi dan media pendingin pada sifat kekerasan dan struktur mikro baja karbon tinggi (JIS G 3506). Sebagai bentuk syarat dalam menyelesaikan studi pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada penulisan skripsi ini, peneliti tentu tak lepas dari arahan dan bimbingan dari berbagai pihak dan tidak lepas dari hambatan. Sebagai bentuk pelajaran dan pengalaman selama melaksanakan penelitian ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Kirman Muhammad Talib dan Ibu Marliani dan juga kepada saudara saya Nafia Rahmah, Sakinatul Wafiyah, Atika Shidqiyah dan Fakhira Raihana yang telah membantu, memberi nasehat, motivasi dan semangat untuk peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma.,ST.,MT selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada peneliti sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT selaku dosen pembimbing kedua saya yang telah membantu dan memberi arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
4. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik
5. Bapak Rudi, ST., MT Selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik.

6. Bapak Edi Iskandar ST. selaku laboran lab metalurgi fisik yang senantiasa membantu dan memberi arahan penulis dalam menjalankan penelitiannya.
7. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT, Selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Bapak dan ibu dosen serta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Seluruh teman-teman asisten Laboratorium Metalurgi Fisik dan mahasiswa S2 yang senantiasa membantu dan memberikan support selama proses penelitian ini berlangsung.
10. Sahabat BRUZHLEZZ19, sebagai teman seperjuangan mulai dari mahasiswa baru sampai sekarang.

Demikian penulis ucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberiikan manfaat kepada pembaca maupun bagi peneliti.

Makassar,09 November 2023

Peneliti

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat, membuat industri memegang peranan penting di dalamnya. Dengan adanya industri-industri baru, akan memungkinkan terciptanya produk-produk baru yang lebih inovatif, sehingga dapat mendorong munculnya penemuan baru baik di bidang ilmu pengetahuan maupun teknologi. Industri-industri yang telah ada tidak akan lepas dari pemanfaatan logam terutama baja. Hal ini terbukti dengan banyaknya penggunaan baja pada berbagai komponen-komponen mesin, bahan kerja, konstruksi bangunan, baik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang profil dan sebagainya. Baja merupakan campuran antara besi (Fe) dan karbon (C) sekitar 0,1% sampai 1,7%. Selain itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn) dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase yang kecil (Amanto, 1999).

Baja dengan karbon tinggi mempunyai kekuatan dan kekerasan yang lebih baik setelah perlakuan panas karena menunjukkan kombinasi optimal dari sifat elastis, kekerasan tinggi, dan daktilitas rendah. Perlakuan panas yang sering diterapkan adalah proses pengerasan (*quench hardening*) dan penemperan (*tempering*). Proses ini mengubah struktur mikro dengan cara memanaskan material di atas temperatur kritis hingga mencapai fasa austenit penuh lalu mengatur laju pendinginannya. Mengetahui temperatur austenit pada perlakuan panas untuk setiap baja karbon sangat berpengaruh terhadap perubahan sifatnya, karena saat baja dipanaskan sampai temperatur austenit kemudian didinginkan secara mendadak (*quenching*) maka akan terjadi pembentukan fasa martensit. Martensit inilah yang akan menentukan seberapa besar peningkatan sifat mekanis hasil perlakuan panas (Nugroho, Eko, 2019).

Dengan karbon yang dimiliki baja karbon tinggi (JIS G 3506) menjadikan baja ini memiliki sifat-sifat pengerjaan dan kekuatan yang sangat baik. Apabila baja ini diberi perlakuan yang tepat maka akan didapatkan kekerasan dan keuletan sesuai yang diinginkan (Zulfikar, 2017). Baja karbon tinggi (JIS G 3506) adalah

baja yang memiliki persentase karbon (C) sebesar 0,81% - 0,82%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam proses manufaktur akan menerima atau mengalami panas (Yanti, Asmeati, 2014). Contohnya pembuatan *coil suspension*, dimana material yang berbentuk *bars/rods* akan melalui proses *heating*, lalu masuk ke mesin penggulung dan kemudian *quenching*, pada proses ini dapat terjadi penurunan temperatur sehingga perlu dipastikan material masih berada di suhu austenit penuh pada saat *quenching*. Temperatur austenit baja ditentukan berdasarkan kadar karbon yang dikandungnya, dimana hubungan antara temperatur dan kandungan karbon ada pada diagram fasa Fe-C.

Penelitian ini membahas pengaruh variasi suhu austenisasi dan media pendingin pada sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon tinggi. Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud melakukan penelitian dengan judul penelitian: **“PENGARUH SUHU AUSTENISASI DAN MEDIA PENDINGIN PADA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON TINGGI (JIS G 3506)”**

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Bagaimana hubungan antara temperatur austenisasi dan media pendingin terhadap sifat kekerasan baja karbon tinggi jenis (JIS G 3506).
- b. Bagaimana hubungan antara temperatur austenisasi dan media pendingin terhadap struktur mikro baja karbon tinggi jenis (JIS G 3506).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai peneliti adalah:

- a. Menganalisa temperatur austenisasi JIS G 3506 dan media pendingin terhadap sifat kekerasan baja karbon tinggi.
- b. Menganalisa temperatur austenisasi JIS G 3506 dan media pendingin terhadap struktur mikro baja karbon tinggi

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi teman-teman mahasiswa sebagai literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya, dan masyarakat industri umumnya menjadi pertimbangan dalam desain proses manufaktur baja.

1.5 Batasan Penelitian

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

- a. Material yang digunakan adalah baja karbon tinggi (JIS G 3506) berupa batang kawat baja (*steel wire rod*) berdiameter 13 mm dengan panjang setiap sampel 15 - 20 mm.
- b. Pengujian material meliputi uji kekerasan, struktur mikro dan *scanning electron microscope* (SEM).
- c. Variasi temperatur austenisasi yang digunakan adalah 700°C, 730°C, 760°C dan 800°C
- d. Variasi media pendingin yang digunakan adalah air, oli SAE 10 dan udara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja didefinisikan suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Disamping itu baja mengandung unsur campuran lainnya seperti sulfur (S) 0,05%, fosfor (P) 0,5%, silikon (Si) 0,1-0,3%, mangan (Mn) 1% dan kandungan karbon sekitar 0,1 - 1,7% sedangkan unsur lainnya dibatasi khusus (Amanto,1999). Pembuatan baja dapat dilakukan dengan konvertor, dapur siemens martin dan dapur listrik. Baja dapat juga dilakukan perlakuan, baik perlakuan panas maupun dingin.

Dalam bidang material, terdapat beberapa cara atau perlakuan untuk meningkatkan nilai kekerasan baja, salah satunya yaitu perlakuan panas (*heat treatment*). Baja karbon yang dipanaskan hingga mencapai suhu austenit kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk fasa martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dan fasa perlit maupun ferit, proses ini biasa dikenal dengan *quenching*. Struktur mikro baja akan terbentuk bergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah (Waluyo, Joko. 2009)

Menurut kandungan karbonnya (C), baja karbon dapat dibedakan menjadi tiga macam antara lain :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan bukan baja yang keras karena kadar karbonnya tidak cukup untuk membentuk fasa martensit. Baja karbon rendah yaitu kurang dari 0,3%, sering disebut juga baja ringan (*mild steel*). Baja ini dapat dijadikan mur, baut, ulir skrup dan lain-lain. Baja karbon rendah mempunyai sifat tidak terlalu keras, kuat, ulet, mudah dibentuk dan ditempa (Amanto,1999).

1.a. Sifat-sifat baja karbon rendah :

- a) Mudah ditempa.
- b) Mudah dikerjakan mesin.

c) Mudah dibentuk.

2.a. Penggunaan baja karbon rendah :

a) Sebagai plat pada kendaraan.

b) Profil, batangan untuk keperluan tempa.

c) Bahan konstruksi bangunan.

d) 0,05% - 0,20% C : badan mobil, bangunan, pipa, rantai, sekrup, paku.

e) 0,20% - 0,30% C : roda gigi, poros, baut, tempa, jembatan, bangunan.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kandungan karbon 0,3%-0,6%, cukup keras dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja ini memungkinkan untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon digunakan untuk roda gigi, poros engkol, ragum dan sebagainya (Amanto,1999).

1.a. Sifat-sifat baja karbon sedang :

a) Tahan panas.

b) Tahan aus dan gesekan yang tinggi.

c) Tahan terhadap momen punter.

d) Kekuatan tarik dan batas renggang tinggi.

e) Kuat dan keras.

2.a. Penggunaan baja karbon sedang

a) 0,30% - 0,40% C : batang penghubung, pin engkol, as roda.

b) 0,40% - 0,50% C : as mobil, poros engkol, rel, ketel, mata bor, obeng.

c) 0,50% - 0,60% C : palu dan kereta luncur.

d) Sebagai alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum, pegas dan pembuatan martil serta landasan tempa.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon 0,6% - 1,5%, baja ini sangat keras namun keuletannya rendah, biasanya digunakan pada alat potong seperti gergaji, pahat, kikir dan lain sebagainya. Karena baja karbon tinggi sangat keras, maka jika digunakan untuk produksi harus dikerjakan pada keadaan panas (Amanto,1999).

- 1.a. Sifat-sifat baja karbon tinggi :
 - a) Sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.
 - b) Tahan terhadap panas yang tinggi.
 - c) Kekerasannya tinggi.
 - d) Tahan terhadap gesekan.
 - e) Tidak dapat dikerjakan mesin.
- 2.a. Penggunaan baja karbon tinggi.
 - a) Untuk pembuatan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi
 - b) Pembuatan gergaji, bor, kikir, pahat.
 - c) Pembuatan reamer dan matres.
 - d) Pembuatan poros mesin dan roda gigi.

2.2 Sifat Sifat Logam

Setiap jenis dan tipe logam mempunyai daya tahan terhadap berbagai perlakuan, mulai dari pembebanan, perlakuan panas, interaksi dengan cairan, menerima gaya dari luar dan lain sebagainya. Perlakuan tersebut akan sangat mempengaruhi sifat-sifat dari logam tersebut dan sifat-sifat tersebut antara lain sebagai berikut:

2.2.1 Sifat mekanis

Sifat mekanis adalah kemampuan bahan untuk menerima pembebanan atau untuk menahan beban yang diterimanya baik beban statis maupun beban dinamis. Sifat mekanis terdiri dari aspek- aspek berikut:

a. Kekuatan

Kekuatan ditentukan berdasarkan pembebanan, untuk mendeteksi kekuatan material khususnya baja diperlukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik untuk menentukan kualitas bahan adalah: pengujian tarik, pengujian bending, pengujian impact, pengujian densitas, dll (Surdia T .1987)

b. Kelelahan

Kelelahan merupakan kemampuan maksimal suatu bahan ketika menerima beban yang berganti-ganti secara terus-menerus dalam jangka waktu tertentu. Patahan lelah disebabkan oleh tegangan yang berulang

dan dijumpai pada tegangan kurang dari $1/3$ kekuatan tarik statik pada bahan struktur tanpa konsentrasi tegangan. Semua patahan disebabkan kelelahan melalui tahapan proses: terjadi retakan lelah lalu perambatan retakan lelah sehingga terjadi patahan statik terhadap luas penampang sisa (Surdia T .1987)

c. Keausan

Keausan adalah friksi atau gesekan yang diakibatkan pergerakan relatif dengan tekanan pada bidang kontak. Setelah terjadi gesekan berlanjut menjadi abrasi yang akan merusak ketelitian komponen dan berkembang menjadi lebih parah sampai komponen mesin kehilangan fungsinya (Surdia T .1987)

d. Mulur

Mulur terjadi apabila diberikan suatu tegangan melampaui batas elastis, maka perpanjangan permanen terjadi pada batang uji tersebut. Perpanjangan tersebut dinamakan deformasi plastis dan tegangan terendah dimana deformasi plastis terjadi disebut mulur (Surdia T .1987)

e. Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Pada umumnya kekerasan adalah ketahanan terhadap deformasi plastis dan permanen. Pada proses *heat treatment* yang mempengaruhi tingkat kekerasan baja adalah kecepatan pendinginannya karena makin cepat laju pendinginan maka kekerasan semakin tinggi (Djapri.1986)

2.2.2 Sifat fisis

Sifat fisis adalah sifat karena mengalami peristiwa fisika, seperti adanya pengaruh panas dan listrik. Sifat karena pengaruh panas antara lain mencair, perubahan ukuran dan struktur mikro karena proses pemanasan, untuk melihat perubahan struktur mikro melalui proses uji struktur mikro dengan alat foto mikroskop. Sifat listrik yang sering ditemui adalah tahanan dari suatu bahan aliran listrik atau sebaliknya (Djapri.1986)

2.2.3 Sifat kimia

Sifat kimia suatu bahan mencakup kelarutan bahan tersebut pada larutan basa atau garam, dan pengoksidaan bahan tersebut. Hampir semua sifat kimia erat hubungannya dengan kerusakan secara kimia. Kerusakan tersebut berupa korosi dan ketahanan bahan serangan korosi (Djapri.1986)

2.3 Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)

Baja karbon tinggi (JIS G 3506) adalah baja karbon tinggi yang memiliki komposisi kimia yang tertera pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Komposisi kimia baja karbon tinggi (JIS G 3506)

Technical Requirement				CHEMICAL COMPOSITION (%)								MECHANICAL PROPERTIES			D. of D.	Micro-Grade	REMARK
NO	HEAT NUMBER	QTY	NET/GROSS WEIGHT (KG)	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu	YIELD POINT (N/mm ²)	TENSILE STRENGTH H (N/mm ²)	ELONGATION (%)			
1	B11337C	8	16,710	0.81	0.21	0.79	0.017	0.015	0.23	0.009	0.004	720	1136	9.6	0.02	7	OK
2	B11324C	2	4,186	0.82	0.23	0.81	0.020	0.016	0.22	0.007	0.004	725	1139	9.6	0.02	7	OK
TOTAL		10	20,896														

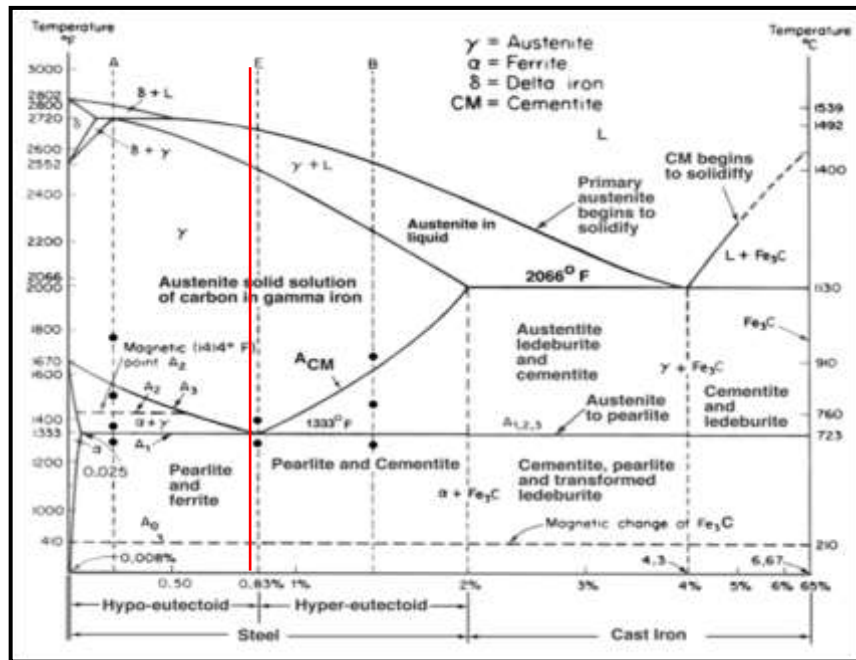
Baja dengan karbon tinggi mempunyai kekuatan dan kekerasan yang lebih baik setelah perlakuan panas. Perlakuan panas yang sering diterapkan adalah proses pengerasan (*quench hardening*) dan penemperan (*tempering*). Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima atau mengalami panas.

Kekerasan baja karbon tinggi (JIS G 3506) dapat ditingkatkan dengan metode *hardening*, dimana kekerasan maksimum yang bisa didapatkan dengan metode *hardening* pada temperatur ruang dilihat dari kadar karbonnya. Dengan semakin tinggi kadar karbon yang terkandung maka kekerasan juga semakin meningkat. Namun untuk kandungan karbon antara 0,5 % - 0,6 % kekerasan tidak lagi meningkat atau dengan kata lain konstan pada kekerasan maksimal. Dengan pendinginan mendadak, tidak ada waktu yang cukup bagi austenit untuk berubah menjadi pearlit, ferrit dan sementit, sebaliknya menyebabkan austenit berubah menjadi martensit. Kekerasan martensit adalah maksimal untuk kadar karbon tertentu (Sumiyanto, 2015).

2.4 Diagram Fe-C

Diagram Fe-C merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Diagram kesetimbangan besi karbon merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui sifat baja. Besi karbon terdiri atas dua bagian yaitu baja (*steel*) dan besi (*iron*). Pembagian ini didasarkan atas kandungan karbon yang dimiliki yaitu baja yang mengandung kurang dari 0,83% C disebut dengan *hypoeutectoid* dan baja yang mengandung lebih dari 0,83% C sampai dengan 2% C disebut dengan *hypereutectoid*.

Pada diagram Fe-C yang ditampilkan adalah larutan padat atau disebut besi delta (δ), austenit (γ) dan ferit (α). Ferit mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan austenit mempunyai struktur Kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta (δ) mempunyai struktur kristal BCC pada suhu tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan sementit yang keras. Pada gambar di bawah ini merupakan gambar diagram Fe_3C .



Gambar 1 Diagram Fe-c

Pada gambar 1 menunjukkan bahwa pada temperatur sekitar 723°C terjadi temperatur transformasi austenit menjadi perlit (gabungan ferit dan sementit). Transformasi ini dikenal sebagai reaksi *eutektoid* dan merupakan dasar proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur antara 912°C dan 1394°C merupakan daerah besi gamma (γ) atau disebut austenit. Pada kondisi tersebut biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Besi gamma tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,11% maksimum pada temperatur sekitar 1148°C. Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah, yaitu sekitar 0,77% maksimum pada temperatur 723°C.

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-C dan - yang terdapat di dalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut ini adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-C :

1. A1 adalah reaksi *eutektoid* yaitu perubahan γ menjadi α+Fe₃C (perlit) untuk baja *hypoeutectoid*. Terjadi pada suhu 723°C.
2. A2 adalah titik *Currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetic*.
3. A3 adalah temperatur *transformasi* dari γ menjadi α (*ferit*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

4. A_{cm} adalah temperatur *transformasi* dari γ menjadi Fe_3C (*sementit*) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam diagram Fe-C yaitu perubahan ferit atau besi alfa (α), austenit atau besi gamma (γ), sementit atau karbida besi, perlit dan martensit.

Macam-macam yang terjadi pada baja :

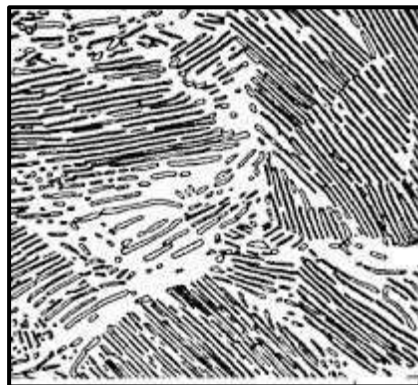
- a. *Ferrite*



Gambar 2 *Ferrite*

Ferit adalah larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe). Kelarutan maksimum karbon dalam ferrite adalah 0,025% pada temperature 723 C. Ferit biasa dinotasikan dengan (α) alfa. Ferit terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat dari austenit baja *hypotektoid* pada saat mencapai A_3 . Ferit bersifat sangat lunak, ulet, magnetik (*magnetic*) hingga temperatur tertentu dan memiliki kekerasan berkisar antara 140-180 HVN.

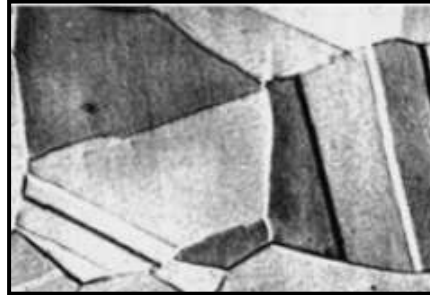
- b. *Pearlite*



Gambar 3 *Pearlite*

Pearlite adalah campuran *eutektoid* dari *ferrite* dan *cementite* yang mengandung 0,83%C. Fase ini terjadi di bawah temperatur 723°C. Sifat-sifat besi ini lebih keras dan lebih kuat dari pada *ferrite*. Kekerasan dari perlit kurang lebih 180-250 HVN.

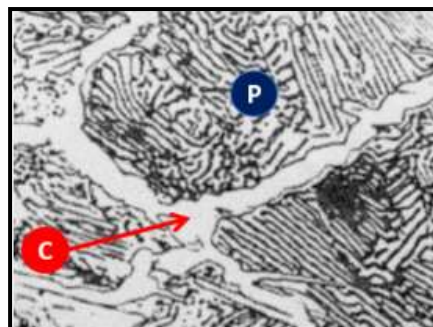
c. *Austenite*



Gambar 4 *Austenite*

Austenite yaitu besi gamma (γ) yaitu larutan padat dari karbon pada besi dengan sel kubus berpusat sisi atau muka. Fase ini diatas temperatur 723 °C. Sifat- sifat dari baja austenite adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa. *Austenite* merupakan sebagai dasar pembentuk dalam proses perlakuan panas termasuk perlakuan panas pada permukaan baja. Kekerasan austenit adalah lebih kurang berkisar antara 390 HVN.

d. *Sementite*



Gambar 5 Sementit dan Perlit

Sementite disebut juga karbid besi atau C yang mengandung 6,67 % C. Sementit adalah yang membatasi butir butir fasa perlit. Sifat-sifat besi ini keras, rapuh dan magnetis sampai pemanasan 210°C tapi diatas temperatur 210°C tidak megnetis lagi. Pada baja sementit dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Kekerasan sementit adalah lebih kurang berkisar antara 800 HVN.

e. *Bainite*



Gambar 6 *Bainite*

Bainite merupakan yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari transformasi ke martensit. Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300 – 400 HVN

f. *Martensite*



Gambar 7 *Martensite*

Martensit merupakan dimana ferit dan sementit bercampur. Tetapi bukan dalam lamellar. ini terbentuk dari austenit metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat. Fasa martensit sifatnya sangat keras dengan susunan kristalnya berbentuk kubus pusat tetragonal (BCT). Kekerasan dari martensit lebih dari 500 HVN.

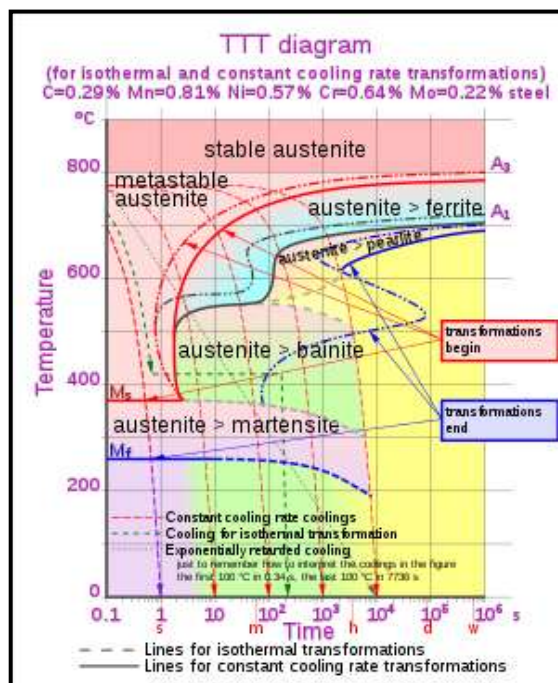
2.5 Diagram TTT/CCT

Diagram TTT adalah suatu diagram yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur baja yang diinginkan agar cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi awal. Proses transformasi ini dapat dibaca dengan menggunakan diagram namun untuk kondisi tidak seimbang diagram tidak dapat digunakan,

untuk kondisi seperti ini maka digunakan diagram TTT. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas (Rusjdi, Halim dkk. 2016).

Diagram ini biasanya digunakan untuk menentukan kapan transformasi mulai dan berakhir pada perlakuan panas yang isothermal (temperatur konstan). Saat austenit didinginkan secara perlahan-lahan sampai pada suhu di bawah temperatur kritis, fasa yang terbentuk ialah perlit. Semakin meningkat laju pendinginan, suhu transformasi perlit akan semakin menurun. Struktur mikro dari materialnya berubah dengan pasti bersamaan dengan meningkatnya laju pendinginan.

Pada gambar 8 area sebelah kiri dari kurva transformasi menunjukkan daerah austenit. Austenit stabil pada suhu diatas temperatur kritis, tapi tidak stabil pada suhu di bawah temperatur kritis. Kurva sebelah kiri menandakan dimulainya transformasi dan kurva sebelah kanan menunjukkan berakhirnya transformasi. Area diantara kedua kurva tersebut menandakan austenit bertransformasi ke jenis struktur kristal yang berbeda (austenit ke perlit, austenit ke martensit, austenit bertransformasi ke bainit).



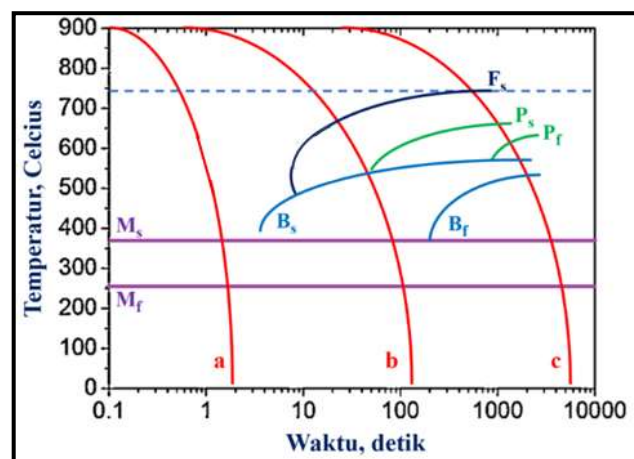
Gambar 8 Diagram TTT

Titik terjauh dari kurva mulai transformasi disebut hidung diagram. Garis MS menunjukkan temperatur awal terjadinya transformasi austenit menjadi martensit. Garis MF merupakan temperatur akhir transformasi austenit menjadi martensit.

Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) merupakan diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan kontinyu dengan atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi. Diagram CCT digunakan untuk membantu dalam perencanaan siklus perlakuan panas baja, memprediksi kekerasan dan struktur mikro baja, dan dapat digunakan untuk memperoleh spesifikasi atau sifat-sifat yang diinginkan.

Kurva kurva pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan yang berbeda akan menghasilkan atau struktur baja yang berbeda. Setiap kurva pendinginan yaitu kurva (a), (b), dan (c) memperlihatkan permulaan dan akhir dari dekomposisi austenit menjadi atau struktur baja akhir. Diagram ini dapat memperkirakan yang terbentuk dengan laju pendinginan yang berbeda atau dengan kata lain pada diagram ini dapat dilihat pengaruh laju pendinginan terhadap yang terbentuk.

Sebagai ilustrasi baja yang mengandung 0,2% karbon diaustenisasi pada temperatur 800°C, kemudian didinginkan dengan laju yang berbeda sampai di bawah temperatur 100°C.



Gambar 9 Diagram CCT

Fs = Ferit start, kurva temperatur di mana ferit mulai terbentuk

Ps = Perlit start, kurva temperatur di mana perlit mulai terbentuk

Pf = perlit finish, kurva temperatur dimana transformasi pembentukan perlit selesai atau berakhir

Bs = bainit start, kurva temperatur di mana bainit mulai terbentuk

Bf = bainit finish, kurva temperatur dimana transformasi pembentukan bainit selesai

Ms = martensit start, kurva temperatur dimana martensit mulai terbentuk

Mf = martensit finish, kurva temperatur dimana transformasi pembentukan martensit selesai

Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinu yang sangat cepat dari temperatur austenit 900°C ke temperatur di bawah 100°C . Laju pendinginan cepat ini mengakibatkan transformasi austenit menjadi martensit. austenit akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada temperatur Ms, martensit start yaitu pada temperatur 370°C , sedangkan pembentukan martensit akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperatur Mf, martensit finish yaitu pada di bawah temperatur 255°C

Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinu dengan laju sedang dari temperatur 900°C hingga di bawah 100°C . Dengan laju pendinginan kontinu ini austenit mulai terdekomposisi menjadi ferit di antara temperatur 660°C sampai 540°C dan tersisa sejumlah austenit. Kemudian bertransformasi menjadi fasa bainit diantara temperatur 500°C sampai 370°C , di bawah temperatur 370°C mulai membentuk fasa martensit dan berakhir ketika sampai pada temperatur di bawah martensit start Ms. Sehingga fasa dari kurva pendinginan (b) ini adalah ferit, bainit dan martensit.

Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinu dengan laju pendinginan lambat dari temperatur 900°C hingga dibawah 100°C . Pendinginan lambat ini menyebabkan austenite terdekomposisi menjadi fasa ferit pada temperatur antara 760°C sampai 655°C . Pada temperatur yang lebih rendah yaitu kurang dari 655°C , sisa austenit mulai bertransformasi menjadi fasa perlit hingga temperatur mencapai 600°C . Maka dapat diketahui bahwa pada temperatur 600°C ini sisa austenit bertransformasi seluruhnya menjadi perlit, sehingga kurva (c) memiliki ferit dan perlit.

2.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk membuat logam lebih bermanfaat dengan mengubah atau memulihkan sifat mekaniknya. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis (Bahri, Samsul. 2018)

Agar berhasil memanaskan logam, harus memiliki peralatan yang tepat dengan dengan dekat kontrol atas semua faktor yang relevan dengan pemanasan dan pendinginan. Misalnya, tungku harus ukuran dan jenis yang tepat dengan suhu dikontrol dan disimpan di dalam batas yang ditentukan untuk setiap operasi, dan harus memiliki media pendinginan yang sesuai untuk mendinginkan logam pada tingkat yang benar. Atmosfer tungku itu sendiri dari gas-gas di ruang pemanas tungku yang bersirkulasi dan mengelilingi logam yang dipanaskan.

Perlakuan panas dilakukan dalam tiga tahap:

2.6.1 Pemanasan (*Heating*)

Tujuan utama dalam tahap pemanasan adalah untuk mempertahankan suhu yang seragam. Jika pemanasan yang tidak merata terjadi, satu bagian dari suatu bagian dapat mengembang lebih cepat dari yang lain dan menghasilkan distorsi atau retak. Suhu seragam dicapai dengan pemanasan lambat. Tingkat pemanasan suatu bagian tergantung pada beberapa faktor. Salah satu faktor penting adalah konduktivitas panas logam. Logam dengan konduktivitas tinggi memanaskan pada laju yang lebih cepat daripada logam dengan konduktivitas rendah. Juga, kondisi logam menentukan laju pemanasannya. Laju pemanasan untuk perkakas dan bagian yang diperkeras harus lebih lambat dari pada logam tanpa tekanan atau tanpa perlakuan. Akhirnya, ukuran dan angka penampang menjadi laju pemanasan. Bagian dengan penampang besar membutuhkan laju

pemanasan lebih lambat untuk memungkinkan suhu *interior* tetap dekat dengan suhu permukaan yang mencegah melengkung atau retak.

2.6.2 Penahanan (*Holding*)

Setelah logam dipanaskan sampai suhu yang tepat, itu ditahan pada suhu yang diinginkan sampai perubahan *structural* bagian dalam terjadi. Proses ini disebut *soaking*. Lamanya waktu diadakan di temperatur yang tepat disebut *soaking periode*. *Soaking periode* tergantung pada analisis kimia logam dimensinya. Ketika bagian baja tidak rata pada penampang, periode perendaman ditentukan oleh bagian terbesar.

2.6.3 Pendinginan (*Cooling*)

Setelah logam ditahan pada suhu tertentu itu harus dikembalikan ke suhu kamar untuk menyelesaikan proses perlakuan panas. Untuk mendinginkan logam, anda dapat menempatkannya di kontak langsung dengan media pendingin terdiri dari gas, cairan, padat, atau kombinasi dari ini. Tingkat di mana logam didinginkan tergantung pada medianya oleh karena itu pemilihan media pendingin memiliki pengaruh yang penting pada sifat-sifat yang diinginkan.

Pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi.
2. Ketidakmurnian dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
3. Butir yang kasar dan butir berbentuk kolom diperhalus, hal ini berlangsung di daerah rekristalisasi.
4. Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir.
5. Keuletan dalam logam meningkat,
6. Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin (Ardian. 2010).

Salah satu proses perlakuan panas adalah *annealing* (pelunakan) yang dilakukan dengan memanaskan logam/paduan sampai temperatur tertentu

kemudian menahan pada temperatur tertentu selama beberapa waktu agar tercapai perubahan yang diinginkan dan mendinginkan dengan laju pendinginan yang lambat. Secara umum proses pelunakan dapat berupa proses *normalizing*, *full annealing* dan *spheroidizing*.

a) *Normalizing*

Normalizing merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk memperhalus dan, menyeragamkan ukuran serta distribusi ukuran butir logam. Proses *normalizing* yaitu dengan cara memanaskan material pada temperatur 55 sampai 85°C diatas temperatur kritis. Kemudian ditahan untuk beberapa lama hingga secara penuh bertransformasi ke austenit. Selanjutnya material didinginkan pada udara terbuka hingga mencapai suhu kamar.

b) *Full Annealing*

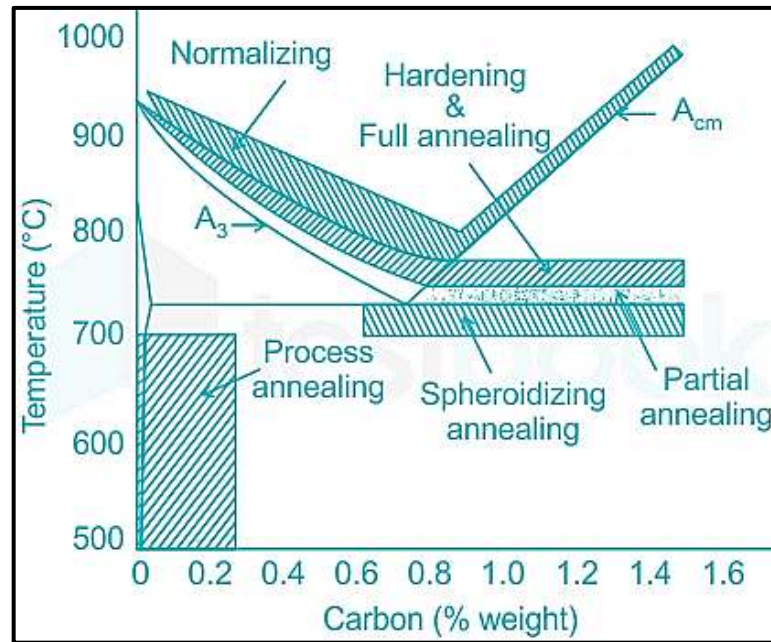
Full annealing merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan logam yang keras sehingga mampu dikerjakan dengan mesin. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan material baja pada temperatur 15 hingga 40°C di atas temperatur A3 atau A1 tergantung kadar karbonnya. Pada temperatur tersebut pemanasan ditahan untuk beberapa lama hingga mencapai kesetimbangan. Selanjutnya material didinginkan dalam dapur pemanas secara perlahan-lahan hingga mencapai temperatur kamar

c) *Partial Annealing*

Partial annealing (*anil* tak sempurna) adalah proses annil dengan pemanasan antara suhu kritis bawah (A1) dan temperatur kritis atas (A3/Acm) kemudian didinginkan atau bisa dengan pendinginan didiamkan di udara. Pada proses ini semua austenit berubah menjadi perlit.

d) *Spheroidizing*

Baja karbon medium dan tinggi memiliki kekerasan yang tinggi dan sulit untuk dikerjakan dengan mesin dan dideformasi. Proses *spheroidizing* dilakukan dengan cara memanaskan baja pada temperatur sedikit dibawah temperatur *eutectoid*, yaitu sekitar 700°C. Pada temperatur tersebut ditahan selama 15 hingga 25 jam. Kemudian didinginkan secara perlahan-lahan di dalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur kamar.



Gambar 10 Diagram Fe-C (perlakuan panas annealing)

2.7 Spheroidisasi

Spheroidizing atau Spheroidisasi merupakan proses perlakuan panas (*heat treatment*) dimana dihasilkan fasa dengan cementit berupa sferoidal. Proses ini bertujuan untuk menambah ketangguhan (*toughness*) baja yang mempunyai sifat getas. Proses perlakuan panas ini biasa diterapkan pada baja *hypereutektoid* setelah mengalami permesinan. *Spheroidite* terbentuk ketika baja karbon dipanaskan sampai sekitar 700°C dan ditahan selama 15 hingga 25 jam. *Spheroidite* dapat terbentuk pada suhu yang lebih rendah tetapi waktu yang dibutuhkan secara drastis meningkat, karena ini adalah proses difusi dikendalikan. Hasilnya adalah struktur batang atau bola sementit dalam struktur primer (ferrit atau perlit, tergantung pada sisi *eutektoid* berada). Tujuannya adalah untuk melunakkan baja karbon yang lebih tinggi dan memungkinkan sifat mampu bentuk yang lebih.

Sperodisasi merupakan salah satu perlakuan yang sering digunakan pada baja karbon tinggi, baja karbon tinggi umumnya memiliki sifat keras namun getas, sehingga bahan ini perlu treatment khusus untuk memperbaiki sifat mekanis yang dimiliki sebelum digunakan. Adapun perlakuan sperodisasi dapat diterapkan pada mesin perkakas atau *cutting tool* yang biasanya menggunakan baja berkarbon tinggi yang keras dan tahan aus (Samsul, Moh. 2019)

2.8 Media Pendinginan

Quenching adalah proses pendinginan yang sangat cepat dari temperatur austenisasi. Pendinginan cepat menghasilkan perubahan fasa austenit menjadi fasa martensit. Beberapa dari penggunaan media pendinginan cepat secara luas adalah air, oli dan udara.

2.8.1 Air

Air adalah media pendinginan cepat yang paling umum karena biayanya yang murah, tersedia dalam jumlah yang melimpah dan mudah dalam penanganannya. Air memiliki tingkat pendinginan cepat maksimum diantara semua media *quenching*. Kecepatan pendinginan sekitar 150°C/menit (Romaeni, Imaniar. 2017).

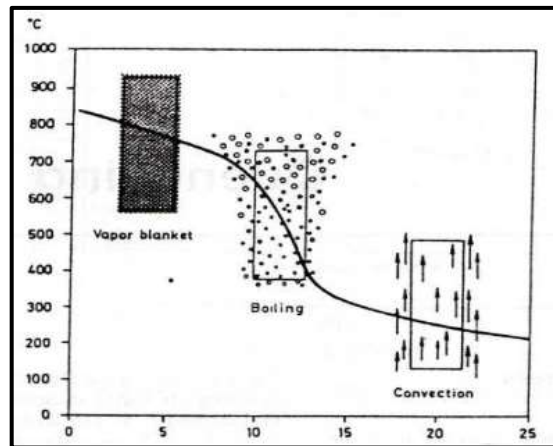
2.8.2 Oli

Kebanyakan jenis oli yang digunakan sebagai media pendinginan cepat adalah oli tambang. Pendinginan cepat dalam oli memberikan tingkat pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan media air. Tingkat pendinginan yang lambat menurunkan kemungkinan adanya cacat akibat terlalu keras pada potongan. Kecepatan pendinginan sekitar 100°C/menit (Romaeni, Imaniar. 2017).

2.8.3 Udara

Banyak jenis logam seperti baja dan besi paduan yang mampu mendapatkan kekerasannya dengan udara biasa atau dengan udara paksa. Seperti baja yang paling umum dikenal sebagai baja dengan pengerasan udara. Logam jenis ini hampir bebas dari masalah distorsi. Akan tetapi, masalah mengenai oksidasi selama pendinginan cepat mungkin ditemukan dalam pelaksanaannya. Kecepatan pendinginan sekitar 50°C/menit (Romaeni, Imaniar. 2017).

Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di *quenching* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut.



Gambar 11 Mekanisme pendinginan quenching

Mekanisme pendinginan saat material di *quenching* dengan media cair terbagi menjadi 3 tahapan yaitu selimut uap (*vapor blanket*), *pendidihan (boiling)*, dan *konveksi*. Tahap pertama selimut uap pada kondisi ini kecepatan pendinginan relatif lambat akibat seluruh permukaan diselubungi oleh selubung uap yang akan pecah saat logam mendingin. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Tahap kedua yaitu proses *nucleate boiling*. Pada tahap kedua ini laju pendinginan terjadi paling cepat ditandai oleh gelembung gelembung uap pada permukaan komponen. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Tahap ketiga yaitu *liquid cooling* merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi yang akan dimulai pada saat temperatur permukaan logam dibawah titik didih media pendingin. Kecepatan perpindahan panas pada kondisi ini sangat dipengaruhi oleh viskositas cairan, agitasi dan temperatur cairan pendingin (Karmin. 2009).

Pendinginan air memiliki keuntungan karena mampu menghilangkan sejumlah besar panas dengan sangat cepat. Air adalah salah satu pilihan terbaik untuk aplikasi pendingin cair karena kapasitas panas dan konduktivitas termalnya yang tinggi, air memiliki konduktivitas termal sebesar $0,604 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, kapasitas penyerapan panas air yang tinggi menjadikannya media pendingin yang efisien untuk banyak aplikasi. Adapun oli merupakan media pendingin yang *moderate*, oli memiliki konduktivitas termal sebesar $0,145 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Media pendingin oli ini tidak menguap pada suhu pemrosesan. Pendinginan udara sangat lambat

dibandingkan dengan air, karena konduktivitas termal udara sebesar $0,026 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (Frankland, Jim. 2012).

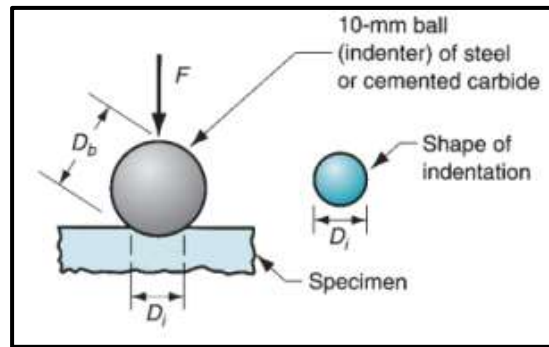
2.9 Uji Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Pengujian dilakukan dengan menggores material seperti pada metode Mohs Scale atau dengan menekan indenter ke permukaan material, maka akan semakin sulit untuk digores atau diindentasi. Pengujian dapat dilakukan di laboratorium dengan mengambil sampel material atau di lokasi dengan alat uji kekerasan *portable*. Sebelum pengujian, maka perlu dilakukan preparasi yang sama dengan preparasi metalografi, tetapi tanpa poles dan etsa, kecuali *micro hardness*. Prinsip dasar nilai kekerasan adalah besarnya gaya tekan yang diberikan dibagi luas penampang bekas penekanan. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam yaitu, metode brinell, metode vickers, metode rockwel.

a. Metode Brinell

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya (Dieter, 1988). Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan.

Angka kekerasan brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban F dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diameter jejak. BHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:



Gambar 12 Geometri Indentor Brinell

$$HB = \frac{2F}{\pi D_b \left(D_b - \sqrt{D_b^2 - D_i^2} \right)}$$

Dimana: HB = *Brinell Hardness Number* (BHN)

F = beban indentasi (kg)

D_b = diameter bola indentor (mm)

D_i = diameter indentasi pada permukaan (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. Jika D terlalu besar dan F terlalu kecil, maka bekas lekukan akan terlalu kecil sehingga sukar diukur dan akan memberikan informasi yang keliru. Jika D terlalu kecil dan F terlalu besar dapat berakibat amblasnya bola, sehingga memberikan harga kekerasan yang keliru.

b. Metode Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antara permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 360°. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987).

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

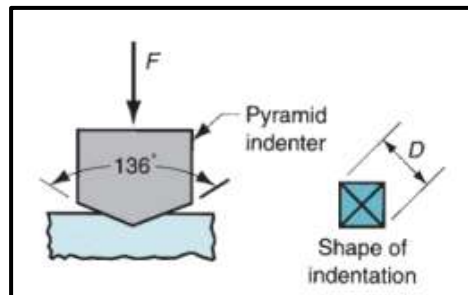
$$\text{VHN} = \frac{2F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{D^2} = \frac{(1,854)F}{D^2} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana : F = Beban yang digunakan (kg)

D = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 360°

Karena jejak yang dibuat dengan penekanan piramida serupa dengan geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji vickers berkisar 1 sampai 120 kg. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji.



Gambar 13 Geometri Indentor Vickers

c. Metode Rockwell

Pengujian kekerasan rockwell mirip dengan pengujian brinell, yakni angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indentor yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian brinell, indentor dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1995).

Indentor dapat berupa bola baja atau kerucut intan dengan ujung yang agak membulat biasa disebut "*brale*". Diameter bola baja umumnya 1/16 inci, tetapi terdapat juga indentor dengan diameter lebih besar, yaitu 1/8, 1/4, atau 1/2 inci untuk bahan yang lunak.

2.10 Uji Metalografi

Analisa mikro adalah suatu analisis mengenai struktur logam melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus *metallography*. Dengan analisis struktur mikro, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran Kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi.

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop logam. Mikroskop optik untuk logam dengan posisi spesimen menghadap ke atas (normal) dan posisi spesimen menghadap kebawah (*inverted*). Bedanya dengan mikroskop biologi/kedokteran adalah pada penerangan yang dilakukan dari atas spesimen, karena spesimen logam tidak transparan sehingga tidak mungkin memberikan penerangan dari arah bawah (Syamsul Hadi, 2016).

Uji metalografi termasuk pengujian yang sangat sering dilakukan laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk keperluan identifikasi ukuran dan distribusi butir, identifikasi *overheating*, identifikasi hasil perlakuan panas, dan lainnya. Dalam melakukan pengujian ini ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu pemotongan sampel untuk dibuat spesimen, pembersihan jika diperlukan, penggerindaan dan pengamplasan, pemolesan, etsa, pengamatan mikroskop dan pemotretan (Cholique, et al, 2021).

2.11 Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek itu. *Image* yang paling sering dihasilkan oleh SEM ada dua jenis, yaitu permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel. SEM umumnya digunakan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano). SEM digunakan oleh seluruh teknologi yang berskala nano, diantaranya untuk mengidentifikasi material pada bidang material *science*, forensik, analisis kegagalan metalurgi dan elektronik, ilmu korosi, batuan mineral, perangkat nano, polimer, katalis, desain semikonduktor, dan pertambangan minyak dan gas (Masta, Ngia, 2020).

Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah

titik kecil, lalu oleh dua pasang scan coil discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa astigmatismus dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya. Yang kedua adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau berupa jarum dari paduan Lantanum Hexaboride LaB₆ atau Cerium Hexaboride CeB₆, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik), Ketiga adalah *imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE (Sujatno, Agus. 2015)

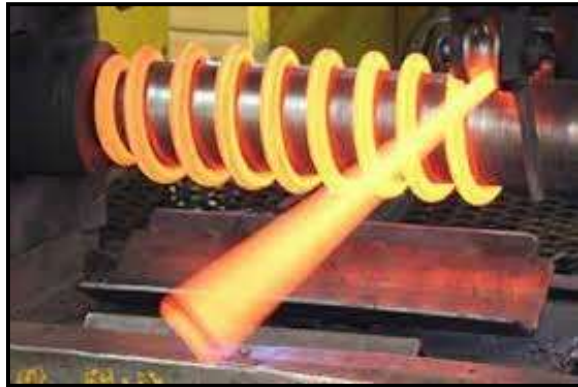
2.12 Pengaplikasian Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)

Penelitian kali ini menggunakan baja karbon tinggi (JIS G 3506) yang berbentuk *wire rod* atau batang kawat yaitu besi baja gulungan. Produk ini menggunakan bahan baku billet baja, memiliki bentuk akhir berupa batang kecil dengan diameter bulat polos, dan dikemas dalam bentuk gulungan dengan putaran yang tidak beraturan (*irregularly wound coil*). Batang kawat pada umumnya digunakan sebagai bahan baku pembuatan kawat dan paku, mur dan baut, kawat elektroda las, kawat bronjong (anyam), serta jaring kawat (*wire mesh*). Selain itu, batang kawat juga digunakan untuk berbagai produk khusus seperti tali kawat baja (*steel wire rope*), kawat baja beton pra tekan (*pre-stressed concrete* atau *PC wire*), batang baja pra tekan (*PC bar*), tali kawat baja pra tekan (*PC strand*), pegas kawat ulir (*spring wire*), maupun berbagai jenis aplikasi produk turunan kawat lainnya.

Pengaplikasian baja karbon tinggi JIS G 3506 yang menggunakan *heat treatment* yaitu *Coil spring*. Pegas koil adalah perangkat mekanis berbentuk heliks yang terbuat dari logam yang biasanya digunakan untuk menyimpan energi mekanik potensial dan melepaskan energi untuk menyerap guncangan.

Pegas koil diproses dengan cara :

1. Material berbentuk *bars/rods*.
2. *Pre finishing of bars/rods* yaitu proses *straightening, peeling, drawing, centerless grinding, cutting to length, crack detection & ends forgings*.
3. *Heating*, proses pemanasan kontinyu dalam tungku.
4. *Hot coiling*, proses bars dimasukkan ke mesin penggulung otomatis atau CNC untuk menghasilkan pegas.



Gambar 14 Proses *hot coiling*

5. *Hardening (oil quenching)*, proses pendinginan cepat menggunakan oli dilakukan setelah proses penggulangan.



Gambar 15 *Hardening*

6. *Tempering*, untuk kekerasan yang konsisten dan menghilangkan tegangan stress.
7. *Scragging, ends grinding* dan *load testing*.
8. *Shot peening*, Proses penghilangan sisa tegangan dengan cara mengepres spring dengan menyemburkan biji besi ke permukaan baja.
9. *Crack detection*.

10. *Surface treatment*, yaitu proses *oiling*, *painting*, *powder coating*.
11. *Finished springs*.

Adapun pengaplikasian baja yang digunakan kali ini adalah untuk beton pratekan yaitu beton yang sudah diberi tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja. Tegangan-tegangan internal dengan besar dan distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa ke beton ini sehingga tegangan-tegangan yang ditimbulkan oleh beban luar pun akan dilawan hingga mencapai suatu tingkat yang diinginkan. Definisi pratekan tersebut mencakup tambahan gaya tekan pada struktur beton untuk mengurangi dan atau menghilangkan gaya tarik internal sehingga potensi retak pada beton pun dapat diiadakan. Pratekan pada beton pratekan ini dihasilkan dengan menarik baja tulangan sedemikian rupa. Gaya tekan muncul akibat reaksi baja tulangan yang ditarik. Hal ini membuat elemen beton pratekan menjadi lebih kuat dan kokoh, serta menghilangkan lendutan secara signifikan.

Pengaplikasian beton pratekan biasanya banyak dipakai untuk bangunan-bangunan, yaitu :

- a. Jembatan beton pratekan



Gambar 16 Jembatan beton pratekan

Jembatan beton pratekan atau *PSC bridge (Pre-Stressed Concrete)* adalah jembatan yang memanfaatkan beton pratekan sebagai konstruksi utamanya. Jembatan ini memakai beton yang diisi dengan kabel baja untuk memberikan tegangan awal berupa tegangan tarik terhadap beton akibat sifat beton yang tidak kuat menahan beban tarik. Beton pratekan merupakan solusi jitu untuk

mengatasi tegangan tarik yang muncul pada struktur dengan bentang yang besar. Jembatan yang dibangun dengan konstruksi beton pratekan sudah sering digunakan di seluruh dunia. Hal ini tidak terlepas dari kelebihan konstruksi ini.

b. Tiang pancang beton pratekan



Gambar 17 Tiang pancang beton pratekan

Tiang pancang beton pratekan (*Precast Prestressed Concrete Pile*) ialah tiang pancang yang terbuat dari beton pratekan yang menggunakan baja penguat dan kabel kawat sebagai gaya pratekannya. Pemakaian konstruksi ini memiliki sejumlah keuntungan yang meliputi kapasitas beban pondasi yang dipikul tinggi, tiang pancang lebih tahan terhadap karat, kemungkinan terjadinya pemancangan keras dapat terjadi. Akan tetapi konstruksi ini juga memiliki kekurangan seperti pondasi tiang pancang sulit ditangani, biaya permulaan dari pembuatannya relatif tinggi, dan pergeserannya cukup banyak.

c. Bangunan gedung bertingkat



Gambar 18 Bangunan gedung bertingkat

Kebanyakan bangunan gedung bertingkat di Indonesia menggunakan baja untuk membuat balok serta kolom. Beberapa gedung ada pula yang memakai baja komposit atau baja pratekan. Gedung bertingkat mempunyai bentang yang cukup panjang dengan tinggi bangunan yang lebih tinggi daripada bangunan pada umumnya. Di sinilah material baja pratekan ini berperan penting sebagai bahan material alternatif untuk menyusun konstruksi gedung bertingkat tersebut. Dengan digunakannya beton pratekan ini, maka konstruksi gedung bertingkat dan pencakar langit bisa dibuat dengan struktur yang kokoh.