

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
°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 memberikan 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), silicon (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 regang 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 (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														

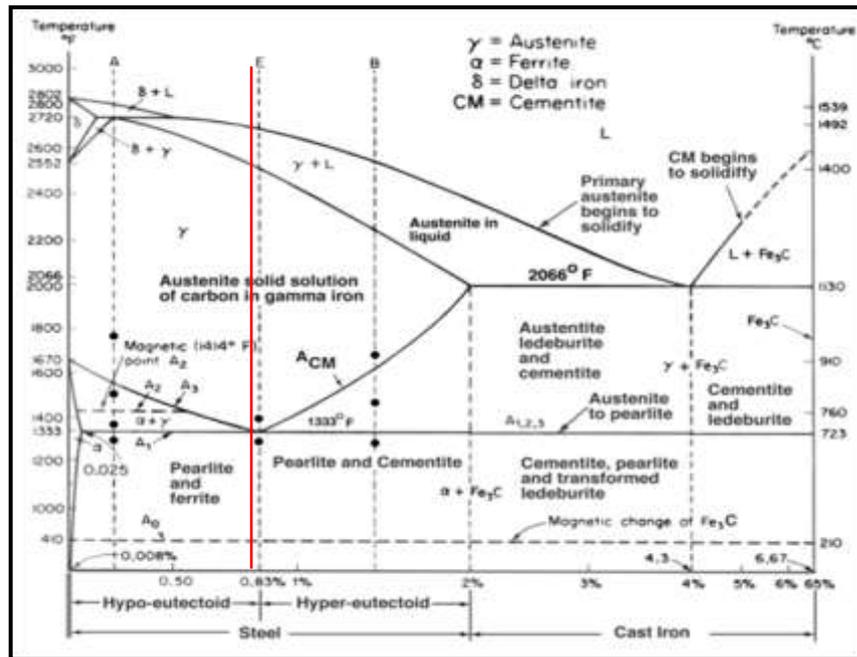
Baja dengan karbon tinggi mempunyai kekuatan dan kekerasan yang lebih baik setelah perlakuan panas. Perlakuan panas yang sering diterapkan adalah proses pengerasan (*quench hardening*) dan penemperan (*tempering*). Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan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

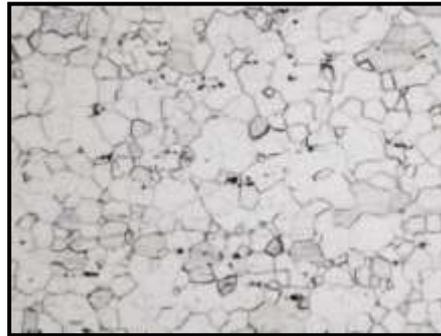
1. A1 adalah reaksi *eutektoid* yaitu perubahan γ menjadi $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (perlit) untuk baja *hypo-eutectoid*. Terjadi pada suhu 723°C.
2. A2 adalah titik *Currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetic*.
3. A3 adalah temperatur *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 :

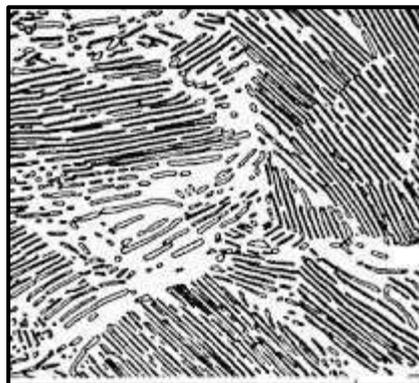
- a. *Ferrite*



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.

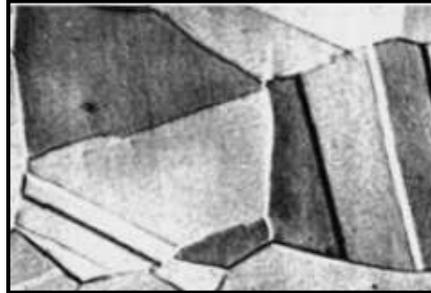
- b. *Pearlite*



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.

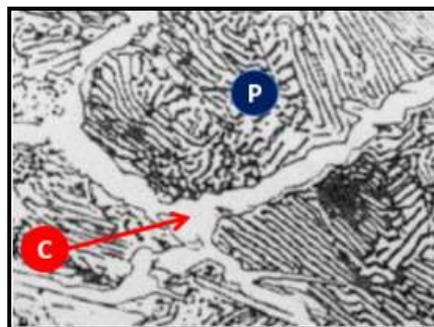
c. *Austenite*



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 austensit 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.

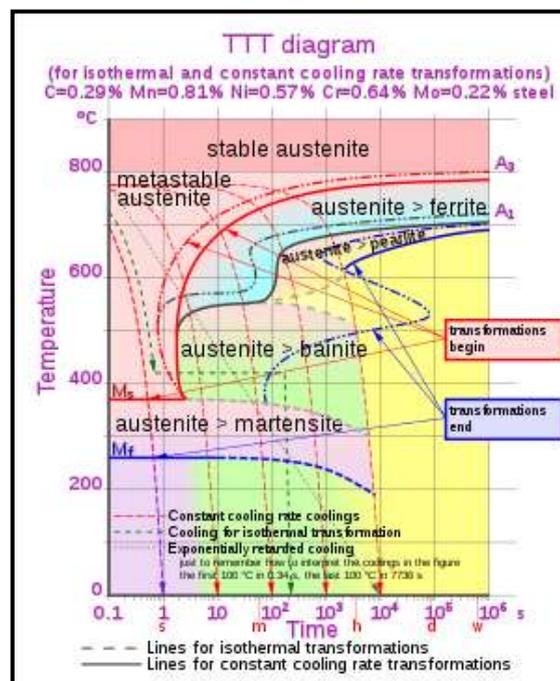
2.5 Diagram TTT/CCT

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).



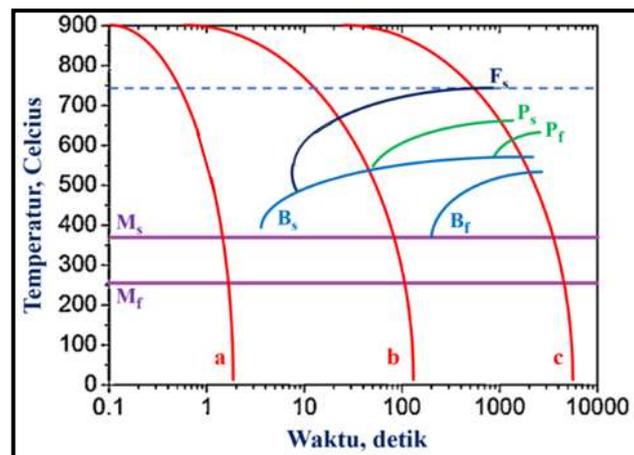
Gambar 8 Diagram TTT

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*

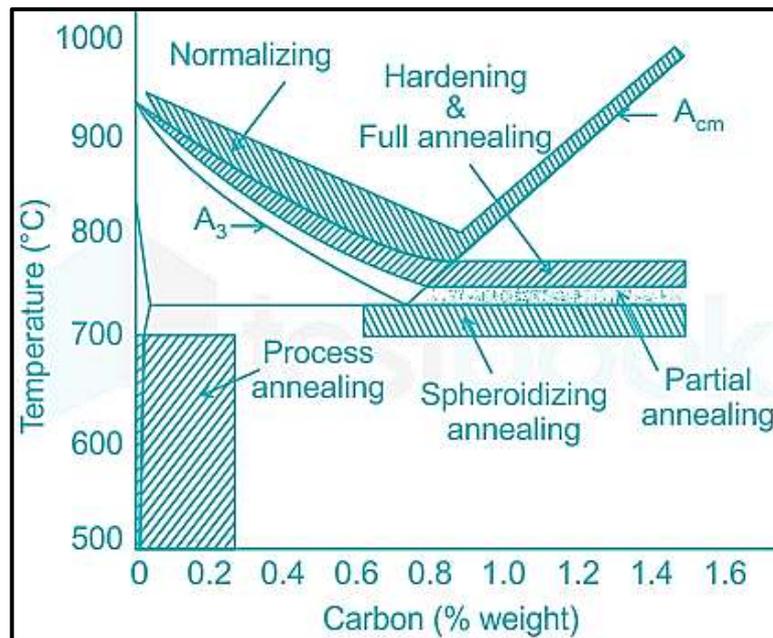
Full annealing merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan logam yang keras sehingga mampu dikerjakan dengan mesin. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan material baja pada temperatur 15 hingga 40°C di atas temperatur A3 atau A1 tergantung kadar karbonnya. Pada temperatur tersebut 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.

Spheroidisasi 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 spheroidisasi 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).

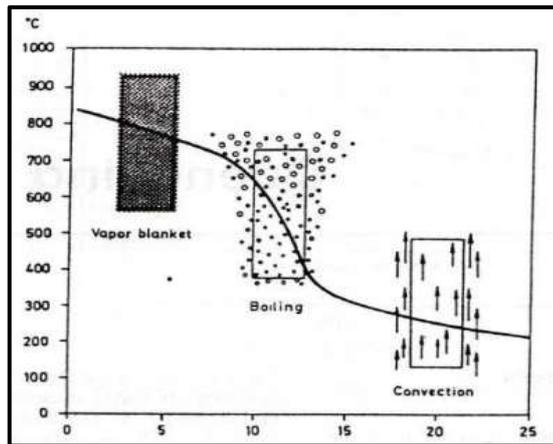
2.8.2 Oli

Kebanyakan jenis oli yang digunakan sebagai media pendinginan cepat adalah oli tambang. Pendinginan cepat dalam oli memberikan tingkat pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan 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).

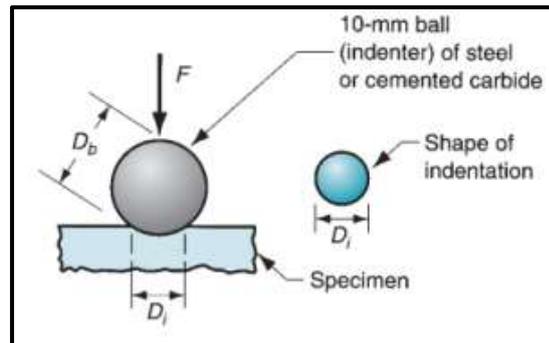
2.9 Uji Kekerasan

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:

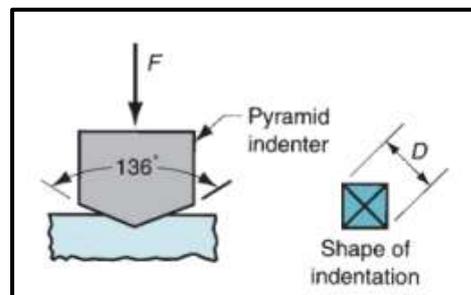
$$\text{VHN} = \frac{2F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{D^2} = \frac{(1,854)F}{D^2} \dots \dots \dots (3)$$

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)

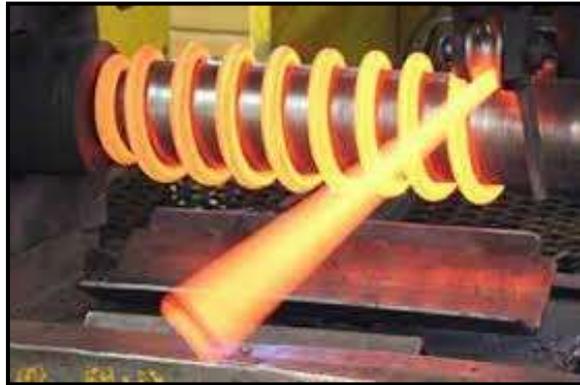
2.12 Pengaplikasian Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)

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.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama 10 bulan dimulai dari bulan November 2022 sampai September 2023 mulai dari penyusunan proposal, persiapan alat dan bahan, pengujian hingga penyusunan skripsi. Adapun lokasi penelitian yaitu Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan

Adapun peralatan yang digunakan pada saat penelitian yaitu:

1. *Furnace* adalah alat yang digunakan untuk proses perlakuan panas pada benda kerja



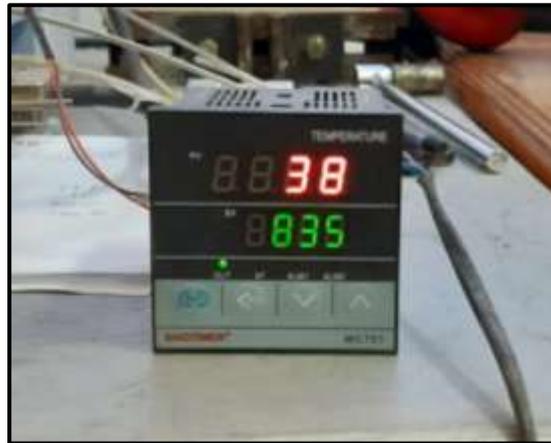
Gambar 19 *Furnace* (Max 1200°C)

2. Sarung tangan, digunakan untuk melindungi tangan dari panas yang dihasilkan oleh tungku



Gambar 20 Sarung tangan

3. Termokopel, digunakan untuk melakukan pengukuran temperatur dalam tungku



Gambar 21 Termokopel

4. Penjepit spesimen, digunakan untuk mengeluarkan spesimen dari dalam tungku



Gambar 22 Penjepit spesimen

5. Alat pengujian kekerasan, *Micro Vickers* digunakan untuk mengetahui ketahanan terhadap deformasi dengan menekankan indenter ke permukaan material.



Gambar 23 *Micro Vickers*

6. Alat pengujian metalografi, *3D laser microscope* digunakan untuk mengamati struktur mikro dan mengambil gambar struktur mikro material.



Gambar 24 3D laser microscope

7. Alat pengujian *scanning electron microscope (SEM)* digunakan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano) yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek.



Gambar 25 Alat pengujian scanning electron microscope (SEM)

8. *Stopwacth*, digunakan untuk melakukan pengukuran durasi waktu yang diperlukan spesimen saat di dalam tungku.



Gambar 26 Stopwatch

3.2.2 Bahan penelitian

1. Baja karbon tinggi (JIS G 3506) berupa batang kawat baja (*steel wire rod*) dengan diameter 13 mm dengan panjang 15 - 20 mm sebanyak 12 spesimen. Dimana spesimen dipanaskan dengan temperatur 700°C, 730°C, 760°C, 800°C dengan *holding time* 1 jam dan masing-masing dengan media pendingin air, oli dan udara.



Gambar 27 Baja karbon tinggi (JIS G 3506)

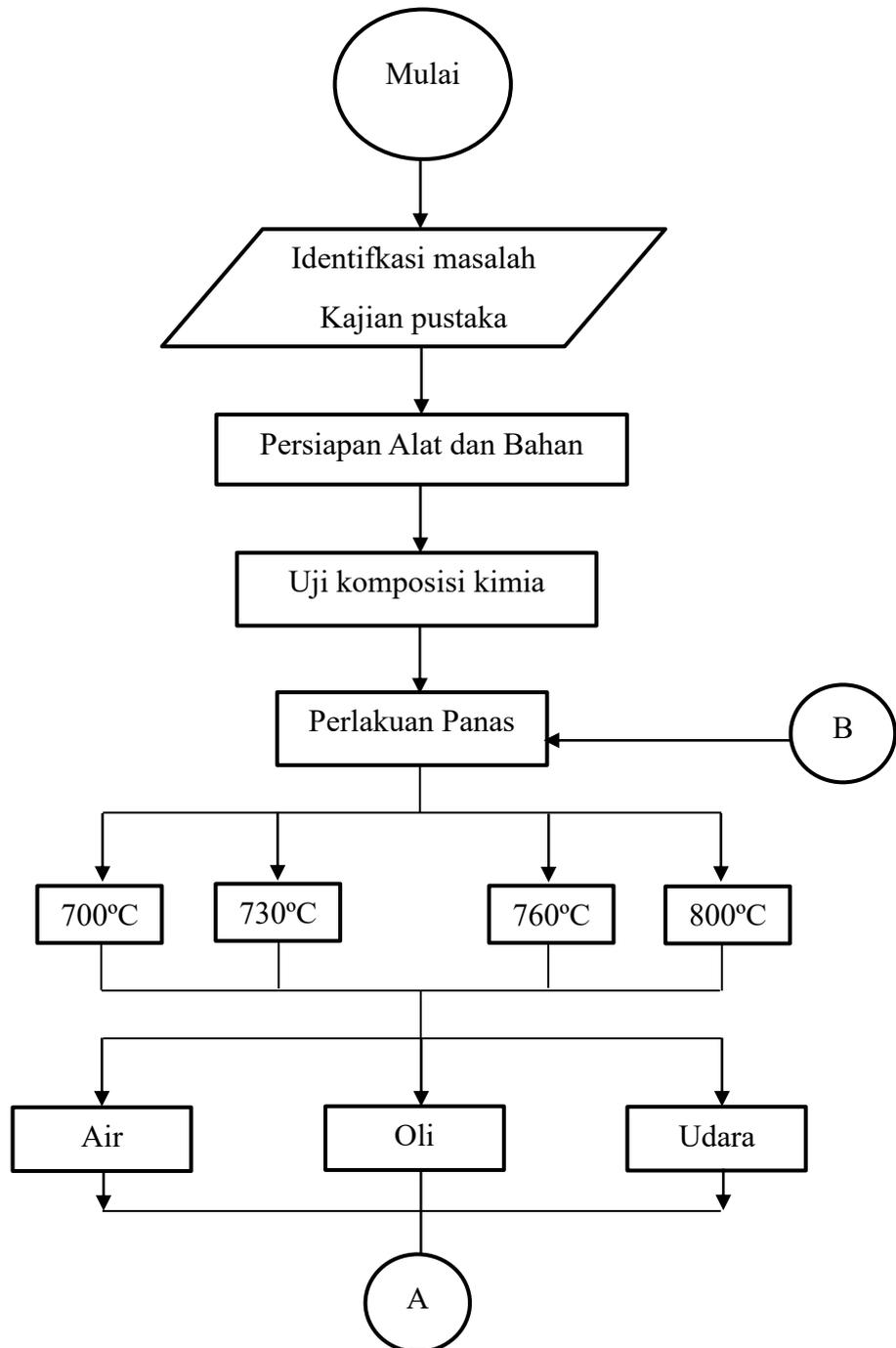
2. Air sebagai media pendingin spesimen
3. Oli sebagai media pendingin spesimen
4. Udara sebagai media pendingin spesimen
5. Kertas amplas grade digunakan untuk menghaluskan permukaan benda kerja spesimen, dengan grade #100 #400 #800 #1000 #1200 #1500 #2000 #5000.

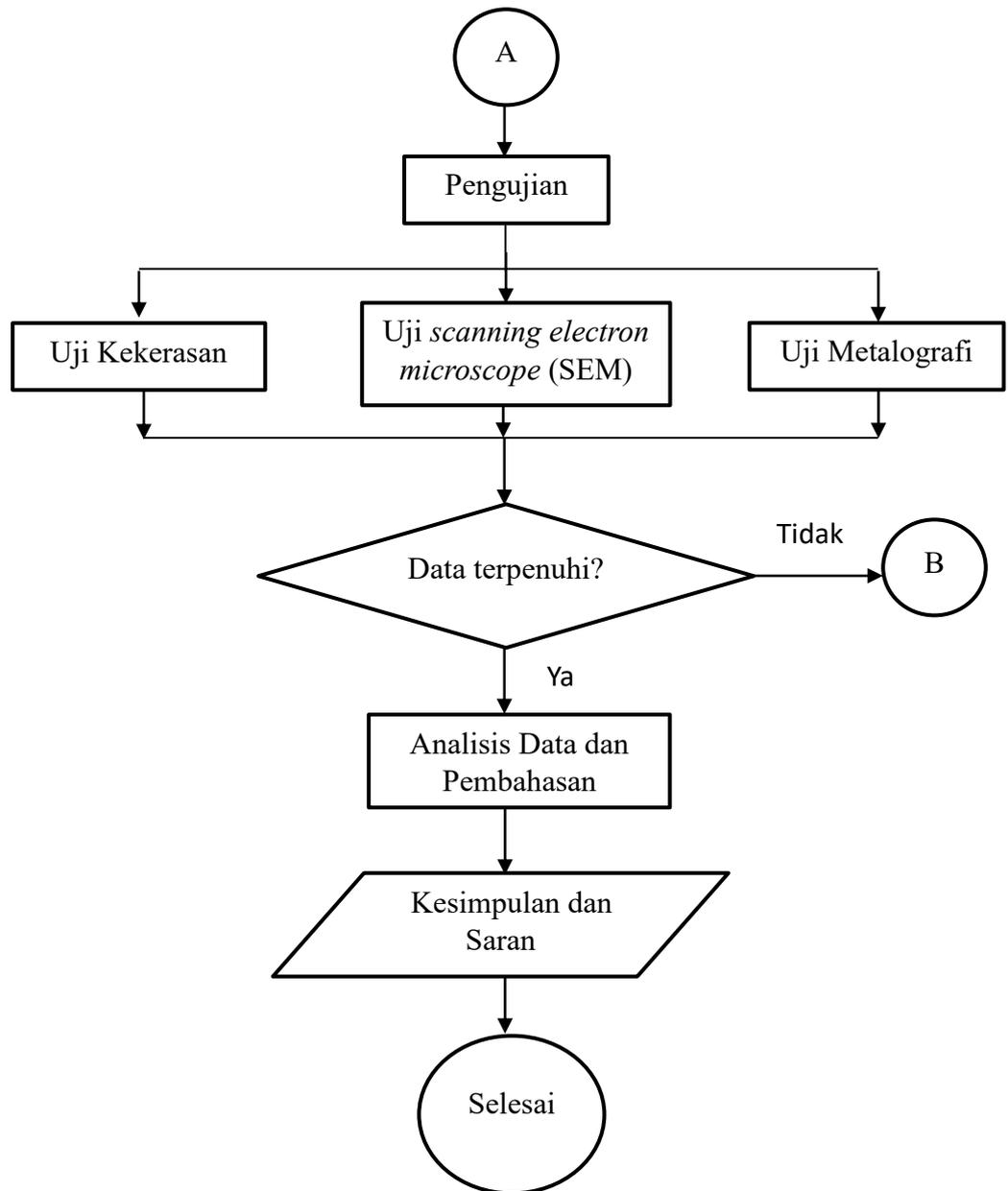


Gambar 28 Kertas amplas

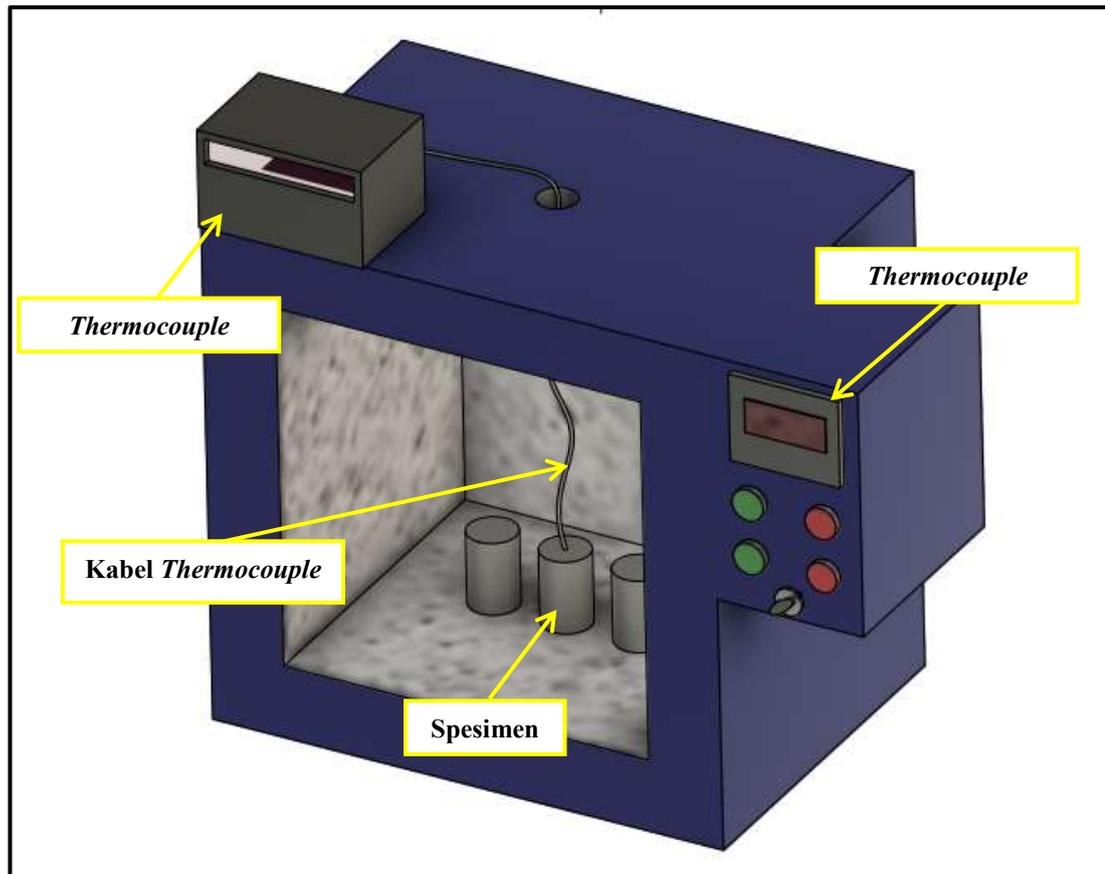
6. Cairan etsa, digunakan untuk menampakkan batas butir dan struktur pada spesimen.

3.3 Diagram Alir Penelitian





Gambar 29 Flow Chart Penelitian



Gambar 30 Penggunaan termokopel di dalam tungku

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Proses perlakuan panas

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang ingin dihardening
2. Memasukkan baja karbon tinggi (JIS G 3506)
3. Menyalakan *furnace* dan mengatur suhu dengan 700°C, 730°C, 760°C dan 800°C
4. Menahan material selama 1 jam
5. Mematikan *furnace* dan mengeluarkan spesimen
6. Mencelupkan spesimen ke dalam media pendingin masing masing (Air, Oli dan Udara)

3.4.2 Pengujian kekerasan

1. Mempersiapkan alat uji kekerasan *Micro Vickers*.
2. Mempersiapkan semua spesimen yang akan diuji kekerasannya
3. Memberikan kode/nama pada spesimen agar mudah diidentifikasi.

4. Menekan tombol *power* + *enter* untuk menghidupkan dan mengkalibrasi alat uji kekerasan
5. Memperhatikan daerah *direction* pada alat, posisikan sesuai arah atau bagian yang akan diuji kekerasannya.
6. Mengulang 3 kali pengujian pada setiap spesimen untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat.
7. Mencatat hasil uji kekerasan pada masing-masing spesimen

3.4.3 Pengujian metalografi

1. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji
2. Spesimen terlebih dahulu melalui proses mounting agar mudah diletakkan di meja pengamatan mikroskop
3. Setelah itu, spesimen dipoles menggunakan amplas
4. Mempersiapkan larutan etsa yaitu 1-5ml asam nitrat dan 100ml alkohol 95%.
5. Mencelupkan permukaan spesimen yang telah dipoles ke dalam larutan etsa pada temperatur kamar selama 40 detik sampai 1 menit.
6. Membersihkan spesimen dengan alkohol lalu dikeringkan.
7. Selanjutnya dilakukan pengamatan menggunakan 3D *laser microscope*.

3.4.4 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

1. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji
2. Spesimen diletakkan dan ditempel di atas SEM *specimen holder* dengan menggunakan *carbon double tipe*
3. Melakukan pengujian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Suhu Austenisasi Dan Media Pendingin Pada Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon Tinggi (JIS G 3506)” pada proses pengambilan data pada penelitian ini, melakukan serangkaian proses penelitian untuk mengetahui temperatur minimum fasa austenit baja karbon tinggi (JIS G 3506) sehingga perlu diketahui kadar karbon, nilai kekerasan dan struktur fasa yang terbentuk. Maka dilakukan beberapa pengujian, yaitu pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro dari spesimen. Proses ini dilakukan di laboratorium Metalurgi Fisik, data yang diperoleh akan diolah dan dianalisis untuk membandingkan sifat mekanik nya antara baja karbon tinggi JIS G 3506 setelah dilakukan perlakuan panas dengan suhu 700°C, 730°C, 760°C, dan 800°C dengan masing-masing suhu menggunakan media pendingin air, oli dan udara.

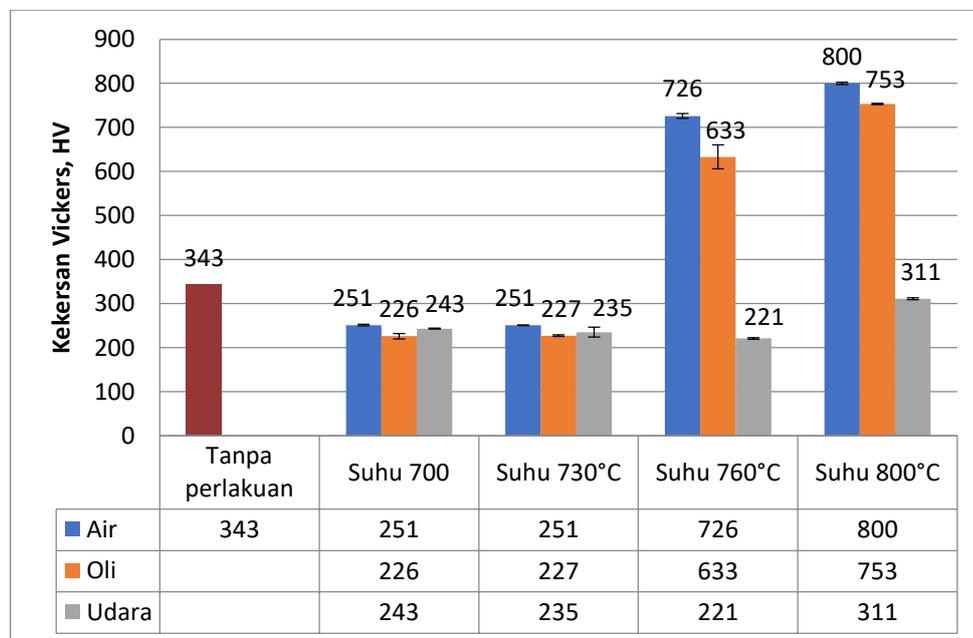
4.1 Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material baja karbon tinggi JIS G 3506 setelah dilakukan perlakuan panas dengan variasi suhu dan media pendingin. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji kekerasan vickers. Pengujian kekerasan dilakukan dengan mengambil data kekerasan di beberapa titik spesimen. Adapun hasil dari pengambilan data kekerasan spesimen dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Hasil Pengambilan Data Kekerasan Spesimen Baja Karbon Tinggi JIS G 3506

Spesimen	Suhu	Media pendingin	Nilai hardness (HV)			Rata-Rata	Standar deviasi
			Titik 1	Titik 2	Titik 3		
1	tanpa perlakuan		333,2	351,5	344,3	343	7,5
2	700	Air	253,5	250,8	248,3	251	1,8
3	700	Oli	227,7	216,2	233,1	226	6,1
4	700	Udara	241,7	244,6	242,7	243	1,0
5	730	Air	250	252	250,4	251	0,8
6	730	Oli	226,7	230,1	224,9	227	1,9
7	730	Udara	226,7	224,8	253,1	235	11,2
8	760	Air	726,3	733,7	717,9	726	5,6
9	760	Oli	632,1	595	672,2	633	27,3
10	760	Udara	218,3	221,7	223,6	221	1,9
11	800	Air	801,9	802,9	796,2	800	2,6
12	800	Oli	755	752,1	750,7	753	1,6
13	800	Udara	307,2	313,7	312,7	311	2,5

Dari tabel hasil pengambilan data kekerasan spesimen baja karbon tinggi JIS G 3506 di atas, selanjutnya nilai rata rata pengujian tiap spesimen dibuat dalam bentuk grafik seperti pada gambar ditunjukkan pada gambar 31.



Gambar 31 Nilai kekerasan rata rata setiap perlakuan spesimen

Pada gambar 31 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata uji kekerasan mulai dari spesimen baja karbon tinggi JIS G 3506 tanpa pemanasan memiliki nilai kekerasan sebesar 343 HV, baja karbon tinggi JIS G 3506 perlakuan suhu 700°C dengan media pendingin air memiliki nilai kekerasan sebesar 251 HV, media pendingin oli memiliki nilai kekerasan sebesar 226 HV, media pendingin udara memiliki nilai kekerasan sebesar 243 HV. Baja Karbon Tinggi JIS G 3506 perlakuan suhu 730°C dengan media pendingin air memiliki nilai kekerasan sebesar 251 HV, media pendingin oli memiliki nilai kekerasan sebesar 227 HV, media pendingin udara memiliki nilai kekerasan sebesar 235 HV. Baja Karbon Tinggi JIS G 3506 perlakuan suhu 760°C dengan media pendingin air memiliki nilai kekerasan sebesar 726 HV, media pendingin oli memiliki nilai kekerasan sebesar 633 HV, media pendingin udara memiliki nilai kekerasan sebesar 221 HV. Baja Karbon Tinggi JIS G 3506 perlakuan suhu 800°C dengan media pendingin air memiliki nilai kekerasan sebesar 800 HV, media pendingin oli memiliki nilai kekerasan sebesar 753 HV, media pendingin udara memiliki nilai kekerasan sebesar 311 HV.

Pada suhu 700°C dan 730°C terjadi penurunan kekerasan dari kekerasan awal spesimen, hal ini dikarenakan terjadinya proses pemulihan (*recovery*) yang merupakan proses *stress relieving* karena melepaskan sebagian tegangan dalam dan pengurangan tegangan sisa. Adapun pemanasan dengan suhu 760°C dan 800°C memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan pemanasan dengan suhu 700°C dan 730°C, hal ini dikarenakan pengaruh suhu austenisasi pada proses perlakuan panas terhadap kekerasan. Hal ini mengindikasikan pemanasan pada temperatur tersebut mengalami transformasi austenit yang akan menentukan sifat mekanik baja yang mengalami proses perlakuan panas. Pada pemanasan suhu 760°C dan 800°C dengan media pendingin udara terjadi penurunan kekerasan, hal ini dikarenakan proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir (*grain growth*) dimana terjadinya pembentukan inti dari butir baru dan bertambahnya ukuran butir, sehingga butir yang dihasilkan lebih sedikit.

Temperatur austenit merupakan hal yang penting untuk diperhatikan saat melakukan proses perlakuan panas pada baja yang ingin ditingkatkan sifat mekaniknya. Jika pemanasan dilakukan dengan suhu di atas daerah kritis akan

membuat bahan atau material tersebut terbentuk austenit yang merupakan larutan padat dari karbon dalam baja (Farhan dkk, 2021). Untuk memperoleh kekerasan yang baik (martensit yang keras) maka pada saat pemanasan harus dapat dicapai fasa austenit, karena hanya fasa austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit, bainit dan pearlit. Bila pada saat pemanasan masih terdapat fasa lain maka setelah didinginkan cepat akan diperoleh fasa yang tidak seluruhnya terdiri dari fasa martensit. Bila fasa lain itu bersifat lunak, misalnya ferit maka tentunya kekerasan yang tercapai juga tidak akan maksimum (Sairul, 2009).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mohamed A. Gebril, dkk, (2014) tentang pengaruh suhu dan waktu austenisasi terhadap kekerasan, struktur mikro dan laju korosi baja karbon tinggi, pada penelitiannya melaporkan bahwa temperatur austenisasi merupakan faktor penting selama perlakuan panas khususnya dengan baja karbon tinggi untuk mencapai austenit yang homogen. Efek yang jelas dari suhu austenisasi dan waktu perendaman efektif dengan peningkatan suhu perlakuan panas bersamaan dengan waktu perendaman khususnya dengan kandungan karbon tinggi dalam baja dan adanya paduan logam bekas karbida, bahwa karbida stabil bahkan pada suhu tinggi dan mengarah ke signifikan meningkatnya kekerasan.

Selain pengaruh suhu austenisasi terdapat pula pengaruh media pendingin terhadap kekerasan, dapat dilihat bahwa proses perlakuan panas baja dengan media pendingin air menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan media pendingin oli dan udara, dikarenakan media air merupakan pendinginan cepat. Pendinginan dengan kecepatan tinggi menggunakan air menyebabkan proses dekomposisi austenit berlangsung sangat cepat sehingga proses pengaturan kembali atom-atom Fe dan C dari fasa austenit terjadi melalui mekanisme geser bukan difusi (*diffusionless*) (Farhan dkk, 2021).

Didapatkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh proses pendinginan di air, diikuti oleh nilai kekerasan pada proses pendinginan oli, dan nilai kekerasan terkecil didapatkan pada proses pendinginan di udara. Proses pendinginan mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kekerasan spesimen. Hal ini dikarenakan laju pendinginan akan mempengaruhi strukturmikro yang terbentuk pada spesimen uji. Laju pendingin pada proses pendinginan dengan air sangatlah

cepat sehingga terbentuk fasa martensit yang mempunyai kekerasan sangat tinggi dan proses pendinginan dengan oli merupakan pendinginan yang *moderate* dibandingkan dengan media air. Pada sisi lain, proses pendinginan di udara mengakibatkan terbentuknya fasa perlit yang lebih lunak dibandingkan martensit. Maka dari itu nilai kekerasan paling rendah dimiliki oleh pendinginan dengan udara.

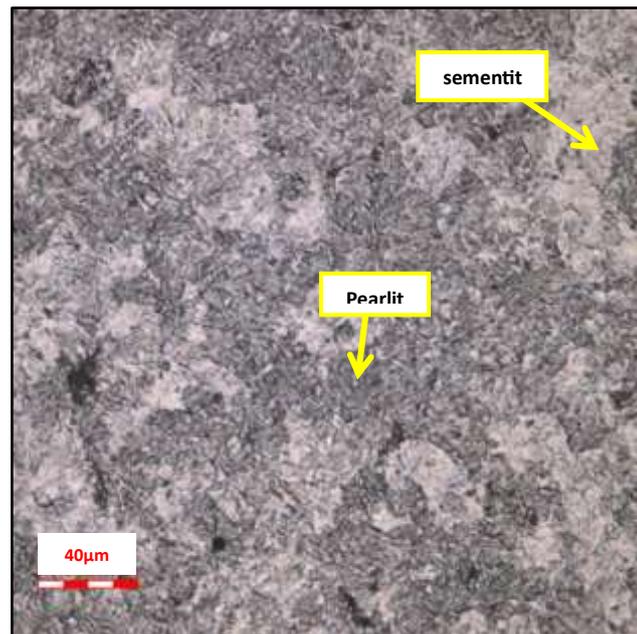
Proses pendinginan bermacam-macam tergantung pada kecepatan pendinginan, untuk pendinginan yang cepat akan didapatkan sifat logam yang keras dan getas sedangkan untuk pendinginan yang lambat akan didapatkan sifat yang lunak dan ulet. Pemanasan dilakukan di atas temperatur austenit kemudian ditahan dengan waktu tertentu sehingga struktur kristal baja telah sempurna berubah dari BCC ke FCC, kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu (cepat, sedang atau lambat) melalui media pendingin air, oli dan udara. Ketiga langkah proses perlakuan panas tersebut saling mempengaruhi struktur mikro yang dihasilkan, namun kecepatan pendinginan memegang peranan yang sangat dominan. Secara umum dibagi 3 jenis laju pendinginan dan fasa yang dihasilkan yaitu 1).pendinginan cepat: martensit; 2).pendinginan sedang: bainit dan 3).pendinginan lambat: sferoid dan perlit (Pramono, Agus. 2011).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmed M. Abbas, et al (2018) tentang pengaruh media pendingin terhadap kekerasan baja karbon sedang, pada penelitian tersebut menggunakan baja karbon sedang sebagai sampelnya yang dipanaskan hingga suhu 860°C selama 30 menit kemudian didinginkan dengan 4 macam media pendingin yaitu dengan tungku, air, udara, dan minyak. Adapun hasil yang didapatkan adalah semakin meningkat laju pendinginan maka tingkat kekerasannya pun semakin meningkat, jenis pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah Brinell. Hasil kekerasan dari media tungku adalah 205 HB, media air adalah 1401 HB, media udara adalah 456 HB, dan media minyak adalah 658 HB.

4.2 Struktur Mikro

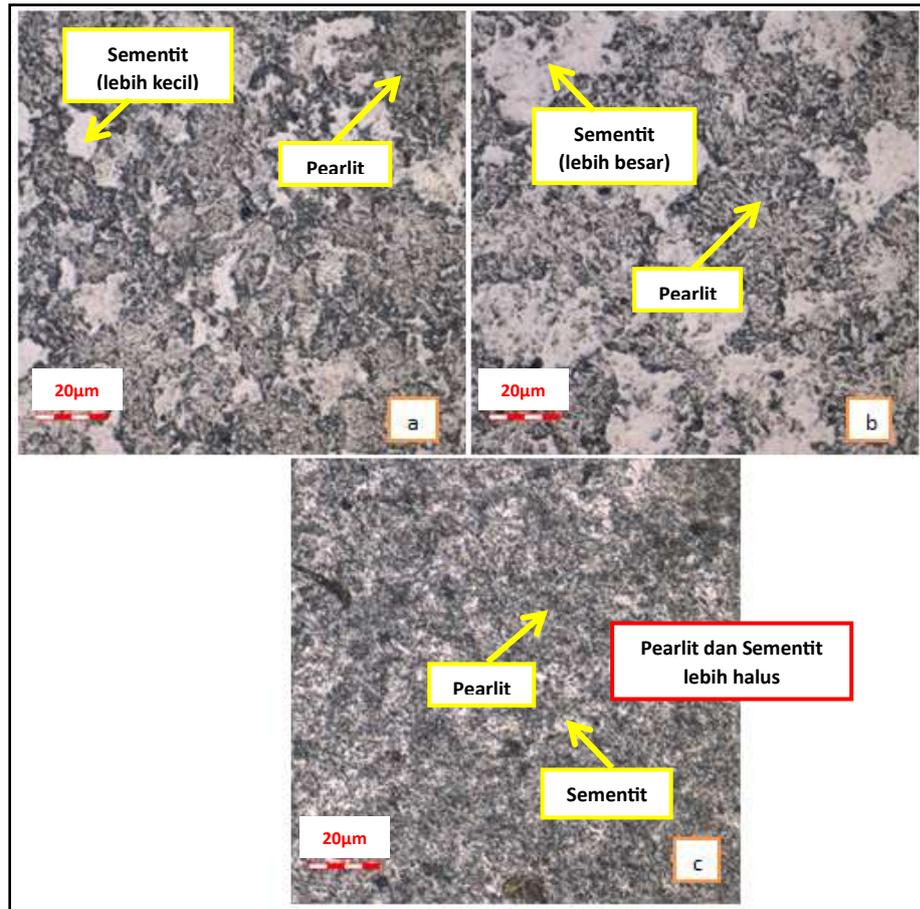
Pada penelitian ini, telah dilakukan perlakuan panas sampel baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan melakukan pemanasan sampel pada suhu 700°C, 730°C, 760°C, dan 800°C kemudian didinginkan ke suhu kamar dengan beberapa laju pendinginan dengan menggunakan media pendingin air, oli dan udara. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu pemanasan dan laju pendinginan yang berbeda terhadap struktur mikro yang terbentuk.

Tahapan metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk selama proses *heat treatment*. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menghaluskan permukaan spesimen menggunakan amplas, kemudian dietsa, adapun Komposisi larutan etsa yaitu 1-5ml asam nitrat dan 100ml alkohol 95%. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan permukaan spesimen ke dalam cairan etsa dalam waktu tertentu, kemudian mencuci dengan alkohol untuk menghentikan reaksinya dan mengeringkannya. Melalui proses ini akan tampak batas butir dan pada permukaan spesimen, sehingga memudahkan untuk pengamatan. Hal yang harus diperhatikan selama proses etsa adalah permukaan benda uji harus bersih, tidak berminyak, tidak tersentuh tangan, tidak boleh teroksidasi dan tidak terdapat goresan lagi. Jenis larutan etsa yang digunakan harus sesuai dengan standar, waktu etsa harus diperhatikan, etsa harus merata ke seluruh permukaannya dan segera dihentikan ketika sampai pada waktunya, kemudian ditunggu sampai spesimen yang telah dietsa kering lalu diamati dengan mikroskop optik.



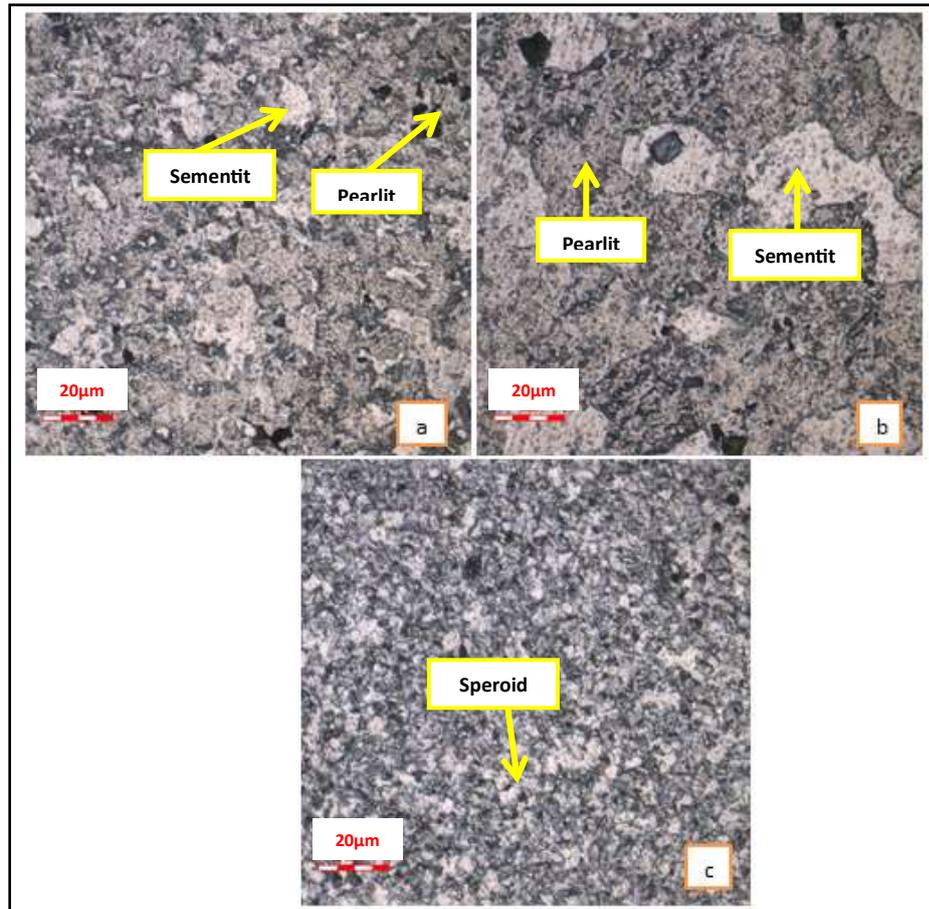
Gambar 32 Struktur mikro sampel tanpa perlakuan (normal)

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada sampel tanpa perlakuan panas (Gambar 32) menunjukkan fasa pearlit dan sementit. Pearlit ditunjukkan dengan daerah yang berwarna gelap dan sementit ditunjukkan dengan daerah yang berwarna terang.



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.

Pada gambar 33 menunjukkan bentuk butir pada baja karbon tinggi JIS G 3506 yang dipanaskan pada suhu 700°C selama 1 jam terlihat bahwa struktur yang terbentuk yaitu perlit dan sementit. Namun bila disesuaikan dengan kandungan karbon 0,8% pada suhu 700°C struktur fasa yang terbentuk seharusnya adalah perlit namun setelah dilakukan pengujian struktur mikro terdapat juga fasa sementit, sehingga bila dilihat dari diagram fasa Fe-C ini masuk ke dalam *hypereutectoid*.

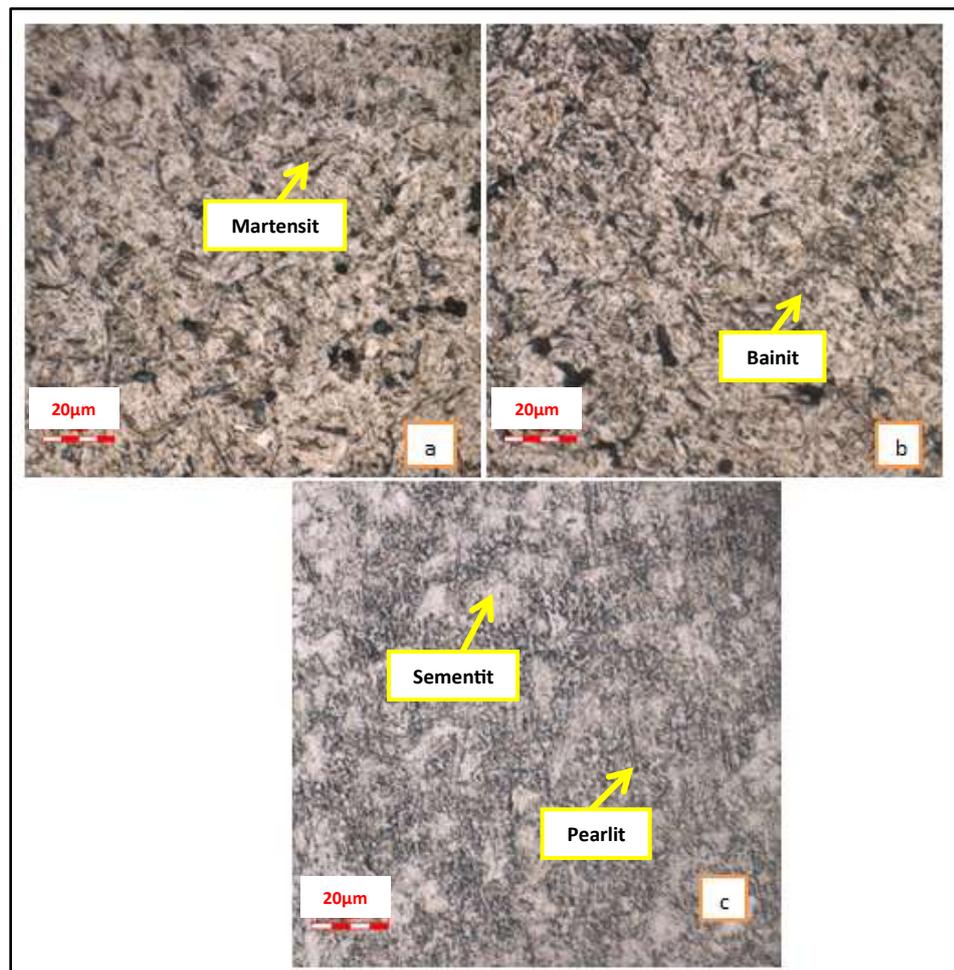


Gambar 34 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 730°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air; (b) pendingin oli; (c) pendingin udara.

Pada gambar 34 menunjukkan bentuk butir pada baja karbon tinggi JIS G 3506 yang dipanaskan pada suhu 730°C selama 1 jam terlihat bahwa struktur yang terbentuk yaitu bintik bintik sferoid. Namun bila disesuaikan dengan kandungan karbon 0,8% pada suhu 730°C seharusnya telah masuk daerah austenit penuh, namun setelah dilakukan pengujian struktur mikro fasa yang terbentuk yaitu perlit, sementit dan sferoid yang menunjukkan bahwa pada suhu 730°C belum masuk daerah austenit penuh. Struktur sferoid terbentuk dikarenakan pemanasan dengan temperatur 730°C yang merupakan pemanasan sferodisasi. Sferodisasi merupakan proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang menghasilkan fasa sementit berupa sferoid. Proses ini bertujuan untuk menambah ketangguhan (*toughness*) baja yang mempunyai sifat getas.

Sampel awal sebelum perlakuan panas adalah hasil proses canai panas, sehingga pemanasan baja karbon tinggi pada suhu 700°C dan 730°C dengan

waktu tahan tertentu akan memungkinkan terjadi fase pemulihan (*recovery*). Fase pemulihan merupakan proses *stress relieving* karena melepaskan sebagian tegangan dalam dan pengurangan tegangan sisa, fase ini dapat ditandai dengan adanya penurunan kekerasan setelah pemanasan. Hasil kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan sebelum pemanasan 700°C dan 730°C adalah 343 HV dan setelah pemanasan terjadi penurunan kekerasan pada rentang 225 HV hingga 251 HV.

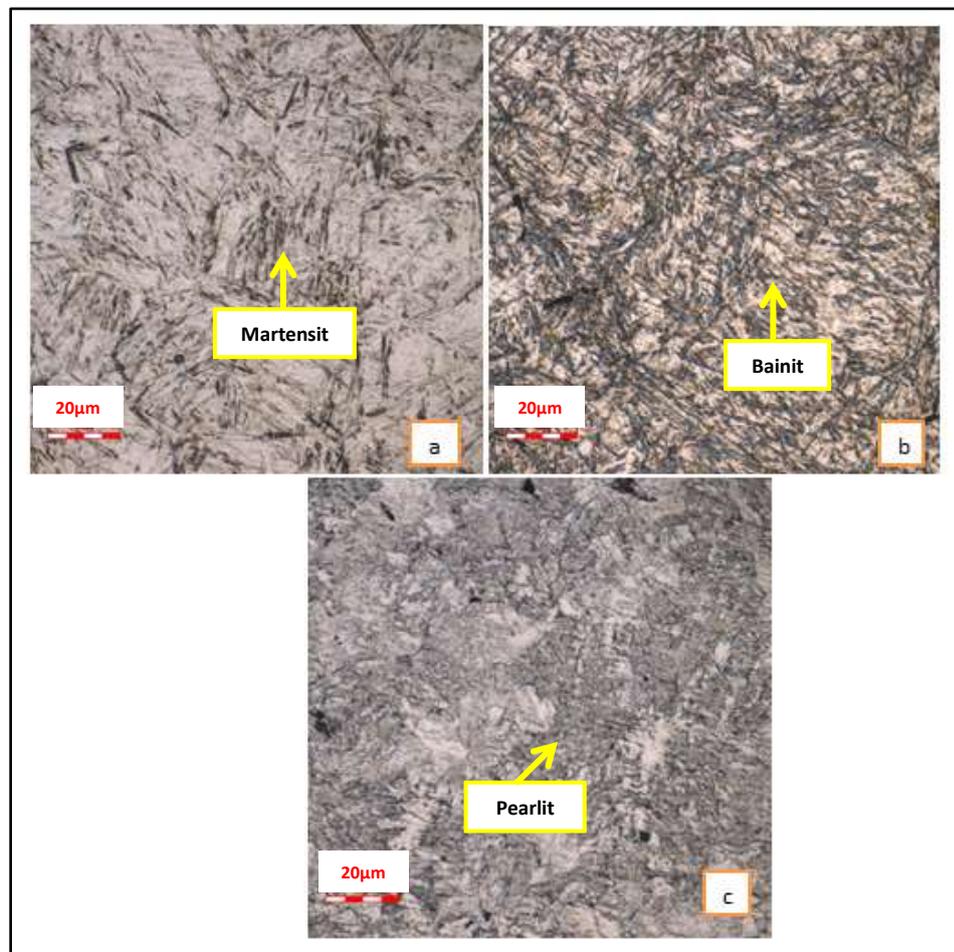


Gambar 35 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 760°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air, (b) pendingin oli, (c) pendingin udara

Gambar 35 memperlihatkan bentuk butir setelah pemanasan 760°C pada baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan media pendingin air, oli dan udara. Pada gambar ini menunjukkan bahwa fasa terbentuk tergantung media pendingin. Pada gambar 34(a) dengan pendinginan air terbentuk martensit, bainit dan austenit sisa dimana fasa martensit yang mendominasi pada permukaan. Pada gambar 34(b)

dengan pendinginan oli terbentuk fasa martensit dan bainit dimana fasa bainit yang mendominasi pada permukaan. Sedangkan pada gambar 34(c) dengan pendinginan udara terbentuk fasa perlit dan sementit dimana yang mendominasi adalah fasa perlit.

Hasil uji metalografi terdapat kesesuaian dengan hasil uji kekerasan, dimana pendinginan air, oli dan udara diperoleh kekerasan berturut-turut 726 HV, 633 HV, dan 221 HV. Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mola dan Ren, (2018) bahwa untuk baja kandungan karbon 1% diperoleh kekerasan 750 HV untuk volume fraksi martensit 75%, kekerasan 600HV untuk volume fraksi martensit 60%, dan untuk kekerasan 200HV untuk volume fraksi martensit 0%. Kekerasan 221 HV termasuk dalam nilai kekerasan perlit.



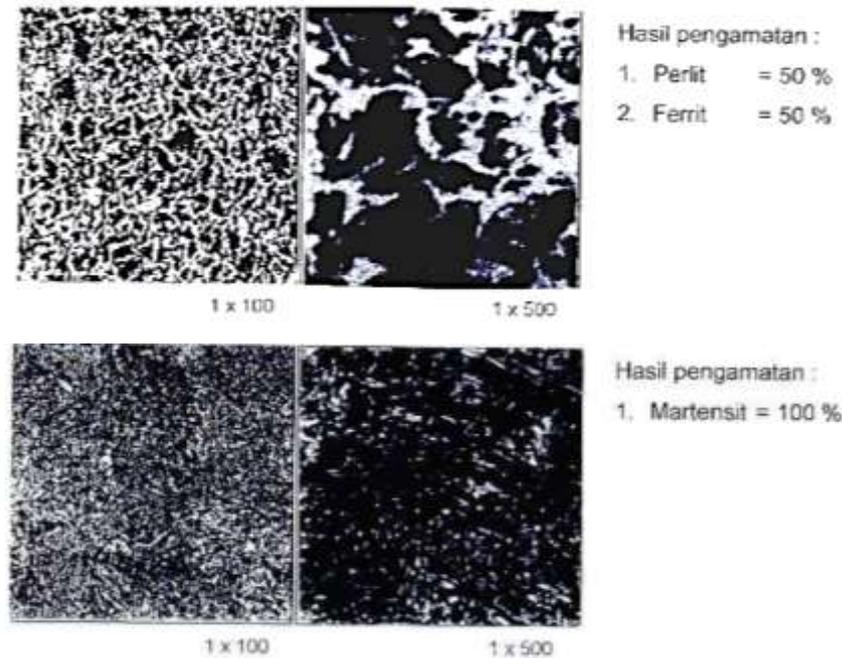
Gambar 36 Struktur mikro baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan pemanasan pada suhu 800°C dan dinginkan dengan media pendingin (a) pendingin air, (b) pendingin oli, (c) pendingin udara.

Pada gambar 36 yaitu pemanasan sampel baja karbon tinggi JIS G 3506 pada suhu 800°C yaitu mencapai suhu austenisasi penuh kemudian didinginkan

dengan mendingin air, oli dan udara. Struktur mikro dengan pendinginan air pada gambar 36(a) menunjukkan telah terjadi pendinginan yang sangat cepat sehingga hampir semua atau sebagian besar austenit telah bertransformasi ke fasa martensit dan terdapat juga austenit sisa. Struktur mikro dengan pendinginan oli ditunjukkan pada gambar 36(b), austenit telah berubah menjadi bainit dan perlit sisa yang tidak bertransformasi. Sedangkan struktur mikro dengan pendinginan udara pada gambar 36(c) menunjukkan bahwa perubahan yang terjadi adalah terbentuknya perlit dan austenit sisa.

Proses pendinginan dengan media air didapatkan struktur mikro martensit. Martensit terbentuk dikarenakan pada saat proses pendinginan dari temperatur austenit stabil, karbon tidak mempunyai waktu yang cukup untuk berdifusi keluar dari austenit. Pada proses pendinginan cepat struktur austenit tidak dapat bertransformasi dengan sempurna 100% melainkan terdapat struktur *retained austenite* (austenite sisa) (Fauzi, Nurtanto. 2022). Pada hasil pengamatan struktur mikro, proses pendinginan di air dan oli terdapat austenit sisa yang ditunjukkan dengan daerah yang berwarna terang. Sebagian besar austenit pada baja eutektoid akan berubah menjadi martensit pada saat didinginkan ke temperatur kamar. Bagian yang tidak bertransformasi menjadi martensit ini yang disebut austenit sisa. Untuk mendapatkan struktur 100% martensit maka diperlukan proses pendinginan lagi sampai dibawah temperatur kamar, proses ini disebut *subzero treatment* (Kharisma, Yuko.2017)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Herwandi dan Asrul Hidayat tentang analisa perubahan struktur akibat *heat treatment* pada baja, FC dan Ni-Hard 4, dimana pada penelitian tersebut baja dipanaskan hingga 800°C dengan waktu pemanasan sekitar 2 jam dan menggunakan media pendingin air. Hasil struktur mikro baja sebelum di *heat treatment* adalah fasa perlit dan fasa ferit sedangkan struktur mikro baja setelah di *heat treatment* adalah 100% fasa martensit.



Gambar 37 Struktur mikro baja sebelum dan sesudah di heat treatment

Untuk memperoleh martensit yang keras, maka saat pemanasan haruslah dicapai struktur austenit, karena austenit inilah yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Tetapi walaupun telah dicapai struktur austenit seluruhnya saat pemanasan, belum tentu kekerasan maksimum dapat dicapai karena mungkin di dalam austenit terlalu banyak karbon yang akan menyebabkan terdapatnya austenit sisa setelah *quenching*. Dengan bertambahnya temperatur austenisasi menyebabkan berkurangnya austenit sisa yang ada pada spesimen, sisa austenit terjadi akibat kandungan karbon yang tinggi, dan hadirnya elemen penstabil austenit pada baja.

Jika meninjau hasil pengamatan struktur mikro, pemanasan dengan suhu yang berbeda yaitu 760°C dan 800°C dengan media pendinginan yang sama yaitu menggunakan air mempunyai struktur mikro yang sama, akan tetapi nilai kekerasan yang didapat pada suhu 760°C sedikit dibawah nilai kekerasan pada suhu 800°C. Hal ini dikarenakan struktur mikro yang terbentuk pada pemanasan dengan suhu 760°C tidak sepenuhnya martensit akan tetapi terbentuk struktur mikro lain seperti bainit dan austenit sisa dengan fraksi volume yang kecil. Hal ini membuat kekerasan spesimen pada pemanasan dengan suhu 760°C mempunyai nilai kekerasan sedikit dibawah pemanasan dengan suhu 800°C.

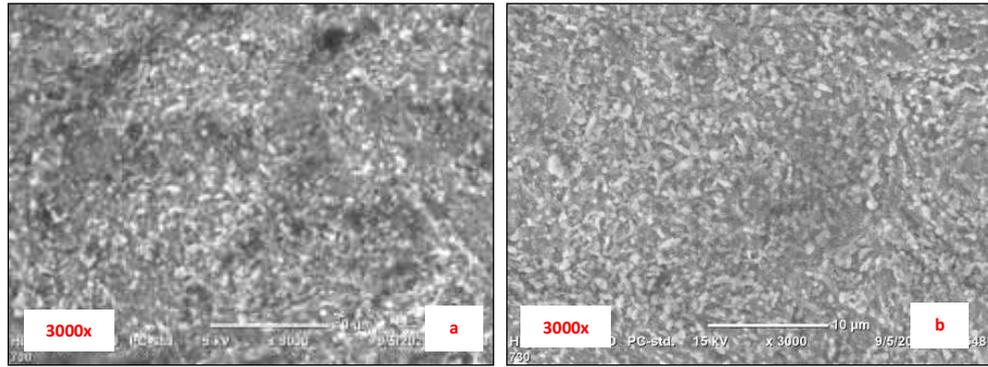
Dapat dilihat bahwa pengaruh variasi temperatur dimana semakin tinggi laju pendinginan maka kandungan martensit yang terbentuk semakin banyak. Austenit sisa ditunjukkan dengan daerah yang berwarna terang pada struktur mikro yang dapat terbentuk karena adanya unsur kandungan Mn 0,695% dan Cr 0.334% yang mana kedua paduan ini dapat menstabilkan austenit pada suhu kamar (R. Hossain dkk, 2016)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Dina Restia Ningrum dkk tentang pengaruh proses pemanasan dengan variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada baja karbon sedang, dimana penelitian tersebut dilakukan pemanasan awal pada suhu 600°C dengan waktu tahan 30 menit kemudian dilanjutkan pemanasan hingga suhu 780°C selama 20 menit. Selanjutnya didinginkan dengan media pendingin air, air garam, oli dan udara. Hasil struktur mikro yang didapatkan adalah dengan media air terbentuk martensit tidak merata, dengan media oli terbentuk martensit yang merata dan relatif lebih tumpul daripada martensit yang menggunakan media pendingin air, penyerapan panas pada oli tidak cepat turun karena viskositas oli lebih tinggi dari air. Sedangkan dengan media udara terbentuk ferit dan perlit.

Dari pengujian metalografi ini dapat diketahui bahwa pada suhu 700°C dan 730°C belum termasuk suhu austenisasi, karena apabila perlakuan panas dilakukan di bawah suhu austenisasi maka tidak akan terjadi transformasi fasa.

4.3 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

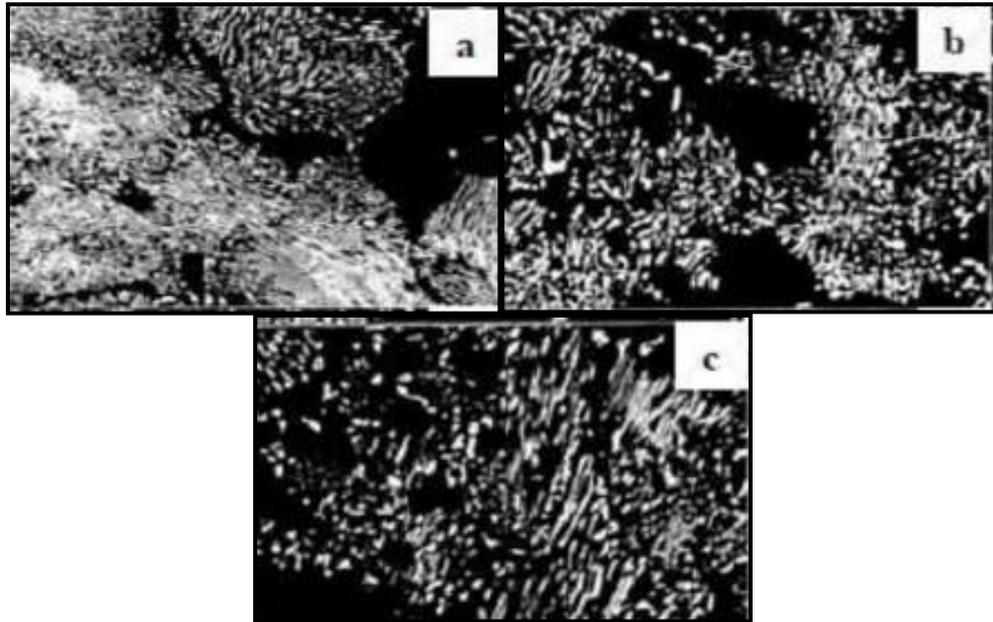
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada penelitian ini bertujuan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano). Pengujian ini menunjukkan perubahan struktur permukaan baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan media pendingin oli pada suhu pemanasan 700°C, 730°C dan 800°C. Pada pengujian kali ini dilakukan dengan perbesaran 1000x, 3000x dan 5000x.



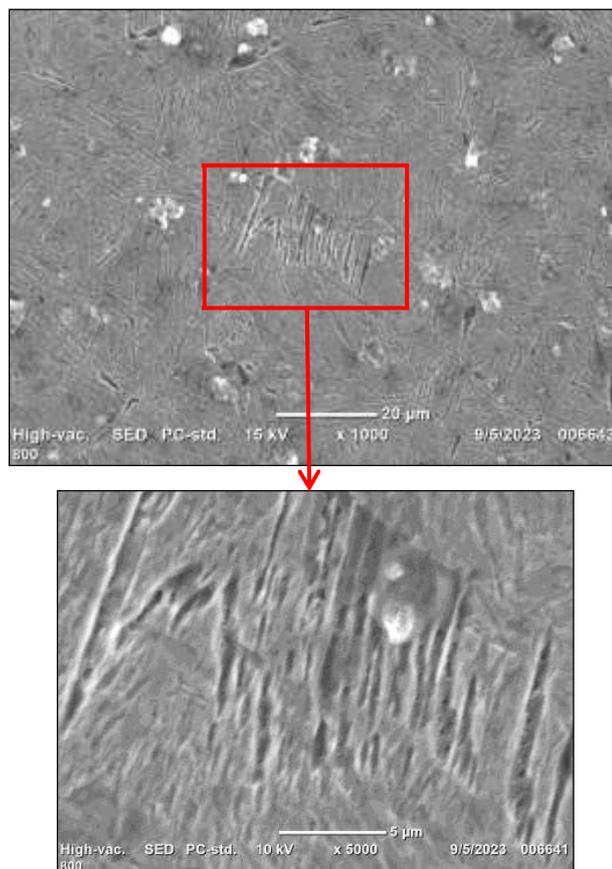
Gambar 38 Hasil pengujian SEM baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan media pendingin oli pada suhu (a) suhu 700°C (b) suhu 730°C

Pada gambar 38 menunjukkan bentuk butir pada baja karbon tinggi JIS G 3506 yang dipanaskan pada suhu 700°C dan 730°C terlihat dengan jelas yaitu bintik bintik sferoidal, struktur ini terbentuk karna terjadinya sferoidisasi. Sferoidisasi baja karbon tinggi adalah metode pemanasan berkepanjangan pada suhu di bawah suhu eutektoid. Dengan pemanasan pada suhu ini, perlit susunan baja dengan energi paling rendah, diubah menjadi ferit dan sementit. Kandungan grafit baja mengambil bentuk bulat setelah sferoidisasi dan setelah pemanasan yang lama, lapisan perlit dipecah dan gumpalan sementit, atau spheroid yang terbentuk (Maxwill, 2021)

Pada jurnal oleh Victor Alcantar Alza (2021) tentang *spheroidizing* pada baja, dijelaskan tentang struktur mikro dari baja *hipoeutektoid* yang dianil dengan perlakuan sferoidisasi pada suhu 700°C dengan perbandingan waktu tahan 0, 2 jam dan 10 jam. Bila dilihat dari gambar 39 dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu tahan maka butir butir spheroid yang terbentuk akan semakin banyak.

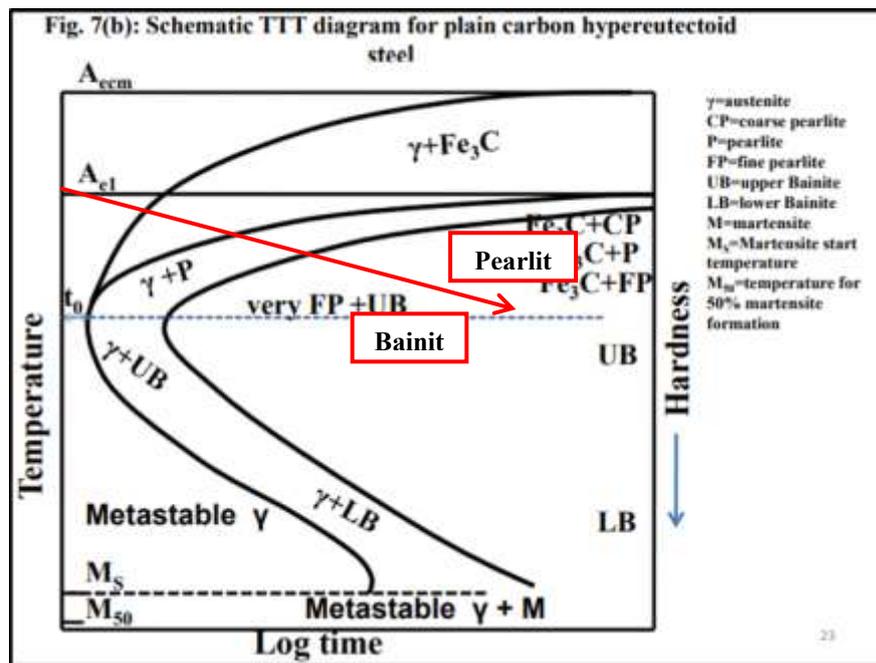


Gambar 39 Struktur mikro baja hipoeutektoid yang dianil dengan perlakuan spheroidisasi pada suhu 700 °C; a) $t=0$, b) $t=2h$, dan c) $t=10h$
 Sumber : Alcantara A, Victor. 2021



Gambar 40 Hasil pengujian SEM baja karbon tinggi JIS G 3506 dengan media pendingin oli pada suhu 800°C

Pada gambar 40 menunjukkan bentuk butir pada baja karbon tinggi JIS G 3506 yang dipanaskan pada suhu 800°C terlihat dengan jelas yaitu terdapat fasa bainit yang mendominasi dan perlit sisa yang tidak bertransformasi. Fasa ini terbentuk dikarenakan melalui proses pendinginan yang *moderate* yaitu menggunakan media pendinginan oli, sehingga bila dilihat menggunakan diagram TTT fasa yang terbentuk adalah bainit dan juga perlit. Bentuk bainit berupa jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain dan berwarna gelap (Adie S, Bayu. 2013).



Gambar 41 Diagram TTT

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gunawan Dwi H (2021), tentang pengaruh variasi temperatur quenching dan media pendingin pada baja, dimana pada penelitian ini menggunakan baja karbon rendah yang dipanaskan dengan suhu 800°C dengan dengan media pendingin oli, didapatkan hasil struktur mikro yaitu memiliki fasa bainit yang lebih mendominasi dibandingkan fasa martensit. Pertumbuhan bainit ini dikarenakan hasil dari produk dari pertumbuhan ferit dan sementit menjadi austenit selama proses dekomposisi *eutectoid* dengan hal ini sementit yang muncul dalam bentuk non lamelar. Pada kinematika transformasi ini saling berkaitan dengan laju pergerakan difusi karbon pada baja.

4.4 Komposisi Kimia

Pada penelitian ini melakukan uji komposisi kimia terhadap sampel baja karbon tinggi JIS G 3506. Hasil uji kimia akan dijadikan dasar dalam penentuan suhu austenisasi dan dasar dalam memperkirakan struktur mikro yang akan terjadi setelah perlakuan panas. Metode uji komposisi yang digunakan adalah metode *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Namun terdapat perbedaan hasil komposisi kimia awal sampel sebelum dilakukannya pengujian yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3 Komposisi kimia *specification sheet* 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														

Adapun hasil setelah dilakukannya pengujian komposisi kimia *Optical Emission Spectroscopy* (OES) menunjukkan bahwa kandungan karbon (C) sampel adalah 0,91%.

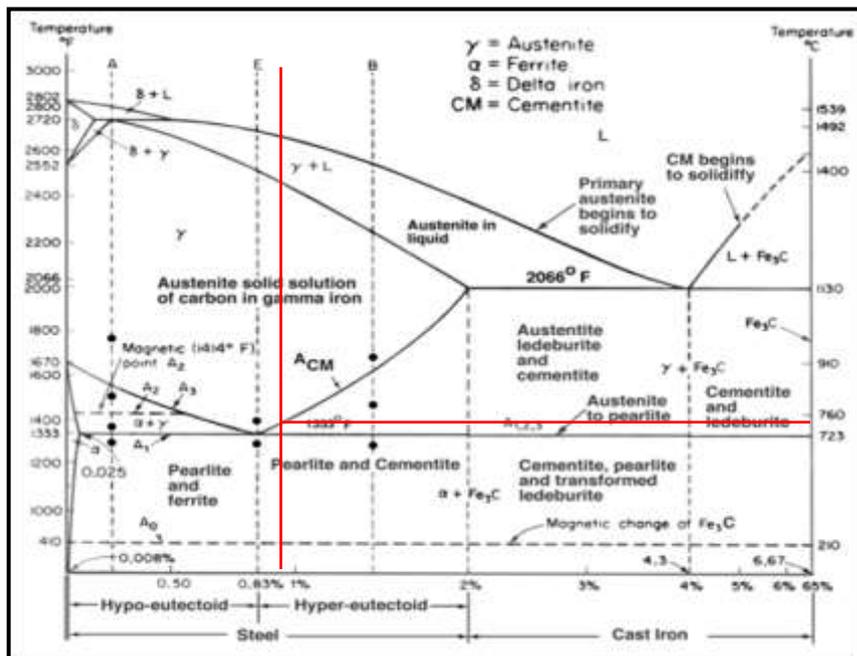
Tabel 4 Hasil uji komposisi kimia baja karbon tinggi JIS G 3506

Chemical Composition (%)						
%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
97,6	0,91	0,24	0,69	0,02	0,003	0,33

Dari hasil pengujian komposisi spesimen baja karbon tinggi, dengan penyusun utama Besi (Fe) sebesar 97,6% yang berpengaruh pada kekuatan dan kekerasan, dengan kandungan karbon (c) sebesar 0,91% dan unsur paduan Mangan (Mn), Krom (Cr) dan Nikel (Ni) pada baja adalah unsur penstabil austenit sehingga akan terbentuk pada suhu kamar saat pendinginan baja karbon tinggi (R. Hossain dkk, 2016). Hasil uji komposisi kimia juga menunjukkan bahwa pada sampel terdapat unsur Mn 0.69% dan Cr 0.33% sebagai unsur-unsur penstabil austenit. Dengan demikian, dapat diperkirakan bahwa sampe uji baja karbon

tinggi JIS G 3506 yang diaustenisasi lalu didinginkan dapat menghasilkan austenit sisa.

Berdasarkan diagram Fe-C, austenit dalam paduan besi-karbon umumnya mulai terlihat di atas 723°C hingga di bawah 1500°C, bergantung pada kandungan karbon. Berdasarkan komposisi kimia *specification sheet* bahwa kandungan karbon (C) sampel adalah 0,8%. Pada baja 0,8% austenit penuh akan terjadi pada suhu 723°C, namun setelah dilakukannya pengujian komposisi kimia *Optical Emission Spectroscopy* (OES) diketahui bahwa kandungan karbon (C) sampel adalah 0,9%. Baja dengan kadar karbon 0,9% sebagai sampel uji dalam penelitian ini dapat diketahui dari diagram Fe-C bahwa austenit akan mulai terbentuk pada suhu 723°C dan menjadi austenit penuh pada suhu 750°C. baja akan menjadi austenit dan sementit pada 723°C hingga 750°C.



Gambar 42 Diagram Fe-C (karbon 0,917%)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada proses pemanasan baja karbon tinggi dengan variasi suhu dan media pendingin, peneliti menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian kekerasan yang didapatkan bahwa, suhu austenisasi pada proses perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan baja dimana kekerasan spesimen tanpa perlakuan panas adalah 343 HV, kemudian setelah dilakukan pemanasan dengan perlakuan suhu 700°C dan 730°C kekerasannya menurun, sedangkan setelah dilakukan pemanasan dengan perlakuan suhu 760°C dan 800°C kekerasannya meningkat, hal ini dikarenakan pada suhu 700°C dan 730°C belum mencapai suhu austenisasi penuh sehingga tidak terjadinya transformasi *austenite* yang akan menentukan sifat mekanik baja. Selain pengaruh suhu austenisasi terdapat pula pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dimana perlakuan panas baja dengan media pendingin air menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan media pendingin oli dan udara, hal di karenakan media air memiliki tingkat laju pendinginan yang tinggi dibandingkan oli dan udara, semakin meningkat laju pendinginan maka tingkat kekerasannya pun semakin meningkat
2. Hasil pengamatan struktur mikro baja tanpa perlakuan panas dan setelah pemanasan dengan suhu 700°C, 730°C, 760°C, dan 800°C dengan beberapa laju pendinginan yaitu media pendingin air, oli dan udara dapat diketahui bahwa, pada suhu 700°C dan 730°C tidak terjadinya perubahan dikarenakan pemanasan pada baja karbon dengan kandungan karbon (c) 0,9% memiliki temperatur kritis di suhu 750°C. Sehingga austenit penuh tidak akan terbentuk di suhu 700°C dan 730°C, namun memungkinkan terjadinya fase pemulihan (*recovery*), rekristalisasi dan pertumbuhan butir. 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, pendinginan yang cepat pada baja menyebabkan terjadinya martensit yang akan meningkatkan kekuatan mekanik baja, sedangkan dengan pendinginan yang cukup lambat dapat menyebabkan terjadinya bainit yang akan mengembalikan keuletan baja dan untuk pendinginan yang lambat akan membentuk perlit. Semakin tinggi laju pendinginan maka kandungan martensit yang terbentuk semakin banyak. Adapun hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM) baja setelah pemanasan dengan suhu 700°C, 730°C dan 800°C dengan laju pendinginan yaitu media oli dapat diketahui bahwa, pada suhu 700°C dan 730°C struktur yang terbentuk yaitu bintik bintik sferoid akibat terjadinya sferoidisasi yang merupakan metode pemanasan berkepanjangan pada suhu di bawah suhu *eutectoid*. Sedangkan pada suhu 800°C fasa yang terbentuk yaitu bainit dan perlit. Fasa ini terbentuk dikarenakan melalui proses pendinginan menggunakan media pendinginan oli, sehingga bila dilihat menggunakan diagram TTT fasa yang terbentuk adalah bainit dan perlit.

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian untuk dapat dilanjutkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan waktu tahan pemanasan yang divariasikan untuk mengetahui efek waktu tahan pemanasan terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.
2. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sampel baja dengan kadar karbon yang bervariasi untuk mengetahui pengaruh kadar karbon terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adie S, Bayu. “Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340”, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 2 (2013):345
- Ahmed M. Abaas, Ayad A. Ramadhan, Fattah H. Hasan. 2018. *Study the effect of cooling medium on the torsion*, AEROTECH VII (2018):8
- Alcantara A,Victor. “Spheroidizing in Steels: Processes, Mechanisms, Kinetic and Microstructure - A Review”.IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) Vol 18 (2021):69
- Amanto, Hari. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Angkasa
- Anonim. Diagram Continuous Cooling Transformation Cct, Pengertian Fungsi Cara Aplikasi. Diakses pada 7 Desember 2022 dari <https://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/besi-baja-iron-steel/diagram-continuous-cooling-transformation-cct-diagram/>
- Anonim. Diagram Dan Diagram TTT. Diakses pada 5 Desember 2022 dari <http://knowledgeatery.blogspot.com/>
- Ardian, A. Handout Teori Pembentukan Bahan. Penerbit Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta
- ASM Handbook. 1991. ASM Handbook Volume 4 Heat Treatment. USA: ASM International.
- Bahri, Samsul. 2018. Analisa Perlakuan Panas Terhadap Baja Karbon NS 1045. ISSN : 2598–3814
- Choliq, Abdul & Nur Rahmat & Silviana Simbolon, 2021, Metalurgi Fisik, Tangerang Selatan-Banten: Unpam Press
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T.,1955. The Testing and Inspection of Engineering Materias. New York, USA: McGraw-Hill Book Company,.

- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik Edisi ke 3, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Dieter George E, 1988. *Mechanical metallurgy*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Djapri, S. 1987. *Terjemahan dari Mechanical Metallurgy*. Jakarta, Erlangga: *Metalurgi Mekanik*
- Dwi H, Gunawan dkk. “Pengaruh Variasi Temperatur Quenching dan Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045”, *Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 16 No. 2 (2021):260-261*
- Effendi, Sairul. “Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil Terhadap Kekerasan Logam”, *JURNAL AUSTENIT VOL 1, NO 1 (2009):41*
- Farhan, dkk. “Pengaruh Temperatur Pemanasan (Austenisasi) Perlakuan Panas Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja ST 60”, *JURNAL MESIN SAINS TERAPAN VOL. 5 NO. 1 (2021):1*
- Frankland, Jim. *Water, oil, air or none*. Diakses pada 05 November 2023 dari <https://www.ptonline.com/articles/water-oil-air-or-none>
- Gunawan, Arif R dkk “Pengaruh Variasi Temperatur Pemanas Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja ST 42”. Universitas Muhammadiyah Jember
- Hadi, M. Mengenal Pc Wire, PC Bar dan Pc Strand dalam Industri Beton Pratekan. Diakses pada 23 September 2023 dari <https://www.ilmubeton.com/2019/05/PcWirePcBarPcStrandPrestressing.htm>
1
- Ilham S, Rizki. Proses Produksi Pembuatan Wire Rope. Diakses pada 23 September 2023 dari <https://rajaalatkapal.com/proses-produksi-pembuatan-wire-rope/>
- Ismanhahadi S, Mohammad, dkk 2013 “Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Strukturmikro Baja Mangan Hadfield AISI 3401 PT Semen Gresik”, *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, Surabaya*.

- J. Mola and M Ren, 2018, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 373 012004
- Karmin. "Pengendalian Proses Pengerasan Baja dengan Metoda *Quenching*",
JURNAL AUSTENIT VOL 1, NO 2 (2009):20-21
- Masta, Ngia. *Scanning Electron Microscopy*. BMP.UKI:NM-01-SEM-PFis-I.
(2020):51-54
- Matien, Yahya A. 2016. "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro,
Kekerasan Dan Laju Korosi Pada Hardening Baja Karbon Sedang". Skripsi.
Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Maxwill. Spheroidizing – Metallurgical Processes. Diakses pada 9 September
2023 dari <https://www.maxwill-ind.com/spheroidizing-metallurgical-processes/>
- Mohamed A. Gebril, Mohammad. S. Aldlemey and Abdessalam F. Kablan. 2014.
*Effect of Austenization Temperatures and Times on Hardness,
Microstructure and Corrosion Rate of High Carbon Steel*.(2014):427
- Nugroho, Eko dkk. "Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat
Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi". Jurnal
Program Studi Teknik Mesin UM Metro 8 No 1 (2019):99.
- Pramono, Agus. 2011."Karakteristik Struktur Mikro Hasil Proses Hardening Baja
AISI 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprocket Rantai". Universitas
Sultan Ageng Tirtayasa
- Restia N, Dina dkk." Pengaruh Proses Pemanasan Dengan Variasi Media
Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon
Sedang". JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika Vol 2, No 2 (2014):39-40
- R. Hossain, F. Pahlevani, M. Z. Quadir & V. Sahajwalla, 2016, Stability of
retained austenite in high carbon steel under compressive stress: an
investigation from macro to nano scale. Diakses pada 28 Juli 2023 dari
www.nature.com/scientificreports

- Romaeni, Imaniar. 2017. "Pengaruh Temperatur Austenisasi Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Material 14% Cr-3% Ni-2% Mo- 2% C Untuk Aplikasi Bola Gerus". Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Rusjdi, Halim dkk. "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Aisi 4340". *Jurnal Power Plant* 4, No 2 (2016):97-98
- Samsul, Moh dkk. 2019. "Speroidizing". Makalah. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Suarsana, K dkk. "Pengaruh Perlakuan Temperatur Dan Media Pendinginan Terhadap Sifat Ketangguhan Baja Aisi 3215". *Jurnal METTEK* 4, No 1 (2018):24
- Sujatno, Agus. "Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium". *Jurnal Forum Nuklir (JFN)* 9, No 2 (2015):45-46
- Sumiyanto dan Abdunnaser. "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36". *BINA TEKNIKA* 11, No 2 (2015):157
- Surdia T, Saito S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Ke empat. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Sutowo, Cahya,. Bayu Agung Susilo. 2013. "Pengaruh Proses Hardening Pada Baja HQ 7 AISI 4140 Dengan Media Oli dan Air Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro" Jakarta : SINTEK Vol 7 No 1
- Syarief, Achmad. "Uji Kekerasan Baja Konstruksi ST-42 Pada Proses Heat Treatment". *INFO TEKNIK* 7, No 1 (2006):52
- Waluyo, Joko. "Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Karburisasi Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 Dengan Media Pendinginan Air". Penelitian, Universitas Sebelas Maret, 2009.

- Yanti,Asmeati. “Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Baja Karbon Tinggi Bohler K460”. SINERGI, No 2 (2014):124-125
- Yoga, Ridho. Diagram Fe-C. (2016). Diakses pada 21 November 2022 dari <https://id.scribd.com/presentation/328562526/Diagram--Fe-C>
- Zaenal. Beton Pratekan dan Metode Aplikasinya di Bangunan. Diakses pada 12 September 2023 dari <https://arafuru.com/sipil/aplikasi-beton-pratekan-pada-bangunan.html>
- Zulfiqar Andhika Suprayogi, Saufik Luthfianto, Drajat Samyono (2017) *Pengaruh Variasi Media Quenching Terhadap Sifat Mekanis Rantai Elevator Fruit Kelapa Sawit*, Program Studi Teknik Mesin, Program Studi Teknik Industri ,Universitas Pancasakti, Tegal, Jawa Tengah. Volume. 6, No.1, April 2016.

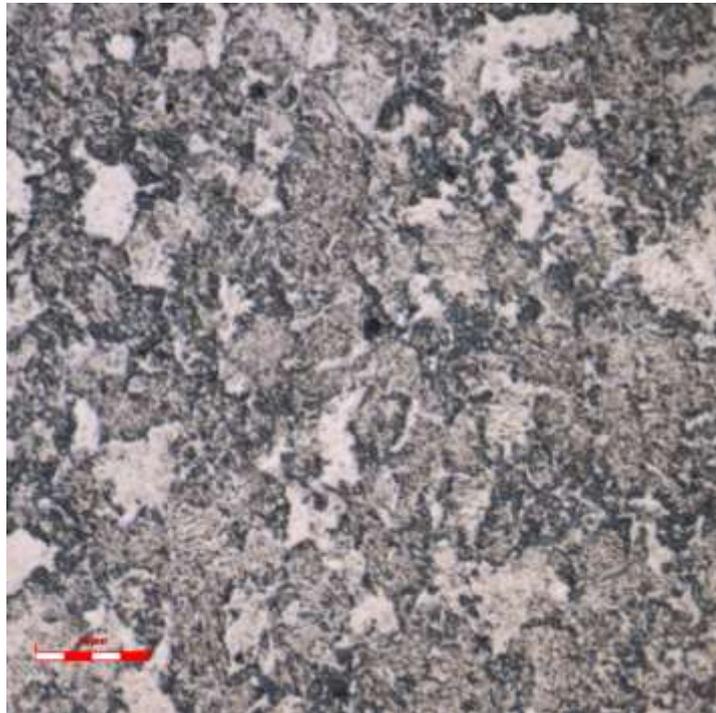
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

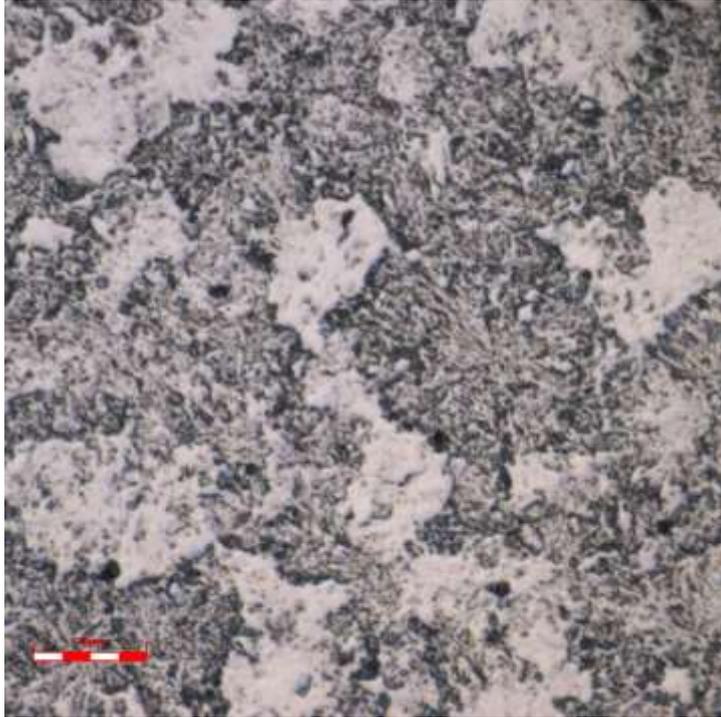
GAMBAR HASIL PENGUJIAN



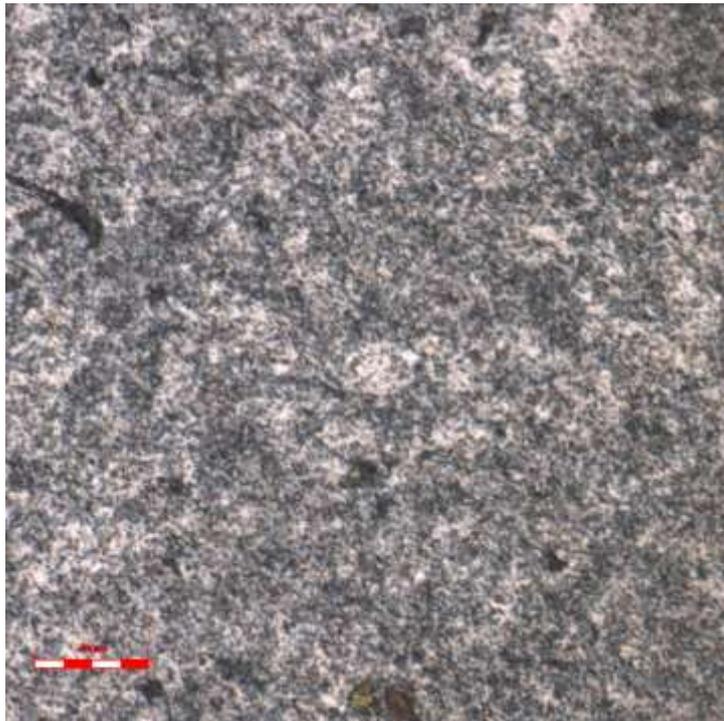
Gambar A.1 Struktur mikro sampel tanpa perlakuan (normal)



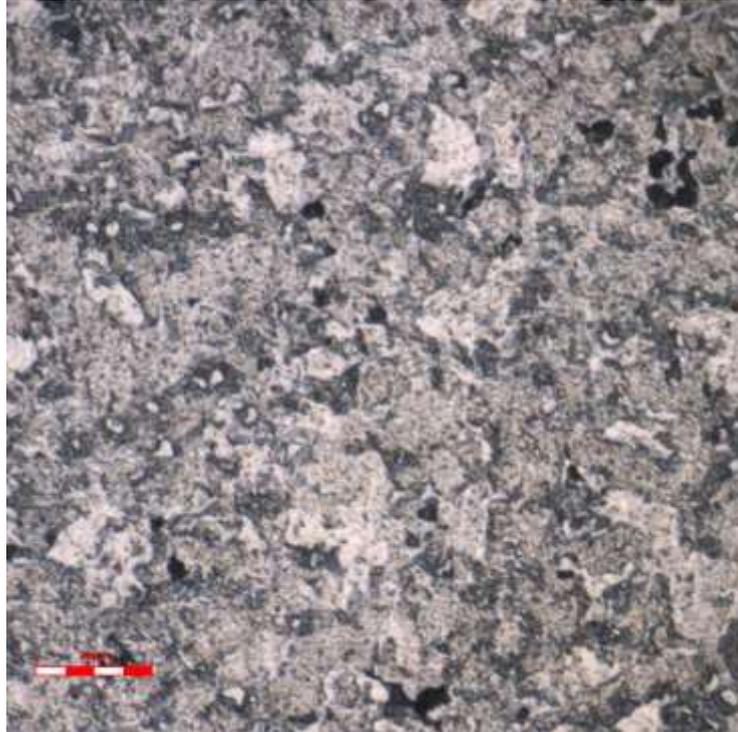
Gambar A.2 Struktur mikro pemanasan suhu 700°C media pendingin air



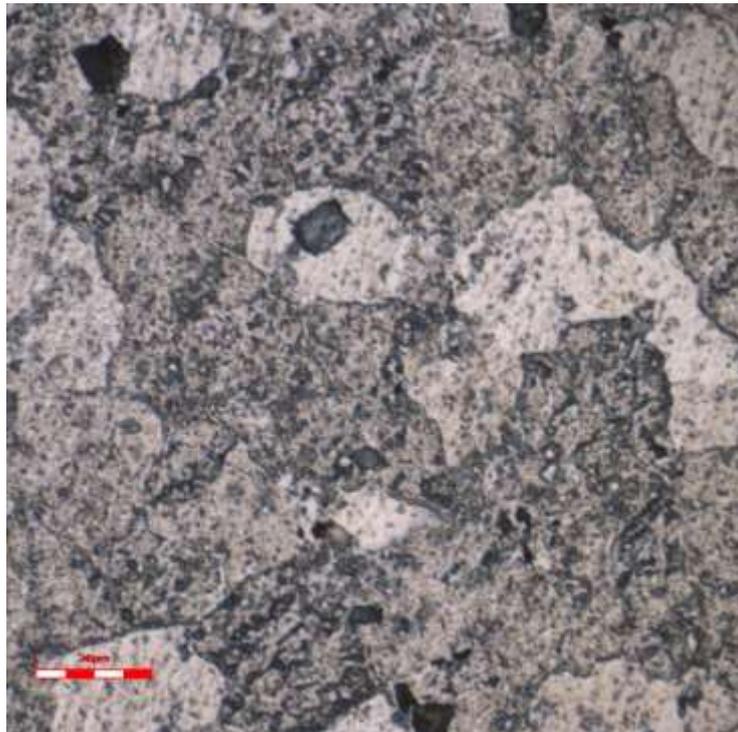
Gambar A.3 Struktur mikro pemanasan suhu 700°C media pendingin oli



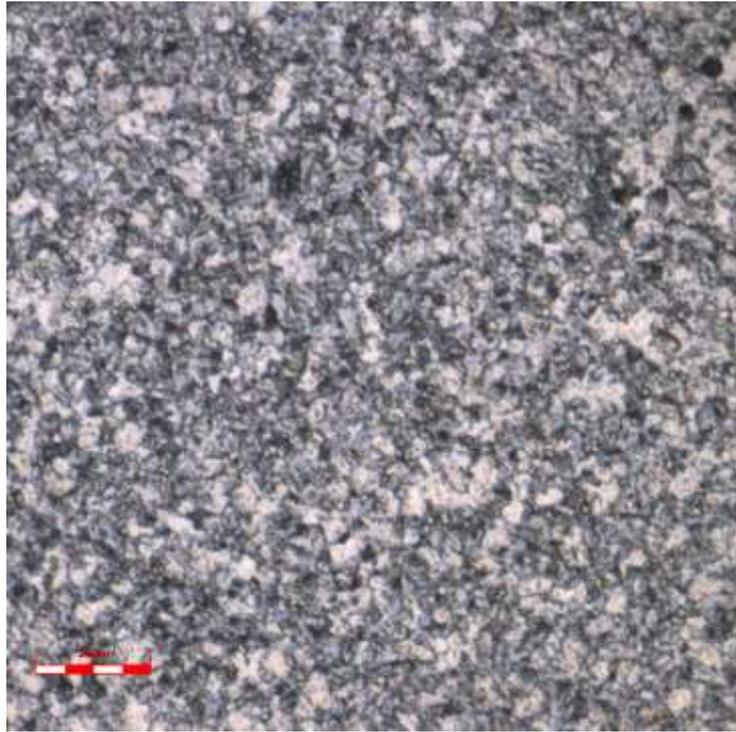
Gambar A.4 Struktur mikro pemanasan suhu 700°C media pendingin udara



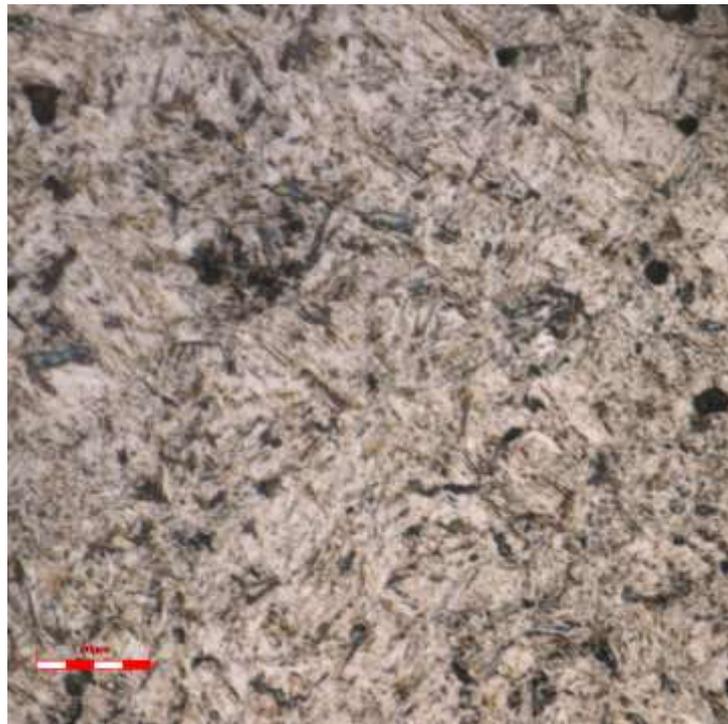
Gambar A.5 Struktur mikro pemanasan suhu 730°C media pendingin air



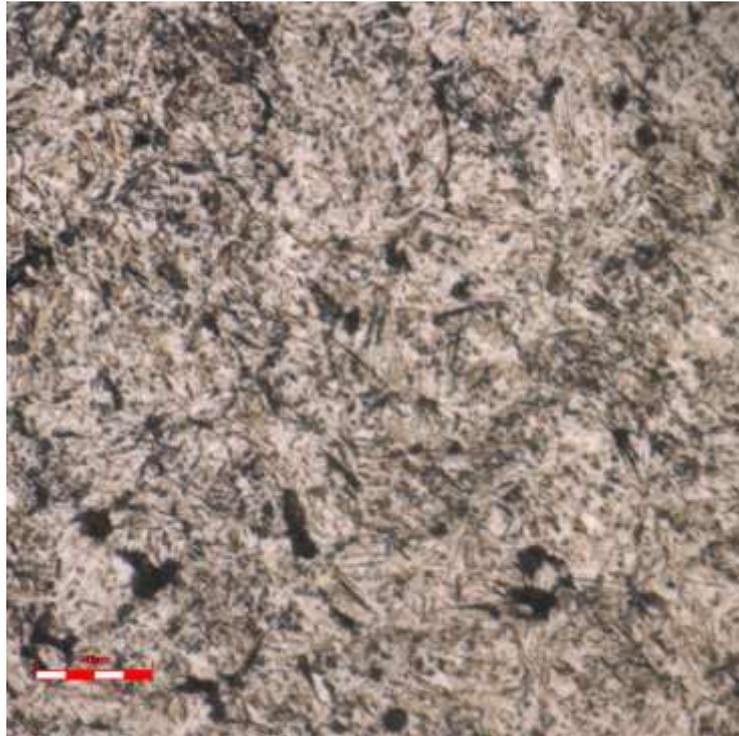
Gambar A.6 Struktur mikro pemanasan suhu 730°C media pendingin oli



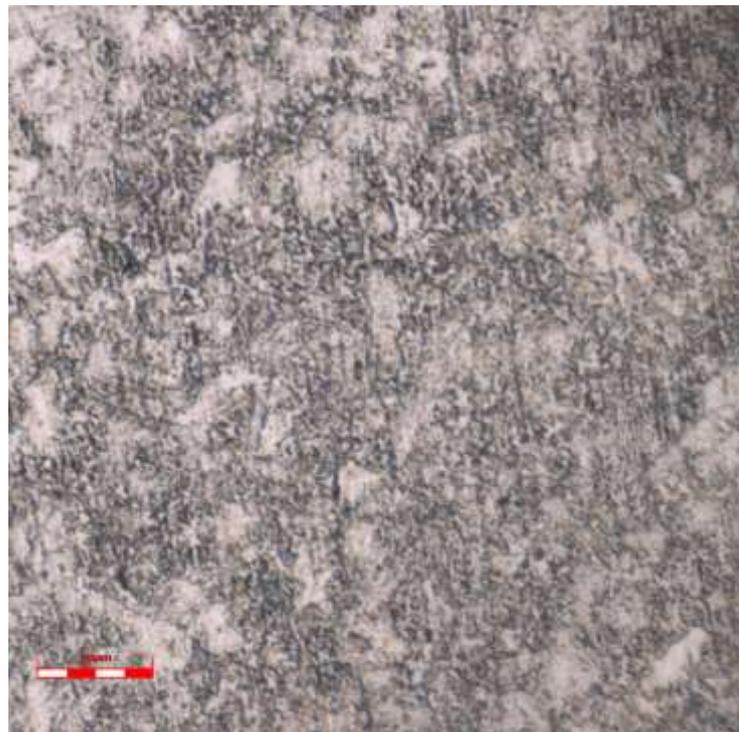
Gambar A.7 Struktur mikro pemanasan suhu 730°C media pendingin udara



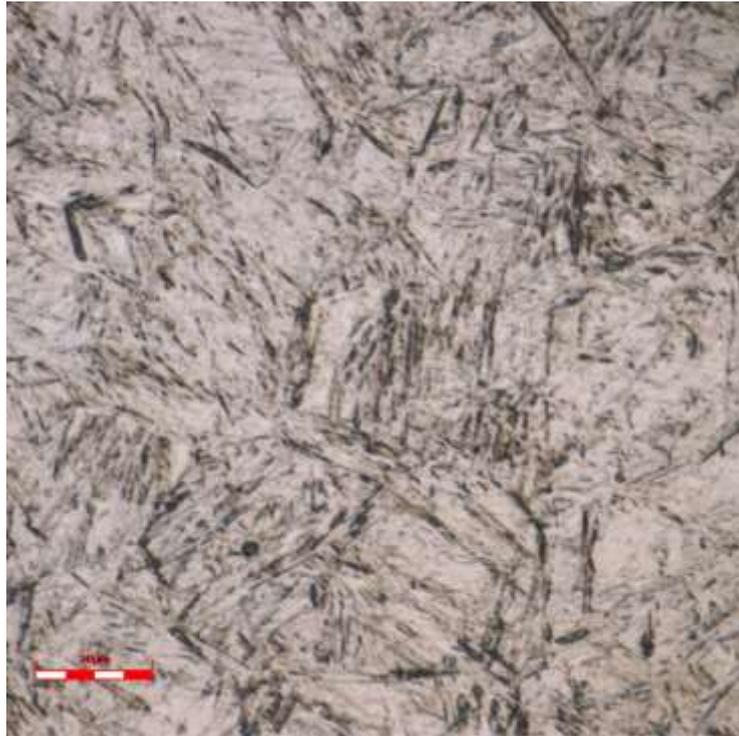
Gambar A.8 Struktur mikro pemanasan suhu 760°C media pendingin air



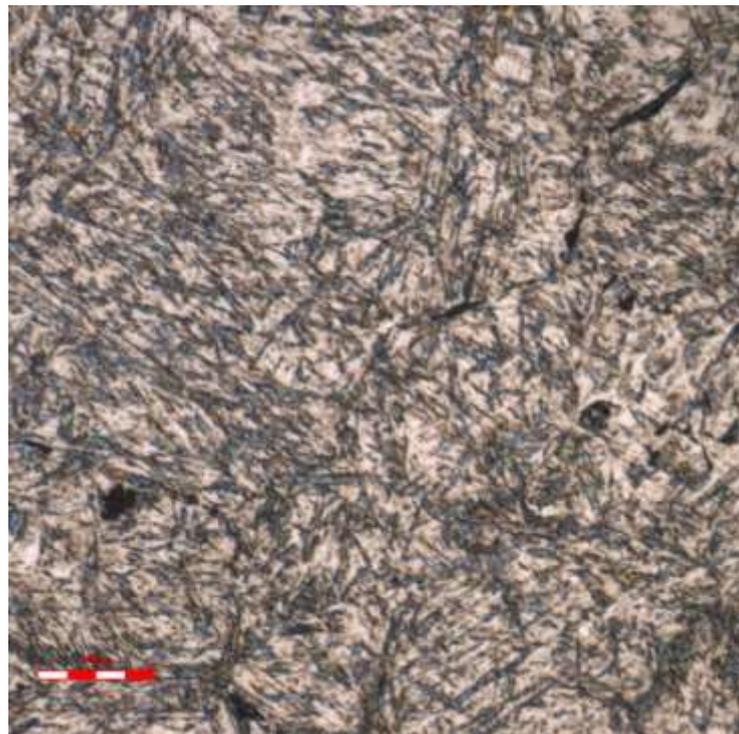
Gambar A.9 Struktur mikro pemanasan suhu 760°C media pendingin oli



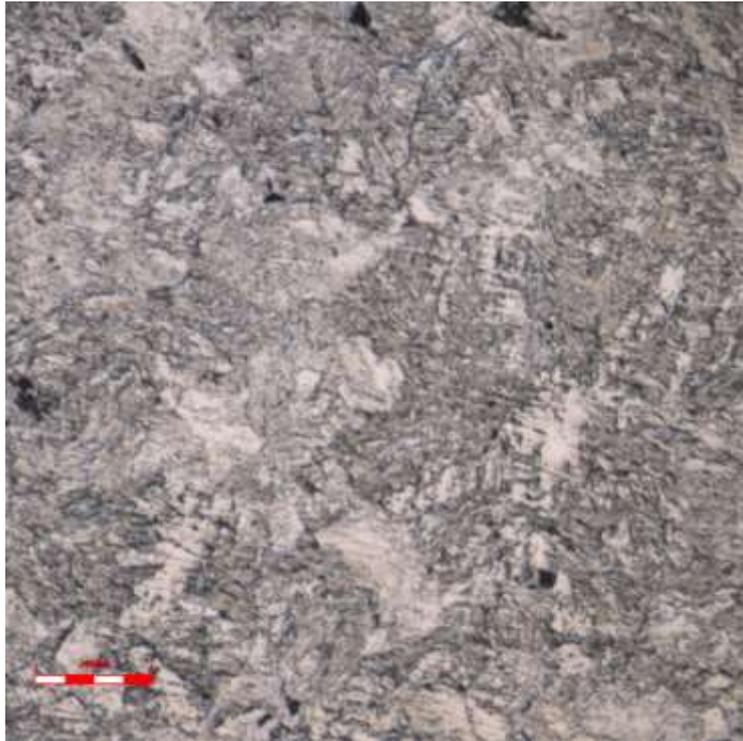
Gambar A.10 Struktur mikro pemanasan suhu 760°C media pendingin udara



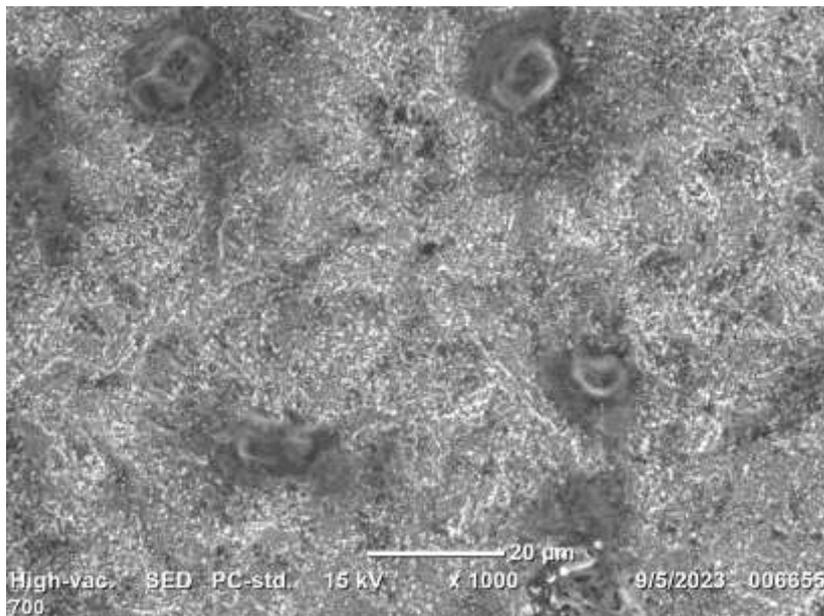
Gambar A.11 Struktur mikro pemanasan suhu 800°C media pendingin air



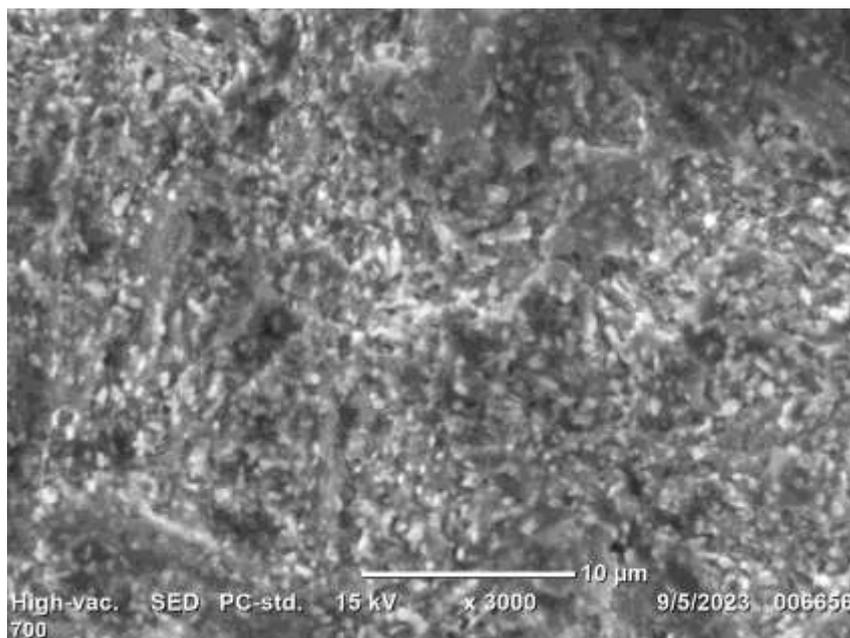
Gambar A.12 Struktur mikro pemanasan suhu 800°C media pendingin oli



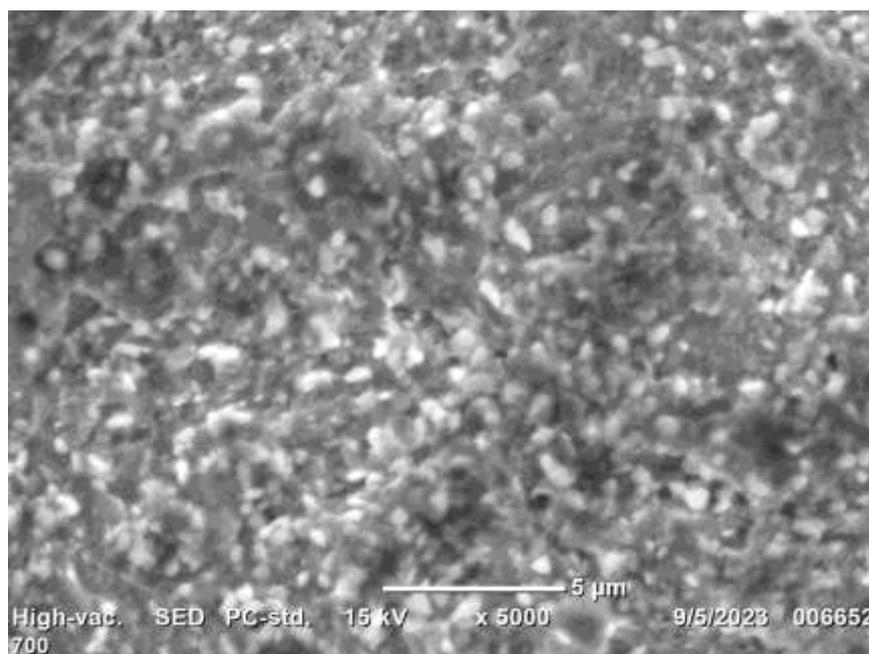
Gambar A.13 Struktur mikro pemanasan suhu 800°C media pendingin udara



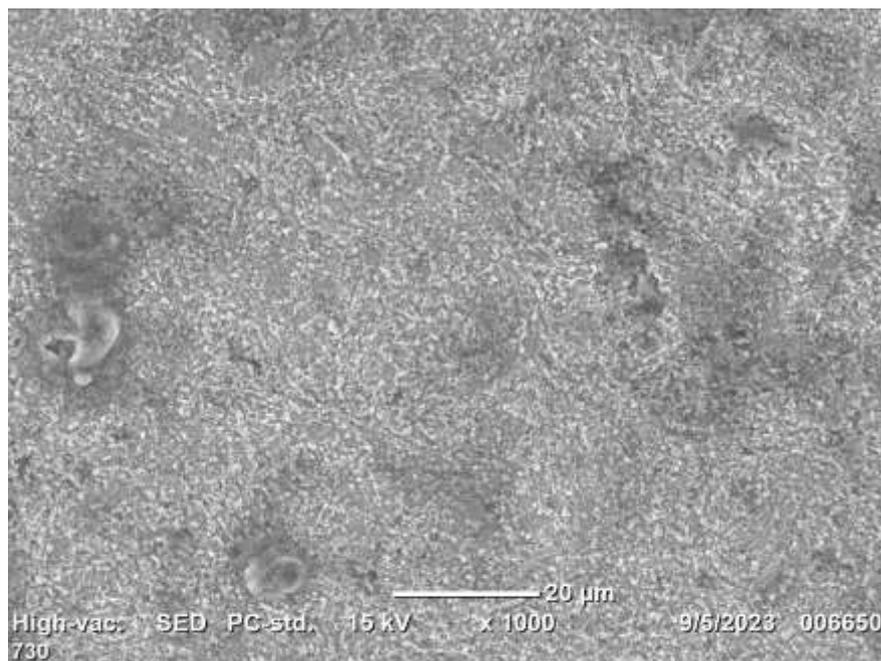
Gambar A.14 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 700°C media pendingin oli (1000x)



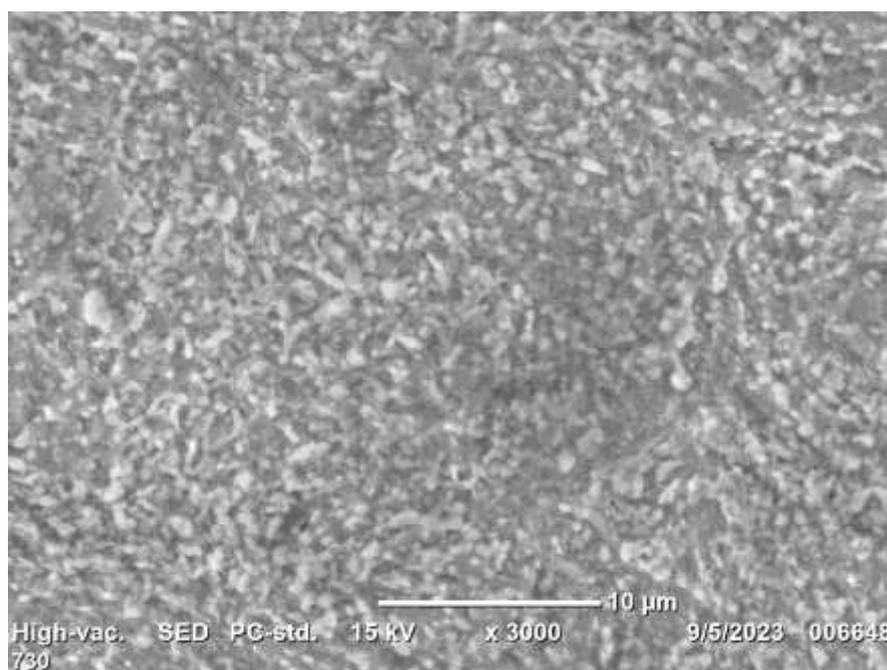
Gambar A.15 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 700°C media pendingin oli (3000x)



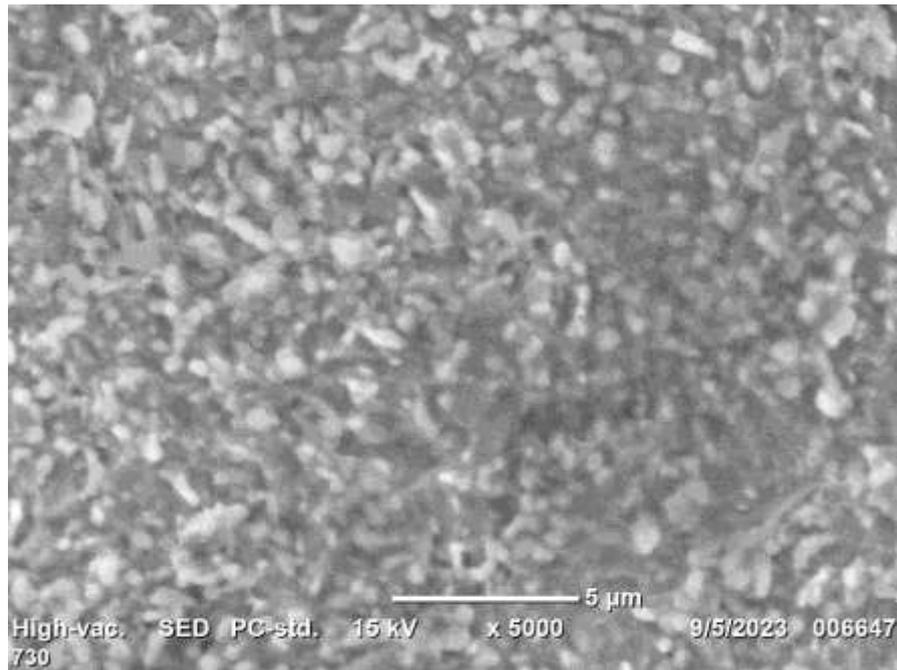
Gambar A.16 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 700°C media pendingin oli (5000x)



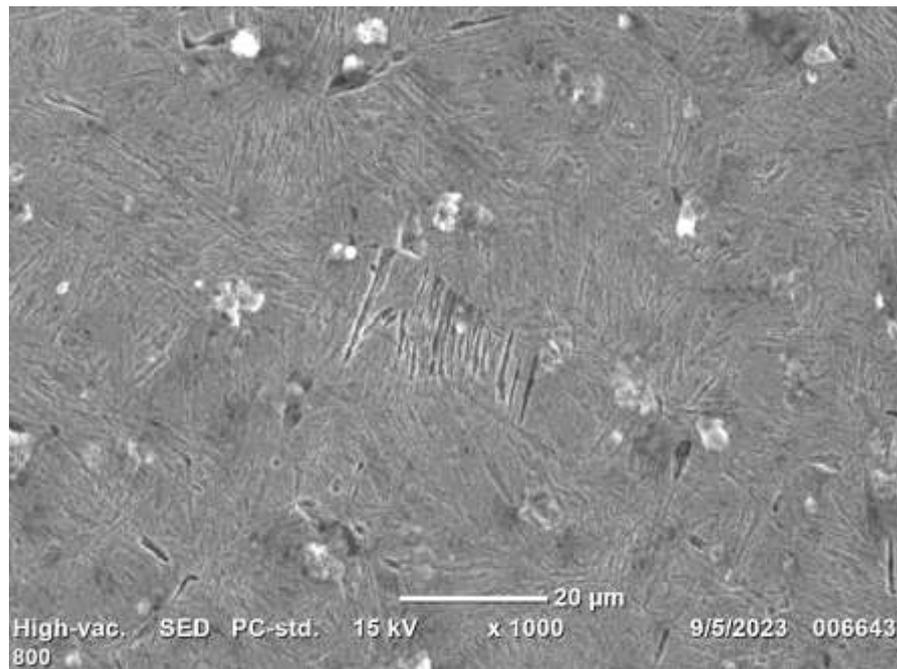
Gambar A.17 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 730°C media pendingin oli (1000x)



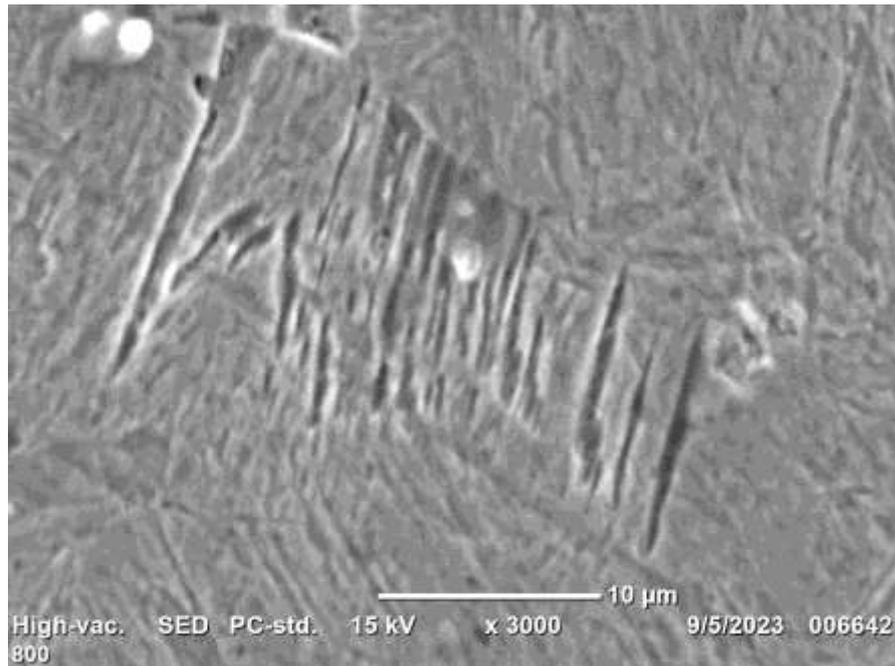
Gambar A.18 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 730°C media pendingin oli (3000x)



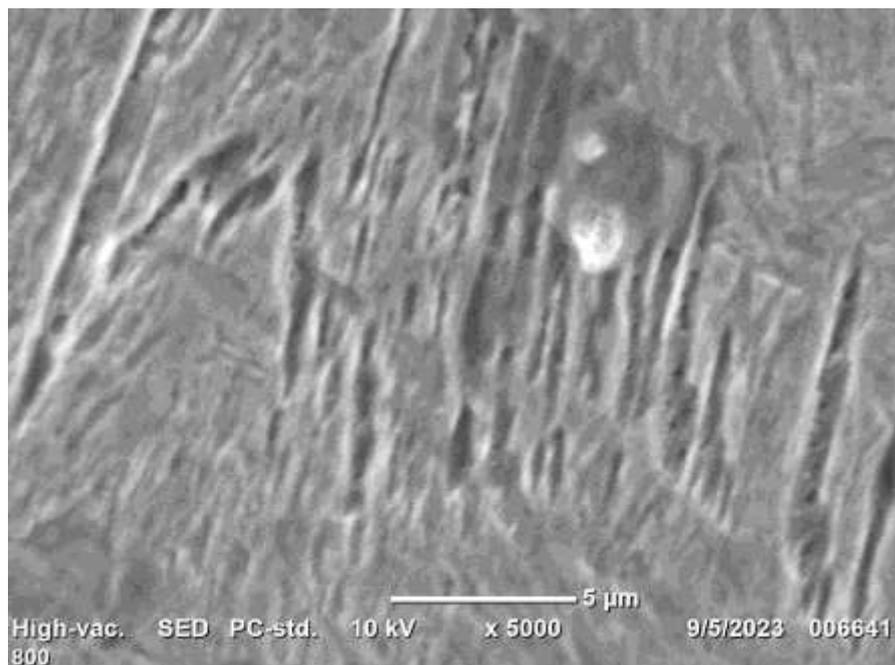
Gambar A.19 Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) suhu 730°C media pendingin oli (5000x)



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)

LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI PENELITIAN



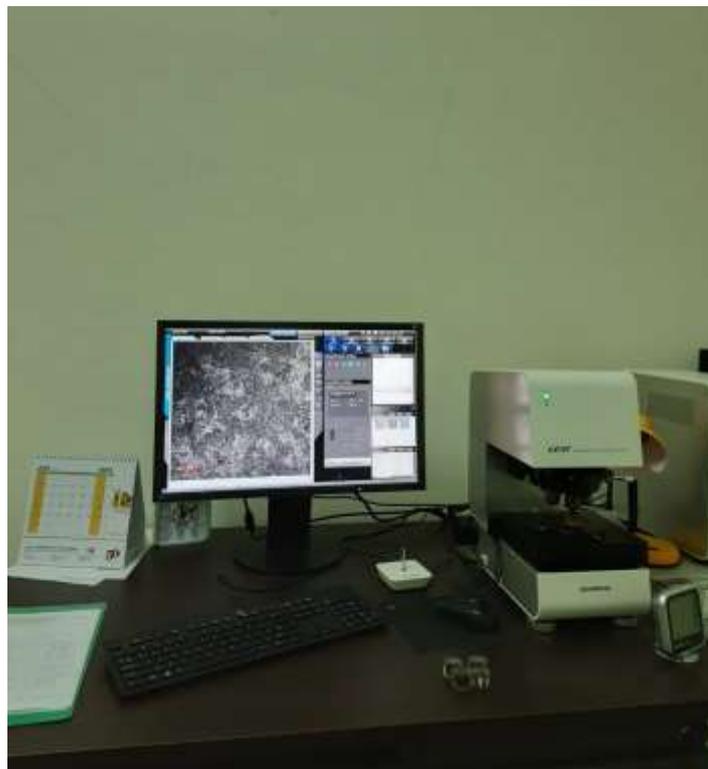
Gambar B.1 Proses *Heat treatment* baja karbon tinggi (JIS G 3506)



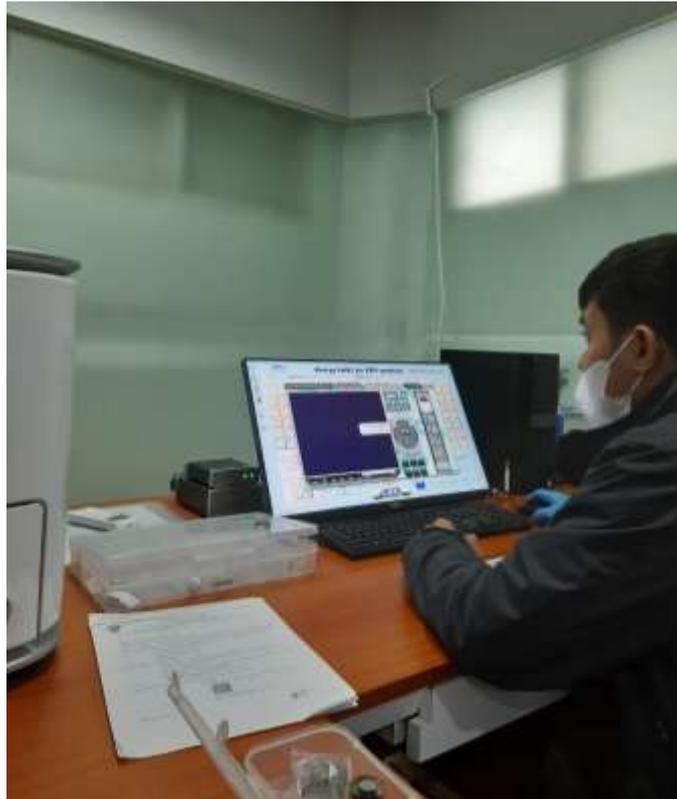
Gambar B.2 Proses etsa permukaan material sebelum proses metalografi



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)