



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA PENGARUH TERMPERATUR TEMPERING TERHADAP
PEMBENTUKAN STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN PADA
BAJA S50C DENGAN MEDIA QUENCHING AIR DAN OLI**

LAPORAN PROYEK AKHIR

GALIH SATRIO NUGROHO

40040220655002

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV REKAYASA
PERANCANGAN MEKANIK**

**SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

DESEMBER 2022



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN NILAI KEKERASAN BAJA S50C**

LAPORAN PROYEK AKHIR

GALIH SATRIO NUGROHO

40040220655002

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV REKAYASA
PERANCANGAN MEKANIK**

SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

DESEMBER 2022

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : GALIH SATRIO NUGROHO

NIM : 40040220655002

Tanda Tangan :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Galih Satrio Nugroho', written in a cursive style.

Tanggal : 23 Desember 2022

SURAT TUGAS



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI

Jalan Prof. Sudarto, S.H.
Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Tel./Faks. (024) 7471379
www.vokas.undip.ac.id
email: vokas@live.undip.ac.id

TUGAS AKHIR NO.091/PA/RPM/VIII/2022

Dengan ini diberikan Tugas Akhir untuk Mahasiswa berikut :

Nama : Galih Satrio Nugroho

NIM : 40040220655002

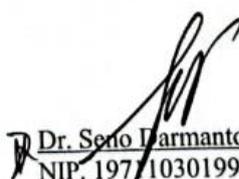
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Temperatur Tempering terhadap
Pembentukan Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan pada
Baja S50C dengan Media Quenching Air dan Oli

Isi Tugas :

1. Melakukan analisis mengenai pengaruh temperatur tempering terhadap bentuk struktur mikro dan nilai kekerasan pada baja S50C dengan media quenching air dan oli.
2. Menyusun Laporan Proyek Akhir.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini , dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang , 8 Agustus 2022
Ketua PSD IV Rekayasa Perancangan
Mekanik


Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.
NIP. 197110301998021001

Tembusan :
Dosen Pembimbing

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Galih Satrio Nugroho

NIM : 40040220655002

Program Studi : DIV Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul Tugas Akhir : Analisa Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja S50C

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Proram Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Drs. Sutrisno, M.T. ()

Penguji 1 : Drs. Sutrisno, M.T.. ()

Penguji 2 : Dr. Seno Darmanto, S.T, M.T ()

Penguji 3 : Dr. Wiji Mangestiyono, M.T. ()

Semarang, 26 Desember 2022

Ketua PSD IV Rekayasa Perancangan Mekanik

Dr. Seno Darmanto, ST, MT

NIP. 197110301998021001

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Galih Satrio Nugroho
NIM : 40040220655002
Jurusan / Program Studi : DIV Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisa Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja S50C”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti / Non eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 26 Desember 2022

Yang menyatakan



(Galih Satrio Nugroho)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil'alamin, puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir di Universitas Diponegoro dengan baik. Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada junjungan nabi besar kita, Nabi Muhammad SAW, semoga kita tercatat sebagai umat beliau yang selalu rindu oleh syafaatnya.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu pertanggungjawaban untuk penyelesaian tugas dan penerapan teori yang diperoleh di bangku kuliah ke dalam dunia industri. Pembuatan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam kurikulum pendidikan di program studi D4 Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

Saya sangat menyadari bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan baik secara materiil maupun moril dari banyak pihak. Oleh karena itu, dengan segenap ketulusan hati mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Seno Darmanto, ST, MT Selaku Ketua Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Bapak Drs. Sutrisno, MT Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Didik Ariwibowo, ST., M.T selaku dosen wali.
4. Orang tuadan istri saya saya yang telah mendoakan dan memberikan dukungan moril dalam setiap langkah kebaikan yang dilalui
5. Setiap dosen yang ada di Universitas Diponegoro yang telah memberikan pembelajaran di kelas A DIV Rekayasa Perancangan Mekanik.

6. Rekan-rekan dari kelas A DIV Rekayasa Perancangan Mekanik yang saling memberikan semangat dalam kegiatan perkuliahan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tak luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penulis menjadi lebih baik lagi ke depannya. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis.

Jayapura, 26 Desember 2022



Galih Satrio Nugroho

Analisa Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja S50C

Abstrak

Baja S50C merupakan jenis material yang banyak pada komponen automotif sebagai contoh untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Baja ini akan terkena pengaruh gaya luar sehingga menimbulkan perubahan bentuk (deformasi). Untuk menjaga ketangguhan dan kekuatan baja ini perlu dilakukan perlakuan panas, perlakuan panas yang dilakukan pada penelitian ini yaitu hardening dan tempering. Baja S50C dipanaskan hingga 950°C kemudian didinginkan cepat (quenching) menggunakan media pendingin oli dan air. Sedangkan untuk tempering dilakukan pada variasi temperatur 200°C, 400°C, 600°C. Struktur mikro yang terbentuk pada material uji yaitu martensit dan bainit. Peningkatan temperatur tempering mempengaruhi sebaran martensite yang semakin sedikit dan didominasi bainite yang semakin halus. Berkurangnya martensite dan semakin halusnya bainite menunjukkan bahwa baja semakin ulet dan kekerasannya menurun. Nilai kekerasan pada baja dengan media pendinginan cepat menggunakan air adalah 59,1 HRC dan 49,1 HRC pada pendingin oli. Sedangkan pada baja dengan media pendingin cepat air, nilai kekerasan pada temperatur tempering 200°C: 57,5 HRC, 400°C: 52,8 HRC, dan 600°C: 43,5 HRC, pada baja dengan media pendingin cepat oli, nilai kekerasan pada temperatur tempering 200°C: 43,5 HRC, 400°C: 39,8 HRC, dan 600°C: 37,8 HRC. Peningkatan temperatur tempering akan meningkatkan keuletan dan menurunkan kekerasan baja S50C.

Kata Kunci : S50C, Tempering, Struktur Mikro, Nilai Kekerasan Material

Analysis Tempering Temperature On Micro Structure And Hardness Values Of S50C Steel

Abstract

S50C steel is a type of material that is widely used in automotive components, for example for gear components in motorized vehicles. This steel will be affected by external forces causing a change in shape (deformation). To maintain the toughness and strength of this steel, heat treatment is necessary, the heat treatment carried out in this study is hardening and tempering. S50C steel is heated to 950°C then quenched using oil and water cooling media. Meanwhile, tempering was carried out at a temperature variation of 200°C, 400°C, 600°C. The microstructure formed in the test material is martensite and bainite. The increase in tempering temperature affected the less distribution of martensite and was dominated by the finer bainite. The less martensite and finer the bainite indicates that the steel is becoming more ductile and the hardness is decreasing. The hardness values for steel with rapid cooling using water were 59,1 HRC and 49,1 HRC for oil cooling. Meanwhile, for steel with water-fast cooling media, the hardness values at tempering temperatures were 200°C: 57,5 HRC, 400°C: 52,8 HRC, and 600°C: 43,5 HRC, for steel with oil-fast cooling media, hardness values at tempering temperatures of 200°C: 43,5 HRC, 400°C: 39,8 HRC, and 600°C: 37,8 HRC. Increasing the tempering temperature will increase the ductility and decrease the hardness of S50C steel.

Keywords: *S50C, Tempering, Microstructure, Hardness, Quenching*

DAFTAR ISI

UNIVERSITAS DIPONEGORO.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
SURAT TUGAS	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
KATA PENGANTAR	vii
Abstrak	ix
Abstract	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah dan Batasannya.....	2
1.2.1 Rumusan Masalah	2
1.2.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Luaran Penelitian	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Baja Karbon	4
1) <i>Low carbon steel</i> ($C < 0,3\%$).....	4
2) <i>Medium carbon steel</i> ($0,3 < 0,6C\%$)	4
3) <i>High carbon steel</i> ($0,6 - 1,7\%C$)	5
2.2 Unsur Paduan pada Baja	5
2.3 Sifat Mekanik Material	6
2.4 Baja S50C	9
2.4.1 Komposisi Baja S50C	10

2.4.2 Diagram Contious Cooling Transformations	12
2.5 Heat Treatment	13
2.6 Pengerasan (Hardening).....	15
2.6.1 Austenitisasi	15
2.6.2 Quenching	17
2.7 Tempering	18
2.8 Macam-Macam Struktur Mikro	19
BAB III	23
METODE DAN PROSEDUR PELAKSANAAN TUGAS AKHIR.....	23
3.1. Pengumpulan Data Referensi Penelitian Terkait	23
3.2. Persiapan Alat Uji dan Material.....	23
3.3. Pengujian Kekerasan dan Pengambilan Data	24
3.4. Pengamatan Struktur Mikro Material dan Pengambilan Data.....	24
3.5. Analisis Data.....	24
3.6 Diagram Alir Penelitian	24
3.7 Bahan Penelitian	25
3.8 Peralatan Penelitian.....	25
3.9 Prosedur Penelitian	28
3.10. Penyusunan Laporan.....	32
BAB IV	33
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Komposisi Kimia Baja.....	33
4.2 Hasil Uji Kekerasan	33
4.2.1 Hasil Uji Kekerasan Material Tanpa Tempering.....	34
4.3 Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Kekerasan	38
4.3.1 Spesimen dengan Media Quenching Air.....	39
4.3.2 Spesimen dengan Media Quenching Oli	40
4.4 Hasil Uji Struktur Mikro.....	40
4.4.1 Hasil Uji Struktur Mikro Material Tanpa Tempering	40

4.4.2 Hasil Uji Struktur Mikro Material dengan Tempering.....	42
4.5 Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Struktur Mikro.....	45
BAB V.....	47
KESIMPULAN.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
Daftar Pustaka.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja S50C.....	9
Gambar 2.2 Diagram CCT untuk S50C/AISI 1050	13
Gambar 2.3 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell, 2008)	16
Gambar 2.4 Tiga tahapan pada quenching (ASM Metal Handbook, Vol4, Heat Treatment).....	18
Gambar 2. 5 Hasil metalografi fasa ferrite.....	20
Gambar 2. 6 Hasil metalografi perlit.....	20
Gambar 2. 7 Hasil metalografi fasa austenite	21
Gambar 2. 8 Hasil metalografi fasa sementit	21
Gambar 2. 9 Hasil metalografi bainit	22
Gambar 2. 10 Hasil metalografi martensit	22
Gambar 3.1 Alat uji Rockwell Hardness Test.....	26
Gambar 3.2 Mikroskop Metalurgi Novel NJ-160A	27
Gambar 3.3 Bagian - Bagian Mikroskop Metalurgi	28
Gambar 3.4 Spesifikasi Tungku Heat Treatment.....	28
Gambar 3.5 Grafik Alur Proses Hardening dan Tempering dengan Pendingin Air	30
Gambar 3.6 Grafik Alur Proses Hardening dan Tempering dengan Pendingin Oli.....	30
Gambar 3.7 Titik pengujian kekerasan dan Struktur mikro.....	32
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen Tanpa Tempering	35
Gambar 4.2 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen dengan Tempering.....	37
Gambar 4.3 Data Pengujian Kekerasan Pada Material Tanpa Tempering.....	38
Gambar 4.4 Pengujian Kekerasan Pada Material Dengan Tempering.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia S50C menurut JIS	10
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja S50C spesimen Benda Uji	25
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja S50C	33
Tabel 4.2 Data Parameter Laku Panas Tanpa Tempering	34
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Material Tanpa Tempering	34
Tabel 4.4 Laku Panas Material dengan Tempering	36
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Material dengan Tempering	36
Tabel 4.6 Hasil Uji Struktur Mikro Material Tanpa Tempering	41
Tabel 4.7 Rincian Spesimen Uji Struktur Mikro Material dengan Tempering	42
Tabel 4.8 Hasil Uji Struktur Mikro Material dengan Tempering	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja S50C merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon berkisar 0,47 - 0,53 % dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja ini banyak digunakan di pasaran karena memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah pada komponen automotif sebagai contoh untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Baja ini memiliki karakteristik sifat mampu mesin yang baik (machinability), wear resistance-nya (keausan) baik dan sifat mekaniknya menengah.

Komposisi kimia dari S50C yaitu, C 0,47-0,53%, Cr Max 0,25%, Mn 0,60-0,90%, Si 0,15-0,35%, P Max 0,035%, S 0,035%, Ni 0,25%, dan Cu 0,25%. Baja karbon menengah tersebut banyak digunakan sebagai gear, crankshaft, chain link dan komponen lainnya yang membutuhkan kekuatan tinggi serta ketahanan aus yang baik dalam aplikasinya.

Sifat mekanik merupakan sifat yang menyatakan kemampuan baja ketika menerima beban mekanik seperti gaya, momen, dan energi mekanik. Beban mekanik dapat menimbulkan deformasi/perubahan bentuk sementara, permanen, bahkan sampai patah. Maka dari itu, sifat mekanik menggambarkan hubungan respon deformasi terhadap beban yang bekerja. Komponen baja S50C pada aplikasinya menerima gaya atau beban mekanik, maka dari itu perlu diketahui karakteristik pembebanan yang menghasilkan deformasi berlebihan bahkan sampai patah, kemudian bisa ditentukan sifat mekanik yang sesuai agar tidak terjadi kegagalan pada material. Sifat mekanik pada suatu baja

dipengaruhi oleh struktur mikro. Struktur mikro pada suatu baja paduan tergantung pada beberapa variabel seperti unsur paduan, konsentrasi unsur paduan, dan proses perlakuan panas (temperatur pemanasan, waktu tahan pemanasan, dan laju pendinginan).

Material Baja S50C dapat ditingkatkan kekerasannya dan keuletannya sebagai peralatan mekanik seperti gear, base plate, crankshaft melalui perlakuan panas. Untuk memperoleh tingkat kekerasan yang lebih baik dan tahan lama biasanya dilakukan proses flame hardening dan tempering. Sehingga pada penelitian kali ini akan dilakukan pengujian struktur mikro dan pengujian nilai kekerasan pada Baja S50C yang sudah di hardening dengan variasi suhu tempering yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah dan Batasannya

1.2.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

- a. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur tempering dan media quenching terhadap sruktur mikro Baja S50C?
- b. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur tempering terhadap nilai kekerasan pada Baja S50C?
- c. Bagaimanakah perbedaan sifat mekanik Baja S50C dangan adanya variasi temperature tempering dan media quenching?

1.2.2 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut ;

- a. Komposisi kimia pada setiap material uji diasumsikan sama.
- b. Proses pendinginan material dengan air dan oli.
- c. Pengaruh lingkungan diabaikan.
- d. Cacat pada material uji diasumsikan tidak ada.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Menganalisa pengaruh perbedaan temperatur tempering terhadap sruktur mikro Baja S50C.
2. Menganalisa pengaruh perbedaan temperatur tempering dan media quenching terhadap nilai kekerasan pada Baja S50C.
3. Mengetahui sifat mekanik Baja S50C dengan adanya variasi temperature tempering dan media quenching.

1.4 Luaran Penelitian

Pelaksanaan Tugas Akhir akan menghasilkan luaran, yaitu:

- a. Laporan Tugas Akhir
- b. Alat Skala Laboratorium
- c. Artikel Ilmiah

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan sedikit unsur tambahan berupa belerang, fosfor, mangan dan silikon. Baja karbon mempunyai kandungan karbon maksimal sebesar 1,7%. Sifat baja karbon tergantung pada besarnya kadar karbon, semakin tinggi kadar karbonnya maka kekuatan dan kekerasannya akan semakin tinggi, karena itu baja ini dapat di kelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Berdasarkan kegunaannya ataupun kepentingan pabrikan dan disesuaikan berdasarkan standar ASTM (*American Society for Testing and Material*) paduan besi (Fe) – karbon (C) merupakan unsur utama pembentuk baja. Disamping itu baja juga bisa mengandung unsur campuran lain yang disebut paduan, misalnya karbon (C), sulfur (S), posfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi. Berdasarkan kandungan karbonnya baja terbagi menjadi menjadi tiga macam, yaitu :

1) *Low carbon steel* ($C < 0,3\%$)

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,3% C sehingga bukan tergolong baja yang keras. Baja karbon rendah mempunyai kemungkinan kecil untuk dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2) *Medium carbon steel* ($0,3 < 0,6\% C$)

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,3%C – 0,6%C sehingga mempunyai kemungkinan untuk dapat dilakukan pengerasan dengan menggunakan perlakuan panas yang sesuai.

3) High carbon steel (0,6 – 1,7%C)

Baja karbon tinggi (High carbon steel) mempunyai kandungan karbon sebanyak 0,6%C – 1,7%C sehingga memiliki sifat mekanik yang tinggi namun keuletannya rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan menggunakan laku panas tidak terlalu berpengaruh dikarenakan banyak terdapat martensit yang membuat baja akan semakin getas

2.2 Unsur Paduan pada Baja

Dalam baja karbon bukan hanya murni unsur karbon dalam baja tersebut namun selain besi dan karbon juga terdapat unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur ikatan yang sedikit berpengaruh dan berasal dari besi/baja adalah sebagai berikut :

- Unsur Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0.4 % yang mempunyai pengaruh kenaikan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit)

- Unsur Mangan (Mn)

Mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoksidator (pengikat O₂) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn yang rendah dapat menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

- Unsur Nikel (Ni)

Nikel memberikan pengaruh sama seperti dengan Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Nikel membuat struktur butiran menjadi halus dan merubah keuletan.

- Unsur Krom(Cr)

Unsur krom berguna untuk meninggikan kekuatan tarik dan keplastisan, membuat mampu keras, meningkatkan tahan korosi dan tahan terhadap suhu tinggi

- Unsur Sulfur (S)

Kandungan yang cukup dari unsur sulfur yang berkisar antara 0.15 – 0.3 % dapat dilakukan proses pemesinan tetapi dalam jumlah besar dapat menimbulkan kerapuhan.

2.3 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material atau komponen tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting dan terdapat dalam suatu bahan adalah sebagai berikut :

- a. Kekuatan (Strength)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

b. Kekakuan (stiffness)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

c. Kekenyalan (elasticity)

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami perubahan bentuk (deformasi).

d. Plastisitas (plasticity)

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi palstis) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (ductile), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (brittle).

e. Keuletan (ductility)

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet (ductile) ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase

keregangannya. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll

f. Ketangguhan (toughness)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

g. Kegetasan (brittleness)

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen. Material yang getas atau rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangannya yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.

h. Kelelahan (fatigue)

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (dynamic load) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

i. Melar (creep)

Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastik) bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

j. Kekerasan (hardness)

Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan (wear resistance) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

2.4 Baja S50C

Baja S50C merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon berkisar 0,47 - 0,53 % dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja ini banyak digunakan di pasaran karena memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah pada komponen automotif sebagai contoh untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Baja ini memiliki karakteristik sifat mampu mesin yang baik (machinability), wear resistance-nya (keausan) baik dan sifat mekaniknya menengah.



Gambar 2.1 Baja S50C

Komposisi kimia dari S50C yaitu, C 0,47-0,53%, Cr Max 0,25%, Mn 0,60-0,90%, Si 0,15-0,35%, P Max 0,035%, S 0,035%, Ni 0,25%, dan Cu 0,25%. Baja karbon menengah tersebut banyak digunakan sebagai gear, crankshaft, chain link dan komponen lainnya yang membutuhkan kekuatan tinggi serta ketahanan aus yang baik dalam aplikasinya.

Dalam penggunaannya baja ini akan terkena pengaruh gaya luar sehingga menimbulkan perubahan bentuk (deformasi) sehingga baja ini harus memiliki struktur yang kuat. Untuk menjaga ketangguhan dan kekuatan baja ini perlu dilakukan perlakuan panas yaitu proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Setelah Baja S50C melalui proses *hardening* dan *quenching*, baja akan bersifat rapuh (getas) sehingga perlu dilakukan proses tempering untuk menurunkan tingkat kekerasan dan kerapuhan baja sampai memenuhi syarat penggunaannya. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis lalu disusul dengan pendinginan bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa (*residual stress*) dari proses *quenching*. *Tempering* dimungkinkan oleh karena sifat struktur *martensite* yang tidak stabil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses variasi *tempering* terhadap penampakan mikro struktur dan kekerasan pada baja S50C.

2.4.1 Komposisi Baja S50C

Komposisi kimia baja S50C ini sebagaimana tercantum di dalam JIS2000 ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia S50C menurut JIS

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
0,47-	0,15-	0,60-	Max	0,035	Max	0,25	0,25
0,53	0,35	0,90	0,035		0,25		
	%						

A. Silikon

Silikon selain meningkatkan kekuatan ferit, juga adalah deoksidator kuat. Dengan bergabung dengan unsur-unsur lain, silikon akan ikut memberikan efek peningkatan ketangguhan dan homogenisasi nilai keras di dalam baja sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan mampu keras.

B. Mangan

Mangan adalah unsur terpenting kedua setelah karbon. Walaupun tidak sekuat carbon, tetapi bertambahnya kadar mangan di dalam baja juga akan meningkatkan kekerasan, kekuatan tank, dan menurunkan kekenyalan. Unsur ini secara signifikan akan menaikkan mampu keras.

C. Fosfor

Fosfor ada di dalam baja dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan luluh dan mengurangi kekenyalan pada suhu rendah, selain juga untuk meningkatkan ketahanan korosi atmosfer dan mampu permesinan". Kadar fosfor pada baja umum kecil.

D. Sulfur

Perlakuan panas, kehadiran chrom akan mampu permesinan dengan kadar (0,06 - 0,30)%.

E. Tembaga

Tembaga dengan kadar (0,15 - 0,25)%, akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh serta akan sedikit menurunkan kekenyalan. Sedangkan dengan kadar (0,20-0,50)% akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi atmosfer.

F. Nikel

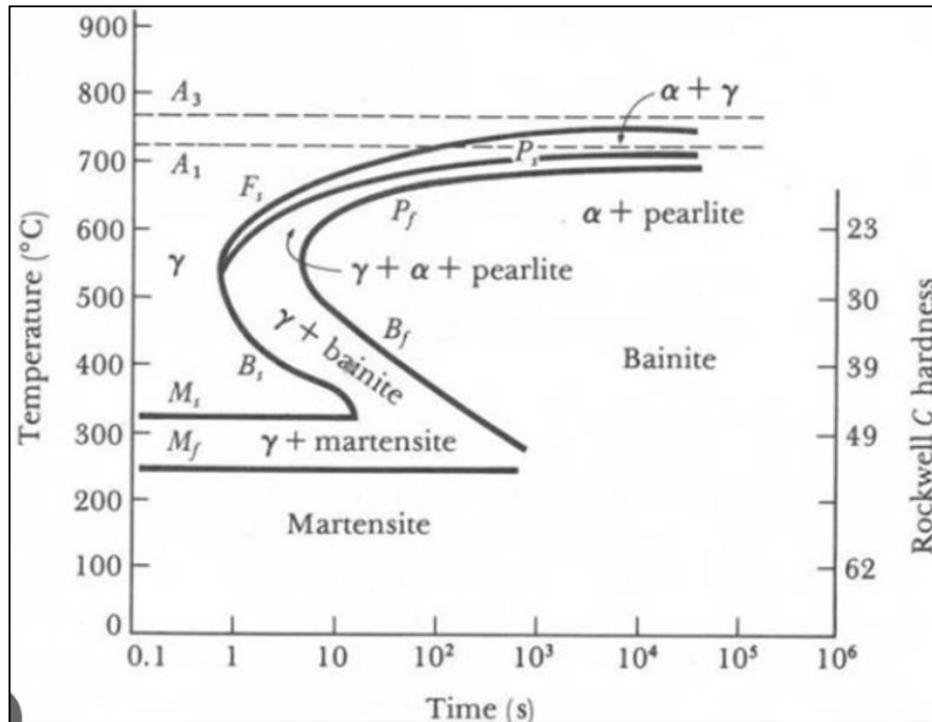
Nikel secara umum ada di dalam baja dengan kadar (1,0 - 4,0)%, walaupun untuk tujuan tertentu dapat ditambahkan sampai maksimal 36%.

G. Chrom

Chrom mempunyai kecenderungan meningkatkan mampu keras, ketangguhan, ketahanan aus, ketahanan terhadap timbulnya nod austained, dan juga ketahanan terhadap korosi.

2.4.2 Diagram Continuous Cooling Transformations

Diagram CCT digunakan sebagai acuan dalam perlakuan baja carbon dan dapat di jadikan sebagai perkiraan hasil yang akan terjadi dari perlakuan baja carbon tersebut. Pada diagram CCT dapat menunjukkan struktur mikro yang akan terbentuk dan nilai kekerasan yang dicapai. Semakin cepat laju pendinginan pada besi baja maka nilai kekerasannya akan semakin tinggi dan struktur yang terbentuk adalah martensit. Sedangkan semakin lambat laju pendinginan pada besi baja maka nilai kekerasannya akan semakin turun atau berkurang dan struktur mikro yang akan terbentuk adalah Bainit dan Perlit.



Gambar 2.2 Diagram CCT untuk S50C/AISI 1050

2.5 Heat Treatment

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan.

Adanya sifat *alotropik* dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. *Alotropik* itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperatur dibawah 910°C sel satuannya *Body Center Cubic* (BCC), temperatur antara 910° C dan 1392° C sel satuannya *Face Center Cubic* (FCC) sedangkan temperatur diatas 1392°C sel satuannya kembali menjadi BCC.

Proses perlakuan panas ada dua kategori, yaitu :

1. *Softening* (Pelunakan) : Adalah usaha untuk menurunkan sifat mekanik agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan didalam tungku (*annealing*) atau mendinginkan dalam udara terbuka (*normalizing*).
2. *Hardening* (Pengerasan) : Adalah usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara selup cepat (*quenching*) material yang sudah dipanaskan ke dalam suatu media *quenching* berupa air, air garam, maupun oli.

Tujuan dari *heat treatment* adalah :

1. Mempersiapkan material untuk pengolahan berikutnya.
2. Mempermudah proses machining.
3. Mengurangi kebutuhan daya pembentukan dan kebutuhan energi.
4. Memperbaiki keuletan dan kekuatan material.
5. Mengeraskan logam sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat.
6. Menghilangkan tegangan dalam.
7. Memperbesar atau memperkecil ukuran butiran agar seragam.
8. Menghasilkan permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet.

Kekerasan yang diperoleh bergantung pada kadar karbon baja yang diproses *Heat Treatment* merupakan proses perubahan sifat logam, terutama baja, melalui perubahan struktur mikro dengan cara pemanasan dan pengaturan laju pendinginan. *Heat treatment* merupakan mekanisme penguatan logam dimana

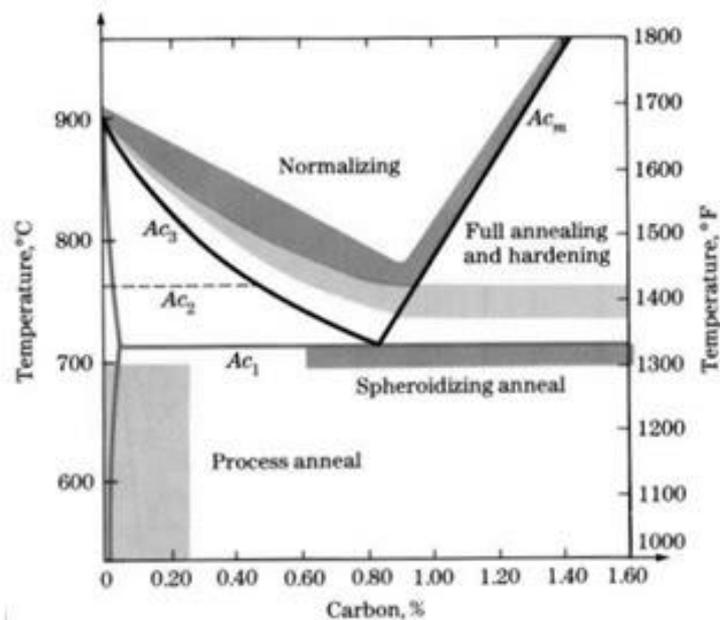
logam yang akan kita ubah sifatnya sudah berada dalam kondisi solid. Dalam *heat treatment* kita memanaskan *specimen* sampai dengan *temperature austenisasinya*.

2.6 Pengerasan (Hardening)

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan kemudian *tempering* untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau minyak, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda. *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.

2.6.1 Austenitisasi

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell, 2008)

Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A_3 sampai mencapai minimum pada A_1 , komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis A_{cm} . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit (ferit+ Fe_3C). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell,2008).

Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit padaa baja hipereutektoid cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja.

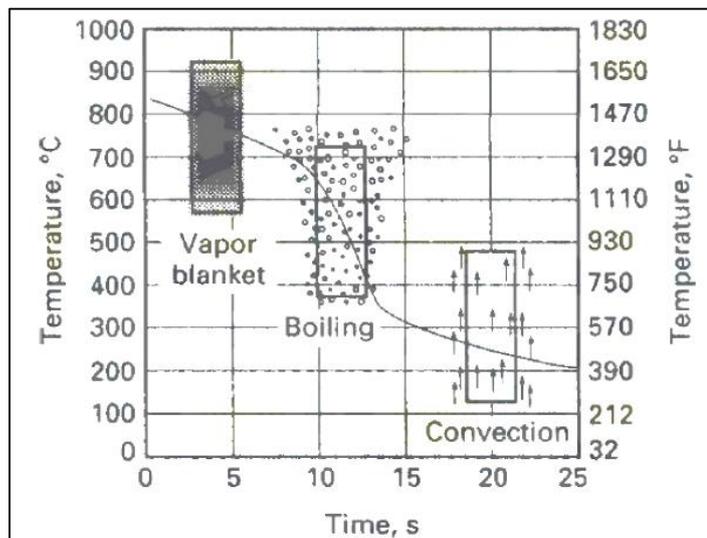
2.6.2 Quenching

Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit.

Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak.

Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media liquid, seperti pada Gambar 2.5, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling*, dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam

benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.



Gambar 2.4 Tiga tahapan pada quenching (ASM Metal Handbook, Vol4, Heat Treatment)

2.7 Tempering

Tempering adalah proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan sampai temperatur dibawah temperatur kritis terendah (A_1), lalu didinginkan pada laju yang diinginkan. Proses ini bertujuan untuk mengembalikan sebagian keuletan/ketangguhan, berakibat turunnya kekerasan, dan melepas tegangan dalam untuk memperoleh keuletan yang lebih baik (Clark, 1962). Struktur martensit dihasilkan dari proses *quenching*, maka dari itu ada tegangan internal besar, diperoleh dari transformasi martensit, sehingga keuletan berkurang. *Tempering* dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan, yang sangat penting untuk meningkatkan penyerapan energi impak dan struktur martensit temper menghasilkan kekuatan dinamik yang baik pada baja (LI Hong-ying, 2013)

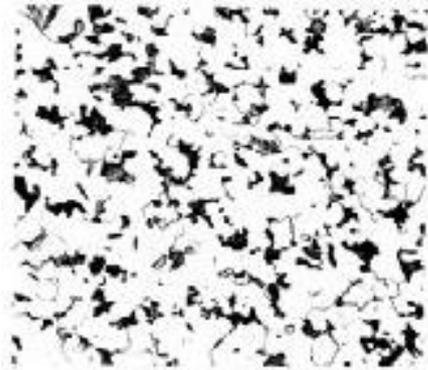
Martensit merupakan suatu struktur yang metastabil, bila dipanaskan kembali secara bertahap karbon yang terperangkap dalam struktur BCT dari martensit tersebut akan keluar menjadi karbida sehingga BCT akan menjadi BCC, ferrit. Proses pemanasan kembali dan pendinginan lambat yang mengikutinya dinamakan *tempering*.

Tempering dilakukan dengan memanaskan suatu baja yang memiliki struktur mikro martensit sampai temperatur dibawah eutektoid dalam waktu tertentu. Pada umumnya *tempering* dilakukan pada temperatur antara 200 °C sampai 650 °C, meskipun tegangan internal dapat lepas pada temperatur sekitar 200 °C.

2.8 Macam-Macam Struktur Mikro

Berikut ini adalah penjelasan dari berbagai gambar struktur mikro yang terkandung dalam logam :

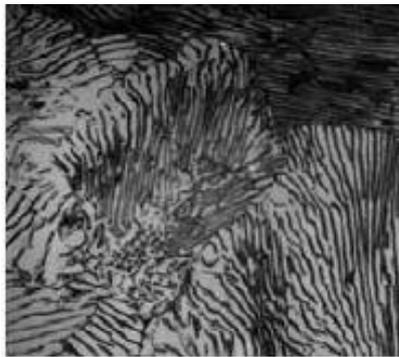
A. Ferrite



Gambar 2. 5 Hasil metalografi fasa ferrite

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat. Berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing).

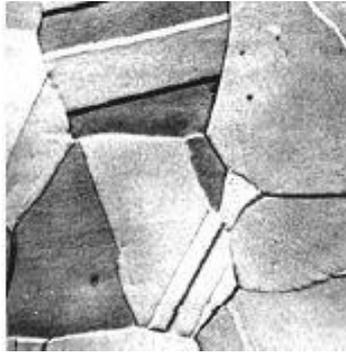
B. Pearlite



Gambar 2. 6 Hasil metalografi perlit

Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha- ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak.

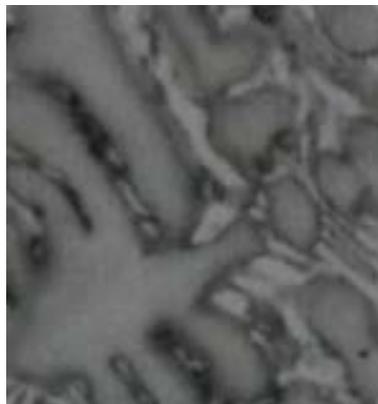
C. Austenite



Gambar 2. 7 Hasil metalografi fasa austenite

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi γ dengan kadar karbon 2%. Berbentuk padatan seperti plat. Berwarna abu-abu terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni).

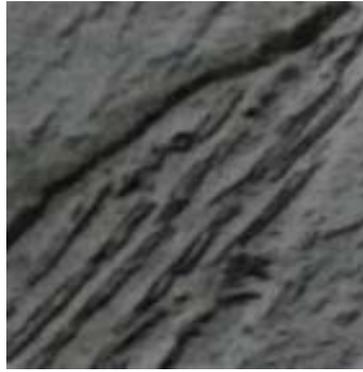
D. Sementit



Gambar 2. 8 Hasil metalografi fasa sementit

Sementit yaitu karbida besi Fe_3C merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (network). Sifat mekanis sangat keras dan getas.

E. Bainit



Gambar 2. 9 Hasil metalografi bainit

Bainite yaitu acicular mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550°C dengan kadar karbon <0,5%. Berbentuk jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Terjadi karena adanya pendinginan cepat dan disertai penahanan temperature.

F. Martensite



Gambar 2. 10 Hasil metalografi martensit

Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon >0,5%. Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.

BAB III

METODE DAN PROSEDUR PELAKSANAAN TUGAS AKHIR

Untuk mencapai tujuan dari Tugas Akhir, tahapan kegiatan disusun, meliputi: (i) Pengumpulan Data (ii) Persiapan Alat Uji dan Material (iii) Pengujian Kekerasan Material (iv) Pengamatan Struktur Mikro Material, (v) Analisis data, (vi) Penyusunan Laporan.

3.1. Pengumpulan Data Referensi Penelitian Terkait

Untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, metode pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Observasi Lapangan

Melakukan pengamatan material yang sering digunakan pada industri.

b. Kajian Literatur/Tinjauan Pustaka

Kajian Literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan data melalui buku, literatur, jurnal ilmiah, materi perkuliahan dan hasil penelitian terkait.

c. Wawancara (Interview)

Wawancara bertujuan untuk memperoleh data-data lapangan yang lebih lengkap mengenai obyek tugas akhir dan cara pengujian spesimen.

3.2. Persiapan Alat Uji dan Material

Persiapan material ini bertujuan untuk menyiapkan seluruh alat yang digunakan untuk pengujian dan persiapan spesimen benda uji dengan perlakuan berbeda-beda setiap spesimen yang akan diuji.

3.3. Pengujian Kekerasan dan Pengambilan Data

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan masing – masing spesimen yang diuji. Pengujian kekerasan yang digunakan adalah *Hardness Rockwell Test*.

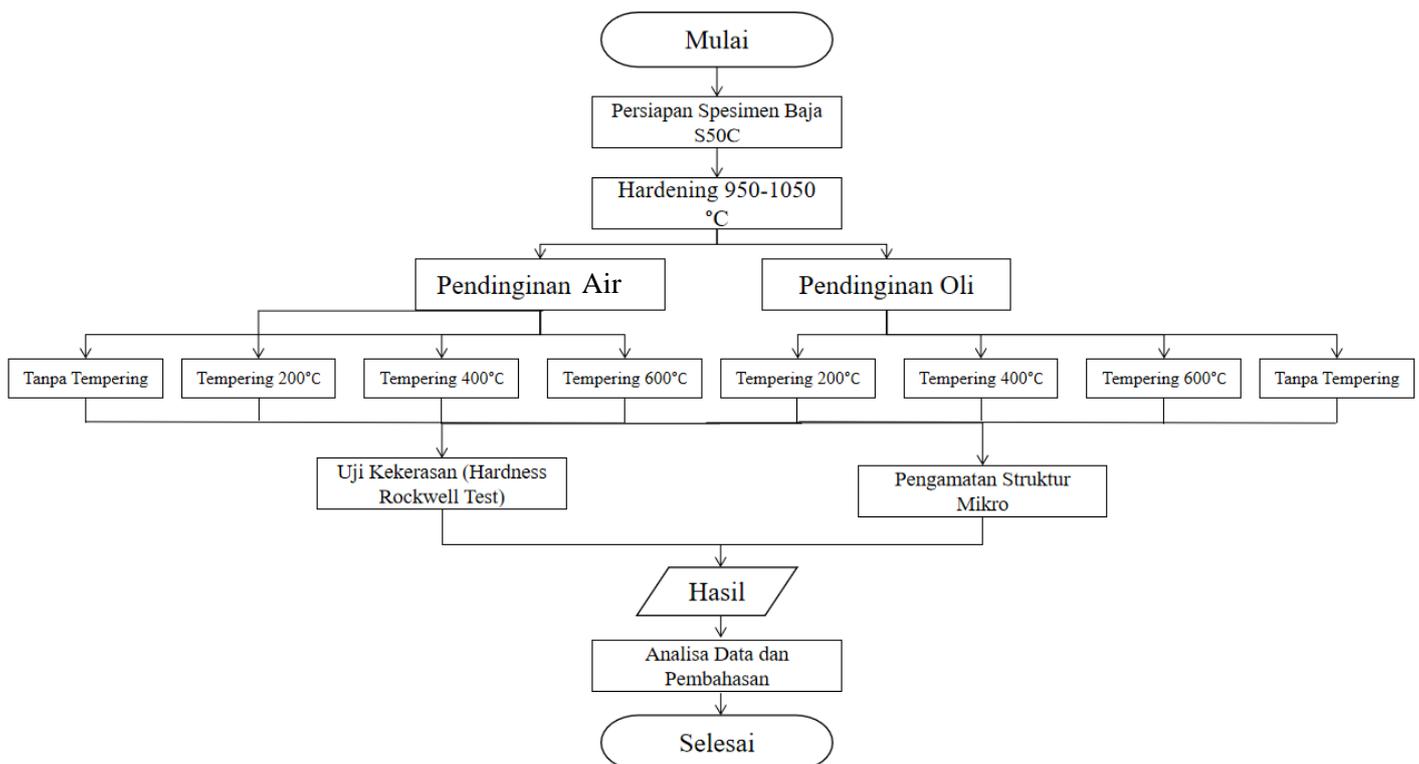
3.4. Pengamatan Struktur Mikro Material dan Pengambilan Data

Pengamatan struktur mikro (Metalografi) dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk sehingga dapat digunakan untuk analisis proses dan sifat mekanik.

3.5. Analisis Data

Analisis data bertujuan untuk menganalisa perbedaan nilai kekerasan, struktur mikro, dan sifat mekanik masing-masing spesimen uji.

3.6 Diagram Alir Penelitian



3.7 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja S50C, dengan komposisi kimia pada table berikut.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja S50C spesimen Benda Uji

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
0,47- 0,53	0,15- 0,35 %	0,60- 0,90	Max 0,035	0,035	Max 0,25	0,25	0,25

3.8 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut,

1. Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *Rockwell Hardness Test*.

Spesifikasi :

Preload : 98,1N (10kg)

Beban pengujian : – 588,4N (60kg) – 980,7N (100kg) – 1471N (150kg)

Skala Rockwell : – 20-88 HRA. – 20-100 HRB. – 20-90 HRC.

Tinggi maksimum sampel uji : 170 mm.

Kedalaman maksimum sampel uji : 165 mm.

Dimensi instrumen : 520*240*700.

Berat pas : 45 kg.



Gambar 3.1 Alat uji Rockwell Hardness Test

2. Metalurgi Mikroskop

Mikroskop yang digunakan adalah Novel NJ-160A

Spesifikasi Mikroskop Metalurgi :

- a. Perbesaran objective (50X, 100X , 200X, 500X)
- b. Optional objective 1000X
- c. Tidak ada perbesaran zoom Range
- d. Perubahan perbesaran dengan merubah posisi objective
- e. Working Distance (jarak antara lensa dan spesimen) sangat pendek
- f. Menggunakan Cahaya dari atas (kecuali seri MT8000)
- g. Aplikasi untuk micro structure grain size, particle Size, metalurgical phase analysis
- h. Optional Metalurgy analysis software (Standard ASTM)

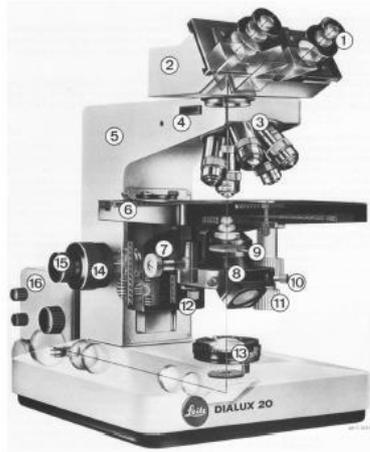


Gambar 3.2 Mikroskop Metalurgi Novel NJ-160A

Bagian – Bagian Mikroskop Metalurgi :

- 1.Eyepiece lens
- 2.Binocular head
- 3.Revolving objective lenses
- 4.Filter support
- 5.Truss
- 6.Subject-table
- 7.Condenser height adjustment
- 8.Condenser
- 9.Aperture adjustment
- 10.Condenser centralizer
- 11.Subject movement x-direction
- 12.Subject movement y-direction
- 13.Illumination aperture
- 14.Rough contrast adjustment
- 15.Fine contrast adjustment

16.Lamp housing



Gambar 3.3 Bagian - Bagian Mikroskop Metalurgi

3. Tungku Heat Treatment

Spesifikasi Tungku Heat Treatment :

Merk : Redyn

Type : RH – 0

Volt : 880 Volt

Phase : 111

Ukuran : (220 x 850 x 800) mm

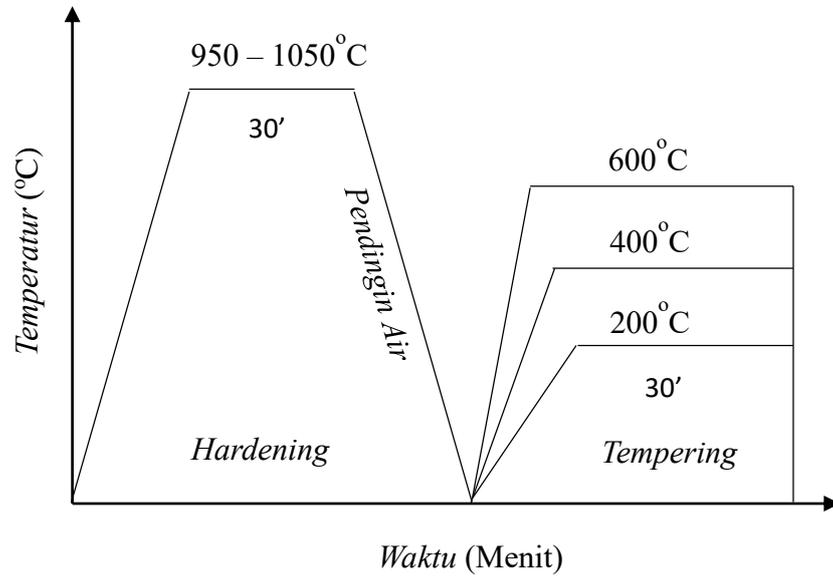


Gambar 3.4 Spesifikasi Tungku Heat Treatment

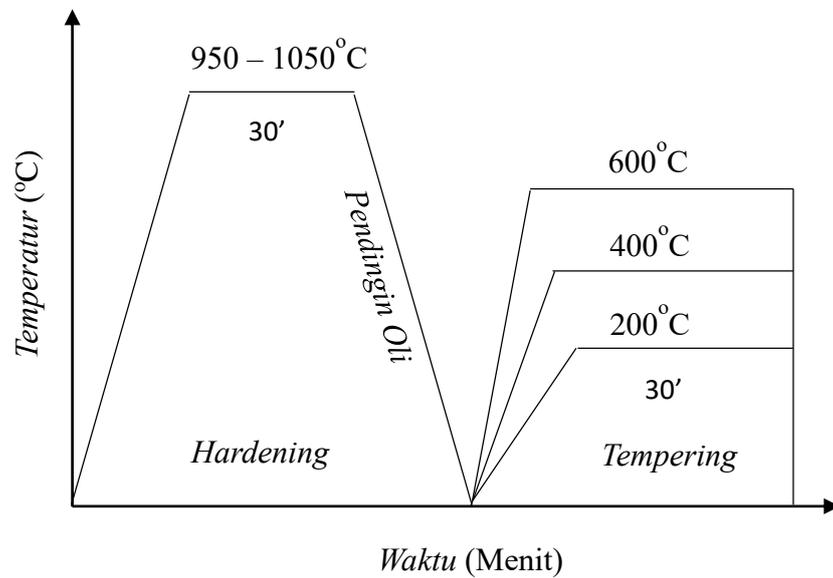
3.9 Prosedur Penelitian

Didalam diagram alir tersebut material yang digunakan untuk penelitian adalah Baja S50C. Penelitian akan berfokus pada pengaruh perbedaan temperatur tempering terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk. Material Baja S50C yang digunakan memiliki komposisi C 0,47-0,53%, Cr Max 0,25%, Mn 0,60-0,90%, Si 0,15-0,35%, P Max 0,035%, S 0,035%, Ni 0,25%, dan Cu 0,25%. Tahapan dari proyek akhir ini adalah yang pertama mempersiapkan material Baja S50C untuk spesimen dalam pengujian. Terdapat delapan macam spesimen yang akan diuji dengan perlakuan masing – masing spesimen berbeda. Untuk memudahkan dalam pengujian maka spesimen diberi nama spesimen A,B,C,D, E, F, G, dan H. Seluruh spesimen akan melalui tahapan hardening dengan temperatur 950 °C – 1050 °C dengan pendingin udara hingga suhu ruang. Kemudian setelah tahapan hardening selesai untuk spesimen A dilakukan pendinginan air tanpa perlakuan tempering. Sedangkan untuk spesimen B akan dilakukan tempering dengan temperatur 200 °C dengan pendinginan cepat menggunakan air. Selanjutnya untuk spesimen C akan dilakukan tempering dengan temperatur 400 °C dengan pendinginan cepat menggunakan air. Selanjutnya untuk spesimen D akan dilakukan tempering dengan temperatur 600 °C dengan pendinginan cepat menggunakan air. Spesimen E dilakukan pendinginan oli tanpa perlakuan tempering. Sedangkan untuk spesimen F akan dilakukan tempering dengan temperatur 200 °C dengan pendinginan cepat menggunakan oli. Selanjutnya untuk spesimen G akan dilakukan tempering dengan temperatur 400 °C dengan pendinginan cepat menggunakan oli. Selanjutnya untuk spesimen G akan dilakukan tempering dengan temperatur 600 °C dengan pendinginan cepat

menggunakan oli. Grafik pengujian seluruh spesimen dapat dilihat pada gambar 3.5 dan 3.6.



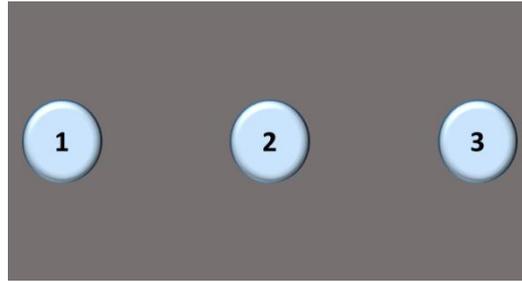
Gambar 3.5 Grafik Alur Proses Hardening dan Tempering dengan Pendingin Air



Gambar 3.6 Grafik Alur Proses Hardening dan Tempering dengan Pendingin Oli

Grafik diatas menunjukkan proses perlakuan panas yang dilakukan pada Baja S50C dengan proses Hardening yang dilakukan pada suhu 950 - 1050°C selama 30 menit dan langsung didinginkan cepat dengan media pendingin air dan oli. Setelah itu benda kerja baru dilakukan tempering dengan suhu berbeda masing – masing sampel dan didinginkan cepat dengan media pendingin udara sampai suhu dari benda kerja sam dengan suhu udara.

Setelah persiapan masing – masing spesimen yang diuji selesai langkah yang kedua yaitu melakukan pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat *Hardness Rockwell Test*. Pengujian kekerasan pada masing – masing spesimen dilakukan di tiga titik yaitu samping dan tengah, lihat gambar 3.1. Pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan masing – masing spesimen. Setelah pengujian kekerasan selesai dilanjutkan dengan pengujian struktur mikro pada masing – masing spesimen dengan menggunakan alat mikroskop metalurgi. Pengujian struktur mikro diharapkan dapat menampilkan hasil perbedaan struktur masing – masing spesimen yang sudah melalui perlakuan tempering. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan terlebih dahulu karena dalam tahapan pengujian struktur mikro dapat mengubah nilai kekerasan masing – masing benda uji. Langkah terakhir adalah melakukan komparasi dari hasil masing – masing pengujian dan melakukan analisa terhadap masing – masing spesimen.



Gambar 3.7 Titik pengujian kekerasan dan Struktur mikro

3.10. Penyusunan Laporan

Laporan Tugas Akhir disusun dengan merujuk pada buku Panduan Penulisan Tugas Akhir.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang dilaksanakan dengan material baja S50C maka didapatkan hasil penelitian berupa nilai kekerasan dan struktur mikro pada material awal yang mengalami perlakuan panas dengan temperatur 950°C dan material yang telah mengalami perlakuan panas dengan temperatur 950°C kemudian didinginkan cepat (quenching) menggunakan media air dan oli dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) dengan variasi temperatur 200°C, 400°C, dan 600°C.

4.1 Komposisi Kimia Baja

Komposisi kimia pada baja memiliki korelasi terhadap sifat mekanik material setelah diberikan perlakuan panas. Pada penelitian ini material yang diuji yaitu Baja S50C dengan komposisi kimia seperti pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja S50C

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
0,47-	0,15-	0,60-	Max	0,035	Max	0,25	0,25
0,53	0,35	0,90	0,035		0,25		
	%						

Berdasarkan komposisi kimia baja S50C, spesimen awal (raw material) pada baja S50C memiliki kandungan karbon (C) antara 0,47-0,53% dari berat total material, sehingga dikategorikan sebagai baja dengan karbon sedang.

4.2 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell dengan indenter berbentuk kerucut dengan sudut penekanan 120° yang dari bahan intan. Pengujian kekerasan dengan metode rockwell dilakukan dengan cara menguji satu spesimen setiap kondisinya dengan pengambilan data sebanyak tiga kali dengan tujuan mendapatkan data yang lebih akurat.

4.2.1 Hasil Uji Kekerasan Material Tanpa Tempering

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan mesin dengan uji kekerasan tipe HRC, dan pengambilan datanya pada tiga titik setiap spesimen. Material baja S50C dilakukan hardening hingga titik austenitisasi 950°C kemudian dilakukan pendinginan cepat (quenching) dengan media air dan oli tanpa dilakukan pemanasan kembali (tempering) kemudian diuji kekerasannya. Berikut adalah parameter laku panas sesuai dengan tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Parameter Laku Panas Tanpa Tempering

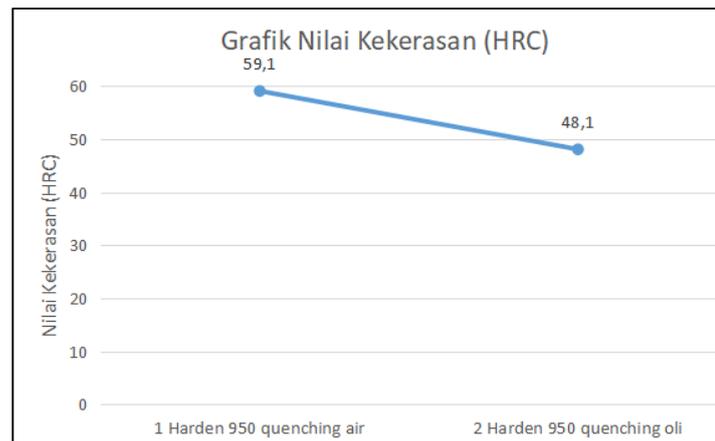
Tempat	Oven/Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Pemanasan	950°C
Waktu Penahanan	30 menit
Media Pendingin	Air
	Oli
Jumlah Spesimen	1 (Air)
	1 (Oli)

Hasil dari uji kekerasan material tanpa tempering seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Material Tanpa Tempering

Nama spesimen	Temperatur Hardening	Media Quenching	Nilai Kekerasan Rata-Rata (HRC)
Spesimen 1 (Media quenching air)	950°C	Air	59,1
Spesimen 2 (Media quenching oli)	950°C	Oli	48,1

Dari data hasil uji kekerasan pada material ditunjukkan bahwa nilai kekerasan pada Spesimen 1 (media quenching air) adalah sebesar 59,1 dan pada Spesimen 2 (media quenching oli) adalah sebesar 48,1 sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan untuk uji kekerasan setelah dilakukan perlakuan panas kembali (tempering) pada material yang sama.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen Tanpa Tempering

4.2.2 Hasil Uji Kekerasan Material dengan Tempering

Pada pengujian kekerasan material dengan tempering, material yang sudah mendapatkan perlakuan panas hardening dan didinginkan cepat (quenching) dengan media air dan oli, dilakukan perlakuan panas kembali (tempering) dengan rincian laku panas pada tabel 4.4.

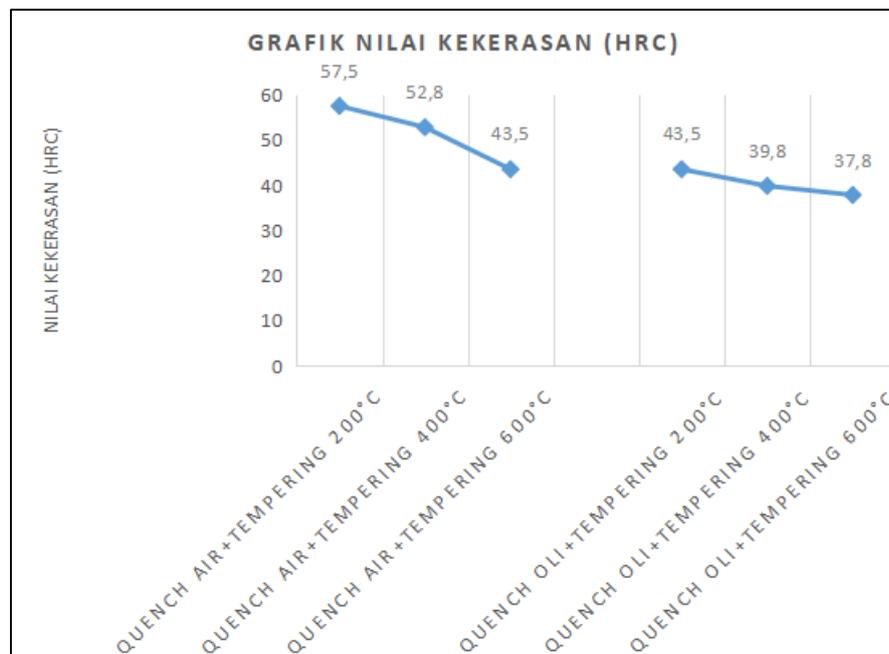
Tabel 4.4 Laku Panas Material dengan Tempering

Nama Spesimen	Temperatur Hardening	Media Quenching	Temperatur Tempering	Holding Time
Spesimen 3	950°C	Air	200°C	30 menit
Spesimen 4	950°C	Air	400°C	30 menit
Spesimen 5	950°C	Air	600°C	30 menit
Spesimen 6	950°C	Oli	200°C	30 menit
Spesimen 7	950°C	Oli	400°C	30 menit
Spesimen 8	950°C	Oli	600°C	30 menit

Data hasil uji kekerasan material dengan tempering dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Material dengan Tempering

Nama Spesimen	Nilai Kekerasan
Spesimen 3	57,5
Spesimen 4	52,8
Spesimen 5	43,5
Spesimen 6	43,5
Spesimen 7	39,8
Spesimen 8	37,8



Gambar 4.2 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen dengan Tempering

4.3 Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan data pengujian kekerasan pada material tanpa tempering didapatkan bahwa material yang dipanaskan dengan suhu austenitisasi 950°C kemudian didinginkan cepat dengan media quenching air (Spesimen 1) lebih keras dibandingkan dengan media oli (Spesimen 2) yang ditunjukkan pada gambar 4.2.

HASIL PENGUJIAN TEST RESULT				
Kode Sampel	:	LM-02/5/09/2022		
Customer	:	Sdr. Galih Satrio Nugroho		
Material	:	S50C		
Pengujian	:	Heat Treatment dan Hardness Rockwell		
Tanggal Masuk	:	05 September 2022		
Tanggal Keluar	:	12 September 2022		
<p>Pada hari Senin tanggal 12 September 2022 telah dilakukan pengujian kekerasan Metode <i>Rockwell</i> dengan sebelumnya dilakukan proses perlakuan panas (<i>heat treatment</i>) pada kode sampel LM-02/5/09/2022 terhadap spesimen SC05 di Laboratorium Material Teknik, Universitas Diponegoro :</p>				
A. Spesimen <i>Quenching</i> Media Air				
No	Nama	HRD		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1.	<i>Quenching</i>	60,0	60,0	57,5
2.	Tempering 200°C	57,5	57,0	58,0
3.	Tempering 400°C	52,0	53,5	53,0
4.	Tempering 600°C	41,0	44,0	45,5
B. Spesimen <i>Quenching</i> Media Oli				
No	Nama	HRD		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1.	<i>Quenching</i>	48,0	49,5	47,0
2.	Tempering 200°C	45,0	43,5	42,0
3.	Tempering 400°C	39,5	42,0	38,0
4.	Tempering 600°C	38,0	39,0	36,5
Semarang, 12 September 2022				
Penguji 1  Muhammad Ainus Sholikhin		Penguji 2  Andiyanto, ST		
 Kepala Laboratorium Material Yustik Pusardhan, MT				

Gambar 4.3 Data Pengujian Kekerasan Pada Material Tanpa Tempering

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa media quenching air lebih efektif meningkatkan nilai kekerasan pada baja S50C dibandingkan media quenching

udara. Hal ini disebabkan karena air memiliki sifat pendinginan yang lebih cepat sehingga kekerasannya naik.

Pada pengujian kekerasan pada material dengan tempering data yang dihasilkan disajikan dalam gambar 4.3.

HASIL PENGUJIAN TEST RESULT				
Kode Sampel	:	LM-02/5/09/2022		
Customer	:	Sdr. Galih Satrio Nugroho		
Material	:	S50C		
Pengujian	:	Heat Treatment dan Hardness Rockwell		
Tanggal Masuk	:	05 September 2022		
Tanggal Keluar	:	12 September 2022		
<p>Pada hari Senin tanggal 12 September 2022 telah dilakukan pengujian kekerasan Metode Rockwell dengan sebelumnya dilakukan proses perlakuan panas (<i>heat treatment</i>) pada kode sampel LM-02/5/09/2022 terhadap spesimen SC05 di Laboratorium Material Teknik, Universitas Diponegoro :</p>				
A. Spesimen <i>Quenching</i> Media Air				
No	Nama	HRD		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1.	Quenching	60,0	60,0	57,5
2.	Tempering 200°C	57,5	57,0	58,0
3.	Tempering 400°C	52,0	53,5	53,0
4.	Tempering 600°C	41,0	44,0	45,5
B. Spesimen <i>Quenching</i> Media Oli				
No	Nama	HRD		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1.	<i>Quenching</i>	48,0	49,5	47,0
2.	Tempering 200°C	45,0	43,5	42,0
3.	Tempering 400°C	39,5	42,0	38,0
4.	Tempering 600°C	38,0	39,0	36,5
Semarang, 12 September 2022				
 Penguji 1 Muhammad Ainus Sholikhin		 Penguji 2 Andiyanto, ST		
 Kepala Laboratorium Material Yustus Usardhaningrum, MT				

Gambar 4.4 Pengujian Kekerasan Pada Material Dengan Tempering

4.3.1 Spesimen dengan Media Quenching Air

Data dari hasil pengujian kekerasan ditunjukkan spesimen dengan media quenching air dan tempering 200°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 57,5, media quenching air dan tempering 400°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 52,8,

dan media quenching air dan tempering 600°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 43,5. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur tempering berpengaruh dengan nilai kekerasan material.

4.3.2 Spesimen dengan Media Quenching Oli

Data dari hasil pengujian kekerasan ditunjukkan spesimen dengan media quenching oli dan tempering 200°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 43,5, media quenching oli dan tempering 400°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 39,8, dan media quenching oli dan tempering 600°C memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 37,8. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur tempering berpengaruh dengan nilai kekerasan material.

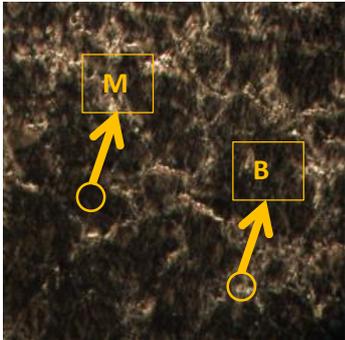
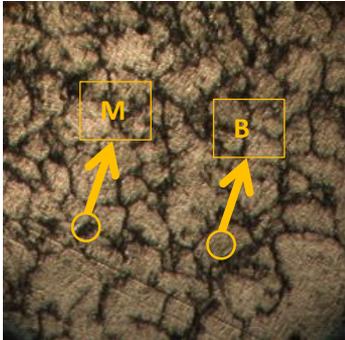
4.4 Hasil Uji Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui bentuk fasa struktur mikro pada material uji yang berpengaruh pada sifat mekanik masing-masing material. Pengujian struktur mikro ini menggunakan mikroskop optik dengan pengambilan foto struktur mikro pada perbesaran 200x.

4.4.1 Hasil Uji Struktur Mikro Material Tanpa Tempering

Pada pengujian struktur mikro ini dilakukan pada 2 spesimen material uji yang telah diberikan perlakuan panas hardening hingga suhu austenitisasi 950°C, dan didinginkan cepat (quenching) dengan media pendingin air (spesimen 1) dan media pendingin oli (spesimen 2) tanpa dilakukan perlakuan panas kembali (tempering). Hasil pengujian struktur mikro pada material tanpa tempering ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Struktur Mikro Material Tanpa Tempering

Nama Spesimen	Hasil Uji Struktur Mikro	Keterangan
Spesimen 1		<p>Struktur yang terbentuk adalah martensite (M) (bentuk jarum) lebih dominan di bandingkan dengan bainite (B) (putih) sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi di bandingkan dengan spesimen quenching oli.</p>
Spesimen 2		<p>Struktur yang terbentuk adalah martensite (M) (bentuk jarum) dan sedikit bainite (B) (putih).</p>

Dari hasil pengujian struktur mikro material tanpa tempering pada tabel 4.6 didapatkan bahwa pada material dengan perlakuan panas hardening hingga suhu austenitisasi 950°C dan didinginkan cepat (quenching) dengan media air menunjukkan fasa martensite dan bainit. Martensite ditunjukkan dengan bentuk jarum berwarna hitam dan bainit berwarna putih.

4.4.2 Hasil Uji Struktur Mikro Material dengan Tempering

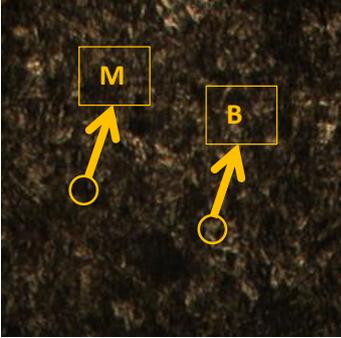
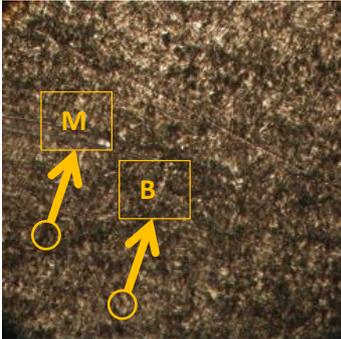
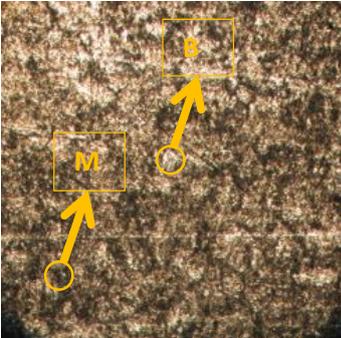
Pada pengujian struktur mikro ini dilakukan pada 6 spesimen material uji yang telah diberikan perlakuan panas hardening hingga suhu austenitisasi 950°C, didinginkan cepat (quenching) dengan media air dan oli, kemudian dilakukan pemanasan kembali (tempering) dengan variasi suhu 200°C, 400°C, dan 600°C sesuai dengan rincian pada tabel 4.7.

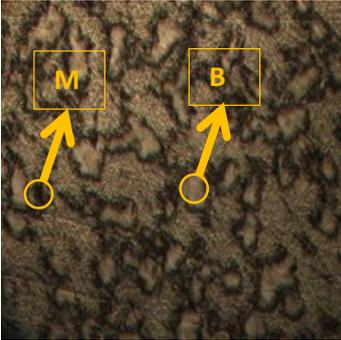
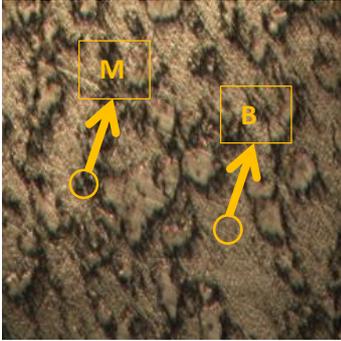
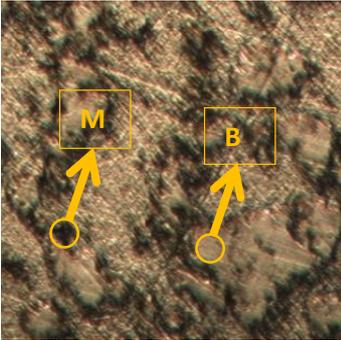
Tabel 4.7 Rincian Spesimen Uji Struktur Mikro Material dengan Tempering

Nama Spesimen	Temperatur Hardening	Media Quenching	Temperatur Tempering	Holding Time
Spesimen 3	950°C	Air	200°C	30 menit
Spesimen 4	950°C	Air	400°C	30 menit
Spesimen 5	950°C	Air	600°C	30 menit
Spesimen 6	950°C	Oli	200°C	30 menit
Spesimen 7	950°C	Oli	400°C	30 menit
Spesimen 8	950°C	Oli	600°C	30 menit

Setelah dilakukan pengujian kekerasan, dilakukan pengamatan struktur mikro untuk mengetahui fasa penyusunan dari setiap spesimen uji dengan pengambilan gambar struktur mikro dengan perbesaran 200x. Hasil uji struktur mikro material dengan tempering dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji Struktur Mikro Material dengan Tempering

Nama Spesimen	Hasil Uji Struktur Mikro	Keterangan
Spesimen 3		<p>Setelah dilakukan quenching dengan media air serta dilakukan tempering dengan suhu 200°C, terbentuk struktur martensite (M) yang dominan dibandingkan dengan bainite (B).</p>
Spesimen 4		<p>Seiring dengan kenaikan suhu tempering, tingkat kekerasannya menurun ditunjukkan dengan martensite (M) yang semakin sedikit.</p>
Spesimen 5		<p>Pada suhu tempering 600°C kekerasannya menurun ditunjukkan dengan bainit (B) yang semakin halus.</p>

<p>Spesimen 6</p>		<p>Setelah dilakukan quenching dengan media oli serta dilakukan tempering dengan suhu 200°C, terbentuk struktur martensite (M) yang dominan dibandingkan dengan bainite (B).</p>
<p>Spesimen 7</p>		<p>Seiring dengan kenaikan suhu tempering, tingkat kekerasannya menurun ditunjukkan dengan Martensite (M) yang semakin sedikit.</p>
<p>Spesimen 8</p>		<p>Pada suhu tempering 600°C kekerasannya menurun ditunjukkan dengan bainit (B) yang semakin halus.</p>

4.5 Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Struktur Mikro

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media air menunjukkan bahwa terbentuknya struktur martensite yang dominan dibandingkan bainite sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan media quenching oli.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media oli menunjukkan bahwa terbentuknya struktur martensite dan sedikit bainite. Struktur dengan martensite dengan sedikit bainite ini menunjukkan bahwa baku ini sangat keras namun getas.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media air dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) pada suhu 200°C menunjukkan bahwa terbentuk struktur martensite yang dominan dibandingkan dengan bainite.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media air dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) pada suhu 400°C menunjukkan bahwa seiring dengan kenaikan suhu tempering, tingkat kekerasannya menurun ditunjukkan dengan martensite yang semakin sedikit.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit,

kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media air dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) pada suhu 600°C menunjukkan bahwa pada suhu tempering 600°C kekerasannya menurun ditunjukkan dengan bainit yang semakin halus.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media oli dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) pada suhu 200°C menunjukkan bahwa terbentuk struktur martensite yang dominan dibandingkan dengan bainite.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media oli dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) pada suhu 400°C menunjukkan bahwa seiring dengan kenaikan suhu tempering, tingkat kekerasannya menurun ditunjukkan dengan martensite yang semakin sedikit.

Struktur mikro pada baja dengan kandungan karbon sedang dengan perlakuan panas pada temperatur austenite 950°C dan waktu penahanan 30 menit, kemudian didinginkan cepat (quenching) dengan media oli dilanjutkan dengan pemanasan kembali (tempering) pada suhu 600°C menunjukkan bahwa pada suhu tempering 600°C kekerasannya menurun ditunjukkan dengan bainit yang semakin halus.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada spesimen 1 dengan media quenching air tanpa tempering memiliki kekerasan sebesar 59,1 HRC. Pada spesimen 2 dengan media quenching oli tanpa tempering memiliki kekerasan sebesar 48,1 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa media quenching air lebih efektif dalam meningkatkan kekerasan baja S50C. Sedangkan untuk struktur mikro yang terbentuk keduanya sama yaitu martensite dan bainite.

2. Nilai kekerasan pada spesimen 3 media quenching air dengan tempering 200°C sebesar 57,5 HRC, spesimen 4 media quenching air dan tempering 400°C sebesar 52,8 HRC, spesimen 5 media quenching air dan tempering 600°C sebesar 43,5 HRC. Nilai kekerasan pada spesimen 6 dengan media quenching oli dan tempering 200°C sebesar 43,5 HRC, spesimen 7 media quenching oli dan tempering 400°C sebesar 39,8 HRC, dan spesimen 8 media quenching oli dan tempering 600°C sebesar 37,8 HRC. Hal ini menunjukkan pengaruh tempering pada seluruh spesimen adalah penurunan nilai kekerasan seiring dengan kenaikan suhu tempering dan menghasilkan struktur bainite dan martensite yang lebih halus dibandingkan dengan spesimen sebelum tempering.

5.2 Saran

1. Kekerasan spesimen disesuaikan dengan kemampuan alat uji kekerasan, saat pemotongan spesimen pastikan memakai cairan pendingin (coolant), saat

polesh spesimen harus searah putaran mesin agar tidak merusak spesimen sebelum dilakukan pengujian material.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi suhu dan waktu tahan proses perlakuan panas sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat mekanis dan struktur mikro pada baja.

3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan metode heat treatment yang sama oleh penulis namun pengujian nya ditambah dengan pengujian kuat tarik dan pengujian impact (ketangguhan) dan yang lainnya.

Daftar Pustaka

- _____. 1992. ASM Handbook, Vol 9, Metallography and Microstructure. ASM International, Materials Park.
- _____. 1991. ASM Handbook, Vol 4, Heat Treating. ASM International, Material Park.
- Ariobimo , Rianti Desi Sulamet.2007.*Perbandingan Karakteristik S50C MOD Terhadap S50C*.Jakarta : Teknik Mesin – Trisakti.
- Aryabrata, dkk. 2018. Analisis Pengaruh Variasi Tempeartur dan Waktu Tahan Tempering pada Proses Hardening Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Material Hamer Crusher. Jurnal Fakultas Teknology Indurstry - ITS. Volume 7 Nomor 1 : 2337 – 3520.
- Fawaiz, Ismah. 2017. *Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak dan Struktur Mikro dengan Proses Laku Panas pada Baja Karbon AISI 1050*. Surabaya : Program Studi Diploma III Teknik Mesin – Institut Teknologi Sebelas November.
- Handoyo, Yopi. 2015. *Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft*. Bekasi : Universitas Islam 45.
- Khan, Mochammad Ghulam Isaq. 2015. *Analisa Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Pada Baja Aar-M201 Grade E*. Surabaya : Teknik Material Dan Metalurgi – ITS.
- Manurung, Vuko AT, Yohanes Tri Joko Wibowo, Satriyo Yudi Baskoro. 2020. Panduan Metalografi. Jakarta : LP2M Politeknik Manufaktur Astra.
- Naubnome, Viktor dkk. 2016. Pengaruh Waktu Pemanasan Menggunakan Pemanas Induksi Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Material S50C. Karawang : Universitas Singaperbangsa.

Prabowo, Aryo Aji. 2019. Pengaruh Media Pendingin pada Proses Quenching terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Kekuatan Bending Baja AISI 1010.