

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS *QUENCHING* TERHADAP NILAI
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA JIS SUP 9A**

(Skripsi)

Oleh

ANDRIKO NUWARI ASISI

1715021036



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN PANAS *QUENCHING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA JIS SUP 9A

Oleh

ANDRIKO NUWARI ASISI

Baja JIS SUP 9A merupakan bahan baku dalam pembuatan pegas daun dan termasuk baja karbon paduan sedang. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik baja tersebut adalah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) salah satunya *quenching*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis pengaruh *annealing* dan *quenching* terhadap kekerasan baja JIS SUP 9A serta menganalisis perubahan struktur mikro baja JIS SUP 9A setelah dilakukan perlakuan *annealing* dan *quenching*. Material diberi perlakuan panas *annealing* dan *quenching* dengan temperatur 250°C dan 350°C serta pengujian kekerasan dengan metode *rockwell*, *vickers*, dan *brinell*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa baja JIS SUP 9A dengan perlakuan panas *quenching* yaitu pada temperatur 250°C dan 350°C meningkatkan kekerasan baja dibandingkan dengan perlakuan panas *annealing*. Pengamatan struktur mikro baja JIS SUP 9A menggunakan alat *Optical Microscopy* (OM) yang terbentuk pada perlakuan *annealing* menunjukkan fasa ferit dan perlit yang diakibatkan oleh pendinginan yang sangat lambat serta pada perlakuan *quenching* temperatur 250°C dan 350°C menunjukkan fasa martensit dan ferit dengan martensit yang lebih dominan terbentuk dikarenakan oleh proses pendinginan secara cepat sehingga meningkatkan nilai kekerasan tinggi pada baja.

Kata Kunci : Baja JIS SUP 9A, *Quenching*, Pengujian Kekerasan, Mikrostruktur.

ABSTRACT

THE EFFECT OF QUENCHING HEAT TREATMENT ON THE HARDNESS VALUE AND MICRO STRUCTURE OF JIS SUP 9A STEEL

By

ANDRIKO NUWARI ASISI

JIS SUP 9A steel is the raw material for making leaf springs and is a medium alloy carbon steel. One way to improve the mechanical properties of steel is with a heat treatment process, one of which is quenching. This research was carried out with the aim of analyzing the effect of annealing and quenching on the hardness of JIS SUP 9A steel and analyzing changes in the microstructure of JIS SUP 9A steel after annealing and quenching treatment. The material was subjected to annealing and quenching heat treatment at temperatures of 250°C and 350°C and hardness testing using the Rockwell, Vickers and Brinell methods. The research results concluded that JIS SUP 9A steel with quenching heat treatment, namely at temperatures of 250°C and 350°C, increased the hardness of the steel compared to annealing heat treatment. Observation of the microstructure of JIS SUP 9A steel using an Optical Microscopy (OM) tool which was formed during the annealing treatment showed ferrite and pearlite phases which were caused by very slow cooling and during the quenching treatment temperatures of 250°C and 350°C showed martensite and ferrite with martensite phases. which is more dominant is formed due to the rapid cooling process, thereby increasing the high hardness value of the steel.

Keywords: JIS SUP 9A Steel, Quenching, Hardness Testing, Microstructure.

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS *QUENCHING* TERHADAP NILAI
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA JIS SUP 9A**

Oleh

ANDRIKO NUWARI ASISI

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : **“PENGARUH PERLAKUAN PANAS *QUENCHING* TERHADAP
NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA JIS SUP 9A”**

Nama Mahasiswa : **Andriko Nuwari Asisi**

NPM : **1715021036**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.

NIP 197212111998031002

Prof. Dr. Sugiyanto, S.T., M.T.

NIP 195704111986101001

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik
Mesin

Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 197108171998021003

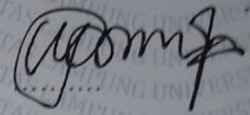
Dr. Ir. Martinus, S.T., M. Sc.

NIP 197908212003121003

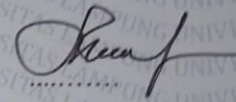
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

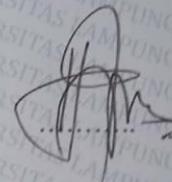
Ketua Penguji : Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.




Anggota Penguji : Prof. Dr. Sugiyanto, S.T., M.T.



Penguji Utama : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc }

NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Juni 2024

PERNYATAAN PENULIS

DENGAN INI PENULIS MENYATAKAN SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PENGATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



ANDRIKO NUWARI ASISI

NPM. 1715021036

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Medan pada tanggal 01 Januari 1999, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ir. Maruwas Marbun dan Ibu Rismauli Lumban Gaol, S.Pd. Pendidikan Penulis diawali dari Taman Kanak-Kanak (TK) Santo Antonius Kota Medan pada tahun 2003-2004, Sekolah Dasar (SD) Santo Antonius V Kota Medan pada tahun 2004-2010, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Katolik Tri Sakti 1 Kota Medan pada tahun 2010-2013, serta Sekolah Menengah Atas (SMA) Katolik Tri Sakti Kota Medan pada tahun 2013-2016.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Penulis mengikuti kegiatan Pengenalan Kehidupan Kampus bagi Mahasiswa Baru (PKKMB) selama 6 hari di Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Lampung. Selanjutnya Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) selama 30 hari pada bulan Mei hingga Juni 2021 di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Kota Bogor, Jawa Barat. Penulis juga melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kampung Baru Unila, Kecamatan Labuhan Ratu, Kota Bandar Lampung selama 40 hari pada bulan Januari hingga Februari 2021.

Semasa kuliah, Penulis juga mengikuti kegiatan organisasi kemahasiswaan tingkat jurusan dan Universitas, yaitu menjadi anggota aktif Divisi Non Islam Bidang Kerohanian di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) Fakultas Teknik Universitas Lampung periode 2018-2019, Kepala Divisi Non Islam Bidang Kerohanian HIMATEM periode 2019-2020, Koordinator Fakultas Teknik Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Katolik Universitas Lampung periode 2019-2020.

MOTTO

“Kalo capek istirahat dulu gapapa tapi jangan pernah berhenti ataupun menyerah”

(Andriko Nuwari Asisi)

“Lakukanlah segala pekerjaanmu dalam Kasih!”

(1 Corinthians 16:14)

“Mulailah dengan melakukan apa yang diperlukan, lalu lakukan apa yang mungkin untuk dilakukan, dan pada akhirnya kamu dapat melakukan hal yang kelihatannya mustahil”

(St. Fransiskus Asisi)

“Seseorang yang tidak tahu apa itu rasa sakit, tidak akan tahu apa itu kedamaian sejati”

(Pain – Naruto)

PERSEMBAHAN

Puji Syukur dihaturkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat rahmat dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar sentosa. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Kedua Orang Tua dan Saudara Kandung

Bapak dan Mamak serta Abang dan Adek Kandungku

Terimakasih atas doa, dukungan dan usaha yang selalu diberikan demi keberhasilan puteranya sehingga mampu menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Mesin di Universitas Lampung.

Keluarga Besar dari Bapak dan Mamak

Terimakasih telah mendukung dan mendoakan yang telah diberikan sehingga dapat terselesaikan tugas akhir ini.

Seluruh Teman-Temanku

Terimakasih atas semua dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Kepada Angelica

Terimakasih atas doa, dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas rahmat, kasih serta karunia-Nya skripsi dengan judul **“PENGARUH PERLAKUAN PANAS *QUENCHING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA JIS SUP 9A”** dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, ucapan terima kasih disampaikan yang sebesar-besarnya dengan segala kerendahan dan ketulusan hati kepada :

1. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Dr. Ir. Martinus, S.T., M. Sc., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin.
4. Novri Tanti, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing akademik Penulis yang telah memberikan doa, ilmu, motivasi, semangat, nasihat, saran dan semua kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Prof. Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 1 bagi Penulis yang telah memberikan doa, ilmu, motivasi, semangat, nasihat, saran, kesabaran dalam membimbing dan semua kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Prof. Dr. Sugiyanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 bagi Penulis yang telah memberikan doa, ilmu, motivasi, semangat, nasihat, saran, kesabaran dalam membimbing dan semua kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Harnowo Supriadi, S.T., M.T., selaku dosen pembahas bagi Penulis yang telah memberikan doa, ilmu, motivasi, semangat, nasihat, saran dan semua kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, atas semua ilmu, nasihat, dan motivasi yang diberikan selama Penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
9. Tenaga kependidikan di Jurusan Teknik Mesin (Mas Dadang, Mas Marta, Mas Salam, dan Mas David), atas semua bantuan dan kerja sama yang telah diberikan selama Penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
10. Teristimewa kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Ir. Maruwas Lumban Batu dan Ibu Rismauli Lumban Gaol, S.Pd., yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, perhatian, semangat, serta doa yang tak pernah putus untuk kelancaran dan kesuksesan Penulis menyelesaikan skripsi ini.
11. Kedua Saudara Kandung Penulis, Muara Marcel Fransiskus Marbun, dan R.Putra Philip Marbun yang selalu mendukung Penulis selama perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini.
12. Keluarga Besar Op. Manuturi Family dan Pomparan ni Op. Regina yang selalu membantu baik dari segi tenaga, materi, dan doa kepada Penulis dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini.
13. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin 2017 yang sudah berjuang bersama selama perkuliahan dan mendukung Penulis menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman-teman Pengurus Komcab Ariesta yang sudah berjuang bersama selama perkuliahan dan mendukung Penulis menyelesaikan skripsi ini.
15. Abang, Kakak, Teman dan Adik-adik Himatem dan UKM Katolik Universitas Lampung yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang sudah memberikan pengalaman organisasi, suka duka, cerita, kebersamaan, kebahagiaan, semangat, motivasi serta ilmu yang bermanfaat kepada Penulis selama kuliah di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
16. Teman-Teman Penulis yang di Medan yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang sudah selalu mendukung dan membantu Penulis selama menjalani perkuliahan sebagai mahasiswa di Universitas Lampung.
17. Angelica yang telah mendoakan, memotivasi, memberikan semangat dan menemani Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

18. Almamater tercinta dan semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu Penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Bandar Lampung, 14 Juni 2024

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'A' followed by several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Andriko Nuwari Asisi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
MENGESAHKAN	vi
PERNYATAAN PENULIS	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baja Karbon	5
2.2 Baja Paduan	6
2.3 Baja Pegas Daun (<i>Leaf Spring Steel</i>)	8
2.4 Perlakuan Panas	9
2.5 Diagram TTT (<i>Time Temperature Transformation</i>)	10
2.6 <i>Quenching</i>	12
2.7 Struktur Mikro Baja	13
2.8 Uji Kekerasan	18

III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Prosedur Penelitian	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	32
4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	34
4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	35
4.4 Hasil Observasi Mikrostruktur Baja JIS SUP 9A	38
V. SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram TTT (<i>Time Temperatur Transformation</i>) (Callister, 2009)	11
Gambar 2. Diagram CCT (<i>Continous Cooling Transformation</i>) (Callister, 2007)	12
Gambar 3. Diagram <i>Quenching</i> (Djaprie, 1995)	13
Gambar 4. Struktur Mikro Ferit (Guo et al., 2019)	14
Gambar 5. Struktur Mikro Austenit (Callister, 2007)	15
Gambar 6. Struktur Mikro Perlit Halus dengan pembesaran 3000x (Callister, 2007)	15
Gambar 7. Struktur Mikro Martensit (Allain et al., 2018)	16
Gambar 8. Struktur Mikro Bainit (Callister, 2007)	17
Gambar 9. Struktur Mikro Sementit (Callister, 2007)	17
Gambar 10. <i>Hardness Tester</i>	22
Gambar 11. Dapur <i>Salt Bath</i>	23
Gambar 12. <i>Thermogun Laser</i>	23
Gambar 13. Pemanas Induksi (<i>Induction Heater</i>)	24
Gambar 14. Jangka Sorong	25
Gambar 15. <i>Stopwatch</i>	26
Gambar 16. <i>Thermometer Multitester</i>	26
Gambar 17. Baja JIS SUP 9A	27
Gambar 18. Kalium Nitrat (KNO_3)	28
Gambar 19. Natrium Nitrat ($NaNO_3$)	28
Gambar 20. Grafik Hasil Rata-Rata Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	33
Gambar 21. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	35
Gambar 22. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	37
Gambar 23. Struktur Mikro Baja JIS SUP 9A (a) dan (b) Perbesaran 200x Setelah Perlakuan <i>Annealing</i>	39
Gambar 24. Struktur Mikro Baja JIS SUP 9A (a) dan (b) Perbesaran 200x Setelah Perlakuan <i>Quenching</i> 250°C	40
Gambar 25. Struktur Mikro Baja JIS SUP 9A (a) dan (b) Perbesaran 200x Setelah Perlakuan <i>Quenching</i> 350°C	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Pegas Daun	9
Tabel 2. Tabel Spesifikasi Alat Uji Kekerasan	22
Tabel 3. Spesifikasi <i>Thermogun Laser</i>	23
Tabel 4. Spesifikasi Jangka Sorong	25
Tabel 5. Komposisi Kimia Baja JIS SUP 9A (JIS G 4801 <i>Spring Steels</i> , 1984)	27
Tabel 6. Sifat mekanik Baja JIS SUP 9A (JIS G 4801 <i>Spring Steels</i> , 1984)	27
Tabel 7. Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	32
Tabel 8. Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	34
Tabel 9. Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i>	36

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem suspensi kendaraan merupakan bagian yang sangat penting karena dapat mempengaruhi keamanan dan kenyamanan bagi pengendara. Komponen utama pada bagian suspensi kendaraan adalah pegas yang berfungsi sebagai peredam beban dinamis yang berasal dari permukaan jalan. Pada kendaraan berat seperti truk, pegas yang banyak digunakan adalah jenis pegas daun (*leaf spring*). Material yang digunakan haruslah memiliki sifat mekanik tertentu agar dapat memenuhi spesifikasi sebagai baja pegas. Sifat mekanik tersebut antara lain kekuatan elastis, ketangguhan dan *resilience*. Baja JIS SUP 9A merupakan bahan baku dalam pembuatan pegas daun dan termasuk baja karbon paduan tinggi. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik baja tersebut adalah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Peningkatan kekuatan mekanik baja karbon paduan tinggi, umumnya dilakukan melalui proses *quenching* yang kemudian diikuti proses *tempering* menurut Badaruddin *et al.*, (2021), sehingga pada baja karbon paduan tinggi banyak dan sering diaplikasikan untuk komponen teknik.

Proses *quenching* dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kekuatan maupun kekerasan baja dengan cara memanaskan baja tersebut pada temperatur tertentu (biasanya berkisar antara 845-870°C), lalu dilakukan pendinginan secara cepat pada media pendingin tertentu. *Quenching* dilakukan agar mencegah terjadinya pembentukan struktur perlit dan memudahkan pembentukan struktur bainit atau martensit serta untuk menghasilkan baja dengan kekerasan yang tinggi (Razak, dkk. 2017).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mulyadi. 2008 perlakuan *double quenching* dengan media pendinginan *quenching* I (air) dilanjutkan dengan oli sebagai media pendinginan II yang bervariasi (oli SAE 10, SAE 30, dan SAE 50) menyimpulkan bahwa pada media I (air) dilanjutkan media (II) oli SAE 10 kekerasannya 8,87 HRC; 14,8 HRC; 19 HRC; pada media (I) dilanjutkan pada media (II) oli SAE 30 kekerasannya 8,07 HRC; 13,4 HRC; 16,53 HRC; dan pada media (I) dilanjutkan pada media (II) oli SAE 50 kekerasannya 6,47 HRC; 10,8 HRC; 13,73 HRC, dengan hasil tidak retak. Dengan bertambah lamanya pada media I (air) dan semakin kecil nilai viskositas oli pada media II maka nilai kekerasannya akan semakin tinggi. Selain itu, menurut penelitian Ouchi., (2001), Lee *et al.*, (2000), Yoo *et al.*, (1995) perlakuan panas pada baja karbon dengan *double quenching-tempering* (DQT) lebih menguntungkan dengan menghasilkan keseimbangan kekuatan dan ketangguhan yang baik, pengurangan konsumsi energi, ramah lingkungan, proses yang lebih singkat dan biaya yang lebih rendah untuk pembuatan baja tahan aus.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan Salunkhe, dkk. 2015 menyatakan bahwa kekerasan perlakuan *double* austenisasi (DA) menawarkan sifat yang relatif lebih baik dibandingkan dengan perlakuan *single* austenisasi (SA), karena karbida tak terlarut menurun setelah austenisasi tunggal suhu tinggi (1050 °C) dibandingkan dengan perlakuan austenisasi tunggal suhu rendah (950 °C). Beberapa karbida yang tidak larut tetap ada di baja setelah perawatan DA, maka ukuran butir meningkat dengan peningkatan suhu austenisasi tunggal dari 950–1050°C sedangkan perlakuan DA menghasilkan ukuran butir sedang. Ukuran butir austenit awal dipengaruhi oleh jumlah elemen paduan dan temperatur austenisasi. Pelarutan karbida berpengaruh signifikan terhadap kehalusan dan kekerasan butir.

Dari beberapa referensi dan literatur serta pengujian yang telah dilakukan pada penelitian terdahulu, sesuai dengan keterangan tersebut mengenai pengaruh perlakuan panas *quenching* terhadap nilai kekerasan dan

struktur mikro menjadi perhatian untuk melakukan penelitian. Maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “**Pengaruh Perlakuan Panas *Quenching* Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja JIS SUP 9A.**”

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Menganalisis pengaruh *annealing* dan *quenching* terhadap kekerasan baja JIS SUP 9A.
- 1.2.2 Menganalisis perubahan struktur mikro baja JIS SUP 9A setelah dilakukan perlakuan *annealing* dan *quenching*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.3.1 Temperatur spesimen saat dipanaskan menggunakan pemanas induksi (*induction heater*) selama 10 menit dianggap sudah mencapai temperatur austenisasi dengan menggunakan acuan warna pada baja.
- 1.3.2 *Quenching* yang dilakukan menggunakan larutan garam 50% natrium nitrat (NaNO_3) + 50% kalium nitrat (KNO_3) dengan waktu penahanan selama 60 menit.
- 1.3.3 Analisis yang dilakukan adalah untuk melihat kekerasan dan struktur mikro baja JIS SUP 9A setelah perlakuan *annealing* dan *quenching* 250°C dan 350°C.
- 1.3.4 *Annealing* yang dilakukan pada baja JIS SUP 9A bertujuan mengembalikan sifat mekanik baja pada kondisi semula dikarenakan saat pembentukan baja sudah terlebih dahulu melalui proses *hot forging*.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam melakukan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang dari masalah yang akan dibahas, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian yang akan dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan tentang landasan teori-teori yang berhubungan dengan pembahasan yang dilakukan.

III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian dan diagram alur penelitian.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang data yang didapatkan dari pengamatan, dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah proses pengujian.

V. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapatkan dari hasil dan pembahasan penelitian serta saran yang dapat diberikan penulis setelah melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan oleh penulis untuk dapat menyelesaikan laporan tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisikan pelengkap laporan penelitian seperti foto-foto dan data yang mendukung laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon dimana karbon berfungsi sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin dan lainnya. Menurut *ASM Handbook* vol. 4 : 148 (1991) baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase dari komposisi kimia karbon dalam baja, yaitu:

2.1.1 Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) yang sifatnya sangat lunak namun memiliki tingkat keuletan dan kekuatan sangat tinggi serta biaya yang rendah karena kandungan karbonnya rendah berkisar 0,05% hingga 0,30%. Pengaplikasiannya yaitu untuk konstruksi jembatan, pelat, roda gigi, pipa dan sebagainya.

2.1.2 Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon 0,3% hingga 0,6% dan memungkinkan baja dapat ditingkatkan kekerasannya melalui perlakuan panas (*heat treatment*) seperti quenching dan tempering. Pengaplikasiannya yaitu sebagai bahan baku alat perkakas, komponen mesin kendaraan, ragum dan pegas.

2.1.3 Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6% hingga 1,5% dan memiliki tingkat keuletan yang rendah namun tingkat kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon rendah dan baja karbon sedang sehingga menjadi lebih getas dan sulit untuk

diberi perlakuan panas karena baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi. Pengaplikasiannya yaitu untuk mata bor, bearing, pahat dan juga blok silinder.

2.2 Baja Paduan

Baja paduan memiliki proses yaitu dengan menambahkan unsur lain pada baja sehingga membutuhkan biaya yang lebih mahal dari pada baja karbon karena biaya pengerjaannya yang bertambah. Setiap elemen ataupun unsur yang telah ditambahkan ke konstituen dasar besi memiliki beberapa efek/pengaruh pada sifat akhir bahan dan bagaimana reaksi bahan tersebut terhadap proses fabrikasi. Berikut ini adalah unsur-unsur yang dapat dan biasanya ditambahkan ke besi dan efek atau pengaruh unsur-unsur tersebut pada bahan antara lain:

2.2.1 Karbon (C)

Karbon merupakan elemen paduan yang paling penting dalam baja dan dapat hadir hingga 2%. Karbon dapat terlarut baik dalam besi atau dalam bentuk gabungan, seperti besi karbida (Fe_3C). Peningkatan jumlah karbon meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik serta berpengaruh terhadap perlakuan panas (*hardenability*).

2.2.2 Silikon (Si)

Baja biasanya mengandung hanya sejumlah kecil silikon yaitu 0,2% ketika silikon digunakan sebagai *deoxidizer*. Silikon larut dalam besi dan cenderung untuk memperkuatnya. Beberapa logam pengisi dapat mengandung silikon hingga 1%. Penurunan daktilitas yang dihasilkan dari silikon yang terlarut dalam baja menyebabkan masalah keretakan dalam beberapa situasi.

2.2.3 Sulfur (S)

Sulfur adalah pengotor yang tidak diinginkan dalam elemen baja paduan. Upaya khusus banyak dilakukan untuk menghilangkan atau meminimalkan belerang selama pembuatan baja berlangsung.

Biasanya penambahan belerang dalam jumlah mulai dari 0,1% sampai 0,3% akan cenderung meningkatkan kemampuan mesin baja.

2.2.4 Mangan (Mn)

Mangan memiliki setidaknya 0,3% unsur di dalam suatu baja, yang bertindak dalam tiga cara adalah membantu dalam deoksidasi baja, mencegah pembentukan inklusi besi sulfida, dan membantu meningkatkan kekuatannya menjadi lebih besar dengan meningkatkan *hardenability* baja.

2.2.5 Fosfor (P)

Fosfor merupakan pengotor yang tidak diinginkan dalam baja paduan. Biasanya ditemukan dalam jumlah hingga 0,04% di kebanyakan baja karbon. Pada saat baja yang dikeraskan, biasanya cenderung menyebabkan kegetiran. Pada baja paduan rendah dan berkekuatan tinggi fosfor dapat ditambahkan dalam jumlah 0,10% untuk meningkatkan kekuatan maupun ketahanan korosinya.

2.2.6 Nikel (Ni)

Pada baja penambahan nikel berfungsi untuk meningkatkan kekerasannya. Nikel berkinerja baik dalam fungsi ini karena sering meningkatkan ketangguhan dan keuletan baja, bahkan dengan peningkatan kekuatan dan kekerasan. Pada suhu rendah juga nikel sering digunakan untuk meningkatkan ketangguhan pada baja.

2.2.7 Molibdenum (Mo)

Elemen ini adalah pembentuk karbida yang kuat dan biasanya hadir dalam baja paduan dalam jumlah kurang dari 0,1%. Molibdenum ditambahkan untuk meningkatkan *hardenability* dan juga untuk meningkatkan kekuatan pada suhu tertentu.

2.2.8 Kromium (Cr)

Kromium merupakan elemen paduan yang kuat dalam baja. Kehadirannya di beberapa baja sangat meningkatkan kemampuan mengeraskan baja dan dapat meningkatkan ketahanan korosi besi dan baja. Baja tahan karat mengandung kromium dalam jumlah melebihi 12%.

2.2.9 Vanadium (V)

Vanadium merupakan elemen paduan selanjutnya yang terkandung di dalam baja. Penambahan vanadium akan menghasilkan peningkatan kekerasan baja. Dalam jumlah yang lebih besar dari 0,05% dapat terjadi kecenderungan baja menjadi getas selama tegangan termal *relief treatments*.

2.3 Baja Pegas Daun (*Leaf Spring Steel*)

Pegas didefinisikan sebagai benda elastik yang berfungsi untuk berubah bentuk ketika dibebani dan untuk kembali ke bentuk semula ketika beban dihilangkan. Model pegas yang ada saat ini sangatlah bervariasi, diantaranya adalah pegas daun, pegas helix, pegas torsi, pegas cakram dan lain lain. Jenis-jenis pegas tersebut memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lainnya, perbedaan itu juga terletak pada material yang digunakan dan sifat mekaniknya (Chaudari et al, 2015).

Baja pegas daun adalah elemen suspensi penting yang digunakan pada kendaraan penumpang ringan maupun kendaraan berat yang diperlukan untuk meminimalkan getaran vertikal, benturan dan gundukan. Pegas daun sangat luas digunakan untuk suspensi berbagai jenis mobil dan kereta api. Fungsi dari pegas daun ialah sebagai bantalan/peredam kejut yang berfungsi untuk menyerap guncangan untuk mengurangi efek yang ditimbulkan akibat permukaan jalan yang tidak rata (Yunicho, 2022). Salah satu jenis material dasar yang digunakan untuk pegas daun adalah JIS SUP 9A.

Pada buku dari Yamada et al, (2007) yang berjudul "*Material for Spring*", bahwa material JIS SUP 9A memiliki kekuatan tarik yang tinggi, kekuatan elastis yang baik dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dari pada baja karbon lainnya. Ada banyak bahan baja untuk penggunaan pegas seperti baja pegas untuk pembentukan panas, kawat baja yang ditarik dengan

keras, baja tahan karat, dan baja perkakas. Berikut tabel yang menunjukkan komposisi kimia baja pegas yang ditunjuk atau direkomendasikan oleh beberapa negara (JIS G 4801 *Spring Steels*, 1984) :

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Pegas Daun

Designation of Grade	C	Si	Mn	P ^[37]	S ^[37]	Cr	Mo
SUP 3	0.75- 0.90	0.15- 0.35	0.30- 0.60	0.035 Max	0.035 Max	-	-
SUP 6	0.56- 0.64	1.50- 1.80	0.70- 1.00	0.030 Max	0,030 Max	-	-
SUP 7	0.56- 0.64	1.80- 2.20	0.70- 1.00	0.030 Max	0,030 Max	-	-
SUP 9	0.52- 0.64	0.15- 0.35	0.70- 1.00	0.030 Max	0,030 Max	0.65- 0.95	-
SUP 9A	0.56- 0.64	0.15- 0.35	0.70- 1.00	0.030 Max	0,030 Max	0.70- 1.00	-
SUP 10	0.47- 0.55	0.15- 0.35	0.65- 0.95	0.030 Max	0,030 Max	0.80- 1.10	-
SUP 11A	0.56- 0.64	0.15- 0.35	0.70- 1.00	0.030 Max	0,030 Max	0.70- 1.00	-
SUP 12	0.51- 0.59	1.20- 1.60	0.60- 0.90	0.30 Max	0.30 Max	0.60- 0.90-	-

2.4 Perlakuan Panas

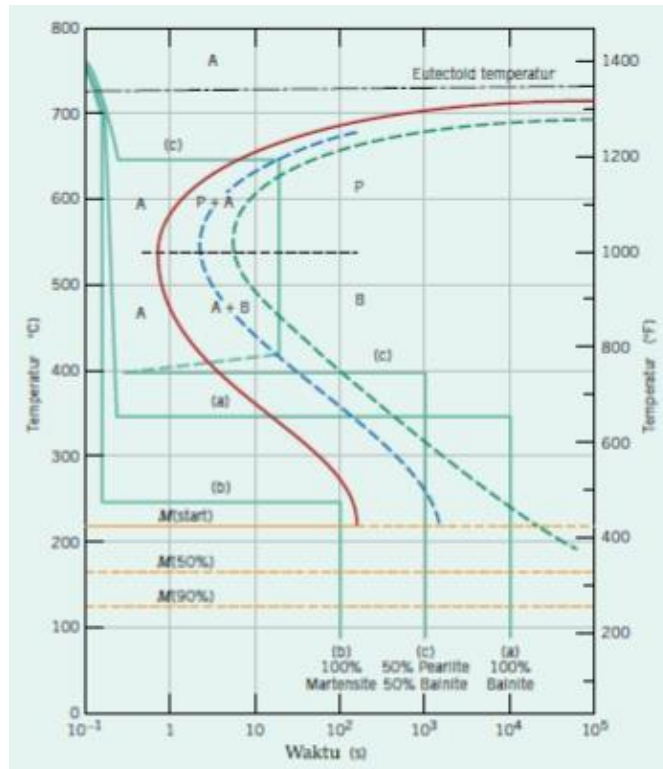
Perlakuan panas didefinisikan sebagai proses pemanasan dan pendinginan pada sebuah baja atau baja paduan untuk mengubah sifat mekanik yang diinginkan pada baja tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga ketahanan aus

serta kemampuan potong meningkat dan dapat dilunakkan untuk mempermudah proses pemesinan lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dapat dihilangkan dan ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil sehingga ketangguhan (*toughness*) dan keuletan (*ductility*) pada baja dapat ditingkatkan. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia dari baja harus diketahui karena perubahan karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis (Fendri, dkk. 2018).

2.5 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)

Diagram TTT merupakan sebuah diagram yang merupakan fungsi temperatur terhadap waktu. Diagram ini dipengaruhi oleh kadar karbon dalam baja, dimana semakin besar kadar karbon maka diagramnya akan semakin bergeser ke arah kanan, begitu juga dengan unsur paduan lainnya. Jika baja dipanaskan hingga membentuk austenit maka pendinginannya akan berlangsung secara terus-menerus tidak *isothermal* walaupun dilaksanakan menggunakan berbagai media pendingin. *Isothermal* menunjukkan temperatur yang tetap, jadi perubahan fasa terjadi pada temperatur yang konstan.

Diagram TTT menggambarkan hubungan waktu, temperatur dan perubahan struktur. Diagram ini memiliki skala yang tegak lurus dan mendatar. Lintasan mendatar dari sumber tegak hingga garis S pertama (kiri) menunjukkan waktu yang berlangsung sampai tercapai awal pembentukan austenit, sedangkan garis S ke dalam (kanan) menunjukkan saat berakhirnya perubahan bentuk. Jarak mendatar antara kedua garis liku menyatakan jangka waktu proses perubahan (Gunawan Dwi, 2006). Diagram TTT untuk baja C sama dengan 0,8% (*eutectoid*) diperlihatkan pada gambar 1.

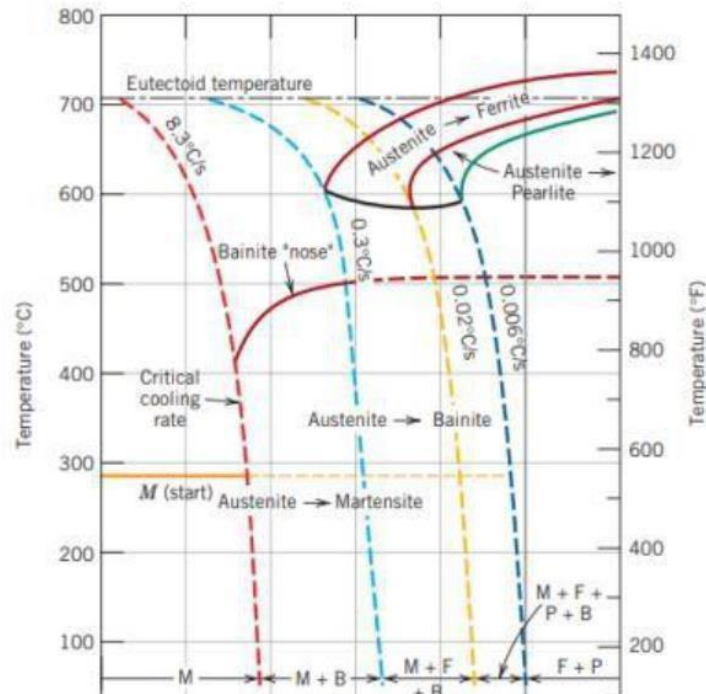


Gambar 1. Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*) (Callister 2009)

Diagram TTT pada gambar 1 menunjukkan bentuk hidung sebagai batasan minimum waktu dimana sebelum waktu tersebut bertransformasi austenit ke perlit tidak akan terjadi. Posisi hidung pada diagram TTT tersebut dapat bergeser berdasarkan kadar karbonnya. Jika bergerak semakin ke arah kanan maka menunjukkan baja karbon semakin mudah untuk membentuk bainit atau martensit atau bahkan semakin mudah untuk dikeraskan.

Untuk mendapatkan hubungan antara struktur mikro dengan kecepatan pendinginan biasanya dilakukan dengan cara menggabungkan diagram kecepatan pendinginan kedalam diagram TTT yang biasa dikenal dengan *Continuous Cooling Transformation* (CCT). Diagram ini menjelaskan kondisi saat terjadi transformasi *eutectoid* ketika temperatur austenit dapat mencapai temperatur ruang. Sifat mekanik yang diperoleh ditentukan berdasarkan

lamanya waktu penahanan pada kondisi *isothermal* dan tergantung pada laju kecepatan pendinginan dari media *quenching* yang digunakan.



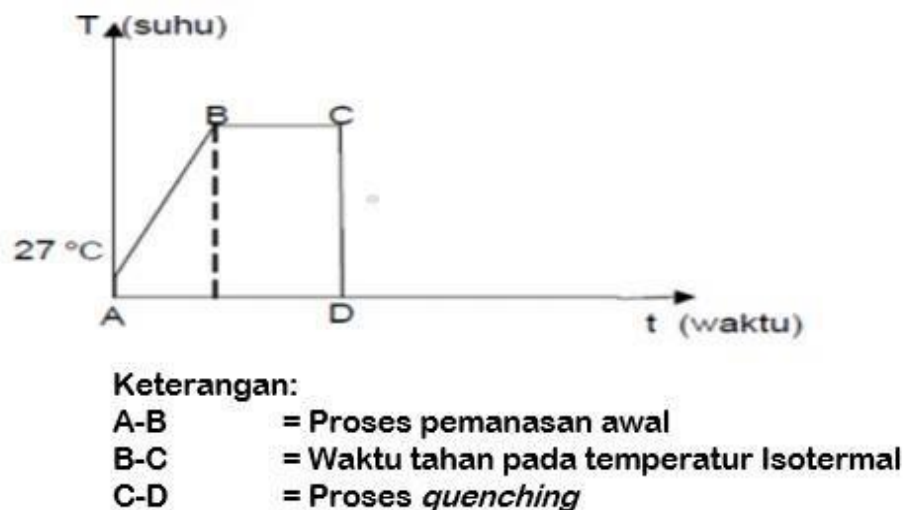
Gambar 2. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)
(Callister, 2007)

2.6 *Quenching*

Quenching merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan maupun kekerasan baja dengan cara memanaskan baja tersebut pada temperatur tertentu (biasanya berkisar antara 845°C sampai 870°C) kemudian didinginkan secara cepat pada media pendingin untuk mendapatkan struktur martensit. Martensit adalah fasa metastabil yang terbentuk dengan laju pendinginan cepat yang pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit. *Quenching* dilakukan agar mencegah terjadinya pembentukan struktur perlit atau ferit dan memudahkan pembentukan struktur

bainit atau martensit serta untuk menghasilkan baja dengan kekerasan tinggi seiring bertambahnya jumlah martensitnya (Fernandes, dkk. 2007).

Untuk menjamin keberhasilan dalam metode *quenching* ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu temperatur pengerasan, waktu tahan laju pemanasan, media pendinginan, dan *hardenability*. *Hardenability* merupakan kemampukerasan suatu material yang memiliki fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Karakteristik *hardenability* setiap material berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh media pendingin, komposisi, ukuran dan geometri dari material tersebut. Pada proses pengerasan *quenching* ini akan berhasil jika terdapat sifat-sifat kemampukerasan tersebut pada baja.



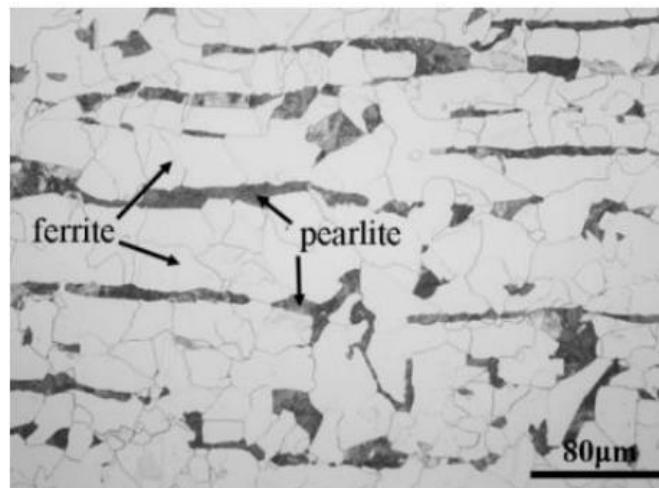
Gambar 3. Diagram *Quenching* (Djaprie, 1995)

2.7 Struktur Mikro Baja

Struktur mikro merupakan gambaran pada kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Jenis struktur mikro dipengaruhi oleh komposisi kimia, perlakuan panas dan proses pembuatan material. Adapun beberapa jenis struktur mikro yaitu sebagai berikut:

2.7.1 Ferit

Ferit merupakan suatu paduan dari karbon dan unsur paduan yang terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat serta memiliki struktur mikro yang berwarna terang dengan ruang atomnya kecil dan rapat. Struktur mikro ferit memiliki sifat lunak dengan kekuatan rendah, keuletan tinggi dan tahan korosi medium. Struktur mikro ferit memiliki kandungan dari baja karbon rendah, dimana larutan karbon di dalam fasa sekitar 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025% pada suhu 723 °C. Ferit lunak dan liat, kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN (*Hardness Vickers Number*) (Sumiyanto dan Abdunnaser, 2015).

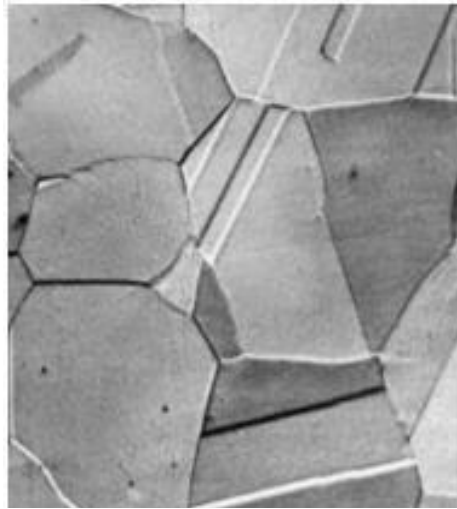


Gambar 4. Struktur Mikro Ferit (Guo et al., 2019)

2.7.2 Austenit

Austenit merupakan campuran besi (Fe) dan karbon (C) yang terbentuk dalam pembekuan, lalu adapun proses pendinginan selanjutnya yaitu austenit berubah menjadi ferit dan sementit. Sifat austenit adalah lentur dengan kadar karbon maksimumnya sebesar 2,14%. Kelarutan maksimal kandungan karbon sebesar $\pm 2,06\%$ pada suhu 1148°C, struktur kristal FCC (*Face Center Cubic*). Pada struktur kristal FCC ini memiliki rongga-rongga yang hampir tidak dapat menampung atom-atom karbon dan proses penyisipan atom

karbon sehingga menyebabkan terjadinya tegangan dalam pada struktur dan tidak semua rongga dapat terisi.



Gambar 5. Struktur Mikro Austenit (Callister, 2007)

2.7.3 Perlit

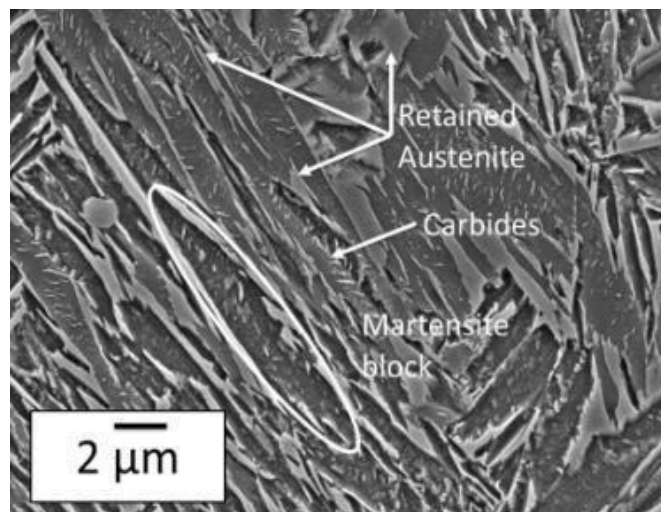
Perlit merupakan campuran dari dua fasa yaitu ferit dan sementit yang tersusun sebagai pelat sejajar bolak-balik. Perlit mengandung jumlah karbon tetap 0,83% pada baja karbon dan terbentuk dari reaksi *eutectoid* saat austenit didinginkan, sehingga memiliki sifat yang lebih kuat dan lebih keras daripada ferit tetapi tidak magnetis dan kurang ulet.



Gambar 6. Struktur Mikro Perlit Halus dengan pembesaran 3000x (Callister, 2007)

2.7.4 Martensit

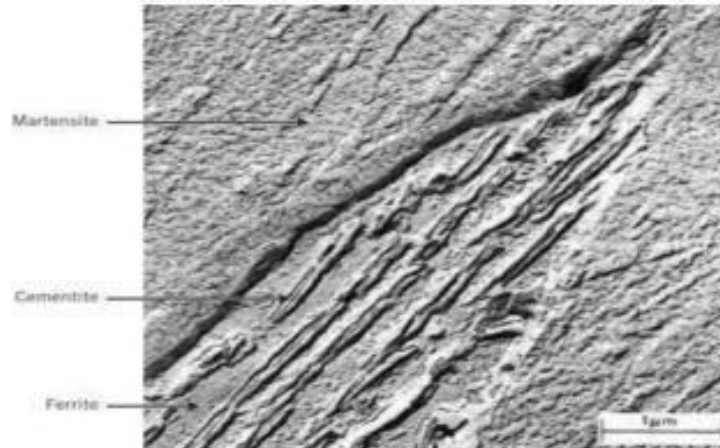
Martensit merupakan fasa yang terbentuk oleh proses pergeseran atom sebesar jarak atom-atomnya. Akibat dari pergeseran atom ini menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari *Body Central Cubic* (BCC) menjadi *Body Center Tetragonal* (BCT). Pembentukannya dimulai pada garis martensit start (Ms) hingga berakhir pada garis martensit finish (Mf). Garis Ms dan Mf ini tidak dipengaruhi oleh laju pendinginan namun ditentukan oleh komposisi kimianya. Transformasi martensit terjadi ketika laju pendinginan cepat untuk mencegah terjadinya difusi karbon, yang setiap difusi akan menghasilkan pembentukan ferit dan sementit. Mikrostruktur martensit terbentuk karena melalui proses pendinginan secara cepat (*quenching*) dari baja yang telah dirubah mikrostrukturnya menjadi austenit melalui pemanasan diatas temperatur austenit. Martensit didalam baja mempunyai struktur dengan kekerasan paling tinggi.



Gambar 7. Struktur Mikro Martensit (Allain et al., 2018)

2.7.5 Bainit

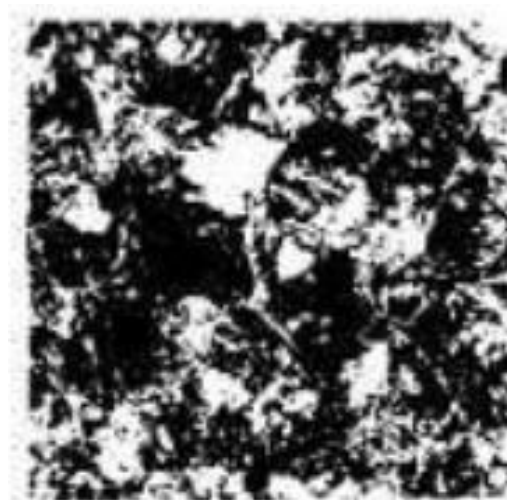
Bainit merupakan campuran dari dua fasa yaitu ferit dan sementit yang dapat terbentuk pada baja karbon melalui pendinginan cepat austenit.



Gambar 8. Struktur Mikro Bainit (Callister, 2007)

2.7.6 Sementit

Pada paduan besi dimana kondisi karbon melebihi daya larut maka akan membentuk fasa kedua yang disebut dengan sementit atau karbida besi. Sifat dasar dari sementit itu sendiri sangat keras yaitu dengan nilai kekerasan 5-68 HRC, sehingga sementit dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Fasa ini sangat rapuh yang menyebabkan tidak tahan terhadap konsentrasi tegangan. Sementit memiliki komposisi kimia berupa Fe_3C , sehingga sangat keras tapi tidak terlalu kuat dan memiliki nilai kekuatan tarik yang rendah yaitu hanya sekitar 5.000 psi. Pada fasa ini kelarutan karbon mencapai 6,70% dengan temperatur dibawah 1400°C .



Gambar 9. Struktur Mikro Sementit (Callister, 2007)

2.5 Uji Kekerasan

Uji kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi material lain pada permukaannya. Terdapat tiga jenis mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujiannya adalah kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*), kekerasan pantulan (*rebound hardness*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*).

Untuk logam kekerasan lekukan (*indentation hardness*) yang sering dipergunakan memiliki beberapa jenis pengujian kekerasan lekukan yaitu :

2.8.1 Uji Kekerasan *Brinell*

Uji kekerasan *brinell* merupakan suatu penekanan bola baja (identor) pada permukaan benda uji. Bola baja berdiameter 10 mm, sedangkan untuk material uji yang sangat keras identor terbuat dari paduan karbida tungsten, untuk menghindari distorsi pada identor. Beban uji untuk logam yang keras adalah 3000 kg, sedangkan untuk logam yang lebih lunak beban dikurangi sampai 500 kg untuk menghindari jejak yang dalam. Lama penekanan 20 sampai 30 detik dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan.

Adapun rumus dari pengujian kekerasan *brinell* dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan, persamaan untuk angka kekerasan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\text{BHN} = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dimana :

P = Beban yang digunakan (kg)

D = Diameter indentor (mm)

d = Diameter lekukan (mm)

2.8.2 Uji Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan indentor yang berbentuk piramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut 136° . Adapun rumus dari pengujian kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan, persamaan untuk angka kekerasan tersebut adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

P = Beban yang digunakan (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136°)

2.8.3 Uji Kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan metode *Rockwell* diukur kedalaman pembedahan (t) penekan. Sebagai penekan pada baja yang dikeraskan akan menggunakan sebuah kerucut intan. Untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekankan keatas bidang uji, pertama dengan beban pendahuluan 10 kg, lalu beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembedahan terbesar. Sebagai ukuran digunakan kedalaman pembedahan (t) menetap dalam mm yang ditinggalkan beban tambahan, satuan untuk ukuran t berlaku $e = t$ dalam 0,002 mm.

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (*speciment*) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (Nugraheni Tri, dkk. 2014). Skala yang umum dipakai dalam pengujian kekerasan *Rockwell* ada beberapa jenis yaitu :

2.8.3. HRa (Untuk material yang sangat keras).

2.8.3.2 HRb (Untuk material yang lunak). Identor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 kgf.

2.8.3.3 HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Identor berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Adapun rumus dari pengujian kekerasan rockwell adalah sebagai berikut :

$$HRC = 100 - \frac{t}{0,002} \quad (3)$$

Dimana :

t = kedalaman pembenaman penekan (mm)

HRC = pengujian *rockwell* (HRC)

Makin keras bahan yang diuji, makin dangkal masuknya penekan dan sebaliknya makin lunak bahan yang diuji, makin dalam masuknya. Cara *rockwell* sangat disukai karena dengan cepat dapat diketahui kekerasannya tanpa menghitung dan mengukur.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sedangkan waktu penelitian akan dilaksanakan mulai bulan Februari 2023 hingga Mei 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat Uji Kekerasan (*Hardness Tester*)

Hardness Tester adalah alat uji kekerasan yang digunakan di Laboratorium Material Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro dan Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Tarumanegara. *Hardness Tester* ini digunakan untuk menguji kekerasan pada baja JIS SUP 9A sebelum dan sesudah mendapat perlakuan panas metode *single quenching* temperatur 250°C dan 350°C. Adapun pengujian kekerasan yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode *brinell*, *vickers*, dan *rockwell*.



Gambar 10. *Hardness Tester*

Tabel 2. Tabel Spesifikasi Alat Uji Kekerasan

Nama Alat	<i>Hardness Tester Type - 150A</i>
<i>Measuring Range</i>	20-88 HRA, 20-100 HRB, 20-70 HRC
<i>Test Force</i>	588.4 ; 980.7 ; 1471 N (60, 100, 150 kgf)
<i>Max. height of test piece</i>	170 mm
<i>Depth of throat</i>	135 mm
<i>Min. scale value</i>	0.5 HR
<i>Dimension</i>	466 x 238 x 630 mm

3.2.2 Dapur *Salt Bath*

Dapur *salth bath* digunakan sebagai media untuk menyimpan larutan garam 50% NaNO₃ + 50% KNO₃. Dapur *salth bath* memiliki *temperature controller* sebagai pengatur temperatur tungku yang terhubung dengan termokopel berfungsi sebagai sensor temperatur.



Gambar 11. Dapur *Salt Bath*

3.2.3 *Thermogun Laser*

Thermogun Laser merupakan salah satu jenis thermometer inframerah yang digunakan untuk mengukur temperatur pada spesimen saat proses austenit.



Gambar 12. *Thermogun Laser*

Tabel 3. Spesifikasi *Thermogun Laser*

<i>Detail Spesifikasi</i>	
Nama Merek	<i>SMART SENSOR</i>
<i>Color</i>	<i>Grey + Orange</i>
Material	<i>ABS Plastic</i>
<i>Measuring Range</i>	<i>-18~1650°C (0~3002°F)</i>
<i>Accuracy</i>	<i>± 2°C</i>
<i>Resolution</i>	<i>0.1°C or 0.1°F (1000°C)</i>

<i>Repeatability</i>	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
<i>Response Time</i>	500mSec, 95% response
<i>Emissivity</i>	0,10~1,00
<i>Distance Spot Ratio</i>	20:1
<i>Display</i>	LCD
<i>Laser Type</i>	Class II, 635nm, <1mW
<i>Operating Temperature</i>	0-40°C / 32~104°F
<i>Operating Humadity</i>	10-95%RH non- condensing, up to 30°C (86°F)
<i>Storage Temperature</i>	-20~60°C / -4~140°F
<i>Power Supply</i>	1 * 9V Battery
<i>Item Size</i>	22 x 13,4 x 6 cm
<i>Item Weight</i>	246Gram

3.2.4 Pemanas Induksi (*Induction Heater*)

Pemanas induksi (*induction heater*) merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan baja JIS SUP 9A hingga mencapai temperatur austenisasinya.



Gambar 13. Pemanas Induksi (*Induction Heater*)

3.2.5 Jangka Sorong

Alat untuk mengukur dimensi spesimen yang akan digunakan. Pembacaan skala dimensi spesimen memiliki ketelitian sampai 0,1 mm.



Gambar 14. Jangka Sorong

Tabel 4. Spesifikasi Jangka Sorong

<i>Detail Spesifikasi</i>	
Nama Merek	Mitutoyo
Akurasi	0.02 mm / 0.001 in (100 mm)
<i>Range</i>	0-150 mm / 0-6 in
Indikasi Minimum	0.01 mm / 0.0005 in
Standar Temperatur	20°C
Berat	800 Gram

3.2.6 *Stopwatch*

Alat untuk memudahkan selama proses penelitian yang berfungsi untuk mengontrol durasi waktu proses *quenching* dan penahanan spesimen di dapur *salt bath*.



Gambar 15. *Stopwatch*

3.2.7 *Thermometer Multitester*

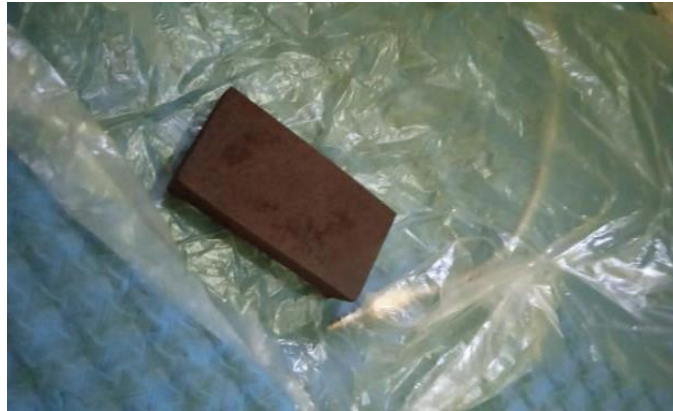
Alat untuk memudahkan selama proses penelitian yang berfungsi untuk mengukur temperatur di dapur *salt bath*.



Gambar 16. *Thermometer Multitester*

3.2.8 *Baja JIS SUP 9A*

Baja JIS SUP 9A merupakan bahan yang digunakan sebagai spesimen pada penelitian yang akan dilakukan. Adapun spesifikasi baja ini adalah sebagai berikut:



Gambar 17. Baja JIS SUP 9A

Tabel 5. Komposisi Kimia Baja JIS SUP 9A (JIS G 4801 *Spring Steels*, 1984).

No	Unsur	Kadar <i>Sample</i> (%)
1	Carbon (C)	0,56 – 0,64%
2	Silikon (Si)	0,15 – 0,35%
3	Mangan (Mn)	0,70 – 1,00%
4	Fosfor (P)	Max 0,030%
5	Sulfur (S)	Max 0,030%
6	Chromium (Cr)	0,70 – 1,00%

Tabel 6. Sifat mekanik Baja JIS SUP 9A (JIS G 4801 *Spring Steels*, 1984).

Nama	Nilai
<i>Tensile Strength</i>	$\geq 1226 \text{ N/mm}^2$ (Mpa)
<i>Yield Strength</i>	$\geq 1079 \text{ N/mm}^2$ (Mpa)
<i>Elongation</i>	$\geq 9\%$
<i>Hardness</i>	363-429 HB

3.2.9 Kalium Nitrat (KNO_3)

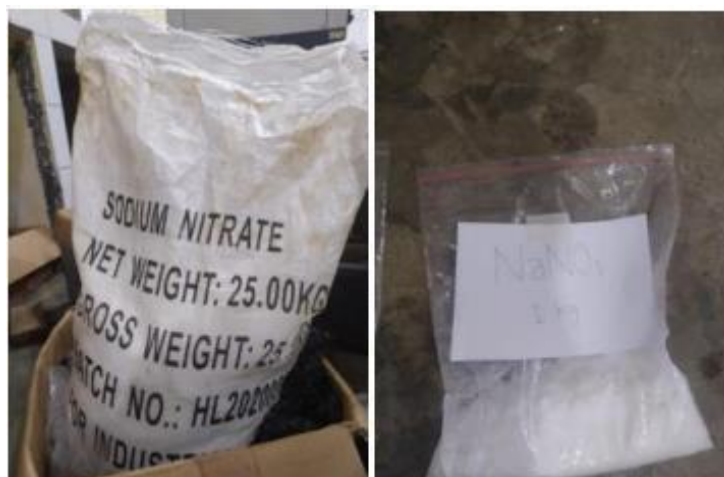
Kalium nitrat adalah salah satu jenis garam yang memiliki fasa padat dan berwarna putih. Titik didih yang dimiliki oleh kalium nitrat adalah 759°C pada 1 atm.



Gambar 18. Kalium Nitrat (KNO_3)

3.2.10 Natrium Nitrat (NaNO_3)

Natrium nitrat adalah salah satu jenis garam yang berbentuk kristal padat dan berwarna putih yang memiliki densitas sebesar $2,257 \text{ g/ml}$. Natrium nitrat memiliki titik beku sebesar 308°C dan titik didih 380°C pada 1 atm.



Gambar 19. Natrium Nitrat (NaNO_3)

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan proses, yaitu:

3.3.1 Persiapan Bahan Uji Baja JIS SUP 9A

Material yang digunakan sebagai spesimen pada penelitian tugas akhir ini adalah baja JIS SUP 9A. Spesimen tersebut akan dipotong berbentuk persegi panjang dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu panjang = 55 mm, lebar = 25 mm, dan tebal = 15 mm.

3.3.2 Proses Austenisasi

Dalam proses austenisasi dilakukan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

3.3.2.1 Menyiapkan spesimen yang akan digunakan.

3.3.2.2 Memasang spesimen pada *induction heater*.

3.3.2.3 Menghidupkan mesin *induction heater*.

3.3.2.4 Melakukan pengecekan air pada selang apakah sudah mengalir dengan baik.

3.3.2.5 Menghidupkan MCB *Power Supply*.

3.3.2.6 Menunggu sampai jarum pada *voltmeter* sudah stabil.

3.3.2.7 Menghidupkan termokontrol.

3.3.2.8 Memastikan setiap tahapan pada modul *induction heater* berjalan dengan baik.

3.3.2.9 Menghidupkan MCB.

3.3.2.10 Memanaskan spesimen sampai temperatur 800°C.

3.3.2.11 *Holding time* pada spesimen dilakukan selama 10 menit.

3.3.3 Proses *Quenching*

Proses *quenching* dilakukan pada beberapa tahapan antara lain adalah sebagai berikut:

3.3.3.1 Mencelupkan spesimen ke dalam larutan garam (50% NaNO₃ + 50% KNO₃) di dapur *salt bath* yang sudah diatur temperatur nya di 250°C, lalu ditahan selama 60 menit.

- 3.3.3.2 Setelah waktu penahanan tersebut terlewati kemudian spesimen dicelupkan ke dalam media pendinginan air sampai mencapai temperatur ruangan, setelah itu dibersihkan.
 - 3.3.3.3 Kemudian larutan garam kembali dipanaskan dan dinaikkan temperturnya sebesar 100°C untuk *single quenching* spesimen 350°C, lalu spesimen dicelupkan ke dalam larutan garam dan dilakukan penahanan selama 60 menit.
 - 3.3.3.4 Setelah waktu penahanan terlewati kemudian spesimen dicelupkan ke dalam media pendinginan air sampai mencapai temperatur ruangan, setelah itu dibersihkan.
- 3.3.4 Proses Pengujian Kekerasan
- Proses pengujian kekerasan dilakukan pada beberapa tahapan antara lain adalah sebagai berikut:
- 3.3.4.1 Membersihkan permukaan benda uji dan amplas sehingga kedua permukaan tersebut rata dan sejajar.
 - 3.3.4.2 Memasang penetrator *diamond/steel ball* sesuai dengan jenis material yang akan diuji.
 - 3.3.4.3 Memastikan *handle* dalam posisi *unholding*.
 - 3.3.4.4 Memutar *exchanging handle proper weight* sesuai pengujian kekerasan.
 - 3.3.4.5 Memasang spesimen yang akan diuji yaitu baja jis sup 9a setelah dilakukannya proses *single quenching* dan *double quenching* pada kedudukannya (anvil) lalu mengencangkan dengan memutar *handwheel* hingga spesimen menyentuh penetrator dan jarum kecil pada dial indikator menuju garis merah.
 - 3.3.4.6 Mengatur dial indikator sehingga jarum besar tepat pada garis indikator C dan B.
 - 3.3.4.7 Menarik *handle* ke depan untuk pengetesan pembebanan utama. Pada saat itu jarum panjang akan berputar *anticlockwise* dan *handle* bergerak ke depan secara perlahan. Ketika jarum panjang berhenti, lalu mendorong *handle* untuk

menghilangkan pengetesan pembebanan utama (saat menarik *handle* dan mendorong *handle* diharapkan dilakukan dengan perlahan dan hati-hati).

3.3.4.8 Melakukan pembacaan pada indikator (untuk pengujian dengan *diamond* penetrator, membaca pada garis bagian luar indikator yaitu garis berwarna hitam, dan untuk pengujian *steel ball* penetrator membaca pada bagian dalam indikator yaitu garis berwarna merah).

3.3.4.9 Memutar *handwheel* berlawanan jarum jam untuk menurunkan spesimen.

3.3.4.10 Melakukan pengujian sampel selanjutnya sesuai prosedur 1 sampai 10 sebanyak 3 kali di titik berbeda pada spesimen dengan metode *vickers*, *brinell*, dan *rockwell*.

3.3.5 Observasi *Mikrostruktur*

Observasi *mikrostruktur* ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro serta mempelajari fasa-fasa dengan menggunakan alat *Optical Microscopy* (OM). Data yang dihasilkan berupa data kuantitatif maupun data kualitatif dan digunakan untuk mengamati fasa-fasa melalui perubahan *mikrostruktur* setelah proses *annealing* dan *quenching* temperatur 250°C dan 350°C.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa baja JIS SUP 9A dengan perlakuan panas *quenching* yaitu pada temperatur 250°C dan 350°C dengan waktu penahanan selama 60 menit pada masing-masing temperatur meningkatkan kekerasan baja dibandingkan pada perlakuan panas *annealing* yaitu : pada metode pengujian *rockwell* kekerasan meningkat sebesar 116,37% ; pada metode pengujian *vickers* kekerasan meningkat sebesar 153,75% dan pada metode pengujian *brinell* kekerasan meningkat sebesar 128,51%.
2. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa struktur mikro baja JIS SUP 9A yang terbentuk setelah dilakukan perlakuan *annealing* adalah struktur mikro ferit dan perlit yang diakibatkan oleh pendinginan yang sangat lambat dan perlakuan *quenching* temperatur 250°C dan 350°C adalah struktur mikro martensit dan ferit dengan martensit yang lebih dominan terbentuk dikarenakan oleh proses pendinginan secara cepat sehingga meningkatkan nilai kekerasan tinggi pada baja.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan untuk mendukung penelitian selanjutnya maka penulis memberikan beberapa saran adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian kekerasan baja JIS SUP 9A diberi perlakuan *quenching* dengan menambahkan variasi waktu penahanan.
2. Dari hasil penelitian yang dilakukan, perlakuan panas *quenching* dipercaya meningkatkan nilai kekerasan baja JIS SUP 9A oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh perlakuan *quenching* lanjutan penulis menyarankan untuk dilakukan pengujian dengan variasi perlakuan panas *double* dan *multi quenching*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Z. 2021. Analisa Pengaruh Perlakuan Panas *Quench-Temper* Terhadap Nilai Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja JIS SUP 9. Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional. Jambi.
- ASM *Handbook Committee*. 1991. *Metals Handbook, Volume 4, Heat Treating*. American Society for Metals Internasional. New York..
- ASTM E8-04. 2004. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM International. West Conshohocken.
- Badaruddin, M., R.P. Pratama, Sugiyanto, H. Supriadi, ICOMEET 2021 (paper ID#1090), AIP Conf. Proc. 2022. (*in press*)
- Badaruddin, M., Sugiyanto, Wardono, H., Andoko, Wang, C. J., Rivai, A. K. 2019. *Improvement of Low Cycle Fatigue Resistance In AISI 4140 Steel By Annealing Treatment*. *International Journal of Fatigue*. 125, 406-407.
- Chaudari, Mayuri A. 2015. "*Design and Analysis of Leaf Spring of Tanker Trailer Suspension System*". Department of Mechanical Eng. S.S.V.P.S's B.S.Deore COE Dhule (MS). India.
- Callister Jr., W.D., 2000, "Fundamentals of Materials Science and Engineering", Interactive e Text, John Wiley & Sons, Fifth Edition.
- Callister, Jr and William, D Jr. 2007. "*Material Science and Engineering An Introduction-7th Edition*". New Jersey: John Wiley and Sons.

- Callister, Jr and William, D Jr. 2009. "*Material Science and Engineering An Introduction-8th Edition*". New Jersey: John Wiley and Sons.
- Claesson, Erik. 2014. *Development of Heat Treatment Method To Form A Duplex Microstructure Of Lower Bainite And Martensite In AISI 4140 Steel*. Royal Institute of Technology. Swedia.
- C. Ouchi. 2001. "*Development of Steel Plates by Intensive Use of TMCP and Direct Quenching Processes*". ISIJ Int. 41 5428.
- C.S. Lee and W.Y. Choo. 2000. "*Effects of Austenite Conditioning and Hardenability on Mechanical Properties of B-Containing High Strength Steels*". ISIJ Int. 40 189.
- Djaprie, Sriati. 1995. Metalurgi Mekanik, *Mechanical Metallurgy*. Jakarta: Erlangga.
- Fendri, R., Darmawi, Syahrul, Jasman. 2018. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas Tempering. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Haryadi, Gunawan Dwi. 2006. Pengaruh Suhu *Tempering* Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Haryadi, Gunawan Dwi, dkk. 2021. Pengaruh Variasi Temperatur Quenching dan Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045. Universitas Diponegoro. Semarang. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Mulyadi, ST. 2008. Pengaruh *Double Quenching* Dengan Variasi Waktu Pendinginan Pada Proses Hardening Terhadap Kekerasan Baja SCM 4. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

- Neztror Perez. 2004. *“Fracture Mechanics. Departement of Mechanical Engineering”*. University of Puerto Rico. New York: Kluwer Academic Publisher.
- Penghui Ma, Lihe Qian, Jiangying Meng, Shuai Liu, Fucheng Zhang. 2014. *“Fatigue Crack Growth Behavior of a Course-and a Fine-Grained High Manganese Austenitic Twin-Induced Plasticity Steel”*. *Material Science and Engineering: A* Volume 605, 160-166.
- Pratowo, B ; Surya, I ; Witoni. 2019. Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah Sc10 Dengan Tipe Rotary Bending. Universitas Bandar Lampung. Lampung.
- Razak, A. H. dan Tangkemanda, A. 2017. *Quenching* Bertingkat Pada Proses Hardening Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Makassar.
- Ronald, N. 2021. Analisis Struktur Mikro dan Kekerasan Terhadap Perbedaan Media Pendingin Pada Proses Pengerasan Baja. Program Studi Teknik Mesin, Akademi Teknik Deli Serdang. Sumatera Utara.
- Salunkhe, S; Fabijanic, D; Nayak, J; and Hodgson, P. 2015. *Effect of Single and Double Austenitization treatments on the Microstructure and Hardness of AISI D2 Tool Steel*. Department of Mechanical Engineering, Gokaraju Rangaraju Institute of Engineering and Technology, Hyderabad, Telangana, India.
- Shackelford, James, F. 1996. *Introduction to Material Science for Engineering*. Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Sumiyanto dan Abdunnaser. 2015. Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36. Bina Teknika, Volume II Nomor 2, 155-170.
- Surdia,T. dan Saito,S., 1999. “Pengetahuan Bahan Teknik”. Cetakan ke-4. Pradnya Paramita. Jakarta, pp. 129 - 142.

Ulutan, M; Celik, O. N ; Gasan, H; Er, U. 2010. *Effect of Different Surface Treatment Methods on The Friction and Wear Behavior of AISI 4140 Steel. Journal of Materials Research and Technology* 26(3), 251-257.

Yamada, Yosiro. 2007. *Material for Spring*. New York.

Yunaidi. 2016. Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Pada Proses *Quenching* Baja Karbon Sedang S45C. Program Studi Teknik Mesin. Politeknik LPP. Yogyakarta.