

**PENGARUH MEDIA *QUENCHING* TERHADAP KEKUATAN
TARIK BAJA AISI 1045**

(SKRIPSI)

OLEH

FACHRIAN GIOVALKA



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

PENGARUH MEDIA *QUENCHING* TERHADAP KEKUATAN TARIK BAJA AISI 1045

Oleh
Fachrian Giovalka

Baja karbon AISI 1045 adalah baja paduan karbon sedang yang saat ini banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin yaitu gear, batang penghubung piston pada kendaraan bermotor, dan untuk membuat poros pada mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media *quenching* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro Baja AISI 1045. Penelitian ini menggunakan spesimen berupa Baja AISI seri 1045 yang diberikan perlakuan panas 850 °C selama 60 menit, kemudian di *quenching* dengan media pendingin berupa air, air garam dan oli.

Selanjutnya dilakukan pengujian tarik terhadap baja AISI 1045 sebelum dan sesudah dilakukannya perlakuan panas *quenching*. Hasil uji tarik yang didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum sebelum dilakukan perlakuan panas sebesar 693,7 MPa. Hasil uji tarik setelah dilakukan perlakuan panas *quenching* dengan media air, air garam dan oli diperoleh kekuatan tarik maksimum sebesar 2272,4 MPa, 2324,8 MPa dan 1996,8 MPa. Pengujian struktur mikro hasil yang diperoleh sebelum dilakukan perlakuan panas struktur yang mendominasi yaitu *ferrit* dan *pearlit*, *pearlit* dan *ferit* merupakan fasa awal dari baja karbon yang memiliki sifat lunak dan keras, keduanya memiliki butir yang besar dan kasar, setelah dilakukan perlakuan panas muncul fasa *martensit* dimana fasa ini memiliki sifat yang keras.

Kata kunci: AISI 1045, *quenching*, air, air garam, Oli SAE 40, kekuatan tarik, strukturmikro.

ABSTRACT

THE EFFECT OF MEDIA QUENCHING ON THE TENSILE STRENGTH OF AISI STEEL 1045

By

Fachrian Giovalka

AISI 1045 carbon steel is a medium carbon alloy steel that is currently widely used as the main material in engines, namely gears, piston connecting rods in motor vehicles, and to make shafts in engines. This study aims to determine the effect of quenching media on the mechanical properties and microstructure of AISI 1045 Steel. This study used a specimen in the form of AISI 1045 Steel which was given heat treatment at 850°C for 60 minutes, then quenched with cooling media in the form of water, salt water and oil.

Furthermore, tensile testing of AISI 1045 steel was carried out before and after quenching heat treatment. The tensile test results obtained the maximum tensile strength value before heat treatment was 693.7 MPa. The results of the tensile test after quenching heat treatment with water, salt water and oil media obtained maximum tensile strength of 2272.4 MPa, 2324,8 MPa and 1996,8 MPa. Microstructure testing results obtained before heat treatment of the dominating structure, namely ferrite and pearlite, pearlite and ferrite are the initial phases of carbon steel which have soft and hard properties, both have large and coarse grains, after heat treatment a martensite phase appears where This phase is hard.

Keywords : AISI 1045, *quenching*, *water*, *brine*, *SAE 40 oil*, *tensile strength*, *microstructure*.

**PENGARUH MEDIA *QUENCHING* TERHADAP KEKUATAN
TARIK BAJA AISI 1045**

Oleh

FACHRIAN GIOVALKA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi

**PENGARUH MEDIA *QUENCHING*
TERHADAP KEKUATAN TARIK BAJA AISI
1045**

Nama Mahasiswa : **Fachrian Giovalka**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615021008

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

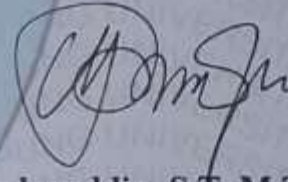
Komisi Pembimbing 1



Harnowo Supriadi, S.T.,M.T.

NIP 19690909 199703 1 002

Komisi Pembimbing 2



Prof. Moh. Badaruddin, S.T.,M.T.,Ph.D.

NIP 19721211 199803 1 002

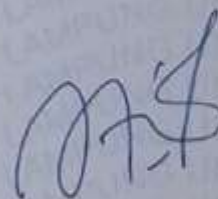
Ketua Jurusan
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T

NIP 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.**



Penguji Utama : **Zulhanif, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 Juni 2022**

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Fachrudin Giovanka
NPM. 1615021008

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Kelurahan Raja Basa Nunyai, Kecamatan Raja Basa, pada tanggal 10 Agustus 1998. Sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Purn. Peltu. Budi Rusmanto dan Almh. Dra.Umiyati Murni.

Pendidikan yang pernah ditempuh penulis diawali dari Taman Kanak-kanak Kartika II-28 Bandar Lampung pada tahun 2003-2004 kemudian Sekolah Dasar Negeri 3 Raja Basa pada tahun 2004-2010, Sekolah Menengah Pertama Kartika II-2 (PERSIT) Bandar Lampung 2010-2013, Sekolah Menengah Akhir Negeri 13 Bandar Lampung pada tahun 2013-2016. Kemudian pada tahun 2016 penulis melanjutkan kuliah di Universitas Lampung dengan jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) jurusan Teknik Mesin.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) periode 2018/2019 sebagai anggota di bidang otomotif, dan mengikuti Forum Mahasiswa Mesin Indonesia (FMMI) II-B Lampung-Bengkulu pada periode 2018/2019 sebagai anggota koordinator wilayah, mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Komunitas Kreativitas Universitas Lampung pada tahun 2018-2019 sebagai anggota. Pada tahun 2019 penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan, Bandar Lampung pada tahun 2019 dengan judul Analisis Kemampuan Tarik *Gear Box Type D340CH Pada Position Arm CRD2*. Pada tahun 2020 penulis mulai melakukan Tugas Akhir (TA) dengan konsentrasi tentang material, dengan judul *PENGARUH MEDIA QUECHING TERHADAP KEKUATAN TARIK BAJA AISI 1045* dengan dosen pembimbing Bpk. Harnowo Supriadi, S.T., M.T. dan Bpk. Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. Serta Bpk. Zulhanif, S.T., M.T. selaku dosen pembahas atau penguji. Dan dinyatakan lulus sidang sarjana pada tanggal 28 Juni 2022.

MOTTO

” Jangan takut akan urusan duniamu, Allah telah menjaminnya”
(Fachrian Giovalka)

PERSEMBAHAN

Terima kasih kepada Allah SWT atas semua nikmat dan karunia-Nya.
Sebagai wujud ungkap rasa cinta, kasih dan sayang serta bakti yang tulus.
Kupersembahkan karya kecil ini
Teruntuk:

Kedua orangtuaku tercinta

Yang selalu memberikan dukungan moral maupun moril dengan tulus
tanpa mengharapkan balasan dan senantiasa mendoakan tanpa henti
untuk kebaikan anak-anaknya.

Kedua Ayukku

Yang telah memberikan semangat serta dukungan tanpa henti.

Teman-teman angkatan 2016 Teknik Mesin Universitas Lampung
“Solidarity M Forever”

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa mencurahkan nikmat, rahmat dan karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Hal yang melatar belakangi penulis untuk melakukan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat menyelesaikan Pendidikan S1 Jurusan Teknik Mesin di Universitas Lampung, adalah untuk membentuk pribadi yang mampu menerapkan pengetahuan, keterampilan dan kedisiplinan di bidang teknik, khususnya teknik mesin serta diabdikan kepada masyarakat. Juga merupakan keingintahuan penulis yang sangat besar terhadap dunia industri yang sesungguhnya memadukan antara teori yang diperoleh di bangku perkuliahan dengan yang terjadi di dunia kerja sesungguhnya. Sehingga penulis mendapatkan gambaran nyata tentang permesinan di dunia industri. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu selama masa studi maupun selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini, antara lain kepada:

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Ir.Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung..
3. Dr. Amrul, S.T., M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Novri Tanti, S. T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan banyak dukungan, selama penulis menempuh pendidikan.
5. Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T. sebagai dosen pembimbing satu yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi.
6. Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.,Ph.D sebagai dosen pembimbing dua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

7. Bapak Zulhanif, S.T.,M.T. sebagai dosen pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi, dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah mendidik, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan.
9. Almh. Ibu dan Bapak saya yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan kepada saya selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
10. Kedua ayukku yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada saya selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
11. Teman-teman seperjuangan korps material teknik Jonathan Tampubolon, Riadi Barsuma Jaya dan Ahmad Iqbal Perdana.
12. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah mendukung penulis untuk melaksanakan skripsi sampai selesai.

Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih penulis ucapkan atas bantuan yang diberikan sehingga dapat terselesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu dengan segala kerendahan hati penulis memohon maaf sebesar-besarnya dan segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima dengan senang hati.

Bandar Lampung, 28 Juni 2022

Fachrian Giovalka
1615021008

DAFTAR ISI

COVER	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN PENULIS	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Baja	5
2.1.1 Klasifikasi Baja.....	6
2.2 Baja AISI 1045	6
2.3 Sifat Mekanis Baja.....	7
2.4 Proses Perlakuan Panas.....	8
2.5 <i>Quenching</i>	9
2.5.1 Air	11
2.5.2 Larutan Garam	11
2.5.3 Oli	12
2.6 Struktur Mikro	12
2.6.1 <i>Austenite</i>	13
2.6.2 <i>Ferit</i>	14

2.6.3 Martensite	14
2.7 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	15
2.8 Diagram TTT (Time Temperature Transformasion) dan Diagram CCT (Countinuous Cooling Transformasion).	16
2.9 Uji Tarik Statis	18
2.9.1 Tegangan-Regangan Teknis	19
2.9.2 Tegangan Teknis	19
2.9.3 Regangan Teknis	20
2.9.4 Tegangan-Regangan Sejati	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.1.1 Tempat penelitian	23
3.1.2 Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan bahan	23
3.2.1 Baja AISI 1045	24
3.2.2 Tungku (<i>Furnance</i>)	26
3.2.3 Stopwatch	27
3.2.4 Jangka Sorong Digital	27
3.2.5 Alat instalansi <i>Quenching</i> sistem media pendingin	28
3.2.6 Air	28
3.2.7 Air garam	29
3.2.8 Oli	30
3.2.9 Mesin MTS Landmark 100 kN	31
3.3 Prosedur Penelitian	32
3.3.1 Studi literatur dan survei lapangan	32
3.3.2 Persiapan Spesimen	32
3.3.3 Pembuatan Spesimen	33
3.3.4 Perlakuan panas pada baja	33
3.3.5 Pengujian kekuatan tarik	34
3.4 Alur Proses Penelitian	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data dan Pembahasan Uji Komposisi Bahan Kimia	37
4.2 Pembahasan Perlakuan Panas	40
4.3 Analisa Uji Tarik	40
4.4 Optical Microscopy (OM)	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN	55

5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram temperatur terhadap waktu (Mustofa.Z,2016)	9
Gambar 2.2 Kurva proses <i>quenching</i> (Shackelford, 1996).....	10
Gambar 2.3. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C (ASM <i>Handbook</i> , 1991)	15
Gambar 2.4. Diagram TTT (<i>Time Temperature Transformasion</i>).....	17
Gambar 2.5 Diagram CTT (<i>Countinuous Cooling Transformasi</i>).....	18
Gambar 2.6 Gambar singkat uji tarik	21
Gambar 2.7 Kurva Tegangan-Regangan teknis.	22
Gambar 2.8. Perbandingan antara kurva tegangan-regangan teknik dengan kurva tegangan-regangan sejati (Azhari, 2009)	23
Gambar 3.1 Baja AISI 1045.....	25
Gambar 3.2 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8.....	26
Gambar 3.3 Tungku (<i>furnance</i>).....	27
Gambar 3.4 <i>Stopwatch</i>	28
Gambar 3.5 Jangka sorong digital.....	29
Gambar 3.6 Alat instalansi <i>Quenching</i> sistem media pendingin	29
Gambar 3.7 Air mineral	30
Gambar 3.8 Air garam.....	31
Gambar 3.9 Oli SAE 40	32
Gambar 3.10 Mesin MTS Landmark 100 Kn	33
Gambar 3.11 Spesimen uji tarik Baja AISI 1045 berdasarkan ASTM-E834	
Gambar 4.1 Potongan Bahan Pengujian Komposisi Bahan Kimia	38
Gambar 4.2 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8.....	41
Gambar 4.3 Foto hasil sample setelah di uji tarik spesimen Baja AISI 1045 <i>raw material</i>	43
Gambar 4.4 Foto hasil sample setelah di uji tarik spesimen Baja AISI 1045 menggunakan <i>quenching</i> media Garam.	44
Gambar 4.5 Foto hasil sample setelah di uji tarik spesimen Baja AISI 1045 menggunakan <i>quenching</i> media air.....	44

Gambar 4.6 Foto hasil sample setelah di uji tarik spesimen Baja AISI 1045 menggunakan <i>quenching</i> media Oli SAE40.	45
Gambar 4.7 Grafik analisa hasil perbandingan <i>ultimate stress</i> pengujian tangki <i>raw material</i> dan variasi media <i>quenching</i> pada spesimen Baja AISI 1045.....	46
Gambar 4.8 Grafik analisa hasil perbandingan <i>yield strength</i> pengujian tarik <i>raw material</i> dan variasi media <i>quenching</i> pada spesimen Baja AISI 1045.	47
Gambar 4.9 Grafik analisa hasil perbandingan data <i>elongasi (e)</i> pengujian tarik <i>raw material</i> dan variasi media <i>quenching</i> pada spesimen Baja AISI 1045.	48
Gambar 4.10 Kurva analisa data <i>modulus young</i> tanpa perlakuan (<i>raw material</i>) spesimen baja AISI 1045.....	49
Gambar 4.11 Kurva analisa data <i>modulus young</i> dengan perlakuan panas 850°C, <i>holding time</i> 60 menit dengan <i>quenching</i> media air larutan garam spesimen baja AISI 1045.....	50
Gambar 4.12 Kurva analisa data <i>modulus young</i> dengan perlakuan panas 850°C, <i>holding time</i> 60 menit dengan <i>quenching</i> media air spesimen baja AISI 1045.	50
Gambar 4.13 Kurva analisa data <i>modulus young</i> dengan perlakuan panas 850°C, <i>holding time</i> 60 menit dengan <i>quenching</i> media oli SAE 40 spesimen baja AISI 1045.....	51
Gambar 4.14 Kurva analisis data tegangan <i>versus</i> regangan tanpa perlakuan (<i>raw material</i>) dan perlakuan panas 850°C, <i>holding time</i> 60 menit dengan <i>quenching</i> media air, air larutan garam dan oli SAE 40 spesimen baja AISI 1045.....	52
Gambar 4.15 Foto hasil struktur mikro tanpa perlakuan panas (<i>Raw Material</i>) pada sample baja AISI 1045 di etsa dengan pembesaran 500x...53	
Gambar 4.16 Foto hasil Struktur Mikro perlakuan panas dan <i>quenching</i> media air pada sample baja AISI 1045 dengan pembesaran 500x.	54

- Gambar 4.17 Foto hasil Struktur Mikro perlakuan panas dan *quenching* media air larutan garam pada sample baja AISI 1045 dengan pembesaran 500x.55
- Gambar 4.18 Foto hasil Struktur Mikro perlakuan panas dan *quenching* media Oli SAE40 pada sample baja AISI 1045 dengan pembesaran 500x.....55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja AISI 1045	25
Tabel 3.2 Dimensi Spesimen	26
Tabel 3.3 Spesifikasi tungku (<i>furnace</i>)	27
Tabel 3.4 Kandungan makro mineral	30
Tabel 3.5 Komposisi rata-rata garam dapur sesuai standar SNI	31
Tabel 3.6 Karakteristik oli SAE 40	31
Tabel 3.7 Spesifikasi Alat Uji Tarik	32
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Komposisi Bahan Kimia	39
Tabel 4.2 Data Komposisi Bahan Kimia Baja AISI 1045	40
Tabel 4.3 Dimensi Spesimen	42
Tabel 4.4 Hasil Uji Tarik Statis	42
Tabel 4.5 Hasil Uji Tarik <i>Modulus Young(E)</i> (Gpa)	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan sistem pengkodean skema penamaan yang diterapkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*), baja AISI 1045 merupakan baja karbon yang termasuk dalam kelompok baja karbon sedang. Baja AISI 1045 diketahui, angka 1045 menunjukkan bahwa 45 adalah kandungan karbon atau kandungan baja 0,45%, angka 10 menunjukkan plain karbon. Komposisi kandungan karbon sekitar 0,43 sampai 0,50. Aplikasi baja AISI 1045 banyak digunakan di bidang otomotif, misalnya dalam pembuatan suku cadang roda gigi, poros dan bantalan untuk berbagai mobil. Definisi baja menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah suatu benda logam yang keras dan kuat, dilihat pada penggunaannya tentunya baja tersebut sering mengalami berbagai macam gesekan dan tekanan, sehingga membuat sifat ketahanan aus dan kekerasan dari baja tersebut berkurang. Oleh karena itu diperlukannya suatu perlakuan panas yang dapat meningkatkan ketahanan aus dan kekerasan dari baja AISI 1045 (Departemen Pendidikan Nasional, 2005).

Proses perlakuan panas yg bertujuan supaya bisa membentuk sifat-sifat logam yg diinginkan, dianggap proses *heat treatment* didalam proses *heat treatment* tentu wajib memperhatikan bagaimana cara pemanasan dan penentuan laju pendingin supaya menerima sifat bahan yg diinginkan. Pada proses *heat treatment* masih ada beberapa jenis metode yg dipakai keliru salah satunya merupakan menggunakan metode *quenching* yg mana dalam metode *quenching* tadi terjadi proses pendinginan baja secara cepat sebagai akibatnya bisa membentuk kekerasan yg lebih tinggi (Glyn dkk, 2001).

Pada kutipan penelitian pertama ini dilakukan oleh mahasiswa Universitas Sultan Ageng Tirtayasa pada tahun 2011 dengan judul “Karakteristik mekanik proses hardening baja aisi 1045 media *quenching* untuk aplikasi *sprocket* rantai” pada baja AISI 1045 dilakukan pengerasan (*hardening*) untuk memperoleh sifat tahan aus dan kekerasan yang tinggi, dengan proses *heat treatment* (perlakuan panas), yang di lanjutkan dengan proses *quenching*, kekerasan yang di capai tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, dan laju pendinginan yang dilakukan pada perlakuan panas. Kekerasan pada masing-masing sample hasil proses perlakuan panas yang dipengaruhi oleh tebal sampel dan volume air *quenching* yang mempengaruhi Peningkatan kekerasan akan meningkatkan ketahanan aus pada baja AISI 1045 (Agus, 2011).

Penelitian mengenai pengaruh media *quenching* terhadap sifat mekanik baja AISI 1045 telah dilakukan salah satunya, pada tahun 2014 pada jurnal APTEK seorang peneliti dari Universitas Pasir Pengairan telah melakukan penelitian tentang “Analisa pengaruh media *quenching* terhadap kekuatan tarik baja AISI 1045”. Dimana pada penelitian ini media *quenching* yang digunakan adalah berupa air, oli SAE 40 dan oli SAE 50, pengujian yang dilakukan didapatkan kekuatan terhadap beban tarik yang paling tinggi diperoleh pada perlakuan *quenching* media pendingin oli SAE 40 yaitu sebesar 189 kN. Rendahnya kekuatan terhadap beban tarik dengan perlakuan celup cepat menggunakan media air kemungkinan karena adanya retak yang diakibatkan oleh laju pendinginan yang cepat (Yose, 2014).

Penelitian selanjutnya yaitu dilakukan oleh mahasiswa Universitas Lampung pada tahun 2015 penelitian tersebut tentang “Pengaruh *holding time* pada proses *quenching* terhadap perubahan kekuatan tarik dan ketangguhan baja AISI 1045.” Pada raw material kekuatan tarik yang didapatkan adalah sebesar $0,77 \text{ kN/mm}^2$ dan spesimen yang mengalami proses *quenching*, pada kekuatan tariknya mengalami peningkatan sebesar 47,53% yaitu sebesar $1,136 \text{ kN/mm}^2$ (Putu, 2015). Dalam melakukan proses *quenching* memerlukan media

pendingin yang berfungsi sebagai media mempercepat proses pendinginan, dalam hal ini media yang digunakan adalah air, air garam dan oli. Untuk mendapatkan hasil perbedaan nilai kekuatan hasil uji tarik yang terjadi dari beberapa referensi dan literatur yang telah ditelusuri maka penulis tertarik melakukan penelitian tentang “Pengaruh media *quenching* terhadap kekuatan tarik baja AISI 1045”.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *quenching* media air, air garam dan oli SAE40 terhadap kekuatan tarik baja AISI 1045.
2. Mengetahui perubahan struktur mikro sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan panas *quenching* dengan media air, air garam dan oli SAE40.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut beberapa batasan masalah dari penelitian ini.

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045.
2. Media *quenching* yang digunakan berupa air, air garam dan oli SAE 40.
3. Dimensi spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM E-8.
4. Temperatur suhu air, air garam dan oli memakai suhu kamar.
5. Temperatur yang tertera pada indikator *furnance* diasumsikan sama dengan yang terjadi pada spesimen uji.
6. Kecepatan pada saat proses pencelupan spesimen dilakukan dengan waktu 5 detik.
7. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini yaitu uji tarik (*tensile test*).

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Berisi uraian latar belakang tujuan dan batasan masalah dalam penulisan laporan serta sistematika yang digunakan penulis untuk menyusun laporannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori dasar atau literatur yang menjadi pedoman atau acuan yang berhubungan dengan penelitian ini.

III. METODE PENELITIAN

Berisi mengenai waktu dan tempat alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan data-data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan beserta pembahasan pengaruh berbagai parameter yang pada penelitian ini.

V. PENUTUP

Berisikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta saran yang di perlukan untuk penelitian selanjutnya,

DAFTAR PUSTAKA

Berisi sumber dan referensi yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisi data pelengkap seperti gambar, dan beberapa data pendukung untuk menunjang kredibilitas laporan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Baja

Baja adalah jenis logam ferrous yang mudah ditemukan dan digunakan di bidang teknik dan industri. Komponen utama baja adalah karbon dan besi. Baja karbon adalah jenis baja paduan yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Di sini, besi adalah elemen dasar dan karbon adalah elemen paduan utama. Dalam proses pembuatan baja, elemen kimia tambahan seperti belerang (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn) terdeteksi tergantung pada sifat baja yang diinginkan. (Amanto dan Daryanto, 1999).

Kandungan karbon besi dari baja karbon berkisar antara 0,2% hingga 2,14%, dan kandungan karbon bertindak sebagai faktor pengerasan untuk struktur baja. Kandungan besi (Fe) dalam baja adalah sekitar 97% karbon (C), yaitu sekitar 0,2% hingga 2,1% tergantung pada kadarnya. Selain besi (Fe) dan karbon (C), baja mengandung unsur lain seperti mangan (Mn) dengan kandungan maksimal 1,65%, silikon (Si) dan tembaga (Cu) dengan kandungan maksimal 0,6%. termasuk. Konsentrasi maksimum 0,6%, belerang (S), fosfor (P), dll, jumlahnya terbatas dan berfluktuasi (Wulandari, 2011).

Berbagai jenis baja dapat diperoleh dengan mengubah kandungan karbon dan elemen paduan lainnya. Menambahkan karbon ke baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, sekaligus membuatnya rapuh dan kurang ulet. Efek utama dari kandungan karbon baja adalah pada kekuatan, kekerasan dan sifat mampu bentuk. Semakin tinggi kandungan karbon baja, semakin tinggi kekerasannya, tetapi baja menjadi rapuh dan sulit dicetak.

2.1.1 Klasifikasi Baja

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon, yang merupakan elemen pengerasan besi yang efektif. Oleh karena itu, kebanyakan baja hanya mengandung karbon dan sedikit elemen paduan lainnya. Karbon memiliki klasifikasi yang berkaitan dengan kandungan karbon (C) dibandingkan dengan berat besi (Fe) dalam baja. Klasifikasi baja karbon adalah:

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*) mengandung karbon antara 0,10% s/d 0,30% C. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip, dan baja batangan atau profit.
2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*) Mengandung 0,30% s/d 0,60% C karbon. Baja karbon ini banyak digunakan pada peralatan rumah tangga dan mesin. Baja karbon ini juga dapat digunakan untuk berbagai keperluan. B. Untuk kendaraan industri, roda gigi, pegas, dll.
3. Kandungan karbon baja karbon (*high carbon steel*) adalah 0,60% sampai 1,7% C. Baja ini memiliki kekuatan tarik paling tinggi dan sering digunakan untuk material perkakas. Salah satu kegunaan baja ini adalah pembuatan kawat dan kabel baja. Karena baja mengandung karbon, baja karbon ini sering digunakan dalam pembuatan alat-alat seperti pegas, palu, gergaji dan pahat potong (ASM Handbook, 1993).

2.2 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 termasuk pada baja karbon sedang. Hal ini bisa diketahui menurut kandungan unsur karbon yg ditunjukkan dalam kode penamaannya menurut AISI yg adalah badan standarisasi baja *American Iron and Steel Institute* menggunakan kode 1045 dimana nomor 10xx menyatakan karbon steel dan nomor 45 menyatakan menurut sesuatu kadar karbon menggunakan persentase 0,45% dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja AISI

1045 memiliki karakter dengan kemampuan las, mesin, serta menyerap beban impact yang cukup baik. baja AISI 1045 memiliki cakupan aplikasi yang cukup luas diantaranya digunakan sebagai roda gigi, pin ram, batang ulir kemudi, baut pengikat komponen dalam mesin, poros engkol, batang penghubung, bearing, dan lainnya (Pramono A, 2011).

2.3 Sifat Mekanis Baja

Sifat mekanik baja adalah kemampuannya untuk menahan tekanan yang diberikan padanya. Beban ini dapat berupa tarik, tekan, tekuk, geser, puntiran, atau kombinasinya. Sifat mekanik utama adalah:

1. Kekuatan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap tegangan tanpa merusaknya. Ada beberapa jenis kekuatan ini, yang dapat ditentukan oleh kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan lentur, tergantung pada beban kerja.
2. Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan goresan, keausan dan penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan ketahanan aus dan juga berkorelasi dengan kekerasan.
3. Elastisitas adalah kemampuan suatu material untuk menyerap tegangan setelah dihilangkan tanpa mengalami deformasi permanen. Elastisitas juga menunjukkan seberapa besar deformasi permanen yang akan terjadi. Dengan kata lain, elastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami tegangan yang menyebabkan deformasi.
4. Kekakuan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan/beban tanpa menimbulkan deformasi atau defleksi. Dalam beberapa kasus, kekakuan lebih penting daripada kekuatan.
5. Plastisitas adalah kemampuan suatu material untuk mengalami serangkaian deformasi plastis permanen tanpa menyebabkan kerusakan. Properti ini sangat penting untuk bahan yang diproses dalam berbagai proses pembentukan seperti penempaan, penggulungan dan ekstrusi. Sifat ini juga disebut daktilitas.

6. Ketangguhan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap sejumlah energi tertentu tanpa menyebabkan kerusakan. Ketangguhan juga dapat digambarkan sebagai ukuran jumlah energi yang dibutuhkan untuk mematahkan benda kerja dalam kondisi tertentu. Karakteristik ini dipengaruhi oleh banyak faktor dan sulit diukur.
7. Kelelahan adalah kecenderungan logam untuk pecah ketika ditekan berulang kali pada tingkat jauh di bawah batas kekuatan elastis. Sebagian besar kerusakan pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Oleh karena itu, kelelahan merupakan karakteristik yang penting, tetapi juga sulit diukur karena banyak faktor yang mempengaruhinya.
8. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap (Maulana D, 2017).

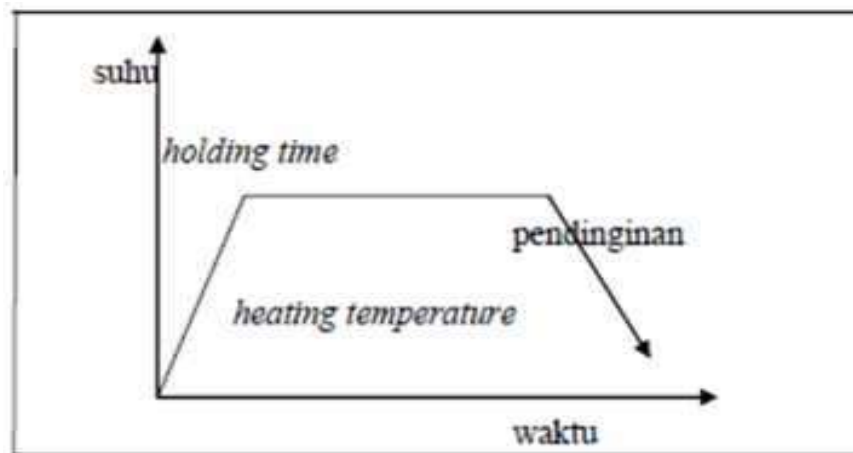
2.4 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *heat treatment* sebagai suatu proses bertujuan untuk menghasilkan keuletan yang tinggi, menghilangkan tegangan sisa, menghaluskan partikel logam, dan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik logam. Perlakuan panas itu sendiri adalah penggabungan atau kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dalam bahan seperti logam dan baja. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses perlakuan panas adalah pemanasan atau temperatur operasi, waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur yang diinginkan, laju pendinginan setelah logam mencapai temperatur atau temperatur yang diinginkan, dan suasana lingkungan itu sendiri.

Perlakuan panas adalah proses perubahan struktur logam dengan cara memanaskan sampel ke suhu rekristalisasi selama jangka waktu tertentu dalam tungku listrik atau dalam tungku dan mendinginkannya dengan media pendingin seperti udara, air, air garam, minyak, atau diesel. Masing-masing memiliki kerapatan pendinginan yang berbeda. Sifat logam, terutama sifat mekanik, sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam selain komposisi

kimianya. Misalnya, pada suatu logam atau paduan memiliki sifat mekanik lain yang mengubah struktur mikronya. Ketika dipanaskan atau didinginkan pada laju yang konstan, bahan logam dan paduan menunjukkan perubahan dalam strukturnya. Perlakuan panas umum adalah:

1. Panaskan logam atau paduan ke suhu tertentu.
2. Pertahankan suhu pemanasan ini untuk jangka waktu tertentu.
3. Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu. Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti gambar dibawah ini sebagai berikut:

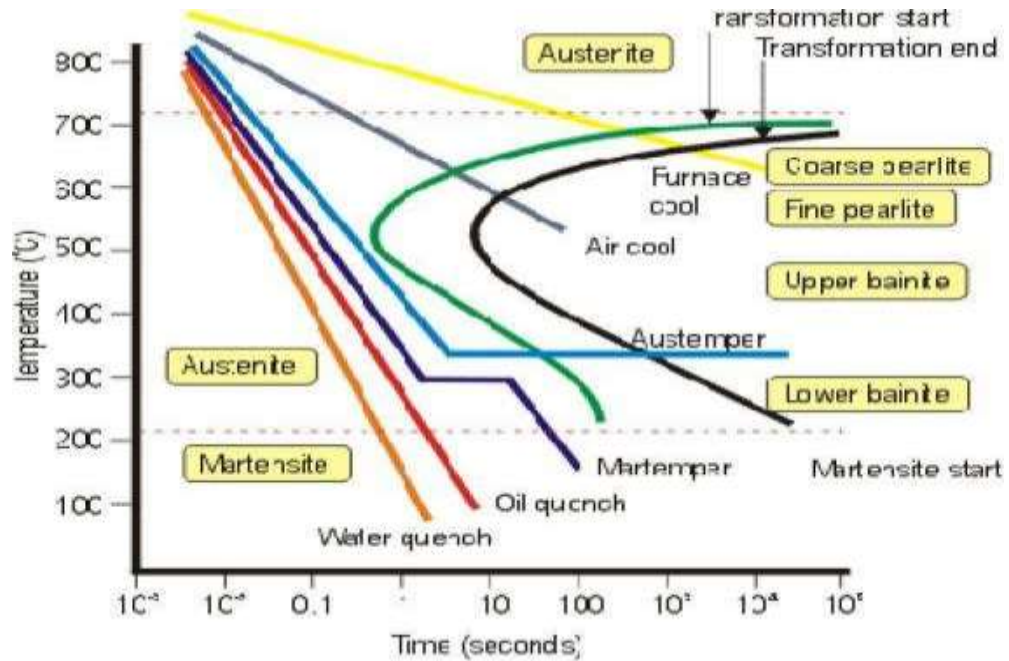


Gambar 2.1. Diagram temperatur terhadap waktu (Mustofa.Z,2016)

2.5 Quenching

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas *austenit* yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi *ferit* atau *perlit* karena tidak ada kesempatan bagi atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan *difusi* dan bentuk *sementit* oleh karena itu terjadi fase *mertensit*, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

Martensit adalah fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat. Pemanasan harus bertahap (*preheating*) dan lambat untuk meminimalkan risiko deformasi dan retak. Setelah mencapai suhu *austenisasi*, itu dipertahankan selama jam yang ditentukan (waktu retensi) dan kemudian didinginkan dengan cepa (Mulyadi dan Sunitra, 2010).



Gambar 2.2 Kurva proses *quenching* (Shackelford, 1996).

Tujuan utama dari *quenching* adalah untuk menghasilkan baja dengan kekerasan tinggi. Pada saat yang sama, transformasi dari austenit ke martensit meningkatkan kekuatan tarik dan titik luluh. Proses *quenching* akan optimal jika selama proses transformasi, struktur *austenite* dapat dikonversi secara keseluruhan membentuk struktur *martensit*. Halhal penting untuk menjamin keberhasilan *quenching* dan menunjang terbentuknya *martensit* ialah temperatur pengerasan, waktu tahan laju pemanasan, metode pendinginan, media pendingin, dan *hardenability*. *Hardenability* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*, karena cenderung akan terjadi pembentukan lapisan uap pada bagian-bagian tertentu

yang akan mengakibatkan laju pendinginan yang tidak seragam dan terbentuknya struktur mikro yang berbeda pada beberapa bagian tersebut (Nugroho dan Haryadi, 2005). Adapun Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

2.5.1 Air

Air mempunyai massa jenis yg akbar akan tetapi lebih mini menurut air garam, kekentalannya rendah sama menggunakan air garam. Laju pendinginannya lebih lambat menurut air garam, air membentuk taraf pendinginan mendekati taraf maksimum. Keunggulan air menjadi media pendingin merupakan murah, gampang tersedia, gampang dibuang menggunakan minimal polusi atau bahaya kesehatan, air pula efektif pada menghilangkan scaling menurut bagian atas bagian baja yg pada quenching. Oleh karenanya air tak jarang dipakai menjadi media quenching lantaran nir menyebabkan penyimpangan hiperbola atau retak, air poly dipakai buat pendinginan logam nonferrous, baja tahan zat oksidasi austenitik, dan logam lainnya yg sudah diperlakukan panas. Air menjadi media pendingin mempunyai 2 kelemahan, kelemahan pertama yaitu taraf pendinginan yg cepat dalam suhu yg lebih rendah dimana penyimpangan dan retak lebih mungkin terjadi sebagai akibatnya pendinginan air umumnya terbatas dalam pendinginan sederhana. Kelemahan ke 2 memakai air biasa merupakan mengakibatkan lapisan/selimut uap sebagai akibatnya bisa mengakibatkan jebakan uap yg bisa membentuk kekerasan yg nir homogen & distribusi tegangan yg nir menguntungkan, mengakibatkan penyimpangan atau bintik lembut. Pendinginan menggunakan air dalam produk baja pula bisa mengakibatkan zat oksidasi sebagai akibatnya penanganan wajib cepat.

2.5.2 Larutan Garam

Air Garam memiliki viskositas yang rendah sehingga nilai kekentalan cairan kurang, sehingga laju pendinginan cepat dan massa jenisnya

lebih besar dibandingkan dengan media pendingin lainnya seperti air solar, oli, udara, sehingga kecepatan media pendingin besar dan makin cepat laju pendinginannya.

2.5.3 Oli

Oli memiliki viskositas yang lebih tinggi atau viskositas yang lebih tinggi dan densitas yang lebih rendah dibandingkan media pendingin lainnya, sehingga menghasilkan laju pendinginan yang lebih lambat dan kapasitas pendinginan oli yang berbeda, sehingga perlu untuk mengklasifikasikan sifat fisik atau kimia oli. Hal ini dapat mempengaruhi hasil akhir. Hasil dari proses pendinginan. Penggunaan minyak atau media minyak sebagai media pendingin terdiri dari minyak atau minyak mineral dan minyak sayur atau minyak, biasanya dengan aditif ditambahkan ke minyak atau minyak. Jika Anda menggunakan minyak atau minyak mineral atau minyak nabati sebagai pendingin dalam proses pendinginan, Anda akan menemukan bahwa kedua minyak tersebut memiliki hasil akhir yang relatif sama. Oli memiliki keunggulan karena dapat digunakan secara efektif pada temperatur yang berbeda. Secara umum, lemak dan minyak mendingin lebih lambat daripada air atau air asin. Oleh karena itu, media pada pendingin ini dapat memberikan hasil suatu pendinginan dengan deformasi dan retak yang lebih sedikit. Titik nyala minyak bervariasi antara 130°C dan 290°C . Dalam aplikasi itu, suhu pendingin biasanya 75°C hingga 110°C di bawah titik nyala, menghindari kemungkinan minyak terbakar.

2.6 Struktur Mikro

Struktur yang terdapat pada bahan dalam susunan yang sangat kecil adalah struktur yang halus. Struktur mikro hanya dapat dilihat dengan mikroskop yang dapat diperbesar, seperti mikroskop elektron, mikroskop sinar-X, dan

mikroskop ion. Pengamatan struktur mikro diawali dengan pemotongan bahan uji yang diamati. Selain itu, bahan yang dipotong dipoles hingga halus. Pengamplasan ini dilakukan berulang-ulang dari amplas kasar ke amplas halus. Arah pengamplasan perlu diubah selangkah demi selangkah. Setelah dihaluskan, permukaan bahan dipoles dengan semir logam hingga mengkilat, bebas gores dan seperti kaca.

Etsa kemudian dilakukan dengan merendam bahan dalam larutan etsa dengan permukaan yang akan digores menghadap ke atas. Karena reaksi terjadi pada permukaan sampel ketika direndam, maka perlu untuk mensirkulasikan larutan yang mengenai permukaan sampel sebelum memindahkan sampel. Selanjutnya, benda uji harus dicuci, dikeringkan, dan diamati atau difoto di bawah mikroskop. Memeriksa struktur mikro mengungkapkan berbagai bentuk, ukuran, dan bagian dari struktur mikro (Zainuri, 2011). Adapun beberapa fasa yang sering ditemukan pada baja karbon adalah sebagai berikut:

2.6.1 Austenite

Austenite merupakan campuran besi dan karbon yang terbentuk dalam pembekuan, ada proses pendinginan selanjutnya *austenit* berubah menjadi *ferrit* dan *sementit*. Sifat *austenit* adalah lunak, lentur dan keliatan tinggi. Kelarutan maksimal kandungan karbon sebesar $\pm 2,06\%$ pada suhu 1148°C , struktur kristal FCC (*Face Center Cubic*). Sifat ketangguhan tinggi dan stabil pada suhu ruang.

2.6.2 *Ferit*

Fasa ferit merupakan ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon, fasa *ferit* ini disebut juga alfa (α). Batas maksimum kelarutan karbon $\pm 0,025\%$, pada temperature $723\text{ }^{\circ}\text{C}$, struktur kristal BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang kadar kelarutan karbonnya $\pm 0,008\%$ sehingga dapat dianggap besi murni. *Ferrit* bersifat *magnetic* sampai suhu $768\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sifat-sifat *ferrit* adalah ketangguhannya rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe3C.

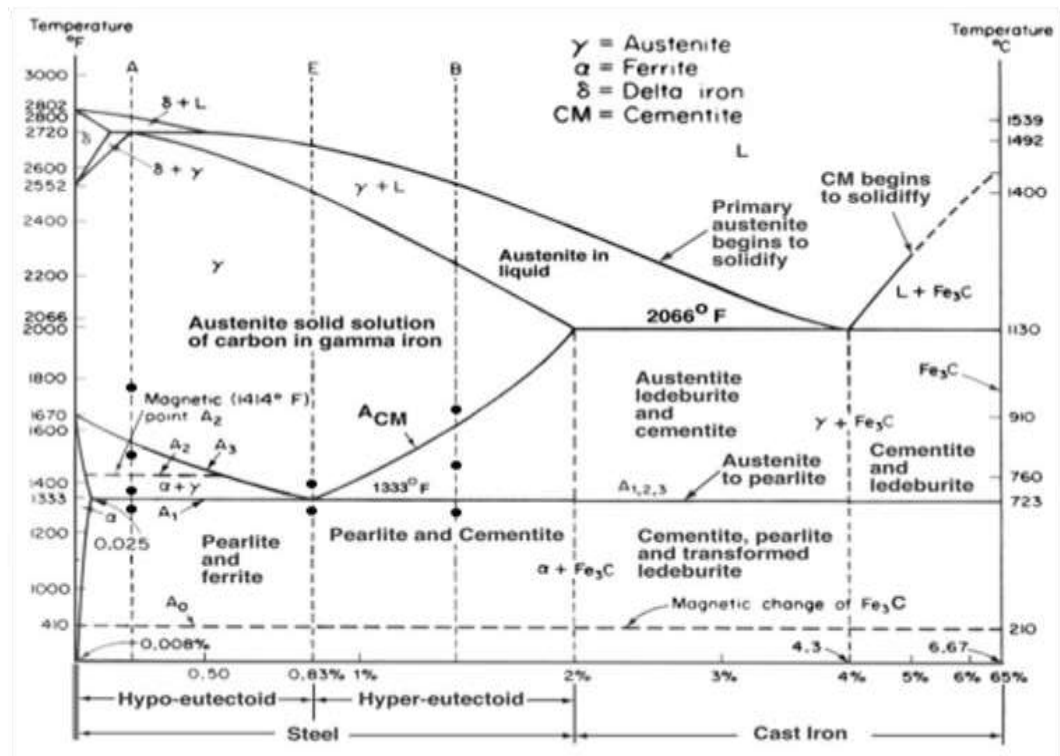
2.6.3 Martensite

Struktur mikro martensit adalah struktur mikro yang paling kuat, paling keras dan paling getas. Peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan struktur pada struktur mikro martensit di pengaruhi oleh kandungan karbon. Kadar karbon antara 0.1% s.d 0.6% yang digolongkan sebagai baja karbon rendah dan karbon sedang, maka peningkatan kekerasan sangat signifikan, selanjutnya antara 0.6% s.d 1% yang digolongkan sebagai baja karbon tinggi laju peningkatan kekerasan dan kekuatannya berkurang.

Martensit yang memiliki struktur kristal lattice BCT (*body centre tetragonal*) menyebabkan pergerakan dislokasi bidang kristal sangat sulit terjadi, karena jalur pergerakan dislokasi (*slip plane*) sangat sedikit. Akibatnya dislokasi bidang kristal sangat sulit terjadi yang mengakibatkan struktur mikro martensit sangat keras, kuat dan getas. Mikrostruktur martensit terbentuk karena melalui proses pendinginan secara cepat atau disebut *quenching*, dari baja yang telah dirubah mikrostrukturnya menjadi austenit melalui pemanasan diatas temperatur austenit butir kristal mikrostruktur martensit membentuk lembaran-lembaran tipis (*plate/needle*) yang dikelilingi oleh fasa *austenite* sisa yaitu *austenite* yang tidak sempat bertransformasi menjadi martensit.

2.7 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram fasa Fe-Fe₃C merupakan diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan lambat dan pemanasan lambat dengan kandungan karbon (%C).



Gambar 2.3. Diagram Fasa Fe-Fe₃C (ASM Handbook, 1991)

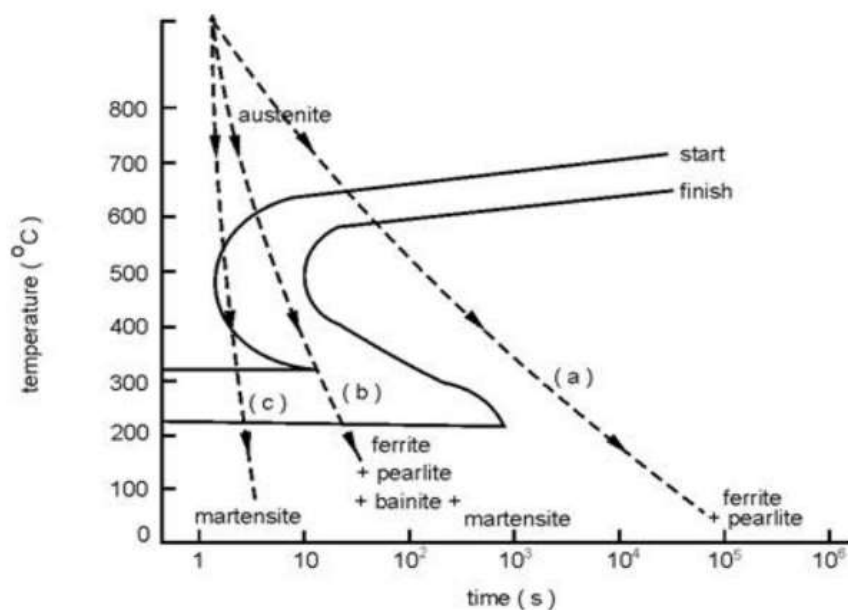
Beberapa istilah dalam diagram fasa Fe-Fe₃C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe₃C yaitu sebagai berikut:

1. A1 adalah temperatur reaksi *eutectoid* yang perubahan fasa γ menjadi $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ *pearlite* untuk baja *hypoeutectoid*.
2. A2 adalah berupa titik *Currie* (pada temperatur 769 derajat *celcius*), dimana sifat magnetik besi berubah dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetic*.
3. A3 adalah temperatur dari fasa γ menjadi α (*ferrit*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur.

4. A_{cm} adalah temperatur transformasi γ menjadi Fe_3C *cementite* yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur.
5. A_{123} adalah temperatur transformasi γ menjadi $\alpha + Fe_3C$ *pearlite* untuk baja *hypereutectoid* (Maulana. D, 2017).

2.8 Diagram TTT (Time Temperature Transformasion) dan Diagram CCT (Countinuous Cooling Transformasion).

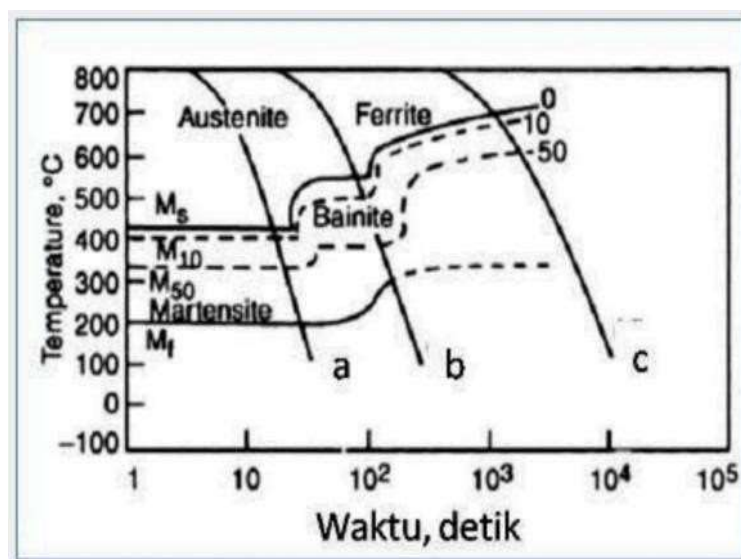
Diagram TTT (*Time Temperature Transformasion*) adalah grafik yang menghubungkan transformasi austenit dengan waktu (skala logaritmik) dan suhu. Perlakuan panas baja biasanya melibatkan pemanasan sampai suhu austenit, menahan pada suhu tersebut untuk beberapa waktu, dan kemudian pendinginan pada tingkat pendinginan tertentu. Karena struktur mikro yang muncul setelah pendinginan tergantung pada laju pendinginan, sifat mekanik baja setelah akhir proses perlakuan panas sangat mempengaruhi laju pendinginan. Proses konversi ini dibaca menggunakan diagram TTT karena kondisi antara masing-masing baja tidak seimbang (konfigurasi komponen baja yang berbeda memiliki diagram TTT sendiri).



Gambar 2.4. Diagram TTT (*Time Temperature Transformasion*)

Kurva di sebelah kiri menunjukkan awal dari konversi isothermal, dan kurva di sebelah kanan menunjukkan penyelesaian konversi isothermal. Di atas garis A_1 , austenit berada dalam keadaan tunak (waktu retensi lebih lama, tetapi tidak ada transformasi). Di bawah suhu kritis A_1 di daerah di sebelah kiri kurva awal transformasi austenit tidak stabil (yang suatu hari berubah), dan di sebelah kanan kurva transformasi akhir, transformasi isothermal austenit terjadi di daerah antara kedua kurva. Ada (belum dikonversi) hasil konversi austenit dan isothermal yang dipertahankan. Dalam gambar ini, titik paling kiri dari kurva konversi awal disebut hidung. Transformasi austenit pada hidung menghasilkan perlit, dan di bawah hidung terbentuk bainit. Tetapi jika konversi terjadi pada suhu yang lebih rendah (dibawah garis M_s = Martensit start) maka akan diperoleh *martensit* (Al-Matsany, 2012).

Diagram Continuous Cooling Transformasi, atau biasa disebut CCT diagram, merupakan diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan kontinyu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa. Pada gambar di bawah ini menunjukkan diagram CCT untuk baja secara skematika. Terlihat bahwa kurva-kurva pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan yang berbeda akan menghasilkan fasa atau struktur baja yang berbeda. Setiap kurva pendingin yaitu (a), (b), (c) memperlihatkan permulaan dan akhir dari dekomposisi austenit menjadi fasa atau struktur baja akhir.



Gambar 2.5 Diagram CTT (*Countinuous Cooling Transformasi*)

Sebagai ilustrasi, baja mengandung 0,2%karbon yang telah diautenisasi pada temperature 920°C, kemudian didinginkan dengan laju yang berbeda sampai temperatur 200°C dan 250°C. Kurva pendingin (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperatur austenit sekitar 920°C ke temperature 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit. Fasa austenit akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada temperatur M_s (*martensit finish*). Kurva pendingin (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang dari temperatur 920°C ke temperatur 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa austenite terdekomposisi menjadi struktur bainit. Kurva pendingin (c) menunjukkan kontinyu dengan laju pendinginan lambat dari temperatur 920°C ke 250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa austenit terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit.

2.9 Uji Tarik Statis

Pengujian tarik adalah penerapan gaya atau tegangan pada material untuk tujuan memahami atau menentukan kekuatan material. Tegangan aktual eksternal atau ekspansi aksial spesimen digunakan sebagai tegangan tarik. Pengujian tarik dilakukan dengan cara menarik keluar dengan gaya tarik terus menerus untuk mengetahui nilai gaya tarik tersebut agar bahan (perpanjangannya) meningkat secara terus menerus dan berkala sampai putus. Untuk menentukan kekuatan tarik suatu bahan dalam tarik, garis gaya harus berdekatan dengan sumbu bahan. Ini menciptakan beban dengan tegangan lurus. Namun, gaya lentur dihasilkan ketika gaya tarikan saling berdekatan.

Hasil uji tarik menangkap fenomena hubungan tegangan-regangan yang terjadi selama proses uji tarik. Uji tarik biasanya dilakukan untuk melengkapi informasi desain dasar tentang kekuatan material dan sebagai informasi tambahan untuk spesifikasi material. Pada pengujian tarik, pengujian tarik dilakukan secara bersamaan sambil terus menerus meningkatkan beban gaya tarik aksial pada benda uji. Pengamatan waktu dilakukan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji.

2.9.1 Tegangan-Regangan Teknis

Sifat-sifat mekanik material yg dikuantifikasikan galat satunya menggunakan bertenaga tarik bisa diperoleh menggunakan pengujian tarik. Pada pengujian tarik uniaksial atau uji satu arah, benda uji diberi beban atau gaya tarik dalam satu arah dan gaya yg diberikan bertambah akbar secara kontinu. Pada ketika bersamaan benda uji akan bertambah panjang menggunakan bertambah gaya yg diberikan. Berdasarkan output uji pengujian tarik yaitu berupa data gaya dan perpanjangan, maka bisa dianalisis buat memilih tegangan dan regangan secara teknis, yaitu persamaannya.

2.9.2 Tegangan Teknis

Tegangan teknis adalah tegangan yang didapatkan dari kurva tegangan teoritik, sedangkan kurva tegangan teoritik merupakan tegangan yang membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji itu.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

P = gaya yang diberikan pada benda uji (N)

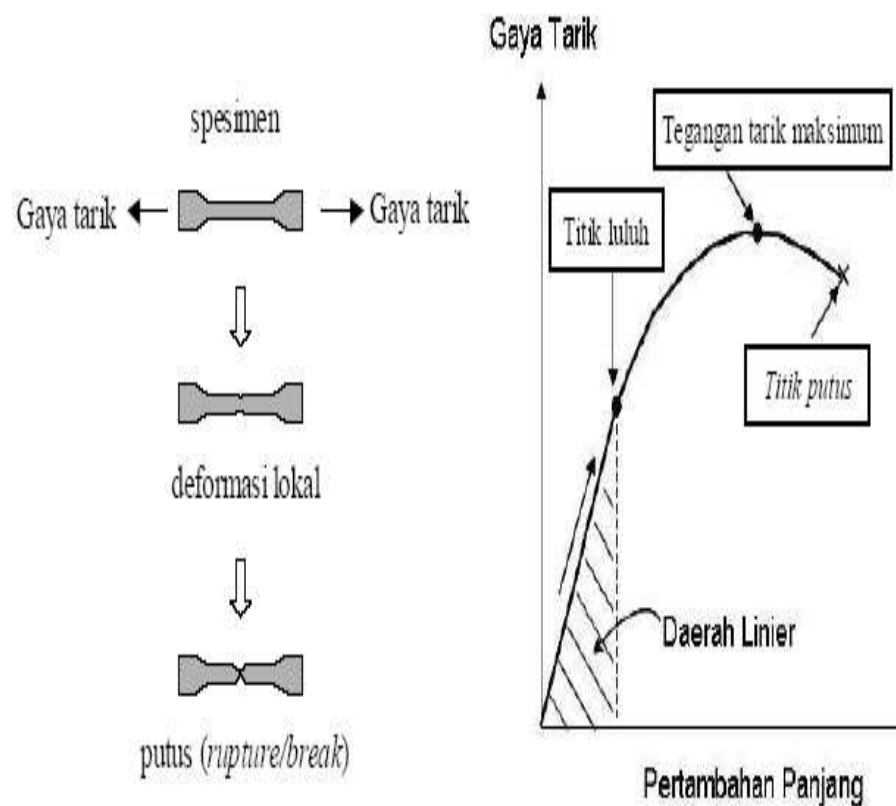
A₀ = Luas penampang awal benda uji (mm²)

2.9.3 Regangan Teknis

Regangan yang dihasilkan adalah regangan linier rata-rata yang diperoleh dengan membagi panjang pengukur benda uji dengan panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Jika terus menarik suatu benda uji sampai putus akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva yang dapat dilihat pada gambar 2.4. kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.

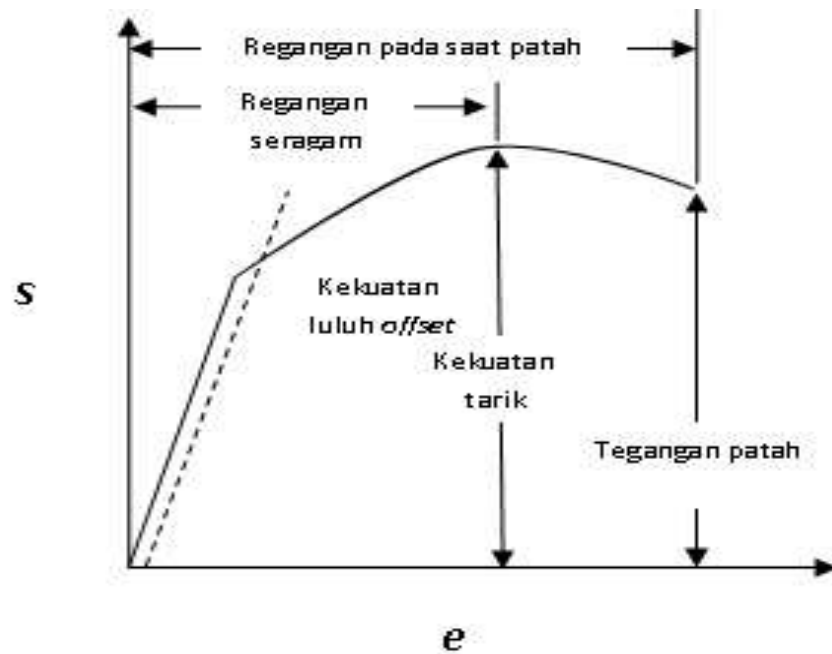


Gambar 2.6 Gambar singkat uji tarik

2.9.4 Tegangan-Regangan Sejati

Rekayasa tegangan-regangan tidak mewakili perilaku deformasi yang sebenarnya, karena semua kurva didasarkan pada dimensi awal benda

uji karena perubahan dimensi yang terjadi selama pengujian. Dengan tegangan logam, penyusutan lokal terjadi ketika tegangan mencapai maksimum. Pada tahap ini, luas penampang benda uji berkurang tajam, sehingga tegangan yang diperlukan untuk melanjutkan deformasi cepat berkurang.



Gambar 2.7 Kurva Tegangan-Regangan teknis.

Tegangan-regangan teknik juga menurun setelah melewati beban maksimum. Keadaan sebenarnya menunjukkan logam masih mengalami pengerasan regangan sampai patah sehingga tegangan yang dibutuhkan untuk melanjutkan deformasi juga bertambah besar. Tegangan yang sesungguhnya adalah beban pada saat manapun dibagi dengan luas penampang lintang benda uji dan A_0 sebagai beban itu bekerja.

Analisis teknik tegangan-regangan menunjukkan bahwa benda uji benar-benar dapat menahan penurunan beban karena luas awal A_0 konstan. pada saat perhitungan tegangan $\sigma = P/A_0$. Sementara pada kurva tegangan-regangan sejati luas area aktual adalah selalu menurun hingga terjadi perpatahan dan benda uji mampu menahan

peningkatan tegangan karena $\sigma^I = P/A_i$. Hubungan tegangan-regangan sejati dan tegangan-regangan teknis, yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

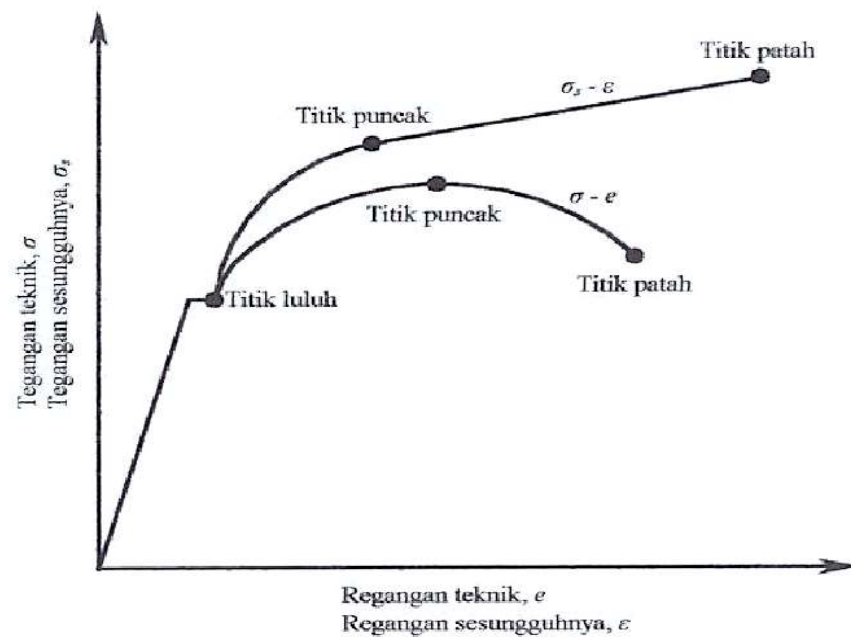
$$\sigma^I = \sigma(1 + \varepsilon) \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\varepsilon = \ln(1 + \varepsilon) \text{ (}\%\text{)}\dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

σ^I = tegangan sejati (N/mm²)

ε^I = regangan sejati (%)



Gambar 2.8. Perbandingan antara kurva tegangan-regangan teknik dengan kurva tegangan-regangan sejati (Azhari, 2009)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan pada waktu dan tempat yang akan dilaksanakan sebagai berikut :

3.1.1 Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu:

3.1.1.1 Pengujian komposisi Baja AISI 1045 dilakukan di

Laboratorium LIPI Tanjung Bintang, Lampung selatan.

3.1.1.2 Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Lampung.

3.1.1.3 Proses pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Universitas Lampung.

3.1.1.4 Pengujian Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium LIPI Tanjung Bintang, Lampung selatan.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada tanggal 16 April 2021 sampai dengan 22 Desember 2021.

3.2 Alat dan bahan

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

3.2.1 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,42-0,50% dan termasuk kedalam golongan baja karbon menengah.



Gambar 3.1 Baja AISI 1045

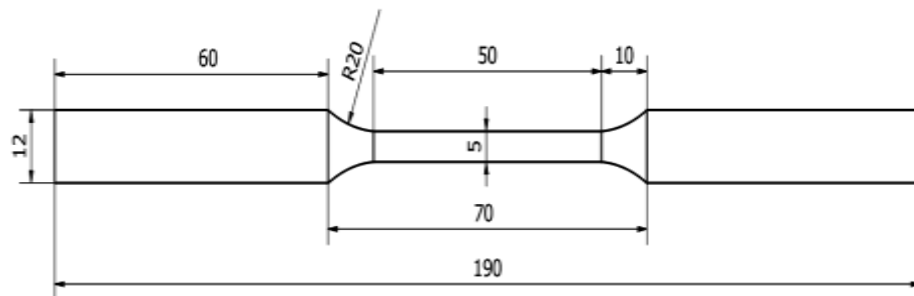
Adapun tabel 3.1 menunjukkan kandungan unsur baja AISI 1045 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja AISI 1045

Unsur	Komposisi (%) AISI 1045
C	0.528
Si	0.348
Mn	0.745
P	0.0166
S	0.0090
Cr	1.17
Mo	0.277
Ni	0.124
Al	0.0694

Co	0.0137
Cu	0.104
Nb	<0.0040
Ti	0.0460
V	<0.00050

Adapun pada gambar 3.2 menggambarkan spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM-E8 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM E8

Adapun tabel 3.2 menunjukkan dimensi spesimen pada Baja AISI 1045 sesuai standar ASTM E-8 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Dimensi Spesimen

Simbol	Ukuran (mm)
Lt	190 mm
Lo	50 mm
H	60 mm
P	10 mm
D	12 mm
D	5 mm
R	20 m

3.2.2 Tungku (*Furnance*)

Tungku yang digunakan adalah merk Nabertherm dengan spesifikasi pada tabel 3.4 Pada penelitian ini digunakan untuk memanaskan spesimen baja AISI 1045 sampai temperatur 850°C dan ditahan selama 30 menit. Gambar 3.3 tungku (*furnace*).



Gambar 3.3 Tungku (*furnance*)

Adapun pada tabel 3.3 menunjukkan spesifikasi tungku (*furnace*) yaitu sebagai berikut :

Tabel 3.3 Spesifikasi tungku (*furnace*)

Nabertherm lilienthal (germany)	
Model	L64/14
Tahun pembuatan	2000
T Max, (°C)	1400
Daya, (kW)	13,0

Arus, (A)	16/16/28
Frekuensi, (Hz)	50

3.3.3 Stopwatch

Stopwatch adalah alat yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang diperlukan. Fungsi *stopwatch* pada pengujian ini yaitu untuk menentukan waktu kecepatan pada proses pencelupan spesimen.



Gambar 3.4 *Stopwatch*

3.3.4 Jangka Sorong Digital

Jangka sorong digital digunakan untuk mengukur diameter baja AISI 1045 untuk pengujian tarik.



Gambar 3.5 Jangka sorong digital

3.3.5 Alat instalansi *Quenching* sistem media pendingin

Dalam penelitian ini panci alumunium yang digunakan sebagai alat instalansi *quenching* sistem media pendingin dengan volume maksimal 14 liter.



Gambar 3.6 Alat instalansi *Quenching* sistem media pendingin

3.3.6 Air

Adapun Air yang digunakan sebagai media pendingin pada proses *quenching* adalah air mineral sebanyak 12 liter, dengan kandungan mikro mineral pada tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Kandungan makro mineral

Jumlah Makro Mineral (mg/L)	
Kalsium	11-25
Magnesium	6-22
Kalium	1-8
Natrium	9-25
Bikarbonat	71-187
Chloride	1-25
Sulfat	2-33

Silica	62-87
TDS	88-190
Ph	6,8-7,2



Gambar 3.7 Air mineral

3.3.7 Air garam

Adapun air garam yang digunakan sebagai media pendingin pada proses *quenching* adalah air garam sebanyak 12 liter, dengan perbandingan 25% garam dapur dan 75% air mineral. Komposisi garam ditunjukkan pada tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.5 Komposisi rata-rata garam dapur sesuai standar SNI

Komposisi rata-rata garam dapur sesuai standar SNI	
NaCl, (%)	min 94,9
Air(H ₂ O), (%)	Max 5
Iodium, (%)	30-80
Fe ₂ O ₃ , (mg/Kg)	Max100
Ca dan Mg, (%0)	Max 1,0
SO ₄ , (%)	Max 2,0
Bagian yang tak larut dalam air, (%)	Max 0,5



Gambar 3.8 Air garam

3.3.8 Oli

Adapun Oli yang digunakan sebagai media pendingin pada proses *quenching* adalah oli SAE 40 sebanyak 12 liter, dengan karakteristik pada tabel 3.6 sebagai berikut:

Tabel 3.6 Karakteristik oli SAE 40

<i>Typical Characteristics</i>	
No. SAE	Mesran SAE 40
<i>Specific density, 15°C</i>	0,8923
<i>Viscosity kinematic</i>	144,32, at 4°C, cSt
<i>Viscosity kinematic</i>	14,53, at 100°C, cSt
<i>Viscosity index</i>	95
<i>Colour ASTM</i>	2,5
<i>Flash point</i>	249°C
<i>Pour point</i>	9°C
<i>Total base number</i>	5,20 mg KOH/g



Gambar 3.9 Oli SAE 40

3.3.9 Mesin MTS Landmark 100 kN

Pengujian kekuatan tarik terhadap baja AISI 1045 yang telah dilakukan perlakuan panas menggunakan alat uji tarik. Alat uji tarik yang digunakan ini adalah merk MTS *Landmark* dengan spesifikasi pada tabel 3.7 sebagai berikut:

Tabel 3.7 Spesifikasi Alat Uji Tarik

SPESIFIKASI	
Merek	MTS <i>Landmark</i>
Kapasitas	100 Kn
Tipe	U PD 10
Tahun	2015
Memiliki Tiga Skala Beban	A = 0 s/d 20 kN
A + B = 0 s/d 50 Kn	
A + B = 0 s/d 100 Kn	



Gambar 3.10 Mesin MTS Landmark 100 kN

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini memiliki beberapa tahapan, yaitu adalah sebagai berikut:

3.3.1 Studi literatur dan survei lapangan

Pada penelitian tugas akhir ini yang pertama dilakukan adalah mengumpulkan materi dasar sebagai studi literatur, studi literatur bertujuan untuk mengenal masalah yang dihadapi, serta menyusun rencana kerja yang akan dilakukan. Pada survei lapangan dilakukan pencarian terhadap lokasi pengujian keausan bahan, guna nantinya dilakukan pengujian bahan pada penelitian ini.

3.3.2 Persiapan Spesimen

Untuk persiapan spesimen pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Material yang digunakan yaitu baja AISI 1045 berbentuk poros dengan diameter 12 mm.

- b. Mengukur panjang baja AISI 1045 menggunakan mistar dengan ukuran 190 mm.
- c. Setelah diukur spesimen dapat dipotong dengan mesin potong, lalu diampelas untuk menghilangkan karat pada permukaan baja tersebut.

3.3.3 Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen yang dilakukan adalah dengan memotong spesimen baja dengan panjang 190 mm berbentuk poros dengan diameter 12 mm menggunakan mesin bubut. Gambar 3.2 menunjukkan hasil dari proses pembubutan baja AISI 1045 menjadi spesimen Uji tarik berdasarkan ASTM-E8.



Gambar 3.11 Spesimen uji tarik Baja AISI 1045 berdasarkan ASTM-E8

3.3.4 Perlakuan Panas pada Baja

Perlakuan panas terhadap baja terdapat berbagai tahap, yaitu sebagai berikut:

- a. Menghidupkan tungku (*furnace*) kemudian panaskan hingga suhu temperatur 850°C.
- b. Memasukan spesimen kedalam tungku (*furnance*).
- c. Setelah mencapai suhu *austenit* dilakukan penahanan (*holding time*) pada 850°C selama 90 menit.

- d. Kemudian dilakukan proses pemasangan alat termokopel dan *Temperatur recorder*.
- e. Selanjutnya spesimen dilakukan *quenching*, yakni proses pendinginan cepat dengan beberapa media pendingin berupa air mineral, air garam, dan oli SAE 40
- f. Menunggu temperatur baja dari *furnace* dari suhu awal 850°C hingga suhu ruangan media dengan menggunakan *stopwatch* pada saat pencelupan.
- g. Selanjutnya setelah melakukan proses *quenching*, tercatat hasil laju pendinginan yang tercatat pada *Temperatur recorder*.
- h. Lalu angkat spesimen dan mengeringkan.
- i. Setelah spesimen kering kemudian mengamplas untuk menghilangkan kerak sisa pendinginan agar permukaan menjadi halus kemudian spesimen siap untuk dilakukan pengujian tarik.

3.3.5 Pengujian kekuatan tarik

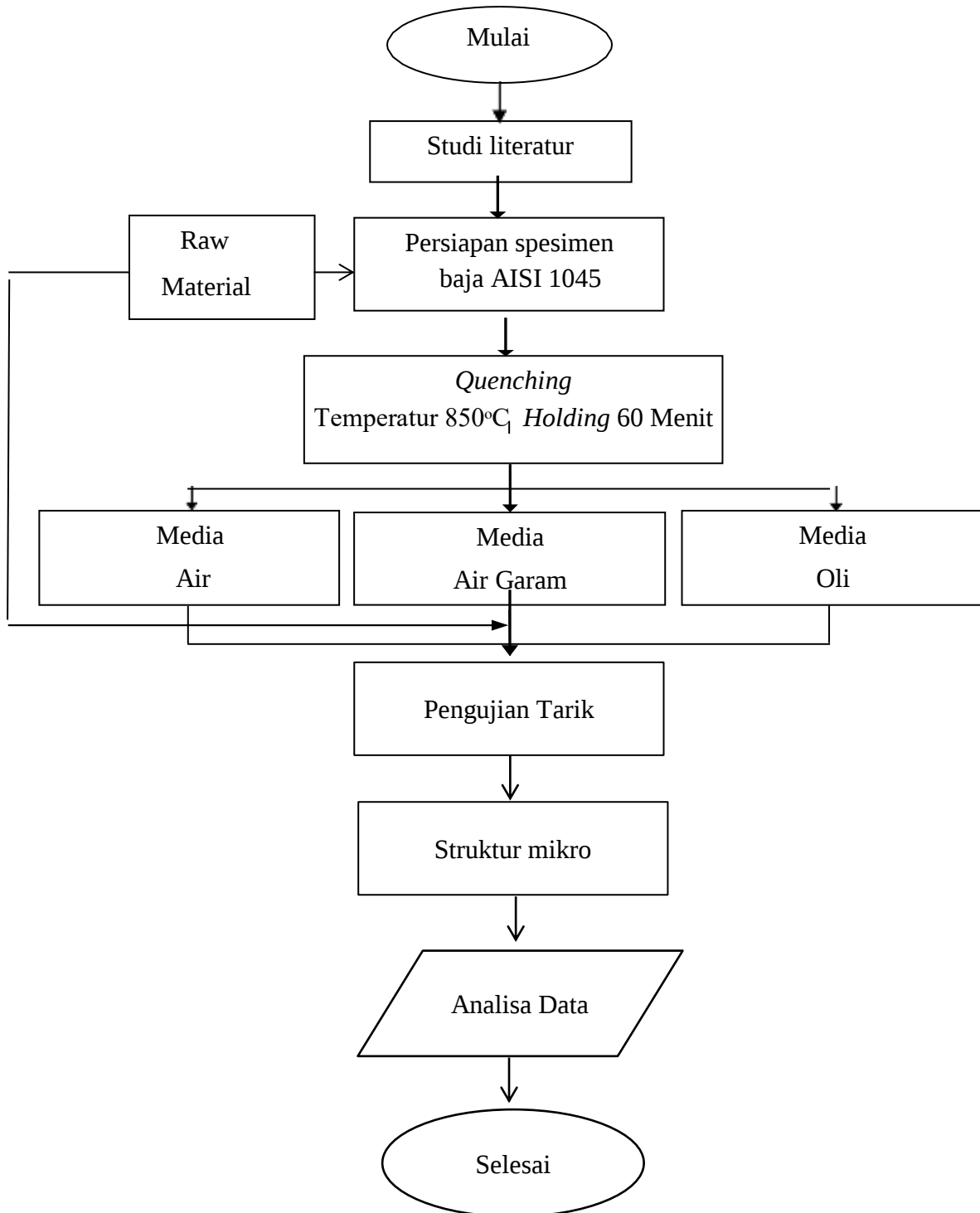
Pengujian dilakukan dengan terlebih mempersiapkan spesimen baja AISI 1045 hasil quencing dengan variasi media pendingin. Spesimen kemudian diuji dengan Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Material Universitas Lampung. Pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan standard ASTM E8. Pengujian ini dengan menggunakan *universal testing machine* yang dihubungkan langsung dengan plotter, sehingga dapat diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan nilai data dari tegangan *ultimate* (σ_{ult}) dan modulus elastisitas bahan (E). Pengujian tarik dilakukan dengan menyiapkan spesimen uji yang sudah dibentuk sesuai dengan standard ASTM E8. Adapun proses uji tarik statis yang dilakukan dengan mesin MTS Landmark 100 kN adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen sesuai dengan standar ASTM E8
- b. Membuka program *Controller 793B* setelah itu klik *manual command*.

- c. Memasang spesimen pada *cross head grip* atas, kemudian spesimen dicekam.
- d. Melakukan proses penurunan pada *cross head grip* sampai ujung spesimen masuk kedalam *grip* bawah dengan kedalaman 3 cm.
- e. Menekan tombol *manual command* dan klik *control mood* ke *force*.
- f. Menekan tombol *auto offset* untuk *force*. Setelah itu *grip* bagian bawah dicekam sehingga ujung spesimen bagian bawah tidak berubah.
- g. Memasang *extensometer* ke spesimen dengan posisi *zero pin*, dan klik *manual offset* untuk *extensometer*. Lalu lepaskan *zero pin* dari *extensometer*.
- h. Membuka *software MTS test suite* (MPE), lalu pilih untuk uji tarik statis.
- i. Memasukan data spesimen.
- j. Memasukan *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s)
- k. Menginput semua data lalu klik *RUN*.

3.4 Alur Proses Penelitian

Adapun gambar dibawah ini menunjukan diagram alur penelitian yaitu sebagai berikut:



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Perbedaan kekuatan tarik maksimal yang dilakukan pada baja AISI 1045 dengan perlakuan panas *quenching* dengan media pendingin air garam memiliki nilai yang paling tinggi yaitu 2324,8 MPa dibanding dengan media air atau oli SAE40 dengan masing-masing nilai sebesar 2272,4 dan 1996,8 Mpa. Dan dibandingkan dengan nilai pada saat sebelum dilakukan perlakuan (*raw material*) yaitu sebesar 693,7 Mpa. Maka proses *quenching* dapat merubah nilai kekuatan tariknya.
2. Hasil struktur mikro sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan panas struktur yang mendominasi adalah struktur *ferrit* dan *pearlite*, akan tetapi setelah dilakukan perlakuan panas muncul struktur mikro yaitu berupa *martensit*, pada *martensit* ini baja tersebut menjadi getas dan cepat mengalami patah.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan pada penelitian ini ataupun pengembangan penelitian ini untuk selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Variasi media *quenching* yang digunakan adabainya memakai media yang belum pernah diujikan oleh peneliti yang lain, hal ini agar dapat membandingkan pengaruh suatu medianya.
2. Saat proses pembubutan atau persiapan spesimen harus lebih baik atau halus, agar saat proses pengujian tarik hasil yang didapatkan bisa maksimal.
3. untuk mendapat hasil struktur mikro yang lebih jelas sebaiknya melakukan uji struktur mikro *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Matsany. 2012. *Diagram TTT (Time Temperature Transformation)*.
[Http://blog.ub.ac.id/pertamaxxx/2012/03/12/diagram_ttt_time_temperature_transformation/](http://blog.ub.ac.id/pertamaxxx/2012/03/12/diagram_ttt_time_temperature_transformation/). Diakses 01 Januari 2021. Pukul 19.00 WIB.
- Agus, Pramono, 2011. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM. Vol. 5. No. 1. April 2011. Hal 32–38. Banten.
- Amanto, H dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. Halaman 63-87.
- ASMH and book, 1991. *Heat Treating*. ASMH and book Committee. Volume 4. Halaman 4.
- ASMH and book, 1993. *Properties and selection : iron steels, and hight performance alloys metals handbook*. Volume 1. Halaman 249-322.
- Azhari, Sastranegara, 2009. Mengenal uji tarik dan sifat-sifat mekanik logam.
[Http://www.academia.edu/download/33873313/mengenalujitarik.pdf](http://www.academia.edu/download/33873313/mengenalujitarik.pdf). Di akses 01 Januari 2021. Pukul 19.00
- Departemen Pendidikan Nasional, 2005. *Kamus Besar Bahasa Indonesia Edisi Ketiga*. Balai Pustaka. Jakarta. Halaman 91.
- Galang Goldy Putra, 2020, Pengaruh variasi media pendinginan terhadap kekuatan tarik Baja AISI 1045. Universitas Muhammadiyah Jember.
- Glyn dkk, 2001. Analisa variasi *viscositas* pelumas pada proses *quenching* terhadap sifat mekanik baja AISI 1045. Universitas Muhamadiyah Malang.
- Hadi dkk, 2017. Pengaruh Suhu dan Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3MO3Ni. Jurnal Metalurgi 1: 37-44.

- Maulana, Deni. 2017. Karakterisasi Pengelasan *Dissimilar* Baja AISI 1045 Dan AISI 4140 Dengan Metode *Friction Welding*. Universitas Jember
- Mulyadi dan Sunitra, Eka. 2010. Kajian perubahan kekerasan dan difusi karbon sebagai akibat proses dari proses karburisasi dan proses quenching pada material gigi perontok power thresher. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 7. Nomor 1. Halaman 33-49.
- Murjito, Dkk, 2019. Analisa viscositas pelumas pada proses *quenching* terhadap sifat mekanik Baja AISI 1045. Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- Mustofa Z, 2016. Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment. Universitas Nusantara Persatuan Guru Republik Indonesia. UN PGRI Kediri.
- Nugroho, Sri dan Haryadi, Gunawan Dwi, 2005. Pengaruh media Quenching Air Tersirkulasi (*Circulated Water*) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja AISI 1045. *Jurnal Rotasi Volume 7 Nomor 1*.
- Perdana Hadi, Dkk 2017. Pegaaruh suhu dan waktu tempering terhadap kekerasan, struktur mikro, laju korosi baja tahan karat Martensitik 13Cr3MO3Ni. PP 37-44.
- Putu, Dharma, 2015. Pengaruh *Holding time* pada proses *quenching* terhadap perubahan kekuatan tarik dan ketangguhan baja AISI 1045. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Shackelford, James, F. 1996. *Introduction to Material Science for Engineering*. Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Wulandari, A. 2011. *Studi Ketahanan Korosi H₂ Pada Baja Karbon Rendah Yang Mengalami Canai Hangat 600°C*. Skripsi. Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia , Depok. Jawa Barat.
- Yose, Rizal. 2014. Analisa Pengaruh Media *Quenching* Terhadap Kekuatan Tarik Baja AISI 1045. *Jurnal APTEK Vol.6, No.(2)*.