

**PENGARUH PROSES *QUENCHING* TERHADAP
KEKERASAN PADA BAJA ASSAB**

SKRIPSI

oleh

Liyando Siahaan

Nim: 06121281520065

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2019

**PENGARUH PROSES *QUENCHING* TERHADAP
KEKERASAN PADA BAJA ASSAB**

SKRIPSI

oleh

Liyando Siahaan

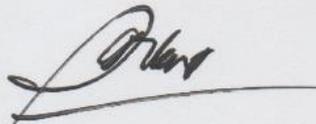
NIM: 06121281520065

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Mengesahkan:

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,



Drs. H. Darlius, M.M.,M.Pd
NIP. 195703231986031001



Drs. Harlin, M.Pd
NIP. 196408011991021001

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Drs. Harlin, M.Pd
NIP. 196408011991021001

**PENGARUH PROSES *QUENCHING* TERHADAP
KEKERASAN PADA BAJA ASSAB**

SKRIPSI

oleh

**Liyando Siahaan
NIM: 06121281520065**

Telah diujikan dan lulus pada:

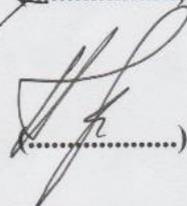
Hari : Rabu
Tanggal : 24 Juli 2019

TIM PENGUJI

1. Pembimbing I : Drs. H. Darlius, M.M., M.Pd.



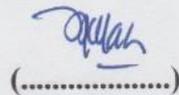
2. Pembimbing II : Drs. Harlin, M.Pd.



3. Anggota : Drs. Zulherman, M.Pd.



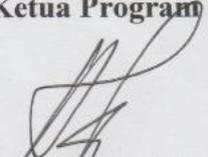
4. Anggota : Hj. Nyimas Aisyah, M.Pd., Ph.D



5. Anggota : H. Imam Syofii, S.Pd., M.Eng.



**Indralaya, 2019
Mengetahui,
Ketua Program Studi,**



**Drs. Harlin, M.Pd
NIP. 196408011991021001**



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN
TINGGI

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

alan Raya Palembang- Prabumulih, Indralaya, Ogan Ilir 30662

Telp. (0711) 580058, 580058 – Fax. (0711) 580058

Website : www.fkip.unsri.ac.id, E - mail : support@fkip.unsri.ac.id

BUKTI PERBAIKAN SKRIPSI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa berikut.

Nama : Liyando Siahaan

NIM : 06121281520065

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan Pada Baja Assab

Telah melakukan perbaikan skripsi sesuai dengan saran-saran yang disampaikan pada saat ujian akhir dan diizinkan menjilid skripsi.

Tim Penguji

No.	Nama Penguji	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Drs. H. Darlius, M.M., M.Pd	Ketua/Pembimbing 1	1.
2.	Drs. Harlin, M.Pd.	Pembimbing 2	2.
3.	Drs. Zulherman, M.Pd	Anggota	3.
4.	Hj. Nyimas Aisyah, M.Pd., Ph.D	Anggota	4.
5.	H. Imam Syofii, S.Pd., M.Eng.	Anggota	5.

Indralaya, 2019
Ketua Program Studi,

Drs. Harlin, M.Pd.

NIP. 196408011991021001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Liyando Siahaan

NIM : 06121281520065

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan Pada Baja Assab”, menyatakan bahwa benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2010 Tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila dikemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Inderalaya, Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Liyando Siahaan

NIM : 06121281520065

Motto dan Persembahan

Hidup ini adalah kesempatan, jangan sia-siakan kesempatan yang Tuhan berikan. Bekerja keras dan berusaha karena usaha tidak akan mengkhianati hasil.

**Pujilah Tuhan, hai jiwaku, dan janganlah lupakan segala kebaikan-Nya.
(Mazmur 103 : 2)**

Dengan puji syukur kupersembahkan skripsi ini untuk :

Tuhan Yesus Kristus,

Kedua orang tuaku tercinta, Tumpak M Siahaan dan Hilda N Napitupulu,

Abang dan kedua adikku,

Serta keluarga besar Siahaan dan Napitupulu,

Teman seperjuangan,

Almamaterku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama penelitian dan penyusunan skripsi ini banyak kendala yang telah dilalui berkat bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada :

1. Dosen pembimbing pertama Drs. H. Darlius, M.M., M.Pd dan dosen pembimbing kedua Drs. Harlin, M.Pd yang telah mengorbankan waktu, tenaga dan pemikiran untuk membimbing serta memberikan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Prof. Sofendi, M.A., Ph.D selaku dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaf, MSCE selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
4. Semua bapak/ibu dosen Pendidikan Teknik mesin yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama penulis mengikuti perkuliahan di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan.
5. Kedua orang tuaku tercinta Tumpak M Siahaan dan Hilda N Napitupulu yang telah memberikan semangat, doa dan segala kebutuhan selama perkuliahan hingga sampai dengan penyelesaian skripsi ini.
6. Abangku Lundu Siahaan serta kedua adikku Lion Ryezki Siahaan dan Lamtiur Siahaan yang selalu mendukung dan mendoakan hingga akhir penyelesaian skripsi ini.
7. Wanita terindahku Vivi Lestari Manalu yang selalu memberikan semangat, mendoakan dan selalu ada dari awal hingga akhir penulisan skripsi ini
8. Keluarga besar Pdo Sion yang selalu memberi semangat dan mendoakan dari awal hingga akhir penulisan skripsi ini.
9. Teman seperjuangan Agung 15 yang selalu memberikan semangat.
10. Teman-teman Narittik (Rico Simatupang, Elton Siregar, Richmen Simamora, Nizer Sinaga, Almazmur siahaan, Bill Simanjuntak, Putra Panggabean, Nelson Manullang dan Boiman Situmorang).
11. Teman sekamar Bill Simanjuntak dan Daniel Manullang.
12. Kawan-kawan yang sering meminjamkan motor (Putra Panggabean, Nizer Sinaga, Bill Simanjuntak, dan terkhusus Friski Siahaan).

13. Teman-teman yang tidak bisa dicantumkan satu per satu dalam penelitian ini, terimakasih atas doa dan segala dukungannya.

Akhir kata penulis berharap semoga bimbingan, tenaga, doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Tuhan Yang Maha Esa.

ABSTRAK

Jenis penelitian adalah penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *quenching* terhadap kekerasan pada baja assab dengan menggunakan media pendingin yang berbeda. Media yang digunakan berupa larutan air, oli, dan larutan garam. Penelitian dilakukan pada bulan mei 2019 di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin FKIP Universitas Sriwijaya dan laboratorium metalurgi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. Hasil penelitian didapatkan nilai baja setelah dilakukan proses *quenching* diperoleh bahwa baja yang memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu baja yang menggunakan media larutan garam sebesar 243,946 kg/mm² dan diikuti menggunakan media air sebesar 220,742 kg/mm² dan yang paling kecil menggunakan media pendingin oli yaitu sebesar 209,019 kg/mm². Presentasi kenaikan kekerasan dari baja assab 8407_2M yaitu oli sebesar 5,10%, media air sebesar 11% dan larutan garam 22,75 %.

Kata Kunci: *Quenching*, Perlakuan Panas, Baja Karbon Sedang.

Mengetahui,

Pembimbing I



Drs. H. Darlius, M.M., M.Pd
NIP. 195703231986031001

Pembimbing II



Drs. Harlin, M.Pd
NIP. 196408011991021001

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BUKTI PERBAIKAN SKRIPSI.....	iii
PERNYATAAN TELAH LULUS UJIAN	iv
PERNYATAAN.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Baja	5
2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon.....	5
2.1.2 Baja Paduan	6
2.1.3 Baja assab 8407_2M.....	7
2.2. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	8
2.2.1 <i>Annealing</i>	8
2.2.2 <i>Normalizing</i>	9
2.2.3 <i>Hardening</i>	9
2.2.4 <i>Quenching</i>	10
2.2.5 Media Pendingin	11
2.2.6 <i>Tempering</i>	12
2.3. Uji Kekerasan.....	13
2.4. Diagram Keseimbangan Fasa Besi Karbon	15

2.5. Diagram Transformasi Untuk Pendinginan	17
2.6. Penelitian yang Relevan.....	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2. Penyiapan Larutan	19
3.3. Metode Penelitian	19
3.4. Prosedur Penelitian	19
3.5. Analisa data.....	24

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil	25
4.2. Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	29
4.3. Pembahasan.....	34

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	37
5.2. Saran	37

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN.....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Fe-Fe ₃ C (Syahri et al. 2017)	15
Gambar 2. 2 Diagram TTT (Mersilia, A. 2016).....	17
Gambar 4. 1 Proses Pemotongan Spesimen.....	25
Gambar 4. 2 Hasil Pemotongan Spesimen.....	26
Gambar 4. 3 Proses pemasukan spesimen.....	26
Gambar 4. 4 Proses Pemanasan Spesimen.....	27
Gambar 4. 5 Suhu Pada Spesimen	27
Gambar 4. 6 Proses Pencelupan Spesimen	27
Gambar 4. 7(a) Proses Pengamplasan Spesimen (b) Hasil Pengamplasan Terhasap Spesimen	28
Gambar 4. 8 Proses Pengujian Kekerasan.....	29
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Kekerasan Setiap Spesimen	33
Gambar 4. 10 spesimen yang telah diukur kekerasannya dilakukan penekanan sebanyak 5 titik.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Pengujian.....	22
Tabel 4. 1 Data Hasil Penelitan Tanpa Perlakuan.....	30
Tabel 4. 2 Hasil Penelitian Quenching Menggunakan Air	30
Tabel 4. 3 Hasil Peenelitian Quenching Menggunakan Oli.....	31
Tabel 4. 4 Hasil Penelitian Quenching Menggunakan Larutan Garam	32
Tabel 4. 5 Hasil Dari Seluruh Spesimen	32
Tabel 4. 6 presentasi kenaikan kekerasan	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan Bahan	40
Lampiran 2. Dokumentasi Sewaktu Penelitian	42
Lampiran 3. Perhitungan Presentasi Kenaikan Kekerasan pada Spesimen	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, pemanfaatan logam sebagai bahan baku produksi industri semakin tinggi. Saat ini logam banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari yakni dalam pembuatan alat-alat pertanian, alat-alat perkakas, komponen-komponen otomotif hingga kebutuhan rumah tangga. Sifat-sifat logam terdiri dari sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, kekakuan, keuletan), sifat thermal (panas jenis, pemuaian, konduktifitas), sifat fisik (ukuran, massa jenis, struktur) (Syahri *et al.* 2017).

Terdapat berbagai macam logam yang sudah disediakan oleh alam yang terbagi menjadi logam ferro dan non ferro. Logam ferro terdiri dari beberapa macam baja. Pada umumnya, baja mengandung beberapa unsur paduan, dimana unsur yang paling dominan yang memberikan pengaruh terhadap sifat-sifat baja adalah unsur karbon, namun unsur-unsur lainnya tidak bisa diabaikan begitu saja. Besar kecilnya prosentase unsur karbon akan berdampak pada sifat mekanik dari baja tersebut. Berdasarkan hal tersebut, logam ferro dibagi menjadi baja karbon rendah (BKRR), baja karbon medium (BKM), dan baja karbon tinggi (BKT) (Hadi, 2013).

Hadi (2013) menyampaikan bahwa baja karbon rendah merupakan baja dengan jumlah terbanyak yang di produksi dalam dunia industri dan pada umumnya hanya mengandung $< 0,25\%$ kadar karbon yang tidak respon terhadap perlakuan panas. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon $0,25\% - 0,6\%$ dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan (*hardening*) sebagian dengan pengerjaan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon tinggi mengandung $0,6$ sampai $1,4\%$ kadar karbon dan merupakan baja terkeras, terkuat, tetapi paling tidak ulet.

Penelitian mengenai uji perlakuan panas terhadap baja karbon pernah dilakukan sebelumnya dalam skala laboratorium di Universitas Sriwijaya Prodi Pendidikan Teknik Mesin pada semester 6 tahun 2018 pada mata kuliah perlakuan panas. Pada percobaan praktikum tersebut menggunakan baja karbon rendah

dengan menggunakan media *quenching* air, oli dan arang. Dalam percobaan tersebut peneliti melihat ada beberapa kekurangan yaitu : Pertama tingkat pemanasannya tidak mencapai suhu *austenit* dimana untuk melakukan kekerasan pada suatu baja suhu yang digunakan harus mencapai titik *austenit* yaitu suhu mencapai 723°C-1400°C. Suhu yang digunakan pada percobaan itu yaitu sekitar 300°C dimana pada suhu ini hanya mencapai suhu *ferrite* yang membuat baja menjadi lunak dan ulet.

Kekurangan kedua yang dijumpai yaitu pada pengukuran tingkat kekerasan baja tersebut tidak menggunakan alat pengukur kekerasan yang standart yang mana untuk pengukuran kekerasan melakukan goresan pada plat baja. Ini di sebabkan karena tidak adanya alat pengukur kekerasan pada laboratorium. Kekurangan ketiga adalah spesimen yang digunakan pada percobaan itu menggunakan baja tipe rendah yang kurang baik untuk perlakuan panas. Dari kekurangan hasil percobaan diatas peneliti ingin melakukan percobaan ulang mengenai percobaan ini dimana penelitian ini akan menggunakan suhu 800°C - 820°C yang mencapai suhu *austenit*. Untuk pengukuran kekerasan menggunakan alat pengukur metode *vickers* dan baja digunakan adalah baja karbon sedang (*medium carbon steel*) sebab baja yang baik di gunakan untuk penelitian uji kekerasan adalah baja karbon sedang (*medium carbon steel*) yaitu menggunakan baja assab. Baja karbon sedang memiliki kenggulan di bandingkan dengan baja karbon rendah, yaitu memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah sehingga memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) (Noviadam, 2016).

Proses perlakuan panas merupakan proses pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu. Adapun Tujuan perlakuan panas yaitu untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik logam dan sejenisnya. Proses perlakuan panas pada baja adalah pengerasan (*hardening*) dengan cara *diquench* dimana dilakukan proses pendinginan secara tiba-tiba dengan berbagai media pendingin seperti media air, oli, air kelapa, larutan garam ataupun media lainnya (Syahri *et al*, 2017). Namun pada penelitian ini menggunakan 3 media pendingin yaitu air, oli dan larutan garam.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka peneliti mengambil judul penelitian “Pengaruh Proses *Quenching* Terhadap Kekerasan Pada Baja Assab”.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dapat dirumuskan rumusan masalah yaitu : Apakah ada pengaruh proses *quenching* terhadap kekerasan pada baja assab dengan menggunakan media pendingin yang berbeda ?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dalam beberapa hal yaitu :

1. Dalam penelitian ini, peneliti melihat presentasi kenaikan kekerasan baja pada spesimen tanpa perlakuan dengan perlakuan menggunakan media *quenching*.
2. Pengukuran dilakukan pada kekuatan kekerasan *vickers*.
3. Baja yang akan digunakan adalah baja ASSAB 8407_2M.
4. Suhu yang digunakan dalam pemanasan baja adalah 800°C- 820°C.
5. Media pendingin yang digunakan yakni air, oli dan larutan garam.
6. Penelitian ini tidak menggunakan waktu penahanan selama proses pemanasan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh proses *quenching* terhadap kekerasan pada baja Assab 8407_2M sebelum dan sesudah proses *quenching* dengan menggunakan media pendingin yang berbeda.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Peneliti

Dapat menghasilkan analisa pengaruh proses *quenching* pada baja assab dengan media pendingin air, oli, dan larutan garam terhadap kekerasan dan mengetahui presentase perbandingan kekerasannya.

2. Peneliti lain

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi dalam melakukan penelitian selanjutnya sehingga memperoleh wawasan yang baru sehingga dapat digunakan pada penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja

Baja merupakan suatu material paduan yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon(C), serta mengandung unsur lainnya, seperti : mangan (Mn), silikon (Si), nikel (Ni), krom (Cr), vanadium (V) dan lain sebagainya yang tersusun dalam prosentase yang sangat kecil. Dan unsur unsur ini sangat mempengaruhi terhadap mutu dari baja tersebut (Purboputro, 2006).

2.1.1 Klasifikasi Baja Karbon

Syahri *et al* (2017) menyampaikan baja karbon adalah baja yang mengandung kadar karbon hingga 1,4% . Baja karbon terdiri atas 3 bagian yaitu :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah adalah jumlah terbanyak yang di produksi dalam dunia industri dan pada umumnya mengandung $< 0,25\%$ kadar karbon yang tidak respon terhadap perlakuan panas. Struktur mikronya terdiri atas ferit dan ferlit yang konsekuensinya tidak kuat dan relatif lunak, akan tetapi mempunyai keuletan dan ketangguhan yang baik. Selain C dan Mn, baja karbon rendah untuk kekuatan tinggi (*strength low carbon steel*) dapat ditambah dengan paduan Si, Cu, V, N, Nb, dan Al. Untuk kekuatan luluh (*yield strength*) pada baja karbon rendah yaitu rentang antara 180 dan 260 Mpa, dan untuk kekuatan tingginya rentang antara 290 dan 552 Mpa.

2. Baja karbon menengah (*medium carbon steels*)

Baja karbon menengah mengandung 0,25 sampai 0.6% kadar karbonnya. Untuk memperbaiki sifat mekanisnya baja ini dapat diperlakukan panas dengan austenitasi, *tempering* dan *quenching*. Baja karbon menengah mempunyai mampu keras rendah dan akan berhasil dilakukan perlakuan panas dalam penampang yang tipis dan dengan laju pendinginan yang sangat cepat. Untuk memperbaiki mampu laku panas, dapat dilakukan dengan penambahan

Cr, Ni, dan Mo, dan dapat menambah variasi kombinasi kekuatan dan keuletan baja karbon menengah. Pada umumnya penggunaan baja karbon menengah yaitu untuk roda gigi, roda kereta api (*wheels*) dan roda penggerak, poros engkol dan penggunaan lainnya.

Berdasarkan persentase karbon yang terkandung dalam baja ini, maka baja karbon sedang digunakan untuk hal-hal sebagai berikut :

- a. Baja karbon sedang yang mengandung 0,40 % C biasanya digunakan untuk keperluan industri kendaraan, seperti membuat poros engkol, batang torak dan lain sebagainya.
- b. Baja karbon sedang yang mengandung 0,50 % C biasanya digunakan untuk membuat roda gigi, martil, dan alat penjepit.
- c. Baja karbon sedang yang mengandung 0,55- 0,60 % C biasanya digunakan untuk membuat pegas.

3. Baja karbon tinggi (*high carbon steels*)

Baja karbon tinggi mengandung 0,6 sampai 1,4% kadar karbonnya dimana baja ini adalah baja terkeras, terkuat, tetapi paling tidak ulet. Baja ini hampir selalu digunakan pada saat kondisi dikeraskan ataupun ditemper, dimana digunakan khusus dalam kondisi tahan aus dan juga mampu mempertahankan sisi potong yang tajam. Pada produksi baja perkakas dan baja cetakan dipadukan pada paduan karbon tinggi yaitu Cr, V, W, dan Mo.

2.1.2 Baja Paduan

Syahri *et al.* (2017) menyampaikan baja paduan adalah kandungan baja yang memiliki unsur lain atau lebih dengan kadar yang lebih banyak dari pada kadar biasanya dalam baja karbon. Adapun unsur-unsur yang biasanya dijumpai pada baja karbon adalah C, Mn, Si, P dan S. Agar sifat-sifat baja karbon lebih baik maka ditambah kadar Mn atau Si, ataupun lainnya seperti Cr, Ni, Mo, Co, Ti, W dan lain sebagainya. Maka dari itu selain memperbaiki sifat-sifat mekanisnya dapat juga memperbaiki sifat tahan korosi, tahan aus, tahan suhu tinggi serta magnetiknya. Unsur-unsur paduan yang digunakan dalam pembuatan baja paduan terdiri dari satu macam unsur ataupun lebih

dengan kadar karbon yang berbeda, tergantung dari keperluan sehingga baja paduan lebih banyak macam dan jenisnya.

Kadar unsur paduan terdiri dari baja paduan rendah dan baja paduan tinggi atau baja paduan khusus. Baja paduan rendah merupakan baja yang mengandung unsur paduan dibawah 10%, sedangkan baja paduan tinggi mengandung unsur paduan diatas 10%. Baja paduan dibagi atas 2 macam yaitu sebagai berikut:

1. Baja paduan rendah biasa

Baja paduan rendah pada umumnya mengandung paling sedikit 0,3% karbon yang membuat baja dengan mudah dapat dikeraskan. Karena adanya unsur nikel, chrom, mangan dan molibdenum sehingga baja ini mempunyai sifat yang dapat dikeraskan dengan baik. ketika dikeraskan dan ditemper hingga mencapai kekerasan tertentu ataupun seluruhnya berstruktur martensit, maka baja-baja seperti ini memiliki gejala yang menunjukkan sifat mekanis yang sama terhadap baja karbon biasa yang kadar karbonnya sama.

2. Baja paduan rendah kekuatan tinggi

Baja paduan rendah berkekuatan tinggi memiliki sifat mekanis dan tahan korosi yang lebih bagus dari baja paduan rendah biasa. Baja paduan rendah dibuat melalui proses pengelolaan, dimana baja dalam keadaan dilunakkan ataupun dinormalkan. Karena kadar karbonnya yang rendah baja ini mempunyai sifat lunak dan liat, sehingga mempermudah dalam pembentukan dan pengelasan. Baja ini dapat ditambahkan silisium, mangan, nikel, khrom sebagai unsur paduan dengan jumlah total tidak melebihi 5%. Dimana unsur-unsur ini membentuk larutan padat dengan ferit yang membuat kekuatan baja bertambah.

2.1.3 Baja assab 8407_2M

Susanto, E. E. (2008) menyampaikan baja assab 8407 merupakan nama pemasaran untuk baja perkakas paduan rendah. Penggunaan kata assab yaitu nama perusahaan yang memproduksi berbagai jenis baja dan

digunakan untuk perindustrian. Angka 8407 merupakan kode untuk baja perkakas pengerjaan panas (*Hot Work Tool Steel*). Baja ini dikelompokkan paduan rendah sebab jumlah unsur paduannya kurang dari 10%. Komposisi kimia untuk baja ASSAB 8407 mengandung karbon, silikon, mangan, khrom, molibden, dan vanadium dengan kekerasan awal 185 HB.

Komposisi Kimia Baja ASSAB 8407 yaitu memiliki C 0,39 %, Si 1,0%, Mn 0,4%, Cr 5,2%, Mo 1,4 % dan V 0,9%. Baja ASSAB 8407 mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan di dalam penggunaannya, ketahanan yang tinggi terhadap kejutan panas (*Thermal Shock*) dan kelelahan panas (*Thermal Fatigue*), sesuai untuk kerja pada temperatur tinggi.

2.2. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Pramono (2016) menyampaikan perlakuan panas adalah pada pemanasan logam di bawah temperatur lebur logam tersebut dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu. Dalam proses laku panas baja, langkah pertama yang dilakukan adalah memanaskan material sampai temperatur tertentu ataupun di atas temperatur daerah kritis supaya membentuk fasa austenit. Setelah itu diberi waktu penahanan agar austenit dapat lebih homogen kemudian dilakukan proses pendinginan. Dalam proses pendinginan ini perlu dilakukan dengan cermat agar benda kerja tidak mengalami cacat retak setelah mengalami proses pendinginan.

Pada proses pemanasan dan kecepatan laju pendinginan sangat mempengaruhi hasil akhir dari proses perlakuan panas. Dalam proses perlakuan panas terdapat tiga tahapan yang paling utama yaitu tahap pemanasan, tahap penahanan, dan tahap pendinginan. Secara umum perlakuan panas dapat dikelompokkan dalam beberapa macam, yakni sebagai berikut :

2.2.1 Annealing

Annealing merupakan salah satu proses heat treatment yang biasanya dilakukan untuk mengurangi kekerasan, memperbaiki ductility, menghaluskan ukuran butiran, dan menghilangkan tegangan sisa.

2.2.2 *Normalizing*

Normalizing bertujuan untuk memperoleh struktur butiran yang halus dan seragam, serta untuk menghilangkan tegangan dalam. Untuk material yang mengalami penempaan, baja-baja konstruksi, dan baja rol tidak memiliki struktur yang sama sebab jumlah beban tidak sebanding dan karena perubahan bentuk pada tahap-tahap pendinginan yang tidak merata pada benda yang ketebalannya tidak sama. *Normalizing* bertujuan untuk menormalkan sifat mekanis yang hilang akibat dari baja pada proses sebelumnya, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan sisa ataupun yang lainnya.

2.2.3 *Hardening*

Proses *Hardening* merupakan pemanasan yang dilakukan untuk memperoleh kekerasan dari suatu bahan. Adapun prosesnya yaitu mula-mula baja dipanaskan sampai pada daerah atau diatas temperatur kritisasi, dan dilanjutkan dengan pendingin cepat, pada setiap operasi perlakuan panas, laju pemanasan merupakan faktor yang penting.

Proses ini berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa dengan mengubah komposisi kimia secara keseluruhan. Proses ini mencakup proses pemanasan sampai pada austenisasi dan diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. proses pendinginannya bermacam-macam tergantung pada kecepatan pendinginan dan media quenching yang dikehendaki. Untuk pendinginan yang cepat akan didapatkan sifat logam yang keras dan getas sedangkan untuk pendinginan yang lambat akan didapatkan sifat yang lunak dan ulet.

Proses *hardening* ini dipengaruhi oleh beberapa parameter tertentu seperti :

1. Temperatur pemanasan, adalah temperatur austenisasi yang dikehendaki agar tercapai transformasi yang seragam pada material.
2. Waktu pemanasan, adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur pemanasan tertentu.

3. Waktu penahanan, adalah lamanya waktu yang diperlukan agar didapatkan distribusi temperatur yang seragam pada benda kerja.

Waktu pemanasan ini adalah fungsi dari dimensi dan daya hantar panas pada benda kerja. Lamanya waktu penahanan akan menyebabkan pertumbuhan butir yang mampu menurunkan kekuatan material. Martensit merupakan mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini akan terbentuk pada saat Austenit didinginkan secara sangat cepat, misalnya pada proses *quenching* melalui medium air. Transformasi ini berlangsung pada kecepatan yang sangat cepat, mendekati orde kecepatan suara, sehingga proses difusi karbon tidak mungkin terjadi. Transformasi martensite merupakan proses transformasi tanpa difusi yang tidak tergantung waktu (*diffusionless time-independent transformation*). Martensit yang terbentuk dan berbentuk seperti jarum yang sifatnya sangat keras (*hard*) dan getas (*brittle*). Fasa martensit adalah fasa metastabil yang akan membentuk fasa yang lebih stabil ketika diberikan perlakuan panas.

2.2.4 *Quenching*

Ada beberapa faktor yang melibatkan Proses *quenching* dan saling berhubungan. Pertama adalah jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua yaitu komposisi kimia dan *hardendility* dari logam. *Hardenbility* yaitu fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Proses *quenching* adalah perpindahan panas (*heat transfer*) dengan laju yang sangat cepat (Sugiarto *et al.* 2013)

Pada saat proses perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenite menjadi bainite dan martensite agar menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dilakukan pada baja yang di-*quench* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama ataupun lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* terdiri atas: air, air garam, oli, air-polymer, ataupun yang lainnya.

Untuk baja karbon tinggi dan baja paduan pada umumnya digunakan minyak sebagai media pencelupan, dimana pendinginannya tidak secepat air. Minyak tersedia berbagai jenis, seperti minyak mineral dimana kecepatan pendinginannya berlainan sehingga dapat menghasilkan baja dengan berbagai tingkat kekerasan. Untuk pendinginan yang cepat biasanya digunakan air garam ataupun air yang disemprotkan. Beberapa jenis logam juga dapat dikeraskan melalui pendinginan udara namun prosesnya terlalu lambat. Benda yang agak besar biasanya akan dicelupkan dalam minyak. Suhu media celup yang baik itu harus merata agar dapat dicapai pendinginan yang merata pula.

2.2.5 Media Pendingin

Adawiyah *et al* (2014) menyampaikan media pendingin merupakan suatu media yang digunakan untuk mendinginkan spesimen uji setelah mengalami proses perlakuan panas. Untuk mendinginkan bahan dikenal berbagai macam bahan untuk memperoleh pendinginan yang merata maka bahan pendingin tersebut hampir seluruhnya disirkulasi.

Untuk melakukan proses *Hardening* kita harus melakukan pendinginan secara cepat dengan menggunakan media pendingin, supaya mendapatkan struktur *martensite*. Oleh karena itu, semakin banyak unsur karbon, maka struktur *martensite* yang terbentuk juga akan semakin baik dan banyak. *Martensite* terbentuk akibat dari fase *Austenite* yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan oleh atom karbon yang tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal serta membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, yang menyebabkan kekerasannya meningkat. Ada beberapa media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan spesimen uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Air

Air adalah media yang sangat sering digunakan untuk proses *quenching*, sebab biayanya yang murah, dan mudah digunakan serta proses pendinginan yang cepat.

2. Minyak atau Oli

Jika dibandingkan dengan air, oli oli adalah pendingin yang lebih lunak. biasanya digunakan untuk material yang kritis, seperti material yang mempunyai bagian tipis atau ujung yang tajam.

3. Larutan Garam

Air garam merupakan media yang sering digunakan pada proses *quenching* yang sering digunakan untuk alat-alat yang terbuat dari baja. Beberapa keuntungan menggunakan air garam sebagai media dapat kita lihat sebagai berikut :

- a. Suhu yang merata pada air garam
- b. Proses pendinginan merata untuk semua bagian logam
- c. Aman dari bahaya oksidasi, karburasi, atau dekarburisasi selama proses berlangsung.

4. Udara

Pendinginan udara merupakan perlakuan panas yang proses pendinginannya lambat. Udara sebagai pendingin akan memberikan proses pembentukan kristal-kristal kepada logam yang akan mengikat unsur unsur lain dari udara.

2.2.6 *Tempering*

Tempering merupakan suatu proses pemanasan kembali pada baja yang telah di *quench* ketangguhan dan keuletannya dapat meningkat, martensit di transfer ke martensit temper. Suhu yang digunakan untuk tempering tergantung kegunaan pada baja tersebut. Tingkat kekerasan suatu baja yang dicapai setelah pendinginan yaitu tergantung pada kandungan karbon dalam baja tersebut, baja yang mempunyai kurang dari 0,3% karbon tidak terlalu banyak perubahan yang nyata.

Kekerasan maksimum akan dicapai jika baja mengandung 1,3% karbon. Semakin tinggi suhu penemperan dan semakin lama didiamkan pada suhu ini, maka akan semakin banyak terbentuk martensit sehingga kekerasan akan menjadi lebih rendah, serta keuletan bertambah dan tegangan berkurang. Sewaktu melakukan penemperan, masing-masing warnanya akan berubah

menurut suhu (kuning terang hingga kelabu). Menurut tujuannya proses *tempering* dapat dikelompokkan sebagai berikut.

a. *Tempering* pada suhu rendah (150 C - 300C)

Tempering ini dilakukan untuk mengurangi tegangan-tegangan dan kerapuhan pada baja, biasanya digunakan untuk alat-alat kerja yang tidak mengalami beban berat seperti alat alat potong, mata bor dan lain sebagainya.

b. *Tempering* pada suhu menengah (300C - 550C)

Tempering pada suhu sedang dilakukan agar menambah keuletan, dan kekerasannya pun sedikit berkurang. Proses ini biasanya digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat misalnya palu, pegas, pahat dan lain sebagainya.

c. *Tempering* pada suhu tinggi (> 550C)

Tempering pada suhu tinggi memiliki tujuan untuk memberikan daya keuletan yang besar yang membuat kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, batang penggerak, poros dan lain sebagainya.

2.3. Uji Kekerasan

Suwardi (2018) Proses pengujian logam merupakan suatu proses pemeriksaan untuk mengetahui sifat dan karakteristik suatu bahan yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang ada pada bahan tersebut. Proses pengujian kekerasan pada suatu bahan dapat diartikan sebagai kemampuan bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Dengan kata lain ketika suatu benda uji diberi gaya tertentu yang mendapat pengaruh pembebanan, benda uji tersebut akan mengalami deformasi. Maka dengan itu kita dapat menganalisis seberapa besar tingkat kekerasan dari benda uji tersebut melalui besarnya beban yang diberikan pada luas bidang yang menerima pembebanan tersebut.

Pengujian kekerasan bahan logam digunakan dengan tujuan untuk mengetahui kekerasan logam tersebut. Dengan kata lain pengujian ini dilakukan bukan hanya untuk mengetahui bahan itu keras ataupun tidak. Dalam dunia tektik,

pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan beberapa macam metode pengujian yaitu :

1. Uji kekerasan *Brinell*

Pada tahun 1900 J.A Brinell mengajukan metode uji kekerasan ini. Metode ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam yang di uji dengan memakai bola baja yang dikeraskan kemudian di tekan dengan beban tertentu. Penekanan beban tersebut diterapkan selama waktu tertentu, dan biasanya digunakan waktu 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan menggunakan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Metode kekerasan ini dibuat untuk membantu pemakaian praktis di lapangan atau industri.

2. Uji kekerasan *vickers*

Pengujian kekerasan bahan mempunyai tujuan untuk menentukan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis apabila bahan tersebut diberi beban dari luar. Nukman (2013) Uji kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramida intan dimana bentuk piramidanya berbentuk bujursangkar. Permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan mempunyai sudut 136° . Nilai ini dipilih sebab mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter bola penumbuk dan diameter lekukan pada uji kekerasan brinell. Angka kekerasan Vickers (*Vickers hardness number, VHN*) diartikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan. VHN dapat ditentukan dalam persamaan berikut ini :

$$VHN = 1,854 \frac{P}{d^2} \left(\frac{1}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}} \right)$$

Dimana :

P = Beban yang digunakan (kg)

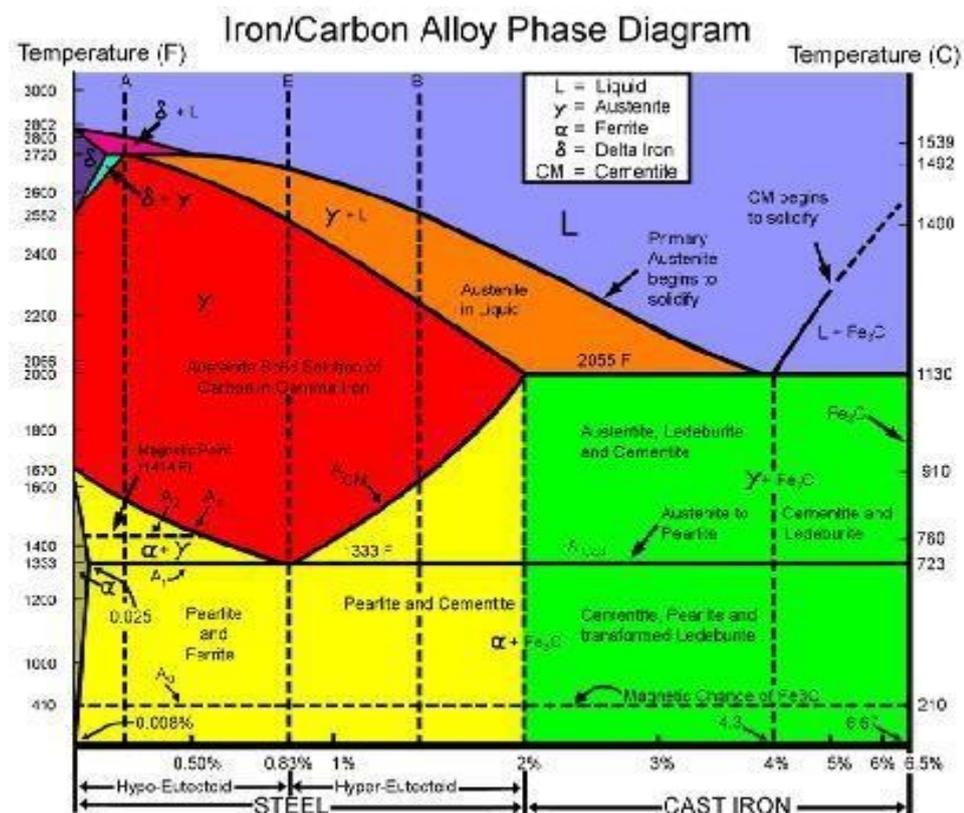
d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

3. Uji Kekerasan *Rockwell*

Pengujian *rockwell* mirip seperti pengujian *brinell*, yaitu angka kekerasan yang didapatkan adalah fungsi derajat indentasi. Indentor dan beban yang digunakan bermacam-macam tergantung pada kondisi saat pengujian. Berbeda dengan pengujian *brinell*, indentor dan beban yang digunakan lebih kecil yang membuat hasil indentasi yang lebih kecil dan halus. Uji kekerasan *rockwell* banyak digunakan di industri sebab prosedur kerjanya lebih cepat.

2.4. Diagram Kesetimbangan Fasa Besi Karbon

Saputra *et al* (2016) Diagram kesetimbangan atau diagram fasa adalah diagram yang digunakan untuk perlakuan panas bagi logam, dan diagram fasa besi-karbon diberlakukan untuk baja, dapat kita lihat pada gambar 1. Diagram fasa mempunyai tujuan untuk menunjukkan hubungan sifat-sifat mekanis suatu material, yang semuanya berhubungan dengan karakteristik diagram fasanya.



Gambar 2. 1 Diagram Fe-Fe₃C (Syahri et al. 2017)

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan Dalam diagram Fe-Fe₃C yaitu, perubahan austenit atau besi gamma (γ), fasa ferit atau besi alpha (α), perlit, sementit atau karbida besi, dan sementit. Dalam diagram Fe-Fe₃C dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Austenit* atau besi gamma (γ)

Merupakan modifikasi dari besi murni dengan struktur FCC yang mempunyai jarak atom lebih besar bila dibandingkan dengan ferit. Meski demikian rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon, penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya jadi terbatas.

2. Besi alfa *Ferrite* (α)

Yaitu modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang yang membuat ferit menjadi lunak dan ulet , maka ruang antara atom-atomnya adalah padat dan kecil sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali.

3. *Perlit*

Yaitu campuran khusus yang terjadi antara dua fasa yang terbentuk austenisasi, komposisi eutektoid bertransformasi menjadi ferit dan karbida. Ini disebabkan ferit dan karbida terbentuk secara bersamaan dan keluaranya saling bercampur. Atom karbon dapat berdifusi lebih lama dan dapat menempuh jarak lebih jauh apabila laju pendinginan dilakukan secara perlahan-lahan, sehingga di peroleh bentuk perlit besar. Dan ketika laju pendinginn lebih dipercepat maka difusi akan terbatas pada jarak yang dekat yang menghasilkan lapisan tipis lebih banyak.

4. *Sementit* atau *Karbida Besi*

Yaitu paduan Besi karbon, dimana dalam kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki kposisi Fe₃C. Hal ini tidak berarti jika karbida besi membentuk molekul Fe₃C, namun kisi kristal yang membentuk atom besi dan karbon memiliki perbandingan 3:1. Karbida pada ferit akan

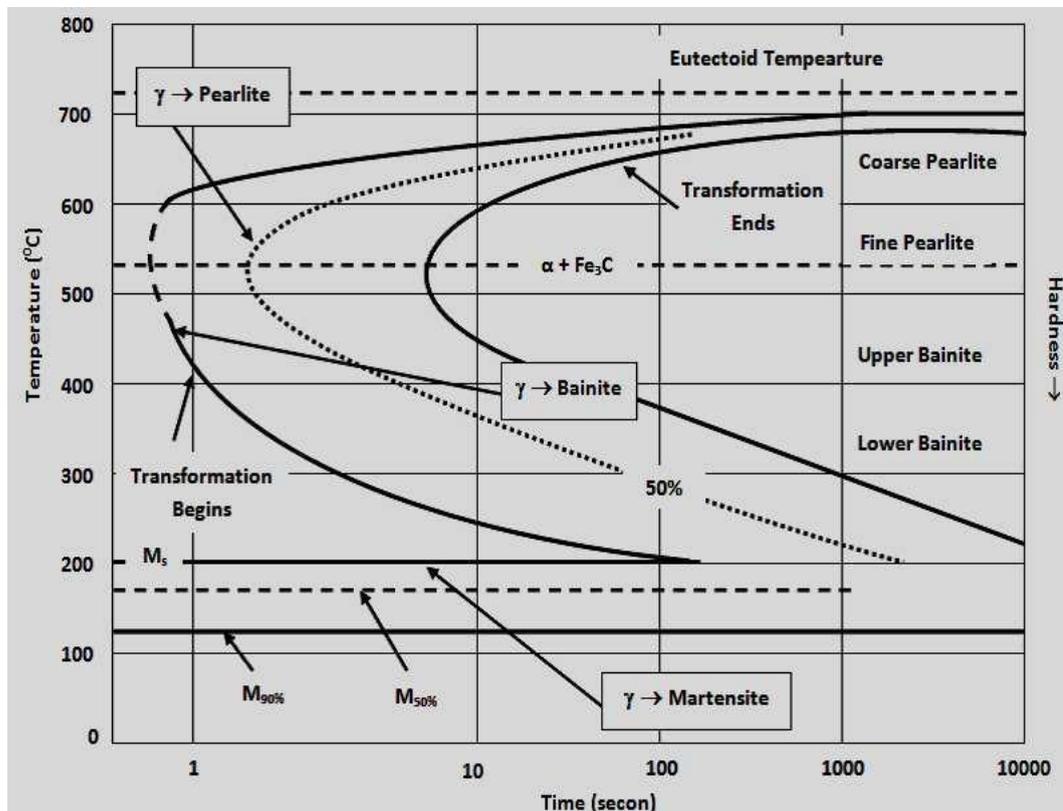
meningkatkan kekerasan pada baja dan sifat dasar sementit yaitu sangat keras.

5. *Martensit*.

Martensit terbentuk akibat transformasi tanpa difusi sehingga membuat seluruh atom-atom karbon terperangkap dalam larutan super jenuh. Keadaan ini menimbulkan distorsi pada struktur kristal martensit dan membentuk BCT. Tingkat distorsi yang terjadi tergantung pada kadar karbon. Maka dari itu martensit merupakan fasa yang sangat keras namun getas.

2.5. Diagram Transformasi Untuk Pendinginan

Mersilia (2016) Diagram IT (*Isothermal Transformation*) atau TTT (*Time Temperature Transformation*) yaitu dilakukan dengan memanaskan baja karbon dan mencapai temperatur austenisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan kontinu pada daerah fasa austenit dan menahannya dalam waktu tertentu dan didinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinu pada Gambar berikut.



Gambar 2. 2 Diagram TTT (Mersilia, A. 2016)

Pada gambar diatas diagram TTT menunjukkan untuk jenis baja *hypoeutectoid*, dimana garis ordinat menunjukkan temperatur sedangkan garis absis menunjukkan waktu. Dengan diagram TTT ini, dapat diketahui kapan transformasi *austenite* dimulai dan untuk membentuk *austenite* sempurna dapat diketahui waktu yang dibutuhkan. Untuk mencapai martensit, kecepatan turunnya suhu dapat dipercepat dengan menggunakan media pendingin, misalnya air, air garam, dan sebagainya. Seiring dengan turunnya suhu, pembentukan mendekati seratus persen martensit.

2.6. Penelitian yang Relevan

1. Yuri. S., dkk (2017). Penelitian berjudul “Pengaruh Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Material Baja S45C” menyimpulkan bahwa Hasil yang diperoleh uji kekerasan air garam memiliki nilai rata-rata kekerasan 95 BHN, nilai rata-rata kekerasan oli 89 BHN, nilai rata-rata kekerasan air 94 BHN, nilai rata-rata kekerasan udara 87 BHN dan nilai kekerasan tanpa di *hardening* 88 BHN.
2. Syahri. B., dkk (2017). Penelitian berjudul “ Analisis Kekerasan Baja Assab 705 Yang Diberi Perlakuan Panas *Hardening* dan Media Pendingin” menyimpulkan bahwa Hasil pengujian kekerasan dengan metode *brinell* menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kekerasan pada spesimen yang di *quenching* dengan media pendingin oli sekitar 15,62%, pada spesimen yang di *quenching* dengan media air meningkat sekitar 17,28%, pada spesimen yang di *quenching* dengan media pendingin larutan garam meningkat sekitar 20,30%.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian ini akan dilakukan pada bulan Mei 2019 yang bertempat di bengkel Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya dan laboratorium metalurgi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. SK penelitian surat perijinan untuk laboratorium metalurgi dapat dilihat pada lampiran halaman 45 dan 46.

3.2. Penyiapan Larutan

Pada Penelitian yang akan dilakukan ini menggunakan larutan air, oli, larutan garam. Oli yang digunakan yaitu oli bekas SAE 40 Yamaha Yamalube dan larutan garam yang digunakan yaitu campuran dari 1 liter air dengan 300 gram garam.

3.3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang pengujiannya akan dilakukan dalam laboratorium guna mendapatkan data yang diinginkan. Dimana mula-mula menyiapkan bahan terlebih dahulu kemudian dilakukan perlakuan panas dan dilakukan *quench* yang akan menghasilkan perbedaan kekerasan yang akan diukur dengan alat uji *vickers*.

3.4. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja assab 8407_2M dengan diameter 26,5 mm dan lebar 15 mm.

- a. Dalam melakukan penelitian ini peneliti menggunakan 5 buah baja assab untuk diuji dengan ketebalan dan lebar yang sama (diameter 26,5 mm, tebal 15 mm). Dimana ketika pengujiaannya, keempat spesimen tersebut akan diberikan perlakuan yang berbeda-beda.

Spesimen 1 : Pada spesimen ini tidak dilakukan uji *heat treatment* akan tetapi dilakukan pengujian kekerasannya.

Spesimen 2 : Pada spesimen ini dilakukan uji *heat treatment* kemudian di *Quenching* dengan media air, setelah itu dilakukan uji kekerasan.

Spesimen 3 : Pada spesimen ini dilakukan uji *heat treatment* kemudian di *Quenching* dengan larutan garam, setelah itu dilakukan uji kekerasan.

Spesimen 4 : Pada spesimen ini dilakukan uji *heat treatment* kemudian di *Quenching* dengan oli, setelah itu dilakukan uji kekerasan.

- b. Agar mendapat hasil yang maksimal untuk uji kekerasan, maka kelima spesimen tersebut diampelas terlebih dahulu agar didapat permukaan yang halus dan rata .

2. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Spesimen yang awalnya telah di persiapkan akan di lakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada pengujian ini, kecuali spesimen 1 yang tidak diberikan proses perlakuan panas. Tujuan dari proses ini yakni untuk mengetahui kualitas dari bahan tersebut, karena dalam proses perlakuan panas akan terjadi perubahan kekerasan dari suatu baja.

Proses yang akan dilakukan dalam perlakuan panas, spesimen akan dipanaskan mencapai suhu 800°C - 820°C. Dengan perlakuan ini maka akan terjadi perubahan kekerasan pada baja yang di uji.

3. Pencelupan (*Quenching*)

Quenching adalah salah satu proses perlakuan panas yang memanaskan suatu baja kemudian dicelupkan kejut pada media quench dimana pada penelitian ini menggunakan air, oli, dan larutan garam sebagai media pendingin. Dalam pengujian ini spesimen yang di beri perlakuan adalah spesimen 2, spesimen 3, spesimen 4, dan spesimen 5.

4. Tahapan Pengujian Kekerasan

Metode kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramid intan dimana dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara piramid yang saling berhadapan yaitu 136° dengan beban 30 kg. Mesin uji kekerasan

vickers yang digunakan adalah *Vickers Hardness Tester* dengan tipe VKH-2E. Mesin mengacu pada JIS B 7725 dan standar pengujian JIS Z 224.

Langkah-langkah yang dilakukan pada pelaksanaan pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

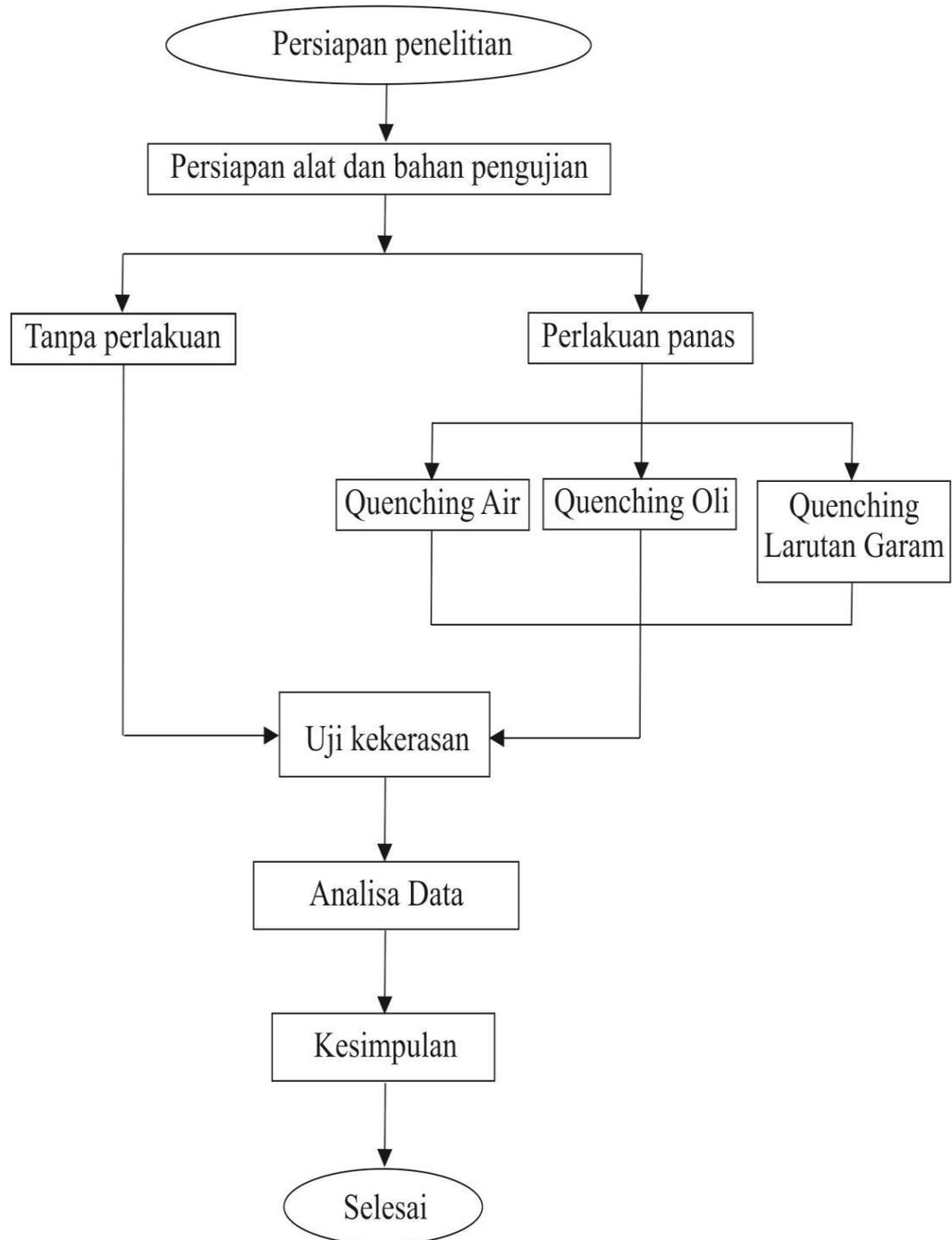
- a) Pilih anvil sesuai dengan bentuk benda kerja. Letakkan benda test pada anvil atau pada meja. Kemudian set beban yang diinginkan untuk benda test dengan menukar handle beban.
- b) Putar handle vertical untuk mengatur jarak antara benda test dan diamond indenter kira-kira 0,5 mm.
- c) Putar kepala turret dengan arah 90° dengan handle turret ke lokasi lensa objektif dipusatnya. Kemudian lihat melalui mikroskop ukur dan atur sinar secara visual dengan memutar kuantitas sinar yang diinginkan dengan knob ke terang atau gelap sehingga penglihatan mata kita tidak lelah. Kemudian putar eyepicce yang diinginkan setiap orang, juga baca dua garis yang mungkin terlihat sangat bersih dan putar handle vertical ke focus benda kerja.
- d) Dengan focus yang diinginkan putar kepala turret kembali 90° dan ubah keatas diamond indenter. Pada saat ini clearance antara tiap indenter dan benda kerja hanya 0,5 mm, ubah perlahan-lahan dan periksa apabila hanya kecekungan pada permukaan benda kerja.
- e) Tekan kebawah untuk menguji benda kerja.
- f) Indikasi lampu adalah turn-on (hidup) jika lampu mati ketika penandaan stabil dan pengurangan beban test secara komplit.
- g) Putar kepala turret untuk mengubah kelenda objektive. Lihat melalui alat ukur mikroskop dan tanda dapat dilihat secara visual dengan mengatur fokusnya.
- h) Baca panjang diagonal pada penandaan ini dengan menggunakan mikroskop atau garis baca paling kiri (tiga garis) kesudut kiri penandaan dangaris baca kana kesudut kanan benda kerja. Untuk prmbacaan hasil dengan counter dengan satuan satu meter, baca counter dari micrometer baca juga diagonal *vertical*.

- i) Ketentuan kekerasan *vickers* hasil rata-rata yang dibaca pada kedua diagonal digunakan untuk menentukan harga kekerasan dengan menggunakan table.

Dokumentasi dalam prosedur penelitian dapat kita lihat pada lampiran 2 halaman 42.

Tabel 3. 1 Tabel Pengujian

No	Kekerasan spesimen			
	Tanpa <i>Quenching</i> (Kg/mm ²)	Media <i>Quenching</i>		
		Air (Kg/mm ²)	Oli (Kg/mm ²)	Larutan garam (Kg/mm ²)
1				
2				
3				
4				
5				
Rata-rata				



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5. Analisa data

Setelah data dari penelitian didapatkan, selanjutnya yaitu menganalisa data yang terkumpul dengan cara mengolah data tersebut. Data dari hasil pengujian data yang didapat dimasukkan kedalam persamaan yang sudah disediakan kemudian mencari presentasi kenaikan kekerasan pada spesimen. Teknik analisa data pada penelitian ini adalah perbandingan presentasi antara data-data yang mengandung variasi dari beberapa media *quenching*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

Pengujian perlakuan panas pada suhu 800 °C di *quenching* dengan media oli dan larutan garam kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers*. Adapun langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan

Adapun alat yang digunakan peneliti dalam proses pengujian ini yaitu mesin gergaji besi, ragum, kikir, jangka sorong, penggaris, mesin uji kekerasan *vickers*, wadah larutan, termometer, tang jepit, tungku, blower dan amplas. Bahan yang digunakan yaitu baja assab ASSAB 8407_2M dengan panjang 600 mm serta diameter 26,5 mm, air, oli, garam, air *coolent* dan arang. Alat dan bahan dapat dilihat padalampiran 1 halaman 40.

2. Pembuatan spesimen

Untuk pembuatan spesimen diawali dengan pemotongan baja dengan menggunakan mesin gergaji besi *krisbow* dengan ketebalan 15 mm berdiameter 26,5 mm. Pada saat pemotongan bahan diberi air *coolent*. Spesimen yang dibutuhkan sebanyak 4 buah. Kemudian spesimen di kikir untuk meratakan sisa dari pemotongan.



Gambar 4.1 Proses Pemotongan Spesimen



Gambar 4. 2 Hasil Pemotongan Spesimen.

3. Proses *heat treatment* dan *quenching*.

Dalam proses *heat treatment* pada tungku pemanas menggunakan arang kemudian api dinyalakan dan di tiup menggunakan blower sampai api dari arang cukup untuk dilakukan pemanasan pada spesimen. Kemudian siapkan wadah larutan dan isi dengan media pendingin yang kita gunakan yaitu air, oli, dan air garam. Setelah proses persiapan selesai dilakukan tahapan pemanasan dan pendinginan sebagai berikut :

- a. Masukkan ketiga bahan ke dalam tungku pemanasan.



Gambar 4. 3 Proses pemasukan spesimen

- b. Tiup tungku menggunakan blower agar suhu pada spesimen tercapai yakni 800 C.



Gambar 4. 4 Proses Pemanasan Spesimen.

- c. Angkat benda kerja menggunakan tang penjepit kemudian ukur temperatur benda kerja hingga mencapai 800°C - 820°C dengan menggunakan termometer.



Gambar 4. 5 Suhu Pada Spesimen

- d. Setelah spesimen mencapai suhu yang diharapkan lakukan pencelupan ke media pendingin yang telah disediakan.



Gambar 4. 6 Proses Pencelupan Spesimen

- e. Lakukan pengamplasan terhadap spesimen yang telah di *quenching* sampai permukaan spesimen halus agar bisa diuji kekerasan menggunakan metode *vickers*.



Gambar 4. 7(a) Proses Pengamplasan Spesimen (b) Hasil Pengamplasan Terhadap Spesimen

- f. Proses pengujian kekerasan (*vickers*).
- Pada proses pengujian ini menggunakan metode *vickers* dengan beban 20 kg. Langkah-langkah yang dilakukan pada pelaksanaan pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :
- Pilih anvil sesuai dengan bentuk benda kerja. Letakkan benda test pada anvil atau pada meja. Kemudian set beban yang diinginkan untuk benda test dengan menukar *handle* beban.
 - Putar *handle vertical* untuk mengatur jarak antara benda test dan *diamond indenter* kira-kira 0,5 mm.
 - Putar kepala turret dengan arah 90° dengan *handle turret* ke lokasi lensa objektif dipusatnya. Kemudian lihat melalui mikroskop ukur dan atur sinar secara visual dengan memutar kuantitas sinar yang diinginkan dengan knop ke terang atau gelap sehingga penglihatan mata kita tidak lelah. Kemudian putar *eyepicce* yang diinginkan setiap orang, juga baca dua garis yang mungkin terlihat sangat bersih dan putar *handle vertical* ke focus benda kerja.
 - Dengan focus yang diinginkan putar kepala turret kembali 90° dan ubah keatas *diamond indenter*. Pada saat ini clearance antara tiap indenter dan

benda kerja hanya 0,5 mm, ubah perlahan-lahan dan periksa apabila hanya kecekungan pada permukaan benda kerja.

- e) Tekan kebawah untuk menguji benda kerja.
- f) Indikasi lampu adalah turn-on (hidup) jika lampu mati ketika penandaan stabil dan pengurangan beban test secara komplit.
- g) Putar kepala turret untuk mengubah kelenda objektive. Lihat melalui alat ukur mikroskop dan tanda dapat dilihat secara visual dengan mengatur fokusnya.
- h) Baca panjang diagonal pada penandaan ini dengan menggunakan mikroskop atau garis baca paling kiri (tiga garis) kesudut kiri penandaan dangaris baca kana kesudut kanan benda kerja. Untuk prmbacaan hasil dengan counter dengan satuan satu meter, baca counter dari micrometer baca juga diagonal *vertical*.
- i) Lakukan proses ini sampai ke empat spesimen didapatkan kekerasannya, surat pelaksanaan penelitian pada lampiran halaman 47.



Gambar 4. 8 Proses Pengujian Kekerasan.

4.2. Analisa Data Hasil Pengujian Kekerasan.

Pengujian kekerasan vickers pada dasarnya menggunakan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P \square \square = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Dimana :

P = Beban yang digunakan (kg)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

Data yang diperoleh dari hasil perhitungan dari pengujian kekerasan dari keempat spesimen dengan media pendingin air, oli dan larutan garam adalah sebagai berikut :

1. Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan

Tabel 4. 1 Data Hasil Penelitian Tanpa Perlakuan

Titik	d1	d2	d rata-rata	VHN	VHN rata-rata
1	0,43	0,432	0,431	199,611	198,816
2	0,434	0,439	0,4365	194,613	
3	0,43	0,44	0,435	195,957	
4	0,425	0,43	0,4275	202,893	
5	0,426	0,433	0,4295	201,008	

Pada tabel 4.1 dapat dilihat kekerasan awal spesimen yang digunakan yaitu baja assab. Untuk menentukan VHN pada baja tersebut digunakan rumus

$VHN = 1,854 \frac{F}{d^2}$ yang akan mendapat nilai dari kekerasan spesimen, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$VHN = 1,854 \frac{20 \text{ kg}}{(0,431)^2} = \frac{37,08}{0,185761} = 199,611 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$, maka dengan pengerjaan yang sama terhadap ke lima titik dapat menentukan VHN setiap diagonal pada tabel hingga mendapat kekerasan pada baja tersebut. Dari kelima titik tersebut didapatkan rata-rata kekerasan spesimen 198,816 VHN.

2. *Quenching* Menggunakan Oli

Tabel 4. 2 Hasil Penelitian *Quenching* Menggunakan Oli

Titik	d1	d2	d rata-rata	VHN	VHN rata-rata
1	0,42	0,423	0,4215	208,711	209,019
2	0,419	0,424	0,4215	208,711	
3	0,423	0,425	0,424	206,257	
4	0,418	0,419	0,4185	211,714	
5	0,42	0,421	0,4205	209,704	

Pada tabel 4.2 peneliti mendapatkan hasil dari *quenching* menggunakan media oli dimana menggunakan rumus $H_{VN} = 1,854 \frac{F}{d^2}$ untuk mendapatkan kekerasannya, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_{VN} = 1,854 \frac{20 \text{ kg}}{(0,4215)^2} = \frac{37,08}{0,17766225} = 208,711 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}, \text{ maka dengan pengerjaan}$$

yang sama kita mendapat kan hasil kekerasan dari kelima titik pengujian dan mendapatkan kekerasan spesimen darirata-rata kelima titik tersebut sejumlah 209, 019 VHN.

3. *Quenching* Menggunakan Air

Tabel 4. 3 Hasil Penelitian *Quenching* Menggunakan Air

Titik	d1	d2	d rata-rata	VHN	VHN rata-rata
1	0,415	0,416	0,4155	214,782	220,742
2	0,406	0,406	0,406	224,951	
3	0,403	0,41	0,4065	224,398	
4	0,407	0,412	0,409	221,663	
5	0,41	0,415	0,4125	217,917	

Pada tabel 4.3 peneliti mendapatkan hasil dari *quenching* menggunakan media air dimana menggunakan rumus $H_{VN} = 1,854 \frac{F}{d^2}$ untuk mendapatkan kekerasannya, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_{VN} = 1,854 \frac{20 \text{ kg}}{(0,4155)^2} = \frac{37,08}{0,17264025} = 214,782 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}, \text{ maka dengan pengerjaan yang}$$

sama kita mendapat kan hasil kekerasan dari kelima titik pengujian dan mendapatkan kekerasan spesimen darirata-rata kelima titik tersebut sejumlah 220, 742 VHN.

4. Quenching Menggunakan Larutan Garam

Tabel 4. 4 Hasil Penelitian *Quenching* Menggunakan Larutan Garam

Titik	d1	d2	d rata-rata	VHN	VHN rata-rata
1	0,387	0,39	0,3885	245,673	243,946
2	0,39	0,395	0,3925	240,691	
3	0,392	0,393	0,3925	240,691	
4	0,389	0,392	0,3905	243,163	
5	0,385	0,386	0,3855	249,512	

Pada tabel 4.4 peneliti mendapatkan hasil dari *quenching* menggunakan media larutan garam dimana menggunakan rumus $VHN = 1,854 \frac{HRC}{d^2}$ untuk mendapatkan kekerasannya, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$VHN = 1,854 \frac{20}{(0,3885)^2} = \frac{37,08}{0,15093225} = 245,673 \frac{HRC}{d^2},$$

maka dengan pengerjaan yang sama kita mendapat kan hasil kekerasan dari kelima titik pengujian dan mendapatkan kekerasan spesimen dari rata-rata kelima titik tersebut sejumlah 243, 946 VHN.

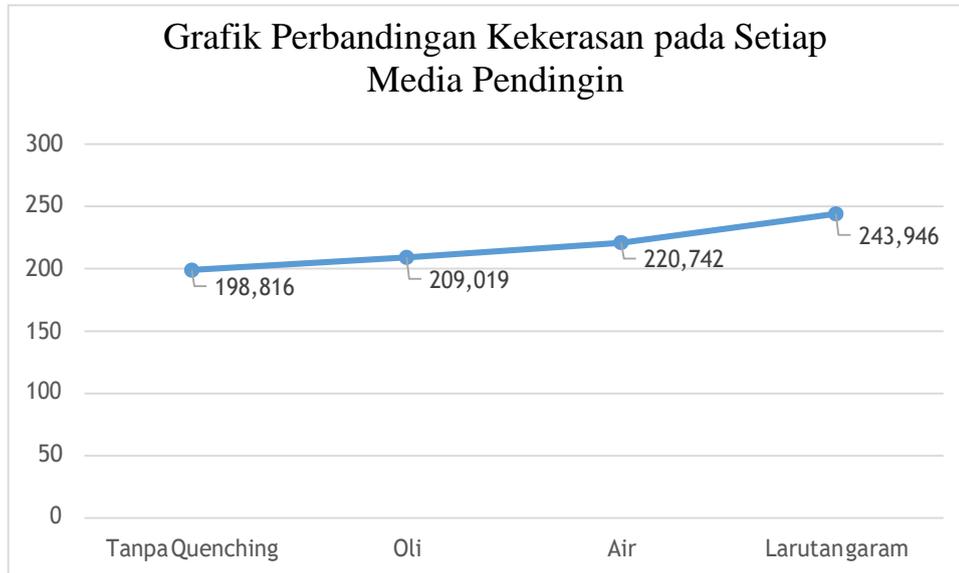
5. Hasil Dari Seluruh Pengujian

Hasil dari penelitian kekerasan yang dikakuan pada baja dengan tanpa pelakuan, quenching menggunakan air, oli dan larutan garam akan dirangkum pada tabel dibawah ini dan perbandingan setiap kekerasan setiap perlakuan pada spesimen menggunakan grafik.

Tabel 4. 5 Hasil Dari Seluruh Spesimen

No	Tanpa <i>Quenching</i>	Media <i>Quenching</i>		
		Oli	Air	Larutan garam
1	199,611	208,711	214,782	245,673
2	194,613	208,711	224,951	240,691
3	195,957	206,257	224,398	240,691
4	202,893	211,714	221,663	243,163
5	201,008	209,704	217,917	249,512
Rata- rata	198,816	209,019	220,742	243,946

Dari tabel 4.5 dapat dilihat kekerasan dari setiap spesimen dan mengetahui nilai baja yang terkeras dimana media dengan menggunakan larutan garam lebih keras dibanding media yang lainnya. Dibawah ini dapat dilihat grafik perbandingan setiap media pendingin pada spesimen.



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Kekerasan Setiap Spesimen

Dari grafik diatas dapat dilihat perbandingan setiap spesimen dimana kekerasan dari tanpa perlakuan lebih rendah dari spesimen yang di quenching. Spesimen menggunakan media pendingin larutan garam lebih keras dari yang lainnya diikuti menggunakan media pendingin air dan yang terakhir menggunakan media pendingin oli.

6. Presentasi Nilai Kekerasan Baja

Dalam hal ini dapat di ukurnilai persentasi kenaikan kekerasan dari spesimen tanpa perlakuan dengan spesimen menggunakan proses quenching yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Presentasi Kenaikan Kekerasan

	Media <i>quenching</i>		
	Oli	Air	Larutan garam
Kekerasan tanpa perlakuan (VHN)	198,861	198,861	198,861
Kekerasan setelah perlakuan (VHN)	209,019	220,742	234,946
Presentasi kenaikan kekerasan (%)	5,10	11	22,67

Untuk hasil perkalian dalam mendapatkan presentasi kenaikan dapat dilihat pada lampiran 3 halaman 44.

4.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian pada baja assab 8407_2M tanpa perlakuan maupun yang sudah di *quenching* dilakukan hingga 5 kali pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* pada tiap spesimen untuk mendapatkan nilai rata-rata kekerasan spesimen dapat kita lihat pada gambar 4.8. Pada baja assab 8407_2M yang belum di *quenching* didapatkan hasil perhitungan dimana rata-rata kekerasannya lebih kecil dibandingkan spesimen yang sudah diberi perlakuan panas dan juga didinginkan secara cepat menggunakan media oli, air, dan larutan garam.



Gambar 4. 10 spesimen yang telah diukur kekerasannya dilakukan penekanan sebanyak 5 titik.

Untuk menambah kekerasan pada spesimen baja karbon menengah tipe assab 8407_2M, diberikan perlakuan panas dengan metode di quenching dengan cara memasukkan spesimen kedalam tungku pemanas hingga mencapai suhu 800°C - 820°C kemudian di *quenching* menggunakan media air, oli, dan larutan ~~gan~~ maka didapatkan kekerasan spesimen menggunakan media air sebesar $220,742\text{ kg/mm}^2$, media oli sebesar $209,019\text{ kg/mm}^2$ dan yang terakhir menggunakan media larutan garam sebesar $243,946\text{ kg/mm}^2$. Setelah hasil kekerasan didapatkan maka hasil dari persentase kenaikan kekerasan menggunakan media oli sebesar 5,10%, menggunakan media air sebesar 11% dan menggunakan media larutan garam sebesar 22,75 %. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen yang sudah mengalami perlakuan menyebabkan kekerasan spesimen bertambah.

Hasil kekerasan ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor yang memberikan pengaruh yang besar terhadap hasil kekerasan adalah viskositas (kekentalan) dan densitas (massa jenis) dari media pendingin yang digunakan. Viskositas adalah tingkat kekentalan yang dimiliki suatu fluida, dimana fluida yang memiliki nilai viskositas yang semakin tinggi, maka akan semakin lambat laju pendinginannya. Misalnya pada media fluida oli atau air garam. Air garam memiliki tingkat viskositas yang lebih rendah, namun memiliki massa jenis yang lebih tinggi sehingga laju pendinginannya lebih cepat dibandingkan oli yang memiliki tingkat

viskositas yang tinggi. Hal tersebut membuat panas sulit menguap dengan cepat sehingga laju pendinginan pada media oli lebih lambat.

Densitas atau yang disebut juga dengan massa jenis merupakan perbandingan massa dengan volume yang dimiliki suatu media pendingin (fluida). Media pendingin yang memiliki nilai densitas yang tinggi, maka semakin cepat pula laju pendinginannya.

Nilai viskositas dan densitas dari media pendingin yang digunakan disajikan sebagai berikut (Streeter, 1992):

1. Air Garam ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,01 \text{ Pa.s}$)

Air garam memiliki nilai viskositas yang rendah sehingga laju pendinginannya cepat serta memiliki massa jenis yang juga lebih besar dibandingkan dengan media pendingin lain seperti air, solar, oli dan udara. Hal tersebut membuat laju pendinginan dengan air garam semakin meningkat pula.

2. Air ($\rho = 998 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,01 \text{ Pa.s}$)

Air memiliki massa jenis yang besar tetapi masih lebih kecil dari air garam. Nilai viskositas yang rendah, sama dengan air garam, namun laju pendinginannya lebih lambat dari air garam.

3. Oli ($\rho = 981 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 4,02 \text{ Pa.s}$)

Media oli memiliki viskositas atau kekentalan yang tinggi dibandingkan media pendingin lainnya dengan massa jenis yang lebih rendah sehingga laju pendinginannya lebih lambat.

Dalam penyelesaian skripsi ini peneliti melakukan beberapa kali bimbingan kepada Bapak Drs. H. Darlius, M.M., M.Pd selaku pembimbing 1 dan Bapak Drs. Harlin, M.Pd selaku pembimbing 2 hingga skripsi ini diselesaikan oleh peneliti dan kartu bimbingan skripsi dapat dilihat pada lampiran halaman 48.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian di atas maka dapat disimpulkan, bahwa pengaruh kekerasan pada baja assab 8407_2M dalam proses *heat treatment* kemudian di *quenching* menggunakan media air, oli, dan larutan garam dengan nilai VHN didapatkan kekerasan awal baja sebesar 198,816 kg/mm² dan setelah di quenching didapatkan nilai baja yang paling keras menggunakan larutan garam yaitu sebesar 243,946 kg/mm² dan diikuti menggunakan media air sebesar 220,742 kg/mm² dan pengaruh kekerasan yang paling kecil menggunakan media pendingin oli yaitu sebesar 209,019 kg/mm². Dan presentasi kenaikan kekerasan dari baja assab 8407_2M yaitu oli sebesar 5,10%, media air sebesar 11% dan media larutan garam sebesar 22,75 %. Dari setiap kekerasan pada media quenching diatas didapatkan bahwa menggunakan media pendingin larutan garam yang paling baik dari ketiga media pendingin tersebut sehingga baja ini akan lebih baik bila digunakan untuk bahan membuat roda gigi, roda kereta api (*wheels*) dan roda penggerak, poros engkol.

5.2 Saran

1. Media pendingin yang digunakan hendaknya lebih diperbanyak lagi supaya variasi kekerasan dapat diketahui lebih banyak lagi supaya dapat diketahui media pendingin yang paling bagus untuk kekerasan pada baja.
2. Pada penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan peralatan yang sesuai dengan standar guna mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R., Murdjani & Hendrawan, A. (2014). Pengaruh perbedaan media pendingin terhadap strukturmikro dan kekerasan pegas daun dalam proses hardening. *Jurnal Poros Teknik*. 6(2): 88-95.
- Hadi, S. (2013). *Teknologi Bahan*. Bandung : CV Angkasa.
- Haryadi, G. D. (2006). Pengaruh suhu tempering terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja k-460. *Rotasi*. 8(2): 1-8.
- Jalil, S. A., Zulkifli & Rahayu, T. (2017). Analisa kekuatan impak pada penyambungan pengelasan smaw material assab 705 dengan variasi arus pengelasan . *Jurnal Polimesin*. 15(2): 58-63.
- Masyrukan. (2006). Penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah akibat pengaruh proses pengarbonan dari arang kayu jati. *Media Mesin*. 7(1) : 40-46.
- Mersilia, A. (2016). Pengaruh *heat treatment* dengan variasi media *quenching* air garam dan oli terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja pegas daun aisi 6135. *Skripsi*. Lampung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
- Noviadam, M. R. & Sakti, A. M., (2016). Analisis laju korosi erosi pada baja ST60 dalam berbagai medium air laut. *JTM*. 4(3) : 193-202
- Nukman. (2013). *Petunjuk Praktikum Material Teknik*. Indralaya: Universitas Sriwijaya.
- Purboputro, I. P., (2006). Pengaruh penahanan terhadap sifat fisis dan mekanis pada proses pengarbonan padat baja *mild steel*. *Media Mesin*. 7(1) :9-16
- Pramono, A. (2011). Karakterisrik mekanik proses hardening baja aisi 1045 media quenching untuk aplikasi sprochet rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra*. 5(1): (32-38).
- Saputra, R. & Tyastomo, E. (2016). Perbandingan kekerasan dan struktur mikro pegas daun yang mengalami proses heat treatment. *Bina Teknika*. 12(2): 185-193.
- Sugiarto, T., Zulhanif & Sugiyanto. (2013). Analisis uji ketahanan lelah baja karbon sedang AISI 1045 dengan *heat treatment (Ouenching)* dengan menggunakan alat *rotary bending*. *Jurnal Fema*. 1(3) : 85-92
- Susanto, E. E. (2008). Analisis kerusakan rol pada pengerolan panas *cooper rod* . *Jurnal Flywheel*. 1(1) : 19-26.

- Susanto, E. E. (2008). Kegagalan komponen dies pada proses *heat treatment*. *Jurnal flywheel*. 1(2) : 1-7
- Suwardi & Daryanto. (2018). *Teknik Fabrikasi Pengerjaan Logam*. Yogyakarta : Penerbit Gava Media.
- Syahri, B., Putra, Z. A. & Helmi, N. (2017). Analisis kekerasan baja assab 705 yang diberi perlakuan panas *hardening* dan media pendingin. *Invotek*. 17(1): 17-26.
- Trihutomo, P. (2015). Analisa kekerasan pada pisau berbahan baja karbon menengah hasil proses *Hardening* dengan media pendingin yang berbeda. *Jurnal Teknik Mesin*. 23(1): 28-34