

**ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN
TERHADAP KEKERASAN BAJA S45C PADA PROSES
*HARDENING-TEMPERING***

*ANALYSIS OF COOLING MEDIA EFFECTS ON STEEL S45C HARDNESS IN
THE PROCESS HARDENING-TEMPERING*

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin

oleh :

Alfian Siswara Arlingga

NIM : 1041732



**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI BANGKA
BELITUNG**

2021




**ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN
TERHADAP KEKERASAN BAJA S45C PADA PROSES
*HARDENING-TEMPERING***

Penulis :

Alfian Siswara Arlingga

NIM : 1041732

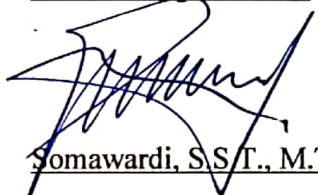
Penguji :

1. Ketua : Somawardi, S.S.T., M.T 
2. Anggota : Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng 
3. Anggota : Shanty Dwi Krishnaningsih, S.S., M.Hum 

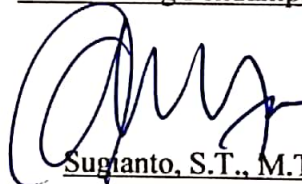
Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 24 Februari 2021

Dan disahkan sesuai dengan ketentuan


Pembimbing Utama,


Somawardi, S.S.T., M.T
NIDN : 0221047502

Pembimbing Pendamping,


Sugianto, S.T., M.T
NIDN : 0226077501

Ketua Jurusan,


Pristiansyah, S.S.T., M.Eng
NIDN : 0024018802

ABSTRAK

Baja secara umum sangatlah sering digunakan dalam berbagai kegiatan industri baik dalam pembuatan komponen mesin, proses produksi, peralatan produksi. Baja mempunyai ketahanan aus dan gesekan yang kurang baik, oleh karena itu perlu adanya perlakuan khusus untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik permukaan material. Dalam penelitian ini dilakukan perlakuan panas *hardening-tempering* untuk memperoleh sifat tahan aus dan kekerasan yang tinggi, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Dengan menggunakan bahan S45C kekerasan yang dicapai tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, dan laju pendingin yang dilakukan pada perlakuan panas.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, berupa perlakuan panas *hardening* 930°C dengan variasi media pendingin air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air dan variasi pada suhu *tempering* 200°C, 420°C, dan 600°C, benda uji berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan panjang 20 mm, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan yang optimum dari spesimen baja S45C akibat dari proses perlakuan panas *hardening-tempering*.

Dari hasil penelitian terdapat pengaruh *hardening* 930°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat pada media pendingin air kelapa dengan tingkat kekerasan 53.5 HRC. Pada pengaruh *tempering* 200°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat dari pengaruh media pendingin air mineral dengan tingkat kekerasan 50.7 HRC, sedangkan pengaruh *tempering* 420°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat dari pengaruh media pendingin air mineral dengan tingkat kekerasan 41.8 HRC, dan untuk pengaruh *tempering* 600°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat dari pengaruh media pendingin air kelapa dengan tingkat kekerasan 35.93 HRC.

Kata Kunci : *hardening*, *tempering*, baja S45C, kekerasan

ABSTRACT

Steel in general is very often used in the various industrial activities, both in the manufacture of the machine components, production processes, and production equipments. Steel has a poor wear and friction resistance, therefore it is necessary to have special treatment to improve the mechanical properties of the material surface. In this study, the heat treatment was carried out hardening-tempering to obtain wear-resistant properties and high hardness, followed by a cooling process. By using S45C material, the hardness achieved depends on the heating temperature, holding time, and the rate of the coolant being treated in the heat treatment.

This study used an experimental method, in the form of the heat treatment hardening 930 °C with the variations in the cooling media of the coconut water, table salt water, mineral waterwater, coolant radiator, and dromus waterand variations intemperatures of tempering 200°C, 420°C, and 600°C, the specimens were cylindrical in diameter 25 mm and 20 mm in length, this study aims to determine the optimum hardness value of S45C steel specimens due to the heat treatment process hardening-tempering.

From the results of the study, there is the effect of hardening 930 there is the most optimal hardness value found in coconut water cooling media with the hardness level of 53.5 HRC. Under the influence of tempering 200°C there is the optimum hardness value found from the influence of mineral water cooling media with the hardness level of 50.7 HRC, while the influence of tempering 420°C there is the most optimal hardness value from the influence of mineral water cooling media with the hardness level of 41.8 HRC, and for tempering effect 600 there is the most optimal hardness value available from the influence of the coconut water cooling media with the hardness level of 35.93 HRC.

Keywords: *hardening, tempering, S45C steel, hardness*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan berkat kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan gelar sarjana terapan teknik mesin dan manufaktur.

Penulis menyadari dalam menyusun tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik dalam moral maupun materi. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini terutama kepada :

1. Kepada kedua orang tua yang selalu memberi dukungan baik moral maupun materi serta memberikan doa tiada hentinya kepada penulis.
2. Segenap keluarga dan teman-teman yang telah menyemangati dan membantu dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Somawardi, S.S.T., M.T selaku sebagai dosen pembimbing utama tugas akhir yang telah memberikan arahan serta tambahan ilmu dan solusi pada setiap permasalahan.
4. Bapak Sugianto, M.T selaku sebagai dosen pembimbing pendamping tugas akhir yang telah bersedia membimbing dan membantu memberikan arahan dalam ilmu serta solusi dalam menyusun tugas akhir ini.
5. Bapak Pristiansyah S,S,T.,MT selaku Kajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufakur Negeri Bangka Belitung.
7. Seluruh pegawai Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
8. Teman-teman tempat berbagi curhatan hati khususnya (Up_5_Ribu) dan teman-teman seperjuangan, teman-teman seangkatan terutama kelas D4 Teknik Mesin dan Manufaktur angkatan 2017 yang telah banyak membantu

dalam hal memberi solusi serta materi maupun penulisan tugas akhir dan memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Maka dari itu penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan yang membangun dari berbagai pihak dan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi segala pihak.

Sungailiat, Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR RUMUS	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Batasan Masalah	I-3
1.5 Sistematika Pelaporan	I-4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Baja (<i>Steel</i>)	II-1
2.1.1 Definisi Baja Karbon	II-1
2.1.2 Jenis Baja Karbon	II-1
2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja.....	II-2
2.1.4 Baja S45C	II-3
2.2 Proses Perlakuan Panas (<i>Heat treatment</i>).....	II-4
2.2.1 Perlakuan Panas	II-4
2.2.2 Mengetahui diagram Fasa Besi-Karbon	II-5
2.2.3 <i>Hardening</i>	II-7
2.2.4 <i>Tempering</i>	II-7
2.2.5 Penahanan Suhu (<i> Holding Time</i>).....	II-7
2.2.6 Pencelupan Cepat (<i>Quenching</i>)	II-8
2.2.7 Media Pendingin.....	II-9
2.3 Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-11
2.4 Desain Eksperimen	II-13
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Rancangan Penelitian	III-1
3.2 Studi Literatur	III-2
3.3 Mempersiapkan Alat dan Bahan Uji	III-2
3.3.1 Alat.....	III-2
3.3.2 Bahan	III-5
3.4 Proses Perlakuan Panas	III-7
3.5 Kekerasan <i>Rockwell</i>	III-10

3.6 Analisis Data	III-11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Proses Penelitian.....	IV-1
4.1.1 Pembuatan Spesimen	IV-2
4.1.2 Perlakuan Panas Proses <i>Hardening</i>	IV-2
4.1.3 Perlakuan Panas Proses <i>Tempering</i>	IV-5
4.1.4 Pengujian.....	IV-12
4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan	IV-16
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Unsur Kimia Baja S45C.....	II-4
Tabel 2.2	Fasa Yang Ada Pada Baja	II-5
Tabel 2.3	Jenis Baja dan Waktu Tahan Yang Dibutuhkan Pada Proses Perlakuan Panas.....	II-8
Tabel 2.4	Spesifikasi <i>Radiator Cooland</i>	II-10
Tabel 2.5	Komposisi dan Sifat Kimia <i>Dromus</i>	II-11
Tabel 2.6	Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-12
Tabel 3.1	Komposisi Baja S45C.....	III-5
Tabel 3.2	Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan <i>Hardening- Tempering</i>	III-10
Tabel 4.1	Komposisi Unsur Kimia Baja S45C	IV-1
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Kekerasan Pada Proses <i>Hardening- Tempering</i>	IV-17
Tabel 4.3	Hasil Rata-rata Kekerasan Pada Proses <i>Hardening- Tempering</i>	IV-17

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Fe-C.....	II-6
Gambar 2.2	Metode Pengujian Kekerasan dan Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-12
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	III-1
Gambar 3.2	Mesin Gergaji Potong DOALL Model C-916.....	III-2
Gambar 3.3	Kikir.....	III-2
Gambar 3.4	Jangka Sorong	III-3
Gambar 3.5	Tang.....	III-3
Gambar 3.6	Kawat.....	III-3
Gambar 3.7	<i>Stopwatch</i>	III-4
Gambar 3.8	Wadah Media Pendingin	III-4
Gambar 3.9	Gelas Ukur.....	III-4
Gambar 3.10	Tungku Pemanas	III-5
Gambar 3.11	Alat Penguji Kekerasan <i>Hardness Testing Machines</i> <i>Limited</i>	III-5
Gambar 3.12	Majun.....	III-6
Gambar 3.13	Ampelas	III-7
Gambar 3.14	Diagram Pemanasan <i>Hardening</i> dan <i>Quenching</i>	III-9
Gambar 3.15	Diagram Pemanasan <i>Tempering</i>	III-10
Gambar 3.16	Alat Ukur Kekerasan <i>Hardness Testing Machines</i> <i>Limited</i>	III-11
Gambar 3.17	Posisi Titik Pengukuran Kekerasan Permukaan.....	III-11
Gambar 4.1	a.)Sketsa Gambar Uji b.)Pemotongan Benda Uji c.)Benda Uji.....	IV-2
Gambar 4.2	Proses Pengikiran	IV-2
Gambar 4.3	Pembuatan Spesimen.....	IV-3
Gambar 4.4	Memasukan Benda Uji Spesimen.....	IV-4
Gambar 4.5	Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan <i>Hardening</i> Suhu 930°C	IV-4
Gambar 4.6	Mengangkat Benda Uji.....	IV-4
Gambar 4.7	Media Pendingin Air Kelapa, Air Garam Dapur, Air Mineral, Air <i>Radiator Coolant</i> dan <i>Dromus Air</i>	IV-5
Gambar 4.8	Proses Pengamplasan.....	IV-5
Gambar 4.9	Benda Uji Hasil Dari Proses <i>Hardening</i> Dengan Pendinginan Yang Berbeda	IV-6
Gambar 4.10	Memasukan Benda Uji	IV-6
Gambar 4.11	Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan <i>Tempering</i> suhu 200°C.....	IV-7
Gambar 4.12	Proses Pendinginan Pada Suhu Kamar.....	IV-7

Gambar 4.13	Proses Pengamplasan.....	IV-7
Gambar 4.14	Benda Uji Hasil Dari Proses <i>Hardening</i> Dengan Pendinginan Yang Berbeda	IV-8
Gambar 4.15	Memasukan Benda Uji	IV-8
Gambar 4.16	Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan <i>Tempering</i> suhu 420°C.....	IV-9
Gambar 4.17	Proses Pendinginan Pada Suhu Kamar.....	IV-9
Gambar 4.18	Proses Pengamplasan.....	IV-10
Gambar 4.19	Benda Uji Hasil Dari Proses <i>Hardening</i> Dengan Pendinginan Yang Berbeda	IV-10
Gambar 4.20	Memasukan Benda Uji	IV-11
Gambar 4.21	Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan <i>Tempering</i> suhu 420°C.....	IV-11
Gambar 4.22	Proses Pendinginan Pada Suhu Kamar.....	IV-11
Gambar 4.23	Proses Pengamplasan.....	IV-12
Gambar 4.24	Benda Uji Hasil Dari Proses <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i>	IV-12
Gambar 4.25	Mengatur Beban Alat Uji	IV-12
Gambar 4.26	Memasang Indentor	IV-13
Gambar 4.27	Pengujian Benda Uji.....	IV-13
Gambar 4.28	Proses Pengujian <i>Hardening</i> dengan pendinginan berbeda	IV-13
Gambar 4.29	Proses Pengujian <i>Tempering</i> 200°C Dengan Benda Uji Hasil Dari Pendinginan Berbeda	IV-14
Gambar 4.30	Proses Pengujian <i>Tempering</i> 420°C Dengan Benda Uji Hasil Dari Pendinginan Berbeda	IV-15
Gambar 4.31	Proses Pengujian <i>Tempering</i> 420°C Dengan Benda Uji Hasil Dari Pendinginan Berbeda	IV-16
Gambar 4.32	Pengujian Benda Uji Tanpa Perlakuan.....	IV-16
Gambar 4.33	Grafik Nilai Uji Kekerasan Setelah Proses <i>Hardening</i> - <i>Tempering</i>	IV-18

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Waktu Penahan Perlakuan Panas Pada Baja.....	II-9
Rumus 4.1	Waktu Penahanan Proses <i>Hardening</i> 930°C.....	IV-3
Rumus 4.2	Waktu Penahanan Proses <i>Tempering</i> 200°C.....	IV-6
Rumus 4.3	Waktu Penahanan Proses <i>Tempering</i> 420°C.....	IV-8
Rumus 4.4	Waktu Penahanan Proses <i>Tempering</i> 600°C.....	IV-10

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era industri saat ini baja secara umum sangatlah sering digunakan dalam berbagai kegiatan industri baik dalam pembuatan komponen mesin, proses produksi peralatan produksi. Baja mempunyai ketahanan aus dan gesekan yang kurang baik, oleh karena itu perlu adanya perlakuan khusus untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik permukaan material terutama yang berkaitan dengan ketahanan aus dan gesekan yaitu kekerasan permukaan material. Sebagai salah satu contoh adalah baja yang digunakan dalam poros roda traktor tangan yang memerlukan proses *heat treatment* agar poros tersebut lebih kuat dan tahan lebih lama pada usia pakai.

Peningkatan kekerasan baja biasanya menggunakan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Menurut Amstead (et al., 1993) perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan baja dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis baja tersebut. Baja dapat dikeraskan hingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakan untuk mempermudah permesinan lebih lanjut.

Menurut Permana (et al., 2020) proses *hardening* berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan. Beberapa kasus, proses *hardening* banyak dilakukan pada material baja. Material baja memiliki sifat *hardenability* dengan adanya sifat ini pada material baja dapat dikeraskan dengan pembentukan *martensite*.

Berdasarkan pendapat Permana (et al., 2020) dapat disimpulkan bahwa proses *hardening* pada baja karbon sedang dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih kuat dari pada sebelumnya, karena perubahan fasa pada baja tersebut. Sebagai contoh baja S45C perubahan fasa *austenite* menjadi fasa *martensite*, dimana fasa *austenite* ini fasa yang tidak stabil pada suatu baja dan perlu dilakukan perlakuan lain untuk mendapatkan sifat mekanik baja yang lebih baik, sedangkan fasa *martensite* adalah fasa yang terbentuk dari pendinginan cepat dan menghasilkan

sifat yang sangat keras dan getas pada baja, biasanya pada tahap pemanasan ini baja tidak bisa sepenuhnya digunakan.

Menurut Purnomo (2017) baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, setelah melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Faktor yang mempengaruhi kekerasan baja pada proses *hardening* dan *tempering* adalah temperatur, *holding time* (waktu penahanan) dan laju pendinginan. Laju pendinginan ini dihasilkan dari proses pendinginan pada media pendingin secara cepat atau metode *quenching*. Media pendingin yang digunakan dalam proses *quenching* antara lain air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air akan memiliki nilai kekerasan yang berbeda karena disebabkan oleh viskositas (kekentalan), densitas (massa jenis) dan temperatur yang berbeda.

Salah satu penggunaan baja dalam kegiatan produksi adalah pembuatan poros roda traktor tangan yang menggunakan baja paduan menengah. Baja S45C adalah salah satu jenis baja yang digunakan sebagai bahan pembuatan poros roda traktor tangan.

Beberapa penelitian sudah pernah dilakukan mengenai baja S45C, sebagai contoh penelitian tentang “Pengaruh *Temperature* Dan *Holding Time* Pada Proses *Hardening* Dengan Media Pendingin Air Kelapa Terhadap Kekerasan Baja Jis S45C” (Hawari, et al., 2020) dan hasil dari penelitian tersebut terdapat nilai kekerasan rata-rata 18,67 HRC pada suhu *hardening* 780°C dengan pendinginan cepat air kelapa dan terdapat nilai kekerasan rata-rata 45,43 pada suhu *hardening* 820°C dengan pendinginan cepat air kelapa.

Penelitian lainnya telah dilakukan penelitian tentang Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Laju Korosi Pada *Hardening* Baja Karbon Sedang” (Matien, 2016) dan pada proses *hardening* dilakukan pada suhu 840°C, dilanjutkan proses pencelupan cepat air kelapa memiliki rata-rata nilai kekerasan paling tinggi sebesar 35,7 HRC, *radiator coolant* memiliki rata-

rata nilai kekerasan sebesar 26,3 HRC, *dromus* air memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 9,2 HRC.

Penelitian selanjutnya oleh (Permana, et al., 2020) “Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin pada Proses *Heattreatment* Metode *Hardening-Tempering* Material Baja S45C terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro” (Permana, et al., 2020) Proses *Hardening* dilakukan pada temperatur 865°C dengan rata-rata nilai kekerasan air kelapa 18,2 HRC, air garam 26,5 HRC, *radiator coolant* 21,3 HRC.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas terdapat hasil penelitian penggunaan media pendingin air kelapa yang bervariasi. Pada penelitian (Matien, 2016) air kelapa memiliki nilai yang paling tinggi terhadap *radiator coolant* dan *dromus oil* dan air pada temperatur 840°C, sedangkan pada penelitian (Permana, et al., 2020) air kelapa memiliki nilai yang paling rendah terhadap air garam dan *radiator coolant* pada temperatur 865°C.

Dari penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan nilai kekerasan pada setiap perlakuan panas melalui proses pemanasan *hardening* dan *tempering* dengan beberapa macam media pendingin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang perlu dikaji adalah berapa nilai kekerasan permukaan yang optimum terhadap kekerasan dari spesimen baja S45C setelah proses perlakuan panas *hardening-tempering* dengan media pendingin cepat yang digunakan yaitu air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan yang optimum dari spesimen baja S45C akibat dari proses perlakuan panas *hardening-tempering* dengan dengan media pendingin cepat yang digunakan yaitu air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air .

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini difokuskan pada pengujian kekerasan bagi baja S45C.
2. Suhu pemanasan *hardening* 930°C dengan waktu penahan 35 menit.

3. Media pendingin yang digunakan adalah air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air.
4. Suhu pemanasan *tempering* dengan suhu yang bervariasi yaitu 200°C, 420°C, dan 600°C dengan waktu penahanan 35 menit dan didinginkan dalam suhu kamar.

1.5 Sistematika Pelaporan

Laporan penulisan tugas akhir ini menggunakan sistematika pelaporan yang dibekukan oleh Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Terdiri atas latar belakang masalah, perumusan masalah penelitian, hipotesis (jika ada), ruang lingkup, batasan masalah, dan sistematika pelaporan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA / LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka (jika ada) dan landasan teori.

BAB III CARA / METODE PENYELESAIAN

Pada bab ini terdapat uraian rinci tentang langkah-langkah dan metodologi penyelesaian masalah, bahan atau materi TA, alat yang digunakan, metode pengambilan data atau metode analisa hasil, dan masalah yang dihadapi disertai dengan cara penyelesaiannya.

BAB IV PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan proses, hasil dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memberikan gambaran akhir dari penarikan kesimpulan untuk membuktikan hipotesis dan keberhasilan menjawab permasalahan yang ditemui.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir.

LAMPIRAN

Terdiri dari data-data dan gambar yang mendukung atau hal-hal yang dianggap perlu.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Baja (*Steel*)

2.1.1 Definisi Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas kadar unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan kadar unsur dasar dan karbon sebagai kadar unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan penambahan kandungan kadar unsur kimia lain seperti *sulfur* (S), *fosfor* (P), *silikon* (Si), *mangan* (Mn) dan kadar unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan kadar unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai kadar unsur penguat dalam struktur baja. Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya (Istiqlaliyah, et al., 2016).

2.1.2 Jenis Baja Karbon

1. Baja Lunak

Komposisi campuran besi dan karbon, kadar karbon 0,1%-0,3%, mempunyai sifat dapat ditempa dan liat. Digunakan untuk membuat sekrup, mur, pipa, dan keperluan umum lainnya dalam pembangunan (Purnomo, 2017).

2. Baja karbon sedang

Komposisi campuran besi dan karbon, kadar karbon 0,4%-0,6%. Sifat lebih kenyal dari pada yang keras. Digunakan untuk membuat benda kerja tempa berat, rel baja, dan poros (Purnomo, 2017).

3. Baja karbon tinggi

Komposisi campuran besi dan karbon, kadar karbon 0,7%-1,5%. Sifat dapat ditempa, dapat disepuh keras, dan dimudahkan. Digunakan untuk membuat kikir, gergaji, pahat, stempel, tap, dan alat mesin bubut (Purnomo, 2017)

4. Baja Karbon Tinggi dengan Campuran

Komposisi baja karbon tinggi ditambah *nikel* atau *kobalt*, *khrom*, atau *tungsten*. Sifat rapuh, tahan suhu tinggi tanpa kehilangan kekerasan, dapat disepuh keras, dan dimudakan. Digunakan untuk membuat mesin bubut dan alat-alat mesin (Purnomo, 2017).

2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja

Unsur campuran adalah unsur yang sangat penting dalam pembuatan baja, jumlah *persentase* dan bentuknya membawa pengaruh yang amat besar terhadap sifatnya. Menurut Syafi (et al., 2016) pengaruh unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut:

1. Unsur Karbon (C)

Unsur ini menaikkan besaran kekuatan bengkok, tekan dan takik, tetapi menurunkan keliatan dan kemampuan tarik, kemampuan tempa dan las, sifat penghantar listrik dan panas. Penurunan keliatan akibat bertambahnya kadar C yang diikuti dengan naiknya kekerasan dapat diikuti dengan cara perlakuan panas.

2. Mangan (Mn)

Unsur ini dapat menaikkan kekuatan dengan menurunkan kecepatan pendinginan kritis yang diperlukan untuk memperoleh struktur *martensite*. Dalam penambahan unsur *mangan* didalam baja paduan menambah kekuatan dan ketahanan panas baja paduan itu serta penampilan yang lebih bersih dan berkilat.

3. *Nikel* (Ni)

Unsur ini dapat mempertinggi kekuatan dan regangannya sehingga baja paduan ini menjadi liat dan tahan tarikan serta tahan karat atau korosi. Oleh karena itu, baja paduan ini biasa digunakan untuk membuat roda gigi, sudut-sudut turbin, bagian-bagian mobil dan sebagainya.

4. *Kromium* (Cr)

Unsur ini dapat memberikan kekerasan dan kekuatan baja meningkat serta tahan aus dan karat. Pada penambahan unsur *kromium* biasanya diikuti dengan penambahan *nikel*. Biasanya baja paduan ini digunakan untuk bahan roda gigi dan poros.

5. *Molibdenum* (Mo)

Unsur ini akan memperbaiki baja karbon menjadi tahan terhadap suhu yang tinggi, liat, dan kuat. Untuk baja-baja perkakas Mo dapat menggantikan *Wolfram* (W). Baja paduan ini digunakan sebagai bahan untuk membuat alat-alat potong, misalnya pahat.

6. *Wolfram* (W)

Penambahan unsur ini memberikan pengaruh yang sama seperti penambahan *molibdenum* dan biasanya juga dicampur dengan unsur Ni dan Cr.

7. *Silicon* (Si)

Unsur ini akan menurunkan kemampuan perubahan bentuk dingin oleh karena itu hanya diijinkan 0,2% Si. Si digunakan untuk meningkatkan sifat tahan listrik dan digunakan di lempeng dinamo.

8. *Sulfur* (S)

Unsur ini akan meningkatkan kemampuan diregangkan karena itu digunakan sampai 0,3% didalam baja otomatis (*free cutting steel*).

9. *Vanadium* (V)

Penambahan unsur ini akan memperbaiki struktur kristal baja menjadi halus dan tahan aus terlebih bila dicampur dengan *kromium*. Baja paduan ini banyak digunakan untuk membuat batang penggerak, roda gigi, dan sebagainya.

10. *Kobalt* (Co)

Penambahan unsur ini akan memperbaiki sifat kekerasan baja meningkat dan tahan aus serta tetap keras pada suhu yang tinggi. Baja paduan ini banyak digunakan untuk konstruksi pesawat terbang atau konstruksi yang harus tahan panas dan tahan aus.

2.1.4 Baja S45C

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja JIS S45C. JIS S45C adalah baja karbon yang menggunakan standar JIS. JIS atau *Japan Industrial Standard* yaitu standar kegiatan industri di Jepang. Baja JIS S45C merupakan baja karbon yang termasuk kedalam baja karbon sedang. S45C berarti baja tersebut berkode S yang diikuti oleh angka unsur kimianya, 45C menunjukkan bahwa baja tersebut memiliki kandungan $\pm 0,45\%$ unsur karbon didalamnya. Dengan

kandungan unsur karbon sebesar $\pm 0,45\%$ memungkinkan baja S45C dapat dilakukan proses pengerasan dengan perlakuan panas (*Heat treatment*) yang sesuai (Ariawan, 2019).

Unsur-unsur dan data mekanik yang terdapat dalam baja karbon S45C terdapat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Unsur Kimia Baja S45C

No	Komposisi	
	<i>Name</i>	<i>Proportion</i>
1	<i>Carbon (C)</i>	0,46%
2	<i>Silicon (Si)</i>	0,23%
3	<i>Mangan (Mn)</i>	0,72%
4	<i>Fosfor (P)</i>	0,010%
5	<i>Sulfur (S)</i>	0,010%
6	<i>Chromium (Cr)</i>	0,36%
7	<i>Nickel (Ni)</i>	0,10%
8	<i>Cupprum (Cu)</i>	0,02%.

2.2 Proses Perlakuan Panas (*Heat treatment*)

2.2.1 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat finis logam tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakkan untuk mempermudah permesinan lebih lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti dan ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis (Amstead, et al., 1993).

2.2.2 Mengetahui Diagram Fasa Besi-Karbon

Diagram Fe-Fe₃C yaitu diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dan kandungan karbon (%C) selama pemanasan lambat. Pada gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi baja. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3-1,5% Mn dan unsur pengotor lainnya seperti P, S, dsb. Karena unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa, maka diagram fasa tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut (Surdia, et al., 1999).

Dalam kondisi cair karbon dapat larut dalam besi. Dalam kondisi padat besi dan karbon dapat membentuk :

- Larutan padat (*solid solution*)
- Senyawa interstitial (*interstitial compound*)
- *Eutectic mixture* : campuran antara *austenite* (γ) dan *cementite* (Fe₃C)
- *Eutectoid mixture* : campuran antara *ferrite* (α) dan *cementite* (Fe₃C)
- *Grafit* : karbon bebas, tidak membentuk larutan padat ataupun tidak berikatan membentuk senyawa dengan Fe (Purnomo, 2017).

Ada beberapa fasa yang terkandung pada baja dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Fasa Yang Ada Pada Baja (Surdia, et al., 1999)

	Fasa dan Simbol	Struktur	Pengelasan
Menurut Kristal	<i>Austenite</i> (γ)	<i>fcc</i>	Paramagnetik dan stabil pada temperatur tinggi.
	<i>Ferrite</i> (α)	<i>bcc</i>	Stabil pada temperatur rendah, kelarutan padat terbatas, dapat berada bersama Fe ₃ C (<i>simentite</i>) atau lainnya.
	<i>Bainite</i> (α)	<i>bcc</i>	<i>Austenite</i> metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadi hanya presipitasi Fe ₃ C, unsur paduan lainnya tetap larut.
	<i>Martensite</i> ($\acute{\alpha}$)	<i>bct</i>	Fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat.

Menurut Keadaan	<i>Perlite</i>	Lapisan <i>ferrite</i> dan Fe_3C .
	<i>Widmanstaetten</i>	γ dan α dalam orientasi pada persipitasi <i>ferrite</i> .
	<i>Dendrit</i>	Berbentuk cabang-cabang seperti pohon, struktur ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan.
	<i>Sorbit Trostit</i>	<i>Sorbit</i> adalah <i>perlite</i> halus dan <i>trostit</i> adalah <i>bainite</i> . Nama ini tidak banyak dipakai.

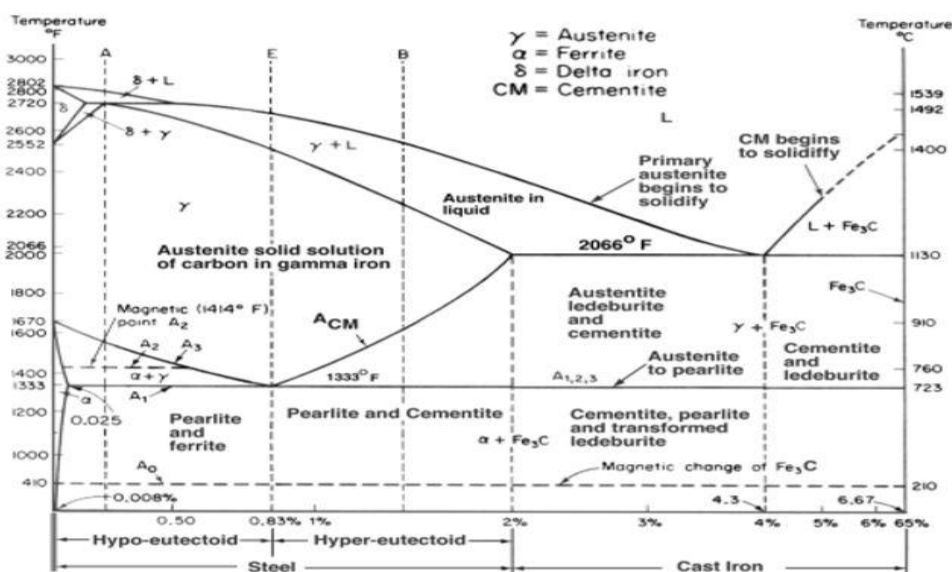
Catatan: *fcc*=face centered cubic

Bcc=body centered cubic

Bct=body centered tetragonal

Pada gambar 2.1 dibawah ini diagram Fe-C digunakan sebagai teori proses perlakuan panas untuk perubahan struktur pada besi dan baja. Dalam suatu proses perlakuan panas terdapat garis-garis penting dalam diagram Fe-C yaitu sebagai berikut.

- *Upper critical temperature* (temperatur kritis atas), A_3 : temperatur perubahan *allotropi*.
- *Lower critical temperature* (temperatur kritis bawah), A_1 : temperatur reaksi *eutectoid*.
- *Solvus line A_{cm}* : menunjukkan batas kelarutan karbon dalam *austenite*.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C (Purnomo, 2017)

2.2.3 *Hardening*

Proses *hardening* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam dengan cara dipanaskan kemudian didinginkan secara cepat. Tujuannya adalah untuk mendapatkan struktur *martensite* semakin banyak unsur karbon, maka struktur *martensite* yang terbentuk juga akan semakin banyak. Karena *martensite* terbentuk dari fase *austenite* yang didinginkan secara cepat (Ardiansyah, 2016).

2.2.4 *Tempering*

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Bila kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula, sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses *tempering* diawali dengan pemanasan kembali proses baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, dilanjutkan dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan *aneling* karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat (Amstead, et al., 1993). Ada tiga jenis *tempering*:

1. *Tempering* suhu rendah (150°C - 300 °C)

Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya (Purnomo, 2017).

2. *Tempering* suhu menengah (300°C - 550°C)

Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas (Purnomo, 2017)..

3. *Tempering* suhu tinggi (450°C - 650°C)

Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya (Purnomo, 2017).

2.2.5 Penahanan Suhu (*Holding time*)

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu material pada proses *hardening* dengan menahan temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogenya pada struktur *austenitenya* atau terjadi kelarutan karbida ke dalam *austenite* dan difusi karbon dan unsur paduannya (Khakim, 2020). Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Jenis Baja dan Waktu Tahan Yang Dibutuhkan Pada Proses Perlakuan Panas (Matien, 2016)

Jenis Baja	Waktu Tahan (Menit)
Baja karbon dan baja paduan rendah	5-15
Baja paduan menengah	15-25
<i> Low alloy tool steel </i>	10-30
<i> High alloy chrome steel </i>	10-60
<i> Hot-work tool steel </i>	15-30

Menurut (Matien, 2016) ketebalan benda uji sangat mempengaruhi pemberian waktu penahanan pada saat proses austenisasi. Secara matematis pemberian waktu penahanan terhadap ketebalan benda uji dapat ditulis dengan rumus :

$$T = 1,4 \times H \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan T = Waktu penahanan (menit)

H = Tebal benda kerja (mm)

Pada penelitian ini penulis menggunakan benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 \text{ mm} = 35 \text{ menit}$$

Jadi waktu penahan proses *hardening* dan *tempering* yang penulis gunakan adalah 35 menit.

2.2.6 Pencelupan Cepat (*Quenching*)

Quenching adalah salah satu proses perlakuan panas baja dengan cara pemanasan pada suhu tertentu berkisar bergantung pada kandungan karbon yang

dimiliki oleh baja itu sendiri, kemudian setelah mencapai suhu maksimal yang ditentukan ditahan selama beberapa saat, lalu di dinginkan secara cepat dengan media pendingin seperti air, oli, air garam, minyak maupun pendingin lainnya. *Quenching* itu sendiri merupakan suatu bagian dari proses *hardening*. *Quenching* dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dihasilkan juga tergantung pada kandungan karbon dan kekerasan yang terjadi tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, laju pendinginan yang dilakukan dan ketebalan sampel. Untuk memperoleh kekerasan yang baik (*martensite* yang keras) maka pada saat pemanasan harus dapat dicapai struktur *austenite*, karena hanya *austenite* yang dapat bertransformasi menjadi *martensite* (Prabowo, 2019).

2.2.7 Media Pendingin

Media pendingin yang dipakai dalam proses *hardening* mengakibatkan perubahan sifat fisis, sifat mekanis dan sifat kimia. Pada penelitian ini media pendingin *quenching* menggunakan air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air. Media pendingin ini dipilih karena memiliki kekentalan yang rendah sehingga menghasilkan laju pendinginan yang cepat, sehingga dengan laju pendinginan yang cepat menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi (Khakim, 2020)

1. Air kelapa

Air kelapa mengandung Fe (0.20), P (8.00), Ca (15.00), dan air (95.00) (dalam %) diharapkan dengan adanya kandungan mineral yang terdapat dalam komposisi kimia air kelapa dapat membantu meningkatkan kekerasan pada Baja JIS S45C (Hawari, et al., 2020). Air kelapa memiliki kandungan *elektrolit* lebih besar dari air putih biasa yang menyebabkan air tersebut sulit membeku atau mendidih (Permana, et al., 2020). Air kelapa dipilih sebagai media pendingin *hardening* dikarenakan bahwa air kelapa memiliki kelebihan laju pendinginan cepat dan laju korosi paling lambat (Matien, 2016). Komposisi air kelapa yaitu gula 2,6%, protein 0,55%, lemak 0,74%, mineral 0,46%, total padatan 4,7% (Khakim, 2020).

2. Air garam dapur

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 (Yusman, 2018). Air garam dipakai sebagai bahan pendingin disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Larutan garam mampu mengurangi pengaruh buruk proses pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam. Pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam dapat menyebabkan distorsi/perubahan bentuk dan retak (Ardiansyah, 2016).

3. Air mineral

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku $0^{\circ}C$ dan titik didih $100^{\circ}C$. Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak (Mersilia, 2016).

4. Air *radiator coolant*

Radiator coolant merupakan cairan *radiator* pada motor bakar yang berfungsi untuk menaikkan titik didih air *radiator* mesin dan menjaga suhu kerja mesin supaya tetap ideal serta menghindari mesin dari *overheating* dan karat. Pada penelitian ini digunakan *radiator coolant* sebagai media pencelupan karena *radiator coolant* mengandung *ethylene glycol* dan *silicate* yang berguna untuk menaikkan titik didih dan mencegah terjadinya korosi sehingga diharapkan dapat memberikan laju pendinginan yang cepat dibanding air dan menghambat laju korosi yang terjadi pada logam tersebut (Matien, 2016).

Tabel 2.4 Spesifikasi Radiator Cooland (Soebiyakto, 2012)

Merk	Prestone
Kandungan	<i>Ethylene Glycol, Silicate</i>
Komposisi	50 % air dan 50 % radiator cooland
Masa Pemakaian	20.0

5. *Dromus* air

Dromus air adalah minyak mineral hasil penyulingan dan aditif. Dalam pengerjaan pemésinan *dromus* air berperan melindungi logam dari karat. *Dromus* mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air:*dromus* 20 biasanya 20:1 sampai 40:1 dengan demikian memungkinkan dimanfaatkan sebagai pendinginan pada pengerasan baja (Matien, 2016).

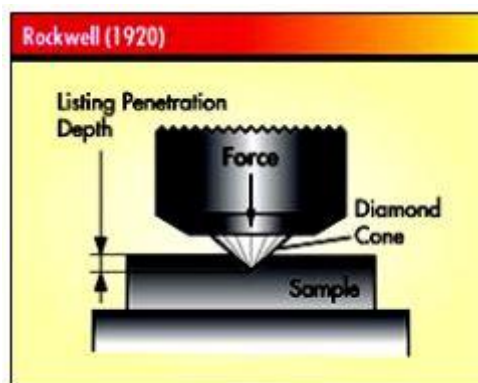
Tabel 2.5 Komposisi dan Sifat Kimia *Dromus* (Matien, 2016)

Komposisi		
Nama	Kadar	Sifat Kimia
<i>Sodium sulphonate</i>	1 – 4,9%	Titik didih awal : > 100°C
<i>Polyolefin ether</i>	1 – 3%	Titik didih dadakan : > 100°C
<i>Alkyl amide</i>	1 -3 %	Berat jenis : 930 Kg/m ³ at 15°C
<i>Long chain alkenyl amide borate</i>	1 – 2,4%	Kecepatan mengalir 400 mm ² /sec

2.3 Uji Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan *rockwell* merupakan salah satu pengujian kekerasan yang mulai banyak digunakan hal ini dikarenakan pengujian kekerasan *rockwell* yang sederhana, cepat, tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak. Pengujian kekerasan *rockwell* dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu indentor. Penekanan indentor ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), lalu

beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan (Purnomo, 2017)



Gambar 2.2 Metode Pengujian Kekerasan dan Skala Kekerasan *Rockwell* (Purnomo, 2017)

Dalam metode *rockwell* ini terdapat dua macam indenter yang ukurannya bervariasi, yaitu :

1. Kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai *rockwell cone*.
2. Bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai *rockwell ball*.

Pada penelitian ini digunakan metode *rockwell* dengan indenter kerucut intan dengan beban mayor 150 kg (HRC).

Metode *rockwell* banyak digunakan di Amerika Serikat, hal ini dikarenakan karena sifat dari metode *rockwell* yang memiliki sifat cepat, bebas dari kesalahan yang disebabkan oleh operator, dapat membedakan kekerasan yang kecil pada baja yang dilakukan proses pengerasan dan memiliki titik relative kecil sehingga tidak akan merusak logam (Yusman, 2018).

Tabel 2.6 Skala Kekerasan *Rockwell* (Yusman, 2018)

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Jenis Material Uji
		Awal	Utama	Jumlah		
A	<i>Diamond cone</i>	10	50	60	100	<i>Extremely hard materials, tugsen carbides dll</i>
B	<i>1/16" steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan,</i>

Tabel lanjut

C	<i>Diamond cone</i>	10	140	150	100	<i>perunggu dll Hardened steels, hardened and tempered alloys</i>
D	<i>Diamond cone</i>	10	90	100	100	<i>Annealed kuningan dan tembaga</i>
E	<i>1/8" steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Beryllium copper, phospho r bronze dll</i>
F	<i>1/16" steel ball</i>	10	50	60	130	<i>Aluminium sheet</i>
G	<i>1/16" steel ball</i>	10	140	150	130	<i>Cast iron, aluminium alloys</i>
H	<i>1/8" steel ball</i>	10	50	60	130	<i>Plastik dan soft metals seperti timah</i>
K	<i>1/8" steel ball</i>	10	140	150	130	<i>Sama dengan H scale</i>
L	<i>1/4" steel ball</i>	10	50	60	130	<i>Sama dengan H scale</i>
M	<i>1/4" steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Sama dengan H scale</i>
P	<i>1/4" steel ball</i>	10	140	150	130	<i>Sama dengan H scale</i>
R	<i>1/2" steel ball</i>	10	50	60	130	<i>Sama dengan H scale</i>
S	<i>1/2" steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Sama dengan H scale</i>
V	<i>1/2" steel ball</i>	10	140	150	130	<i>Sama dengan H scale</i>

2.4 Desain Eksperimen

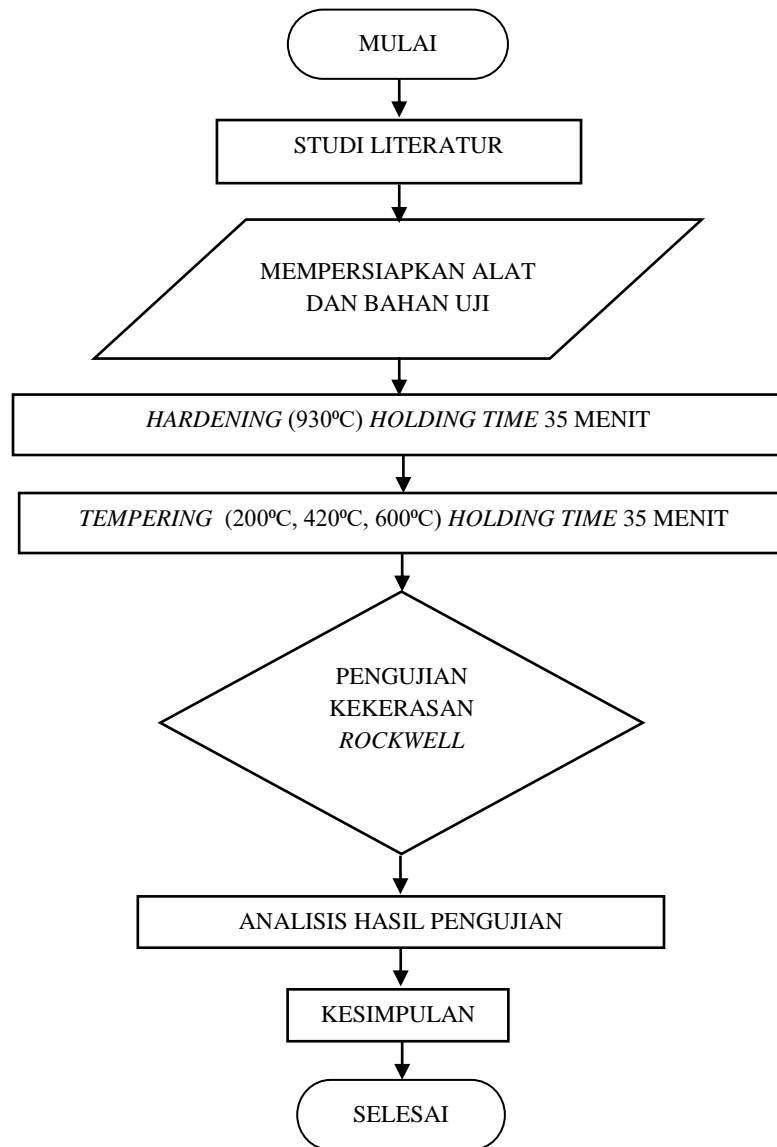
Desain eksperimen adalah serangkaian percobaan atau pengujian yang memiliki tujuan untuk melakukan perubahan pada variabel input sehingga dapat meneliti dan mengidentifikasi perubahan dari output. Desain eksperimen memiliki manfaat yaitu untuk mengelola dan menyusun serangkaian data secara sistematis, untuk menentukan atau mencari model matematik yang sesuai, untuk menduga akibat dari beberapa variabel secara simultan dan untuk dapat menentukan variabel yang signifikan dalam suatu penelitian/percobaan (Kertajaya, 2017).

Dalam melakukan desain eksperimen salah satu metode yang digunakan ialah rancangan acak lengkap (RAL) 1 faktor.

RAL adalah jenis rancangan percobaan yang paling sederhana dan paling mudah jika di bandingkan dengan jenis rancangan percobaan yang lain. RAL hanya bisa digunakan pada percobaan dengan jumlah perlakuan yang terbatas dan satuan percobaan harus homogen atau faktor luar yang dapat mempengaruhi percobaan harus dapat di kontrol. RAL merupakan salah satu model rancangan dalam rancangan percobaan. RAL digunakan bila unit percobaan homogen. Rancangan ini disebut rancangan acak lengkap, karena pengacakan perlakuan dilakukan pada seluruh unit percobaan. RAL digunakan bila faktor yang akan diteliti satu faktor atau lebih dari satu faktor (Persulesy, et al., 2016).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada metode literatur ini mengacu pada pencarian sumber tentang pada baja S45C, tentang kekerasan material, proses *hardening* dan *tempering*, dan pada media pendingin dari beberapa jurnal-jurnal penelitian, buku-buku dari perpustakaan dan internet.

3.3 Mempersiapkan Alat dan bahan Uji

3.3.1 Alat

- Mesin Gergaji Potong DOALL Model C-916
Digunakan untuk memotong benda uji.



Gambar 3.2 Mesin Gergaji Potong DOALL Model C-916

- Kikir
Digunakan untuk membuang sisi-sisi yang tajam pada benda uji.



Gambar 3.3 Kikir

- Jangka Sorong
Digunakan untuk mengukur benda uji.



Gambar 3.4 Jangka Sorong

- Tang
Digunakan untuk memotong kawat.



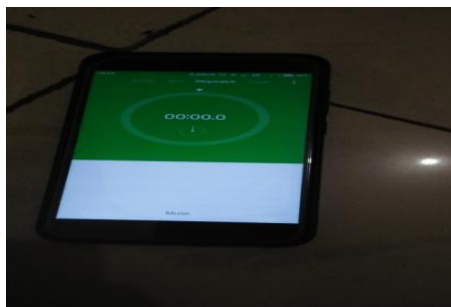
Gambar 3.5 Tang

- Kawat
Digunakan sebagai pengikat benda uji pada saat memulai perlakuan panas agar mudah untuk mengangkat benda uji pada tungku pemanas.



Gambar 3.6 Kawat

- *Stopwatch*
Digunakan untuk menghitung waktu *holding time* pada saat proses pemanasan benda uji *hardening* dan *tempering*.



Gambar 3.7 Stopwatch

- Wadah Media Pendingin

Digunakan untuk menampung media pendingin yang digunakan.



Gambar 3.8 Wadah Media Pendingin

- Gelas Ukur

Digunakan untuk mengukur penakaran media pendingin yang digunakan.



Gambar 3.9 Gelas Ukur

- Tungku Pemanas

Digunakan untuk memanaskan benda uji (proses *heat treatment*) pada proses *hardening* dan *tempering*.



Gambar 3.10 Tungku Pemanas

- Alat Penguji Kekerasan *Hardness Testing Machines Limited* Digunakan untuk mengukur kekerasan benda uji.

Gambar 3.11 Alat Penguji Kekerasan *Hardness Testing Machines Limited*

3.3.2 Bahan

- Baja S45C

Bahan uji yang digunakan baja S45C yaitu baja karbon menengah dengan unsur karbon :

Tabel 3.1 Komposisi Baja S45C

No	Komposisi	
	Name	Proportion
1	<i>Carbon (C)</i>	0,46%
2	<i>Silicon (Si)</i>	0,23%
3	<i>Mangan (Mn)</i>	0,72%
4	<i>Fosfor (P)</i>	0,010%
5	<i>Sulfur (S)</i>	0,010%
6	<i>Chromium (Cr)</i>	0,36%

Tabel lanjut

7	<i>Nickel (Ni)</i>	0,10%
8	<i>Cupprum (Cu)</i>	0,02%.

- Air Kelapa
Media pendingin yang digunakan yaitu air kelapa.
- Air Garam Dapur
Media pendingin yang digunakan yaitu air + garam dapur dengan kadar 15%.
- Air Mineral
Media pendingin yang digunakan yaitu air mineral.
- *Dromus Air*
Media pendingin yang digunakan yaitu *dromus* air.
- *Radiator Cooland*
Media pendingin yang digunakan yaitu *radiator cooland*.
- Majun (kain bekas)
Digunakan untuk mengelap benda uji setelah proses celup cepat.



Gambar 3.12 Majun

- Ampelas
Digunakan untuk memperhalus permukaan benda uji atau membuang bekas kerak hasil pemanasan benda uji yang akan di uji.



Gambar 3.13 Ampelas

- Spidol

Digunakan untuk menandai benda uji.

3.4 Proses Perlakuan Panas

Setelah melakukan persiapan benda uji maka sebagai langkah selanjutnya dilakukan perlakuan panas, perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan. Sebelum melakukan proses perlakuan panas peneliti harus mengetahui variabel penelitian dan metode pengumpulan data terlebih dahulu.

1. Variabel penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah proses *hardening* dengan temperatur 930°C dengan menggunakan media pendingin air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, *dromus* air.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu pada kekerasan permukaan pada baja S45C.

c. Variabel Kontrol

- Dimensi spesimen adalah $\varnothing = 25$ mm, P= 20 mm.
- *Holding time* pada proses *hardening* selama 35 menit menggunakan media pendingin celup cepat air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, *dromus* air.
- Suhu *tempering* yang digunakan adalah 200°C, 420°C, 600°C dengan *holding time* selama 35 menit menggunakan media pendingin suhu kamar.
- Beban pengujian kekerasan *rockwell* sama untuk setiap spesimen uji yaitu 150-kgf.

2. Metode Pengumpulan Data

a. Desain Eksperimen

Hasil observasi dan pengumpulan data dari beberapa sumber, maka dilakukan eksperimen perlakuan panas *hardening* dan *tempering* dengan pendingin air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, dan *dromus* air. Tujuannya untuk mengetahui besarnya pengaruh *hardening* terhadap sifat

kekerasan permukaan yang dihasilkan dan seberapa besar pengaruh *tempering* terhadap sifat kekerasan permukaan yang dihasilkan. Metode pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan melakukan proses pengujian langkah – langkahnya sebagai berikut :

- Persiapan alat dan bahan pengujian
- Pembuatan spesimen
- Proses *hardening*

Pada proses *hardening* temperatur yang digunakan harus diatas suhu *austenite* atau diatas suhu 723°C. Pada penelitian ini peneliti menggunakan suhu 930°C untuk mencapai suhu *austenite*. Pada gambar 3.14 dibawah ini sebelum mencapai suhu 930°C peneliti melakukan penahan suhu 600°C terlebih dahulu untuk menghindari terjadinya keretakan pada sampel akibat adanya *shock temperature*.

Pada penahanan waktu (*holding time*) peneliti menggunakan rumus :

$$T = 1,4 \times H$$

Dengan : T = waktu penahanan (menit)

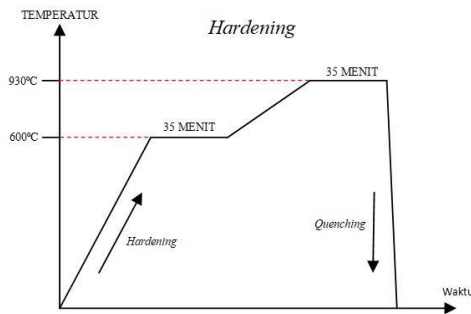
H = tebal benda kerja (mm)

Benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 = 35 \text{ menit}$$

Jadi peneliti menggunakan penahanan waktu 35 menit agar mendapatkan kekerasan yang maksimal dari suatu material pada proses *hardening* dengan menahan temperatur pengerasan dan memperoleh pemanasan yang homogen.

Untuk proses pendinginan benda uji yang telah dilakukan perlakuan panas *hardening* ini, akan dicelupkan ke media pendingin secara cepat agar permukaan benda uji menjadi keras maksimal. Untuk penggunaan media pendingin yaitu air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant*, *dromus* air.



Gambar 3.14 Diagram Pemanasan *Hardening* dan *Quenching*

- Proses *tempering*

Pada proses *tempering* ini dilakukan pada saat setelah hasil dari proses *hardening*, temperatur yang digunakan harus dibawah suhu 723°C. Pada penelitian ini peneliti menggunakan 3 variasi suhu *tempering* yaitu 200°C, 420°C, 600°C. Proses *tempering* ini berguna untuk mengurangi tegangan sisa akibat dari proses perlakuan panas *hardening*.

Pada penahanan waktu (*holding time*) peneliti menggunakan rumus :

$$T = 1,4 \times H$$

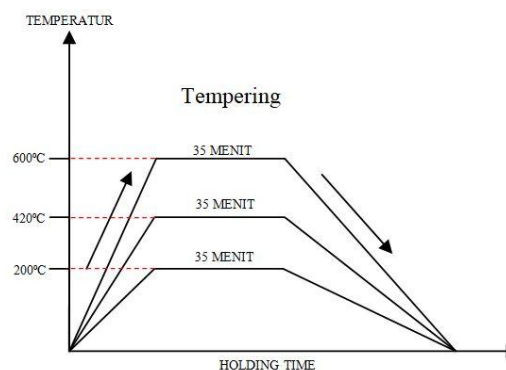
Dengan : T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

Benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 = 35 \text{ menit}$$

Jadi peneliti menggunakan penahanan waktu 35 menit agar memperoleh pemanasan yang homogen. Proses pendinginan pada 3 variasi pemanasan *tempering* ini yaitu suhu kamar.



Gambar 3.15 Diagram Pemanasan *Tempering*

- Pengujian

- Mengumpulkan / mencatat semua data dan hasil pengujian.

Tabel 3.2 Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan *Hardening- Tempering*

Material	Tanpa Perlakuan	Hasil Kekerasan HRC												Pendinginan					
		Perlakuan Panas																	
		Hardening 930°C				Tempering 200°C				Tempering 420°C					Tempering 600°C				
		1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata		
S45C																			Dromus Oil
																			Air Garam Dapur
																			Air Kelapa
																			Air Radiator Coolant
																			Air Mineral

3.5 Kekerasan Rockwell

Pada penelitian ini analisis kekerasan dilakukan menggunakan metode *Rockwell*. Analisis kekerasan pada sampel dan tanpa pemberian *heat treatment* bertujuan mengetahui tingkat kekerasan baja akibat suhu pemanasan dan variasi campuran media pendingin sehingga dapat diketahui distribusi kekerasan serta kekerasan rata-rata dari semua benda uji. Langkah-langkah untuk mengamati nilai kekerasan pada penelitian ini:

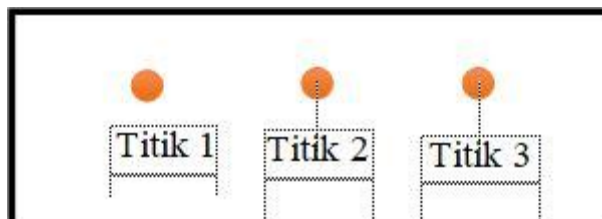
1. Melakukan pengampelasan pada sampel.
2. Melakukan analisis nilai kekerasan dengan menggunakan alat uji *Hardness Testing Machines Limited*

Alat ini digunakan untuk mengukur nilai kekerasan dari hasil pemanasan cepat.



Gambar 3.16 Alat Ukur Kekerasan *Hardness Testing Machines Limited*

Pengukuran ini akan dilakukan pada permukaan benda uji yang terkena kontak langsung dengan indenter. Berikut adalah penempatan titik uji pada material.



Gambar 3.17 Posisi Titik Pengukuran Kekerasan Permukaan

3.6 Analisis Data

Teknik analisis data yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode rancangan acak lengkap (RAL) 1 faktor, data dari proses *hardening* dengan media pendingin yang berbeda dan proses *tempering* dengan variasi pemanasan yang berbeda pada benda uji akan diuji pada proses kekerasan *rockwell* dengan pengujian pada tiga titik permukaan yang berbeda pada setiap benda uji, maka diambil nilai pada pengujian yang dilakukan dengan menghitung rata-rata menggunakan aplikasi *microsoft office excel* dan dilakukan pembuatan grafik dan akan terlihat nilai kekerasan yang optimum. Dari data tersebut akan diketahui nilai optimum dari media pendingin yang dilakukan sehingga menghasilkan data yang valid dan benar agar bermanfaat pada penelitian selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Penelitian.

4.1.1 Pembuatan Spesimen

1. Bahan uji yang digunakan yaitu baja S45C. Baja S45C yaitu baja karbon menengah dengan komposisi unsur kimia yang terdapat dari sertifikat pembelian material baja S45C yaitu.

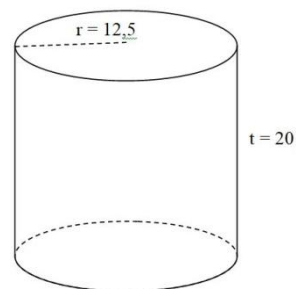
Tabel 4.1 Komposisi Unsur Kimia Baja S45C

No	Komposisi	
	Name	Proportion
1	Carbon (C)	0,46%
2	Silicon (Si)	0,23%
3	Mangan (Mn)	0,72%
4	Fosfor (P)	0,010%
5	Sulfur (S)	0,010%
6	Chromium (Cr)	0,36%
7	Nickel (Ni)	0,10%
8	Cupprum (Cu)	0,02%.

2. Dalam pembuatan spesimen, bahan uji dipotong menggunakan mesin gergaji potong dengan dimensi spesimen $\varnothing = 25$ mm, P= 20 mm sebanyak 21 benda uji. Pada setiap benda uji terdapat perlakuan yang berbeda. Perlakuan panas *hardening* dengan pendinginan air kelapa dilakukan pada 4 benda uji dan akan dilakukan pemanasan lebih lanjut pada 3 benda uji pemanasan *tempering*, air garam dapur dilakukan pada 4 benda uji dan akan dilakukan pemanasan lebih lanjut pada 3 benda uji pemanasan *tempering*, air mineral dilakukan pada 4 benda uji dan akan dilakukan pemanasan lebih lanjut pada 3 benda uji pemanasan *tempering*, air *radiator coolant* dilakukan pada 4 benda uji dan akan

dilakukan pemanasan lebih lanjut pada 3 benda uji pemanasan *tempering*, dan *dromus* air dilakukan pada 4 benda uji dan akan dilakukan pemanasan lebih lanjut pada 3 benda uji pemanasan *tempering*. Pada 1 benda uji tidak dilakukan perlakuan karena sebagai pembanding.

a.)



b.)



c.)



Gamabar 4.1 a.)Sketsa Gambar Uji b.)Pemotongan Benda Uji c.)Benda Uji

3. Lakukan pengikiran benda uji pada setiap sudut sisi yang tajam hasil dari pemotongan menggunakan mesin gergaji agar terhindar dari kecelakaan kerja dari ketajaman sisi benda uji yang tajam.



Gamabar 4.2 Proses Pengikiran

4.1.2 Perlakuan Panas Proses *Hardening*

Pada tahap ini peneliti akan melakukan proses perlakuan panas pada baja S45C. Pada proses *hardening* peneliti menggunakan suhu 930°C agar baja yang dilakukan proses perlakuan panas *hardening* mencapai fasa *austenite*. Dalam melakukan perlakuan panas *hardening* langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pada tahap awal sebelum melakukan perlakuan panas peneliti akan melakukan perhitungan pada penahanan waktu pemanasan agar pada saat proses perlakuan panas baja yang dipanaskan akan merata sepenuhnya. Rumus yang digunakan pada penahanan waktu pemanasan yaitu.

$$T = 1,4 \times H \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan : T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

Benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 = 35 \text{ menit}$$

Jadi peneliti menggunakan penahanan waktu 35 menit dari hasil perhitungan

2. Pada tahap selanjutnya sebelum melakukan proses perlakuan panas peneliti akan mengikat benda uji dengan menggunakan kawat agar mempermudah pengangkatan benda uji setelah perlakuan panas. Pada pengikatan benda uji, hasil dari proses pembuatan benda uji sebanyak 21 benda uji akan digunakan dalam proses pemanasan sebanyak 20 benda uji. Benda uji yang diikat menggunakan kawat akan dibagi menjadi 5 kelompok, pada setiap kelompok terdapat benda 4 benda uji atau dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



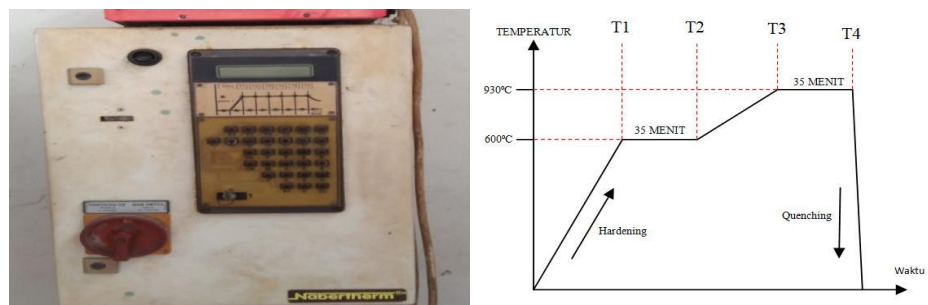
Gambar 4.3 Pembuatan Spesimen

3. Tahap awal proses perlakuan panas yaitu memasukan benda uji spesimen kedalam tungku pemanas untuk dipanaskan ke suhu *austenite* yang digunakan adalah 930°C .



Gambar 4.4 Memasukan Benda Uji Spesimen

4. Setelah memasukan benda uji ke dalam tungku pemanas, tahap selanjutnya memasukan angka suhu yang digunakan dan penahanan waktu pada kontrol panel tungku pemanas seperti gambar dibawah ini. Dimana suhu 600°C berguna untuk menghindari terjadinya keretakan akibat adanya *shock temperature*.

Gambar 4.5 Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan *Hardening* Suhu 930°C

5. Setelah itu angkat benda uji spesimen dengan kecepatan tinggi.



Gambar 4.6 Mengangkat Benda Uji

6. Mencilupkan benda uji kemedua pendingin air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant* dan *dromus* air pada setiap spesimen.



Gambar 4.7 Media Pendingin Air Kelapa, Air Garam Dapur, Air Mineral, Air Radiator Coolant dan Dromus Air

7. Setelah benda uji mencapai suhu ruangan, kemudian keringkan menggunakan majun dan bersihkan menggunakan amplas.



Gambar 4.8 Proses Pengamplasan

4.1.3 Perlakuan Panas Proses *Tempering*

Pada proses perlakuan panas *tempering* ini dilakukan setelah proses dari perlakuan panas *hardening*, karena hasil dari perlakuan panas *hardening* akan membuat benda uji sangat keras dan getas. Biasanya pada tahap pemanasan ini baja tidak bisa sepenuhnya digunakan. Maka dari itu proses perlakuan panas *tempering* sangat dibutuhkan karena melalui proses ini kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Pada tahap proses *tempering* ini peneliti menggunakan 3 variasi suhu pemanasan yaitu *tempering* suhu rendah 200°C, *tempering* suhu menengah 420°C, *tempering* suhu tinggi 600°C. Dalam melakukan perlakuan panas *tempering* langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut :

1. *Tempering* suhu 200°C

- Gunakan 1 benda uji dari setiap kelompok benda uji yang telah dilakukan perlakuan panas *hardening*.



Gambar 4.9 Benda Uji Hasil Dari Proses *Hardening* Dengan Pendinginan Yang Berbeda

- Pada tahap awal sebelum melakukan perlakuan panas peneliti akan melakukan perhitungan pada penahanan waktu pemanasan agar pada saat proses perlakuan panas baja yang dipanaskan akan merata sepenuhnya. Rumus yang digunakan pada penahanan waktu pemanasan yaitu.

$$T = 1,4 \times H \dots \dots \dots (4.2)$$

Dengan : T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

Benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 = 35 \text{ menit}$$

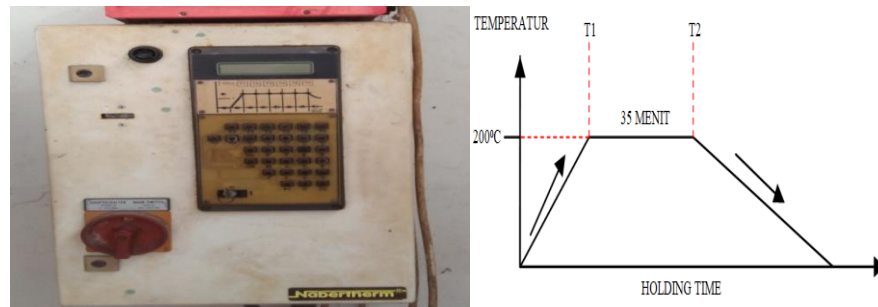
Jadi peneliti menggunakan penahanan waktu 35 menit dari hasil perhitungan.

- Masukkan benda uji spesimen kedalam tungku pemanas.



Gambar 4.10 Memasukkan Benda Uji

- Setelah memasukkan benda uji ke tungku pemanas, tahap selanjutnya yaitu memasukkan angka suhu yang digunakan dan penahanan waktu pada kontrol panel tungku pemanas. Suhu yang digunakan adalah 200°C dan penahanan waktu yang digunakan 35 menit seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.11 Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan *Tempering* suhu 200°C

- Setelah benda uji menerima suhu 200°C dengan waktu penahanan 35 menit didalam tungku pemanas, selanjutnya matikan tungku pemanas, buka pintu tungku pemanas dan biarkan benda uji didalam tungku pemanas hingga mencapai suhu ruangan.



Gambar 4.12 Proses Pendinginan Pada Suhu Kamar

- Setelah benda uji mencapai suhu ruangan, kemudian bersihkan menggunakan amplas.



4.13 Proses Pengamplasan

2. *Tempering* suhu 420°C

- Gunakan 1 benda uji dari setiap kelompok benda uji yang telah dilakukan perlakuan panas *hardening*.



Gambar 4.14 Benda Uji Hasil Dari Proses *Hardening* Dengan Pendinginan Yang Berbeda

- Pada tahap awal sebelum melakukan perlakuan panas peneliti akan melakukan perhitungan pada penahanan waktu pemanasan agar pada saat proses perlakuan panas baja yang dipanaskan akan merata sepenuhnya. Rumus yang digunakan pada penahanan waktu pemanasan yaitu.

$$T = 1,4 \times H \dots \dots \dots (4.3)$$

Dengan : T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

Benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 = 35 \text{ menit}$$

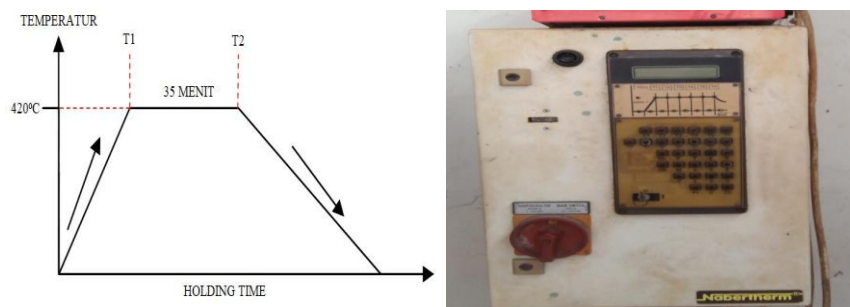
Jadi peneliti menggunakan penahanan waktu 35 menit dari hasil perhitungan.

- Masukkan benda uji spesimen kedalam tungku pemanas.



Gambar 4.15 Memasukkan Benda Uji

- Setelah memasukan benda uji ke tungku pemanas, tahap selanjutnya yaitu memasukan angka suhu yang digunakan dan penahanan waktu pada kontrol panel tungku pemanas. Suhu yang digunakan adalah 420°C dan penahanan waktu yang digunakan 35 menit seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.16 Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan *Tempering* suhu 420°C

- Setelah benda uji menerima suhu 420°C dengan waktu penahanan 35 menit didalam tungku pemanas, selanjutnya matikan tungku pemanas, buka pintu tungku pemanas dan biarkan benda uji didalam tungku pemanas hingga mencapai suhu ruangan.



Gambar 4.17 Proses Pendinginan Pada Suhu Kamar

- Setelah benda uji mencapai suhu ruangan, kemudian bersihkan menggunakan amplas.



Gambar 4.18 Proses Pengamplasan

3. Tempering suhu 600°C

- Gunakan 1 benda uji dari setiap kelompok benda uji yang telah dilakukan perlakuan panas *hardening*.



Gambar 4.19 Benda Uji Hasil Dari Proses *Hardening* Dengan Pendinginan Yang Berbeda

- Pada tahap awal sebelum melakukan perlakuan panas peneliti akan melakukan perhitungan pada penahanan waktu pemanasan agar pada saat proses perlakuan panas baja yang dipanaskan akan merata sepenuhnya. Rumus yang digunakan pada penahanan waktu pemanasan yaitu.

$$T = 1,4 \times H \dots\dots\dots (4.4)$$

Dengan : T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

Benda uji dengan diameter = 25 mm dan panjang = 20 mm

$$T = 1,4 \times 25 = 35 \text{ menit}$$

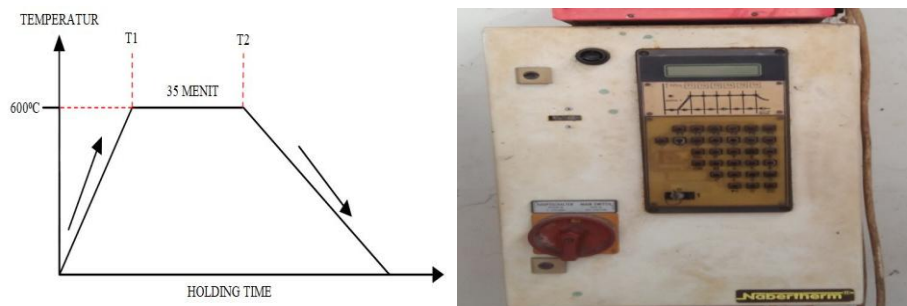
Jadi peneliti menggunakan penahanan waktu 35 menit dari hasil perhitungan.

- Masukkan benda uji spesimen kedalam tungku pemanas.



Gambar 4.20 Memasukan Benda Uji

- Setelah memasukkan benda uji ke tungku pemanas, tahap selanjutnya yaitu memasukkan angka suhu yang digunakan dan penahanan waktu pada kontrol panel tungku pemanas. Suhu yang digunakan adalah 600°C dan penahanan waktu yang digunakan 35 menit seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.21 Kontrol Panel dan Grafik Pemanasan *Tempering* suhu 420°C

- Setelah benda uji menerima suhu 600°C dengan waktu penahanan 35 menit didalam tungku pemanas, selanjutnya matikan tungku pemanas, buka pintu tungku pemanas dan biarkan benda uji didalam tungku pemanas hingga mencapai suhu ruangan.



Gambar 4.22 Proses Pendinginan Pada Suhu Kamar

- Setelah benda uji mencapai suhu ruangan, kemudian bersihkan menggunakan amplas.



Gambar 4.23 Proses Pengamplasan

4.1.4 Pengujian

Dalam prosedur pengujian yang dilakukan pada baja S45C yaitu pengujian kekerasan *rockwell*.

1. Pengujian Kekerasan *Rockwell*

- Mempersiapkan benda uji spesimen yang telah dihaluskan dan yang telah diproses perlakuan panas *hardening* dan *tempering*.



Gambar 4.24 Benda Uji Hasil Dari Proses *Hardening* dan *Tempering*

- Mengatur beban pada alat uji kekerasan Rockwell sebesar 150-kgf.



Gambar 4.25 Mengatur Beban Alat Uji

- Memasang indentor yang berbentuk seperti diamond.



Gambar 4.26 Memasang Indentor

- Meletakkan benda uji pada meja uji.
- Menempelkan benda uji pada indentor dengan cara memutar tuas bagian bawah meja uji.



Gambar 4.27 Pengujian Benda Uji

- Pada pengujian hasil proses *hardening* 900°C tunggu hingga alat uji membaca nilai kekerasan material pada benda uji selama 1 menit.





Gambar 4.28 Proses Pengujian *Hardening* dengan Pendinginan Berbeda

- Pada pengujian hasil proses *tempering* 200°C tunggu hingga alat uji membaca nilai kekerasan material pada benda uji selama 1 meni.



Gambar 4.29 Proses Pengujian *Tempering* 200°C Dengan Benda Uji Hasil Dari Pendinginan Berbeda

- Pada pengujian hasil proses *tempering* 420°C tunggu hingga alat uji membaca nilai kekerasan material pada benda uji selama 1 menit.



Gambar 4.30 Proses Pengujian *Tempering* 420°C Dengan Benda Uji Hasil Dari Pendinginan Berbeda

- Pada pengujian hasil proses *tempering* 600°C tunggu hingga alat uji membaca nilai kekerasan material pada benda uji selama 1 menit





Gambar 4.31 Proses Pengujian *Tempering* 420°C Dengan Benda Uji Hasil Dari Pendinginan Berbeda

- Pengujian tanpa perlakuan memerlukan waktu 1 menit



Gambar 4.32 Pengujian Benda Uji Tanpa Perlakuan

- Setelah selesai membaca nilai kekerasan, catat hasil nilai kekerasan yang saling mendekati dan turunkan meja uji agar benda uji tidak menempel pada indenter alat uji dengan cara memutar tuas pada bagian bawah meja uji.

4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbandingan proses pendinginan terhadap kekerasan material baja S45C dengan pemanasan *hardening* suhu 930°C dan pemanasan *tempering* dengan 3 variasi

suhu pemansan yaitu 200°C, 420°C, 600°C. Data hasil pengujian selanjutnya diolah sehingga diperoleh kesimpulan dan menghasilkan nilai yang optimum.

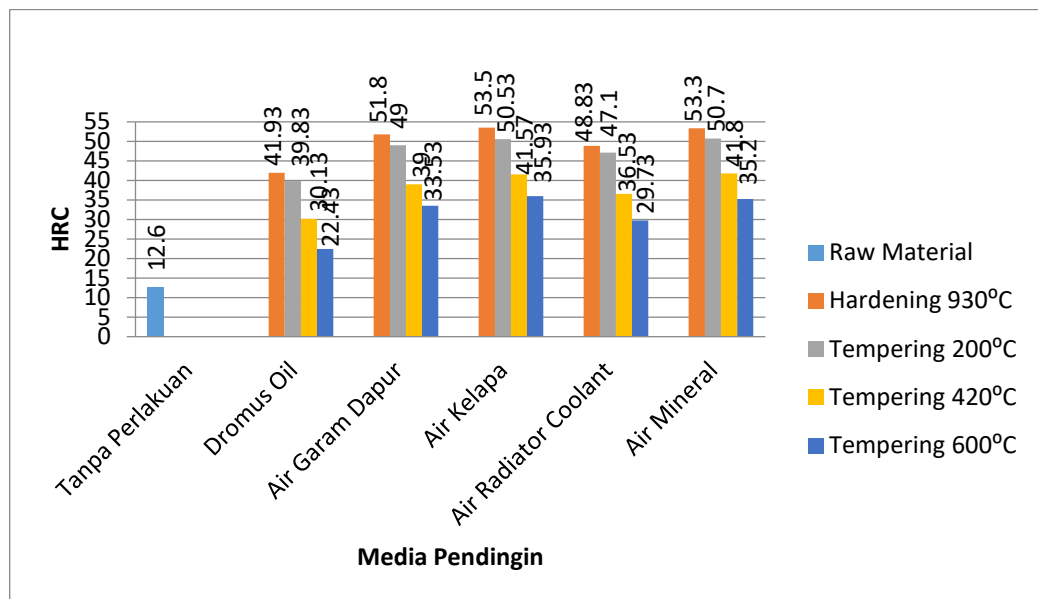
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Proses *Hardening-Tempering*

Material	Hasil Kekerasan HRC																Pendinginan	
	Tanpa Perlakuan	Perlakuan Panas																
		Hardening 930°C				Tempering 200°C				Tempering 420°C					Tempering 600°C			
	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata		
S45C	12.6	42	42	41.8	41.93	40.2	39.5	39.8	39.83	29.4	30.7	30.3	30.13	21.9	22.6	22.8	22.43	<i>Dromus Oil</i>
		50	52.2	53.2	51.8	49.2	49	48.8	49	38.6	39.7	38.7	39	33.2	33.5	33.9	33.53	Air Garam Dapur
		53.5	54.4	52.6	53.5	50.5	50.9	50.2	50.53	41.1	41.7	41.9	41.57	36.7	35.8	35.3	35.93	Air Kelapa
		49	47.6	49.9	48.83	47.2	47	47.1	41.57	36	37.2	36.4	36.53	29.4	30	29.8	29.73	Air Radiator Coolant
		52.2	54.1	54	53.3	50.2	50.9	51	50.7	41.7	41.7	42	41.8	35.7	34.7	35.2	35.2	Air Mineral

Berdasarkan data diatas bahwa proses perlakuan panas dengan media pendingin cepat menghasilkan tingkat kekerasan yang bervariasi. rata-rata dari hasil pengujian kekerasan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Rata-rata Kekerasan Pada Proses *Hardening-Tempering*

Media Pendingin	Hardening 930°C	Tempering 200°C	Tempering 420°C	Tempering 600°C
Air Kelapa	53,2	50,53	41,57	35,93
Air Garam Dapur	51,8	49	39	33,53
Air Mineral	53,3	50,7	41,8	35,2
<i>Radiator Coolant</i>	48,83	41,57	36,53	29,73
<i>Dromus Air</i>	41,93	39,83	30,13	22,43



Gambar 4.33 Grafik Nilai Uji Kekerasan Setelah Proses *Hardening – Tempering*

➤ Kekerasan Spesimen *Hardening 930°C*

Pada spesimen *hardening 930°C* nilai kekerasan yang paling tinggi terhadap benda uji tanpa perlakuan yaitu pada spesimen air kelapa dengan tingkat kekerasan 53.5 HRC, sedangkan nilai kekerasan pada spesimen air mineral 53.3 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air garam dapur 51.8 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air *radiator coolant* 48.83 HRC, dan nilai kekerasan pada spesimen *dromus* air 41.93 HRC. pada proses perlakuan panas *hardening* ini, baja tanpa perlakuan atau raw material yang berupa *ferrite* akan bertransformasi menjadi *austenite* ketika terjadi pemanasan diatas suhu *austenite* atau diatas suhu 723°C, dan dilakukan pendinginan secara cepat sehingga akan terjadi perubahan menjadi *Martensite*. Pada pengerasan ini baja akan menjadi sangat keras dan getas.

➤ Kekerasan Spesimen *Tempering 200°C*

Pada spesimen *tempering 200°C* nilai kekerasan yang paling tinggi terhadap *raw material* yaitu pada spesimen air mineral dengan tingkat kekerasan 50.7 HRC, sedangkan nilai kekerasan pada spesimen air kelapa 50.53 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air garam dapur 49 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air *radiator coolant* 47.1 HRC, dan nilai kekerasan pada spesimen

dromus air 39.82 HRC. Pada proses perlakuan panas *hardening* dengan pendinginan cepat dan dilakukan proses *tempering* rendah (200°C) ini sehingga transformasi fasa berjalan lebih cepat sekali menuju *martensite finish* (Mf) sampai terbentuk fasa *martensite temper*.

➤ Kekerasan Spesimen *Tempering* 420°C

Pada spesimen *tempering* 420°C nilai kekerasan yang paling tinggi terhadap *raw material* yaitu pada spesimen air mineral dengan tingkat kekerasan 41.8 HRC, sedangkan nilai kekerasan pada spesimen air kelapa 41.57 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air garam dapur 39 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air *radiator coolant* 36.53 HRC, dan nilai kekerasan pada spesimen *dromus* air 30.13 HRC. Pada proses perlakuan panas *hardening* dengan pendinginan cepat dan dilakukan proses *tempering* menengah (420°C) ini sehingga transformasi fasa hanya masuk sampai didaerah fasa *bainite* dan temperatur belum cukup rendah untuk memasuki *martensite star* (Ms).

➤ Kekerasan Spesimen *Tempering* 600°C

Pada spesimen *tempering* 600°C nilai kekerasan yang paling tinggi terhadap *raw material* yaitu pada spesimen air kelapa dengan tingkat kekerasan 35.93 HRC, sedangkan nilai kekerasan pada spesimen air mineral 35.2 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air garam dapur 33.53 HRC, nilai kekerasan pada spesimen air *radiator coolant* 29.73 HRC, dan nilai kekerasan pada spesimen *dromus* air 22.43 HRC. Pada proses perlakuan panas *hardening* dengan pendinginan cepat dan dilakukan proses *tempering* tinggi (600°C) ini sehingga terjadi transformasi *austenite* menjadi *perlite* dan pendinginan menjadi paling lambat sehingga butiran logam menjadi sangat halus, kecil-kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada pengaruh *hardening* 930°C dengan media pendingin cepat air kelapa, air garam dapur, air mineral, air *radiator coolant* dan *dromus* air terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat pada media pendingin air kelapa dengan tingkat kekerasan 53.5 HRC, Pada pengaruh *tempering* 200°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat dari pengaruh media pendingin air mineral dengan tingkat kekerasan 50.7 HRC, Sedangkan pengaruh *tempering* 420°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat dari pengaruh media pendingin air mineral dengan tingkat kekerasan 41.8 HRC, dan untuk pengaruh *tempering* 600°C terdapat nilai kekerasan yang paling optimum terdapat dari pengaruh media pendingin air kelapa dengan tingkat kekerasan 35.93 HRC.

1.2 Saran

Setelah menganalisa hasil penelitian, maka peneliti berkesempatan memberi saran, yaitu:

1. Karena keterbatasan alat di laboratorium material perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pengujian struktur mikro dan uji *impact*.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada kelarutan air kelapa sebagai media pendingin (*quenching*) terhadap baja, karena air kelapa memiliki larutan kekerasan yang paling tinggi dari pada media pendingin *dromus oil*, air garam dapur, air *radiator coolant*, air mineral.

DAFTAR PUSTAKA

1. Amstead, B. H., Ostwaid, P. F., Begeman, M. L., & Djaprie, S. (1993). *Teknologi Mekanik, Edisi ke-7, Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
2. Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Ke-4*. Jakarta: Pradnya Paramita.
3. Ardiansyah, Y. (2016). *Pengaruh Temperatur Proses Hardening Dengan Media Air Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Sedang*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
4. Istiqlaliyah, H., & Rhohman, F. (2016). Pengaruh Variasi Temperatur Anneling Terhadap Kekerasan Sambungan Baja St 37. *Jurnal Teknik Mesin Vol. 05* , 10-15.
5. Matien, Y. (2016). Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Laju Korosi Pada Hardening Baja Karbon Sedang. *Jurnal Teknik Mesin* .
6. 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*. Lampung: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Persulesy, E. R., Lembang, F. K., & Djidin, H. (2016). Penilaian Cara Mengajar Menggunakan Rancangan Acak Lengkap (Studi Kasus: Jurusan Matematika Fmipa Unpatti) . *Volume 10 Nomor 1* (Hal. 9 – 16).
8. Kertajaya, K. A. (2017). *Optimalisasi Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Keausan Paving Block Dengan Metode Response Surface*. Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala.
9. Purnomo. (2017). *Material Teknik, Edisi Pertama*. Malang – Jawa Timur - Indonesia: CV. Seribu Bintang.
10. Yusman, F. (2018). *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1045*. Lampung: Universitas Lampung.
11. Ariawan, A. (2019). *Pengaruh Media Pendingin Quenching Temperatur Rendah Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja S45C*. Bandar Lampung.
12. Prabowo, A. (2019). *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan Bending Baja Aisi 1010*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

13. Hawari, M. I., Widagdo, T., & Soengeng, W. (2020). Pengaruh Temperature Dan Holding Time Pada Proses Hardening Dengan Media Pendingin Air Kelapa Tuaterhadap Kekerasan Baja JIS S45C. *Vol.1 No.1*, (47-54).
14. Khakim, A. L. (2020). *Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Sifat Mekanis Baja Karbon Rendah Untuk As Roda Sepeda Motor*. Tegal: Universitas Pancasakti .
15. Permana, A. W., Anjani, R. D., & Gusniar, I. N. (2020). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Metode HardeningTempering Material Baja S45C terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro. *Vol.15, No.3* (hal. 199-206).



Lampiran I
(Daftar Riwayat Hidup)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Bahwa yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Alfian Siswara Arlingga
Tempat, Tgl lahir : Pangkalpinang, 31 Mei 1999
Jenis kelamin : Laki-laki
Status : Lajang
Alamat : Gg Lontar II 09/03 Keramat, Rangkui, Kota
Pangkalpinang
Telepon : 082279162843
Email : alfiansantos17@gmail.com

Menerangkan dengan sebenarnya,

Pendidikan

2005 – 2011 SD Negeri 2 Kelapa Bangka Barat
2011 – 2014 SMP Negeri 1 Kelapa Bangka Barat
2014 – 2017 SMK Negeri 1 Kelapa Bangka Barat

Demikian Daftar Riwayat Hidup ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Saya yang bersangkutan,

(**Alfian Siswara Arlingga**)