

**PENGARUH AIR GARAM SEBAGAI MEDIA
PENDINGIN TERHADAP NILAI KEKERASAN PADA
PROSES Pengerasan BAJA ST 60**

*The influence of the salt as a cooling medium on the hardness value of the ST
60 steel hardening proses*

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

Oleh:

Muhammad Syaifullah

NPM : 1041753



POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANTOREJO, BANTOREJO

2021

**PENGARUH AIR GARAM SEBAGAI MEDIA
PENDINGIN TERHADAP NILAI KEKERASAN PADA
PROSES PENGKERASAN BAJA ST 60**

*The influence of the salt as a cooling medium on the hardness value of the ST
60 steel hardening proses*

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

Oleh:
Muhammad Syaifullah
NPM : 1041753



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2021

**PENGARUH AIR GARAM SEBAGAI MEDIA
PENDINGIN TERHADAP NILAI KEKERASAN PADA
PROSES Pengerasan BAJA ST 60**

*The influence of the salt as a cooling medium on the hardness value of the ST
60 steel hardening proses*

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

Oleh:
Muhammad Syaifullah
NPM : 1041753



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2021

PENGARUH AIR GARAM SEBAGAI MEDIA PENDINGIN TERHADAP NILAI KEKERASAN PADA PROSES Pengerasan BAJA ST 60

Penulis :

Muhammad Syaifullah

NPM : 1041753

Penguji :

1. Ketua : Muhammad Subhan, S.S.T., M.T.

2. Anggota : Erwanto, S.S.T., M.T.

3. Anggota : Muhammad Riva'I, S.S.T., M.T.

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 25 Februari 2021

Dan disahkan sesuai dengan ketentuan

Pembimbing Utama,



Muhammad Subhan, S.S.T., M.T.

NIDN : 0218127501

Pembimbing Pendamping,



Juanda, S.S.T., M.T.

NIDN : 0230068301



ABSTRAK

Baja St 60 merupakan baja yang termasuk kedalam baja karbon sedang. Baja St 60 memiliki kandungan unsur karbon 0,44% memungkinkan dapat dilakukan proses pengerasan dengan perlakuan panas (*Heat Treatment*) yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh air garam (NaCl) dan air garam (MgCl₂) sebagai media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengerasan baja St 60.

Penelitian ini menggunakan metode *quenching*. *Quenching* menggunakan media pendingin tertentu dapat mempengaruhi sifat kekerasan dari baja St 60 tersebut. Proses *quenching* dalam penelitian ini menggunakan suhu 850° ditahan selama 35 menit kemudian didinginkan secara cepat kedalam media pendingin. Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan garam dapur (NaCl) 35% dan 40% kemudian larutan garam *Magnesium Chloride* (MgCl₂) 35% dan 40%. Setelah dilakukan proses *quenching*, baja St 60 dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell*. Setelah pengujian, nilai kekerasan di analisis data menggunakan metode *one way ANOVA*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan sebelum perlakuan panas yaitu (14.5 HRC) dan nilai kekerasan setelah perlakuan panas dengan empat variasi media pendingin yaitu air garam dapur (NaCl) 35% sebesar (40.5 HRC), air garam dapur (NaCl) 40% sebesar (43.4 HRC), air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 35% sebesar (43.7 HRC) dan air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 40% sebesar (46.2 HRC). Dari keempat media pendingin yang memberikan hasil kekerasan lebih baik pada material baja St 60 yaitu media pendingin air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 40% dengan nilai kekerasan sebesar (46.2 HRC).

Kata kunci: Baja St 60, *Quenching*, Media Pendingin, Uji Kekerasan, *One Way ANOVA*

ABSTRACT

St. 60 steel is a steel that belongs to medium carbon steel. St. 60 steel has a carbon element content of 0.44% allowing the hardening process with the appropriate heat treatment. This study aims to find out the influence of (NaCl) brine and (MgCl₂) brine as a cooling medium against the hardness value in the steel hardening process of St. 60.

This research uses quenching method. Quenching using certain cooling media can affect the hardness of the St. 60 steel. The quenching process in this study using a temperature of 850° was held for 35 minutes then cooled quickly into the cooling media. The cooling media used in this study was 35% kitchen salt solution (NaCl) and 40% then Magnesium Chloride salt solution (MgCl₂) 35% and 40%. After the quenching process, St 60 steel was tested hard using rockwell method. After testing, the hardness value in the data analysis uses the one way ANOVA method.

The results showed that the value of violence before heat treatment is (14.5 HRC) and the value of violence after heat treatment with four variations of cooling media namely kitchen brine (NaCl) 35% by (40.5 HRC), kitchen brine (NaCl) 40% (43.4 HRC), magnesium chloride brine (MgCl₂) 35% (43.7 HRC) and magnesium chloride brine (MgCl₂) 40% (46.2 HRC). Of the four cooling media that give better hardness result in steel material St 60 is magnesium chloride salt water cooling media (MgCl₂) 40% with a hardness value of (46.2 HRC).

Keywords: Steel St 60, Quenching, Cooling Media, Hardness Test, One Way ANOVA

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT. Karena berkat rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja St 60”** dengan baik dan tepat waktunya.

Dengan telah menyelesaikan tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak untuk menambah pengetahuan dan wawasan tentang tugas akhir ini. Adapun maksud dan tujuan dilakukannya tugas akhir ini ialah untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari atas segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis, Sehingga dalam penyusunan makalah tugas akhir ini tidak terlepas dari kekurangan, baik dari segi isi maupun materi dalam penuturan kalimatnya. Oleh karena itu, sekiranya pembaca dapat memaklumi segala kekurangan yang ada, serta kritik dan saran maupun masukkan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan guna untuk memperbaiki makalah ini ke arah yang lebih baik.

Selama melaksanakan penelitian serta pembuatan makalah ini penulis banyak menerima bantuan, baik berupa moril maupun materil dan arahan serta bimbingan dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebsar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat serta hidayah-Nya hingga penulis bisa menyelesaikan makalah tugas akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta, pertama untuk kedua orang yang sangat berarti bagi penulis, ibu Lilidarni dan bapak Syaproni, serta juga ayukku Nurhalimah dan adik-adikku Zakiya Azzahra dan Syahid Ahmad yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta yang selalu mendoakan yang terbaik dan memberi motivasi untuk penulis.

3. Bapak Muhammad Subhan, S.S.T., M.T. selaku Wakil Direktur II Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung sekaligus sebagai Dosen Wali dan Dosen Pembimbing Utama yang telah berkenan menyediakan waktu untuk membimbing serta mengarahkan penulis dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
4. Bapak Juanda, S.S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah berkenan menyediakan waktu untuk membimbing serta mengarahkan dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
5. Bapak Pristiansyah S.S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Seluruh dosen, staf pengajar, teknisi dan PLP di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, khususnya pada program studi Teknik Mesin dan Manufaktur yang telah memberikan wawasan serta pengetahuan kepada penulis.
8. Seluruh pegawai yang ada di kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
9. Teman-teman satu pembimbing utama Rahmat Dwi Cahyo, Egi Endrian, serta teman-teman seperjuangan khususnya (Up_5_Ribu), terutama kelas Teknik Mesin dan Manufaktur B angkatan 2017 yang telah memberikan motivasi dan semangat kepada penulis. Merupakan kebahagiaan dapat bertemu dan berteman dengan kalian semua.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan motivasi serta dukungannya dalam kelancaran penulis menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata penulis berharap semoga makalah tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya bagi penulis dan pembaca guna untuk menambah

pengetahuan kita san semoga Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dapat tumbuh dan berkembang pada generasi yang yang akan datang.

Sungailiat, Februari 2021
Penulis,

Muhammad Syaifullah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-3
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
1.6 Sistematika Penelitian.....	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Baja Karbon	II-1
2.2.1 Pengertian Baja Karbon	II-1
2.2.2 Klasifikasi Baja Karbon	II-1
2.2 Baja St 60	II-2
2.3 Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	II-3
2.3.1 <i>Hardening</i>	II-5
2.3.2 <i>Quenching</i>	II-6
2.4 Pengujian Kekerasan.....	II-7
2.5 Anova	II-8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1

3.1 Tempat dan Lokasi Penelitian.....	III-2
3.2 Benda Kerja.....	III-2
3.2.1 Bahan Penelitian	III-3
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	III-5
3.3 Variabel Penelitian	III-9
3.4 Perlakuan Panas	III-9
3.5 Uji Kekerasan.....	III-10
3.6 Analisis Data	III-12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Proses Penelitian	IV-1
4.2 Hasil dan Pembahasan.....	IV-4
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran.....	V-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja St 60.....	II-3
Tabel 2.2 Jenis Baja Dan Waktu Tahan Yang Dibutuhkan Pada Proses Perlakuan Panas	II-6
Tabel 2.3 Tabulasi Ragam Untuk ANOVA Satu Arah.....	II-10
Tabel 3.1 Persamaan Media Pendingin Larutan Garam.....	III-4
Tabel 3.2 Media Pendingin	III-5
Tabel 3.3 Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan Tanpa Perlakuan (R1) .	III-11
Tabel 3.4 Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan Setelah Perlakuan	III-11
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Tanpa Perlakuan (R1).....	IV-4
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Setelah Perlakuan.....	IV-5
Tabel 4.3 Perhitungan <i>One Way</i> ANOVA	IV-6
Tabel 4.4 Tabulasi Ragam <i>One Way</i> ANOVA	IV-8
Tabel 4.5 Perhitungan ANOVA <i>Software</i> Analisis.....	IV-8

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe ₃ C.....	II-5
Gambar 2.2 Metode Pengujian Kekerasan Dan Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	II-8
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3.2 Baja ST 60.....	III-3
Gambar 3.3 Ukuran Spesimen.....	III-3
Gambar 3.4 Majun.....	III-3
Gambar 3.5 Amplas.....	III-4
Gambar 3.6 Kawat Baja.....	III-4
Gambar 3.7 Garam MgCl ₂ dan Garam NaCl.....	III-5
Gambar 3.8 Mesin Gergaji Potong.....	III-6
Gambar 3.9 Dapur Pemanas.....	III-6
Gambar 3.10 Mesin Uji Kekerasan.....	III-7
Gambar 3.11 Kikir.....	III-7
Gambar 3.12 Tang.....	III-7
Gambar 3.13 Wadah Pendingin.....	III-8
Gambar 3.14 Jangka Sorong.....	III-8
Gambar 3.15 Gelas Ukur.....	III-9
Gambar 3.16 Diagram Proses Perlakuan Panas.....	III-10
Gambar 3.17 Posisi Titik Pengujian Kekerasan Permukaan.....	III-11
Gambar 4.1 Pembuatan Spesimen.....	IV-1
Gambar 4.2 Mengikat Spesimen.....	IV-2
Gambar 4.3 Larutan Garam.....	IV-2
Gambar 4.4 Proses Pencelupan.....	IV-3
Gambar 4.5 Melakukan Pengujian.....	IV-4

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP
Lampiran 2 Proses.....
Lampiran 3 Uji Distribusi Normal
Lampiran 4 Uji Homogen
Lampiran 5 Persentase Distribusi F

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi yang semakin hari semakin maju terutama pada produksi manufaktur. Salah satu produksi dengan bahan bakunya baja sedang yang biasa digunakan untuk pembuatan alat-alat perkakas, roda gigi atau komponen-komponen otomotif.

Hal yang harus dilakukan untuk memperoleh sifat mekanis baja yang baik terutama pada nilai kekerasan, maka dilakukan proses perlakuan panas *quenching* pada baja. Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk memudahkan proses pemesinan lanjut (Mustofa, 2016). Tujuan perlakuan panas adalah untuk memberi sifat yang lebih sempurna pada bahan. Perlakuan panas dapat mengubah sifat baja dengan cara mengubah ukuran dan bentuk butir-butirannya, juga mengubah unsur pelarutnya dalam jumlah yang kecil. Bentuk butirannya dapat diubah dengan cara dipanaskan pada suhu di atas suhu rata-rata (Nur, 2017).

Quenching merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin. Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara mendadak sampel yang telah dipanaskan sehingga mengakibatkan perubahan struktur mikro (Mustofa, 2016). Tujuan utama dari proses *quenching* ini adalah untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan tinggi (Fhadillah, et al., 2019).

Baja St 60 merupakan jenis baja karbon menengah dengan memiliki kandungan karbon sebesar 0,5012 %. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai (Putra, et al., 2018).

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang analisa sifat mekanis baja St 60 setelah *carburizing* menggunakan arang batok katalis BaCO₃ dan *quenching* dengan oli dan air garam (Fhadillah, et al., 2019), dan hasil yang didapat dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan *Vickers* pada baja St 60 semakin keras pada *carburizing quenching* air garam tingkat kekerasannya naik sebesar 431,68 VHN dan nilai *quenching* oli dan tanpa *quenching* masing-masing memiliki nilai sebesar 10,25% dan 24,55% lebih kecil dari *carburizing quenching* air garam.

Pada penelitian lainnya telah dilakukan tentang analisa uji kekerasan pada poros baja St 60 dengan media pendingin berbeda (Furqon S, et al., 2016), dan didapat hasil nilai kekerasan sebelum perlakuan panas yaitu 112,4 HB dan nilai kekerasan sesudah perlakuan panas dengan tiga variasi media pendingin yaitu air (110,2 HB), udara (94,8 HB), dan oli mesran SAE 40 (119,4 HB). Dari ketiga media pendingin yang memberikan hasil kekerasan lebih baik pada material baja St 60 yaitu media pendingin oli mesran SAE 40 dan didapatkan nilai kekerasan rata-ratanya 119,4 HB .

Pada penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh kadar garam dapur (NaCl) dalam media pendingin terhadap tingkat kekerasan pada proses pengerasan baja St 60 (Aziza, et al., 2017), dan hasil yang didapat Baja St 60 yang telah mengalami proses *hardening* dengan media pendingin larutan garam 20% NaCl mempunyai nilai kekerasan rata-rata 265 HV, untuk baja dengan media pendingin larutan garam 25% memiliki angka kekerasan rata-rata sebesar 278 HV, sedangkan untuk baja dengan media pendingin larutan garam 30% mempunyai angka kekerasan rata-rata 311 HV, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar larutan garamnya maka semakin tinggi nilai kekerasannya.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data tentang **"Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja St 60"**. Dengan adanya penelitian ini, maka diharapkan dapat bermanfaat dalam bidang industri manufaktur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang perlu dikaji lebih jauh adalah bagaimana pengaruh air garam sebagai media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengerasan baja St 60?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini difokuskan pada nilai kekerasan
2. Spesimen uji baja St 60
3. Suhu hardening 850°C
4. Perlakuan panas yang digunakan pada penelitian ini adalah *Hardening*

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh air garam NaCl dan air garam MgCl₂ sebagai media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengerasan baja St 60.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh air garam NaCl dan air garam MgCl₂ sebagai media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengerasan baja St 60.

1.6 Sitematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pada bab ini membahas tentang landasan-landasan teori dasar yang masih berkaitan dengan penelitian ini.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

pada bab ini membahas tentang metode yang digunakan dalam pengambilan data, alat dan bahan apa saja yang digunakan dalam penelitian ini serta diagram alur pengambilan data.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang hasil yang didapatkan setelah pengambilan data dan membahas tentang data tersebut serta menganalisa dan membandingkan dari data-data yang di peroleh.

5. BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian dan memberikan saran untuk penelitian ini agar dapat lebih baik lagi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

2.2.1 Pengertian Baja Karbon

Baja karbon atau *Carbon Steel* merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas kandungan besi (Fe) dan kandungan karbon (C). Dalam baja karbon ini besi merupakan kandungan unsur dasar dan karbon sebagai kandungan unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditambahkan kandungan unsur kimia lainnya untuk menyesuaikan dengan sifat baja yang diinginkan. Unsur kimia lainnya yang biasa digunakan adalah seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn) (Santoso, et al.).

Kandungan karbon (C) yang terdapat pada baja menentukan tingkatan dari baja itu sendiri. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2 % sampai 2,14 %. Dimana kandungan unsur karbon tersebut digunakan sebagai unsur penguat dalam struktur baja (Santoso, et al., 2019). Semakin tinggi kandungan unsur karbon, maka baja akan semakin keras dan kuat dengan perlakuan panas, namun keuletannya akan semakin berkurang. Pengaplikasian baja karbon pada dunia industri sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan alat-alat perkakas, bagian komponen mesin, bahkan struktur bangunan dan lain sebagainya.

2.2.2 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase karbon (C) itu terhadap berat besi (Fe) didalam baja tersebut. Adapun klasifikasi dari baja karbon adalah sebagai berikut:

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon terhadap berat besi berkisaran antara 0 % sampai dengan 0,25 %. Baja karbon rendah ini memiliki sifat ketangguhan dan keuletan yang baik namun untuk

sifat mekanik lainnya seperti kekerasan dan ketahanan aus yang rendah disebabkan karena kecilnya persentase kandungan karbon yang terkandung dalam baja karbon rendah. Baja karbon rendah memiliki sifat keuletannya yang tinggi sehingga biasanya digunakan untuk bahan-bahan manufaktur karena sifatnya yang mampu tempa dan mudah untuk dibentuk.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja karbon menengah dimana memiliki kandungan karbon berkisaran antara 0,25 % sampai 0,6 %. Baja karbon sedang memiliki kekuatan mekanik yang baik serta memiliki keuletan dan kekuatan kekerasan yang baik, baja karbon sedang dapat ditingkatkan sifat mekaniknya karena memiliki kadar karbon yang cukup untuk dilakukan perlakuan panas. Baja karbon sedang biasanya digunakan sebagai bahan baku dari pembuatan alat-alat perkakas, komponen-komponen mesin seperti poros, roda gigi, pegas dan lain-lain.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon yang memiliki kandungan karbon berkisar antara 0,6 % sampai 1,4 % dibandingkan berat besi yang digunakan pada baja tersebut. Baja karbon tinggi memiliki sifat dengan tingkat kekerasan yang tinggi namun memiliki keuletan dari baja karbon tinggi sangat kecil. Baja karbon tinggi biasanya digunakan untuk alat-alat yang memerlukan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap gesekan dalam penggunaannya akan menerima atau mengalami ketahanan panas, misalnya seperti *bearing*, mata bor, mata pahat, gergaji, kikir dan lain sebagainya (Yusman, 2018).

2.2 Baja St 60

Baja St 60 merupakan jenis baja karbon menengah dengan memiliki kandungan karbon sebesar 0,5012 %. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan proses perlakuan panas

(*heat treatment*) yang sesuai (Putra, et al., 2018). Baja St 60 dijelaskan secara umum merupakan baja karbon sedang dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C dengan titik didih 1550°C dan titik lebur 2900°C, disebut juga baja keras, banyak digunakan untuk pembuatan tangki, perkapalan, jembatan, dan dalam permesinan (Furqon S, et al., 2016).

Pengkodean baja St 60 berasal dari standarisasi Jerman atau biasa dikenal dengan DIN (*Deutsches Institut for Normung*). St sendiri merupakan singkatan dari *steel* (baja) dan angka dibelakang St merupakan kode yang menunjukkan besar kekuatan Tarik maksimumnya. St 60 merupakan baja yang mempunyai kekuatan tarik hingga 600 kg/mm² (Iriandoko, et al., 2020).

Adapun komposisi baja St 60 dapat dilihat seperti pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi Baja ST 60

No	Komposisi	
	Name	Proportion
1	Karbon (C)	0,44%
2	Silikon (Si)	0,23%
3	Mangan (Mn)	0,70%
4	Fosfor (P)	0,012%
5	Sulfur (S)	0,004%
6	Chromium (Cr)	0,36%
7	Nickel (Ni)	0,02%
8	Cupprum (Cu)	0,02%

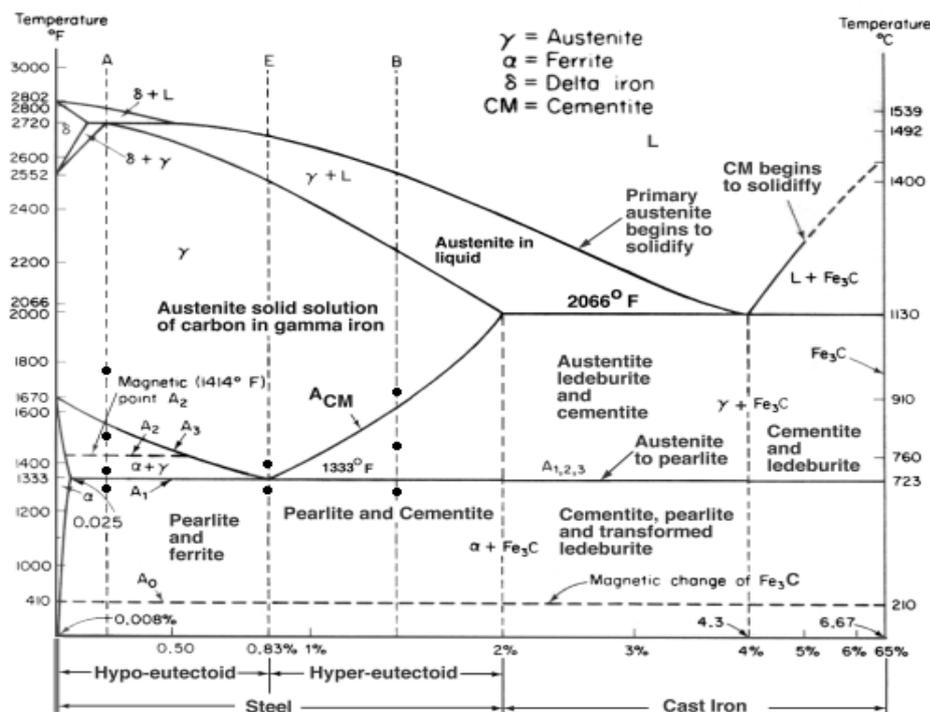
2.3 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis pada sebuah logam dapat dilakukan dengan adanya perlakuan, dimana perlakuan yang dimaksud adalah proses perlakuan panas (*heat treatment*). Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia (Selamet, 2000).

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut (Santoso, et al., 2019). Perlakuan panas sendiri adalah penggabungan atau kombinasi dari proses pemanasan dan proses pendinginan pada suatu bahan material seperti logam dan baja (Yusman, 2018). Jadi dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas (*Heat treatment*) adalah suatu proses kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan material secara terkontrol dengan tujuan untuk memperbaiki, menghasilkan atau mengubah sifat-sifat pada logam maupun baja. Proses perlakuan panas dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu sesuai dengan keinginan dan kebutuhan pada baja tersebut.

Tujuan dari proses perlakuan panas adalah untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam (Handoyo, 2015). Untuk mendapatkan sifat yang diinginkan pada sebuah logam dilakukan dengan merubah stuktur mikronya. Dimana untuk memperlihatkan perubahan pada stuktur mikronya dapat dilakukan perlakuan panas dengan cara pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Dalam perlakuan panas untuk mempermudah menentukan temperatur pemanasan pada sebuah penelitian digunakan sebuah diagram, yang biasa disebut dengan Diagram Fe-Fe₃C. Diagram Fe-Fe₃C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan lambat dan pemanasan lambat dengan kandungan kadar carbon (%C). Untuk diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram Kesetimbangan Fe-Fe₃C

Sumber: (Purnomo, 2017)

(Pramono, 2011) menyatakan dalam proses perlakuan panas terdapat tiga langkah yang paling mendasar diantaranya yaitu:

- Memanaskan material sampai temperatur tertentu atau sampai batas temperatur austenit.
- Kemudian diberi waktu penahanan agar austenit dapat lebih homogen.
- Setelah itu dilanjutkan dengan proses pendinginan material.

Variasi tipe proses perlakuan panas di atas adalah sama karena seluruh proses perlakuan panas hanya melibatkan proses pemanasan yang membedakannya adalah temperatur pemanasan, waktu penahanan dan laju pendinginannya. Proses pemanasan dan kecepatan laju pendinginan ini sangat mempengaruhi hasil akhir dari proses perlakuan panas.

2.3.1 Hardening

Hardening merupakan proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat yang dinamakan *quench*. Tujuan dari dilakukan *hardening* adalah meningkatkan kekerasan, kekuatan dan

fatigue limit (Putra, et al., 2018). Proses *hardening* (pengerasan) berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan (Matien, 2016). Proses ini mencakup proses pemanasan sampai pada austenisasi dan diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Temperatur yang dipilih tergantung pada jenis baja yang di proses, dimana temperatur pemanasan 50-100°C diatas garis A3 untuk baja *hypeotektoid* (Pramono, 2011).

Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Jenis Baja dan Waktu Tahan Yang Dibutuhkan Pada Proses Perlakuan Panas

Jenis baja	<i> Holding Time </i>
Baja karbon rendah dan paduan rendah	5 – 15 menit
Baja paduan menengah	15 – 25 menit
<i> Low alloy tool steel </i>	10 – 30 menit
<i> High alloy tool steel </i>	10 – 60 menit
<i> Hot – work tool steel </i>	15 – 30 menit

Sumber: (Pramono, 2011)

Secara matematis pemberian waktu penahanan terhadap spesimen uji dapat ditulis pada persamaan berikut.

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

T = Waktu penahanan (menit)

H = Tebal benda kerja (mm) (Matien, 2016)

2.3.2 *Quenching*

Proses *Quenching* adalah suatu proses pengerasan baja dilakukan dengan proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit, yang kemudian ditahan sampai batas waktu tertentu sesuai dengan jenis baja dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat melalui media pendingin, sehingga fasa austenit bertransformasi secara parsial membentuk struktur martensit (Handoyo, 2015).

Quenching merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin. Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara cepat spesimen yang telah dipanaskan sehingga mengakibatkan perubahan struktur mikro. Laju *quenching* tergantung pada beberapa faktor yaitu temperatur medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan agritasi (aliran media pendingin) (Mustofa, 2016). Pada umumnya baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi serta dapat mencapai kekerasan yang maksimum tetapi agak rapuh (Fhadillah, et al., 2019).

Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini garam dapur (NaCl) dan *Magnesium Chloride* (MgCl₂).

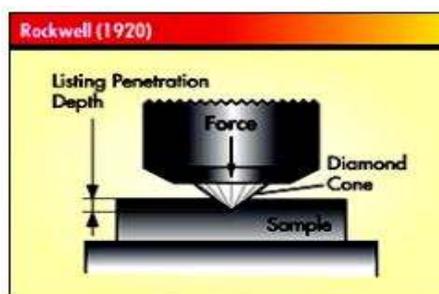
2.4 Pengujian Kekerasan

Ketahanan bahan terhadap indentasi secara kualitatif menunjukkan kekuatannya. Skala yang lazim digunakan dalam pengujian kekerasan antara lain skala *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell* dan *Knop*. Metode *Rockwell* merupakan metode yang paling umum digunakan karena sederhana dan tidak memerlukan keahlian khusus, biasa digunakan untuk bahan paduan logam (*metal alloys*) dan polymer mulai dari bahan yang lunak sampai keras. Digunakan variasi indentor kerucut intan (*conical diamond*) dan bola baja yang dikeraskan (*spherical and hardened steel balls*) dan variasi beban sesuai dengan kekerasan bahan.

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Rockwell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengukurannya dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan ujungnya yang dibulatkan sebagai benda pendesak (*indentor*). Prinsip pengujian pada metoda *Rockwell* adalah dengan menekankan penetrator ke dalam benda kerja dengan pembebanan, dan kedalaman indentasi akan memberikan harga kekerasan yaitu perbedaan kedalaman indentasi yang didapatkan dari beban mayor dan

minor (Setiawan, 2014). Pada penelitian ini digunakan metode *Rockwell* dengan *indenter* berbentuk kerucut intan dan beban mayor 150 kgf (HRC).

Pengujian *Rockwell* HRC sebagai cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras. Semakin keras bahan yang akan diuji, maka semakin dangkal masuknya penekan dan sebaliknya makin lunak bahan yang akan diuji, maka semakin dalam masuknya. Cara *Rockwell* sangat disukai karena dengan cepat dapat diketahui kekerasannya tanpa menghitung dan mengukur. Nilai kekerasan dapat dibaca setelah beban utama dilepaskan, dimana beban awal masih menekan bahan. Untuk metode pengujian dan skala kekerasan *rockwell* dapat ditunjukkan pada gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Metode Pengujian Kekerasan dan Skala Kekerasan *Rockwell*
(Setiawan, 2014)

2.5 Anova

Uji Anova adalah bentuk khusus dari analisis statistik yang banyak digunakan dalam penelitian eksperimen. Metode analisis ini dikembangkan oleh R.A Fisher. Uji Anova juga adalah bentuk uji hipotesis statistik dimana kita mengambil kesimpulan berdasarkan data atau kelompok statistik inferentif. Hipotesis nol dari uji Anova adalah bahwa data adalah *simple random* dari populasi yang sama sehingga memiliki ekspektasi *mean* dan varians yang sama (Lasmon, et al., 2017). Statistika merupakan suatu ilmu yang terdiri dari teori dan metode yang merupakan cabang dari matematika terapan dan membicarakan tentang bagaimana cara mengumpulkan data, bagaimana meringkas data, mengolah dan menyajikan data, bagaimana menarik kesimpulan dari hasil analisis, serta bagaimana menentukan keputusan dalam batas-batas resiko tertentu berdasarkan strategi yang

ada. Metode statistika yang banyak digunakan dalam menganalisis suatu hasil penelitian maupun observasi adalah metode *analysis of variance* (ANOVA) (Fitrayudha, et al., 2020). Dalam penelitian menggunakan metode anova satu arah (*one-way anova*).

Metode *one-way anova* adalah sebuah metode yang digunakan untuk menguji secara serentak apakah dalam suatu populasi mempunyai nilai rata-rata yang sama (Fitrayudha, et al., 2020). Analisis variansi satu-arah adalah statistik uji yang eksperimennya didasarkan hanya pada suatu kriteria saja atau bisa juga dikatakan analisis yang dilakukan melibatkan hanya satu pengubah bebas. Dalam uji anova, bukti sampel diambil dari setiap populasi yang sedang dikaji. Data yang diperoleh dari sampel tersebut digunakan untuk menghitung statistik sampel. Distribusi *sampling* yang digunakan untuk mengambil keputusan statistik, yakni menolak atau menerima hipotesis nol (H_0), adalah Distribusi F (*F Distribution*).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data menggunakan metode *one way anova* adalah sebagai berikut:

- a) Memformulasikan hipotesis
- b) Menentukan (α)
- c) Menentukan kriteria uji
- d) Statistik uji

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$F_{hitung} = \frac{S^2_{perlakuan}}{S^2_{galat}}$$

Keterangan:

$S^2_{perlakuan}$: Estimasi varians dengan metode antar kelompok

S^2_{galat} : Estimasi varians dengan metode dalam kelompok

Daerah penolakannya : $F_{hitung} > F(\alpha; df_{perlakuan}, df_{galat})$

Dalam pengujian analisis varians ini untuk mengetahui nilai distribusi F (F_{hitung}), maka langkah-langkah yang harus dilakukan sebagai berikut:

1. Mencari Jumlah Kuadrat (JK)

$$\text{Faktor Korelasi (FK)} = \frac{y^2}{nk}$$

Dimana :

y^2 = jumlah keseluruhan sampel dikuadratkan

n = jumlah sampel masing-masing kelompok

k = jumlah kelompok

$$\text{Jumlah Kuadrat Total (JK}_{\text{total}}) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y^2_{ij} - \frac{y^2}{nk}$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JK}_{\text{perlakuan}}) = \sum_{i=1}^k \frac{y^2_i}{n_i} - \frac{y^2}{nk}$$

$$\text{Jumlah kuadrat galat (JK}_{\text{galat}}) = \text{JK}_{\text{total}} - \text{JK}_{\text{perlakuan}}$$

2. Mencari derajat bebas (db) = $df = v$

$V_{\text{total}} = nk - 1$ (Jika jumlah obyek atau item tiap perlakuan sama).

Intinya dalam mencari V_{total} adalah jumlah seluruh obyek atau item yang diamati dari itu semua perlakuan dikurangi 1.

$$V_{\text{perlakuan}} (V_1) = k - 1$$

$V_{\text{galat}} (V_2) = nk - k$ (jika jumlah obyek atau item tiap perlakuan sama).

V_{galat} ini dapat diperoleh dengan $V_{\text{total}} - V_{\text{perlakuan}}$.

3. Mencari Kuadrat Tengah (KT)

$$KT_{\text{perlakuan}} = S^2_{\text{perlakuan}} = \frac{JK_{\text{perlakuan}}}{V_{\text{perlakuan}}}$$

$$KT_{\text{galat}} = S^2_{\text{galat}} = \frac{JK_{\text{galat}}}{V_{\text{galat}}}$$

$$F_{\text{hitung}} = \frac{S^2_{\text{perlakuan}}}{S^2_{\text{galat}}} = \frac{KT_{\text{perlakuan}}}{KT_{\text{galat}}}$$

4. Membuat tabel

Adapun tabulasi ragam untuk ANOVA satu arah dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.3 Tabulasi Ragam Untuk ANOVA Satu Arah.

Sumber keragaman	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	F _{hitung}	Taraf Signifikansi (α)
Perlakuan	$JK_{\text{perlakuan}}$	$k - 1$	$KT_{\text{perlakuan}}$	$\frac{KT_{\text{perlakuan}}}{KT_{\text{galat}}}$	5%
Galat	JK_{galat}	$nk - k$	KT_{galat}		
Total	JK_{total}	$nk - 1$			

5. Mencari F_{tabel}

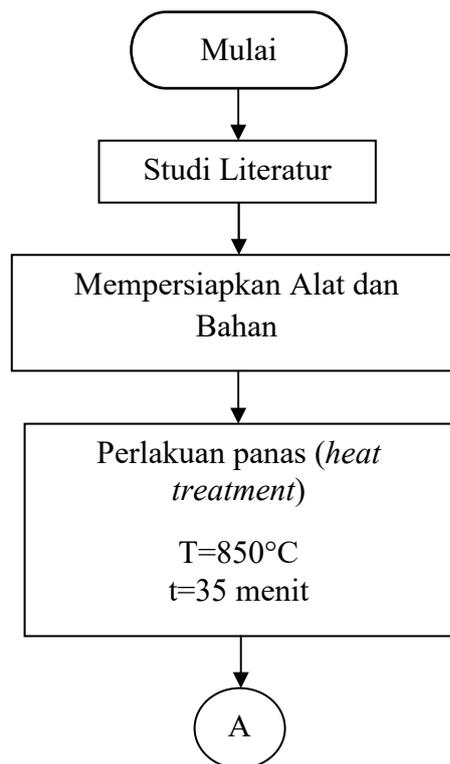
F_{tabel} didapat dari tabel distribusi F dimana hal yang harus diketahui adalah alfa (α), df perlakuan dan df galat.

6. Membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel}

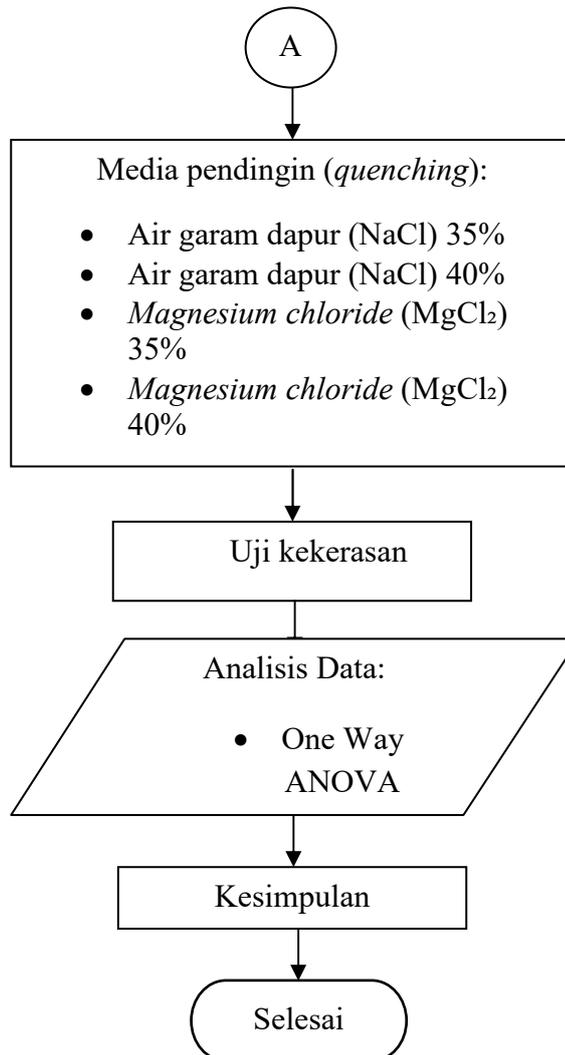
BAB III

METODE PENELITIAN

Adapun metode yang digunakan adalah model eksperimen murni dengan dua buah variabel yang masing-masing akan dilakukan uji hipotesis secara matematis dengan analisis statistik *one-way* ANOVA. Langkah awal untuk memulai penelitian yaitu studi literatur yang didapat dari *e-book*, internet, artikel dan jurnal ilmiah. Langkah selanjutnya memahami studi literatur dan menjadikannya sebagai referensi. Sehingga dengan adanya studi literatur dapat digunakan untuk memperkuat argumen tentang penelitian yang di ajukan. Rincian langkah-langkah tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian (Lanjutan)

3.1 Tempat dan Lokasi Penelitian

Tempat dan lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Laboratorium Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

3.2 Benda Kerja

Dalam penelitian ini memerlukan bahan dan peralatan, adapun bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

3.2.1 Bahan Penelitian

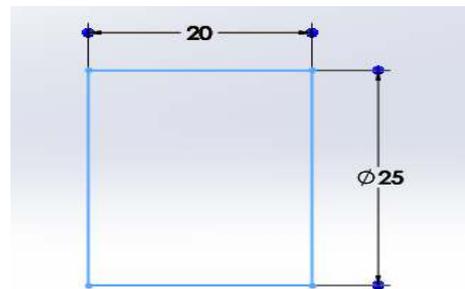
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Baja St 60

Baja St 60 digunakan sebagai spesimen uji dalam proses penelitian ini. Ukuran spesimen untuk penelitian ini adalah $P = 20$ mm dan $\varnothing = 25$ mm. Baja St 60 dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.2 dan 3.3 di bawah ini:



Gambar 3.2 Baja St 60



Gambar 3.3 Ukuran Spesimen

- Majun

Majun digunakan untuk mengelap dan mengeringkan spesimen setelah diangkat dari proses *quenching*. Majun dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.4 di bawah ini:



Gambar 3.4 Majun

- Amplas

Amplas digunakan untuk membersihkan sisa-sisa kerak setelah proses perlakuan panas. Amplas yang digunakan adalah amplas #250. Amplas dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3.5 Amplas

- Kawat baja

Kawat baja digunakan untuk mengikat spesimen uji yang nantinya akan memudahkan dalam pengangkatan spesimen uji. Kawat baja dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.6 di bawah ini:



Gambar 3.6 Kawat Baja

- Media pendingin

Pada penelitian sebelumnya menggunakan media pendingin larutan garam dengan persamaan yang dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Persamaan Media Pendingin Larutan Garam

No.	Kandungan Dengan 4 Liter Air	
	Persentase (%)	Garam
1	20%	800 gram
2	25%	1000 gram
3	30%	1200 gram

Sumber: (Aziza, et al., 2017)

Dari tabel 3.1 dapat ditarik kesimpulan bahwa setiap naik 5% maka ditambahkan dengan 200 gram garam dan menggunakan air sebanyak 4 liter. Sehingga dilakukan penelitian menggunakan pendingin larutan garam yang diambil persamaan dari penelitian sebelumnya dengan media pendingin yang dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Media Pendingin

No.	Kandungan Dengan 4 Liter Air	
	Persentase (%)	Garam
1.	NaCl 35%	1400 gram
2.	NaCl 40%	1600 gram
3.	MgCl ₂ 35%	1400 gram
4.	MgCl ₂ 40%	1600 gram

Media pendingin yang digunakan dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.7 di bawah ini:

Gambar 3.7 Garam MgCl₂ dan Garam NaCl

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mesin gergaji potong DOALL Model C-916

Mesin gergaji potong digunakan untuk memotong spesimen. Mesin gergaji potong dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3.8 Mesin Gergaji Potong

- Dapur pemanas

Dapur pemanas digunakan untuk memanaskan spesimen pada proses *heattreatment*. Dapur pemanas yang digunakan dapur pemanas *Nabertherm made in Germany*. Dapur pemanas dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.9 di bawah ini:



Gambar 3.9 Dapur Pemanas

- Mesin uji kekerasan

Mesin uji kekerasan digunakan untuk mengetahui hasil uji kekerasan dari nilai kekerasan spesimen setelah dilakukan perlakuan panas. Mesin uji kekerasan yang digunakan adalah *Hardness Testing Machine Limited* dengan *Type 8150 LK (United Kingdom)*. Mesin uji kekerasan yang digunakan dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.10 sebagai berikut:



Gambar 3.10 Mesin Uji Kekerasan

- Kikir

Kikir digunakan untuk menghilangkan sisi tajam pada spesimen. Kikir dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.11 di bawah ini:



Gambar 3.11 Kikir

- Tang

Tang digunakan untuk memotong kawat. Tang yang digunakan adalah tang kombinasi. Tang dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.12 di bawah ini:



Gambar 3.12 Tang

- Wadah media pendingin

Wadah media pendingin digunakan untuk menampung media pendingin yang akan digunakan. Wadah media pendingin yang digunakan adalah ember. Ember dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.13 di bawah ini:



Gambar 3.13 Wadah Pendingin

- Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur spesimen setelah pemotongan. Jangka sorong dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.14 di bawah ini:



Gambar 3.14 Jangka Sorong

- Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk penakaran air yang akan digunakan sebagai campuran media pendingin. Gelas ukur dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.15 sebagai berikut:



Gambar 3.15 Gelas Ukur

3.3 Variabel Penelitian

- Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah *Hardening* dengan temperatur 850°C dan media pendingin yang digunakan.

- Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kekerasan hasil dari uji kekerasan baja ST 60.

- Variabel kontrol

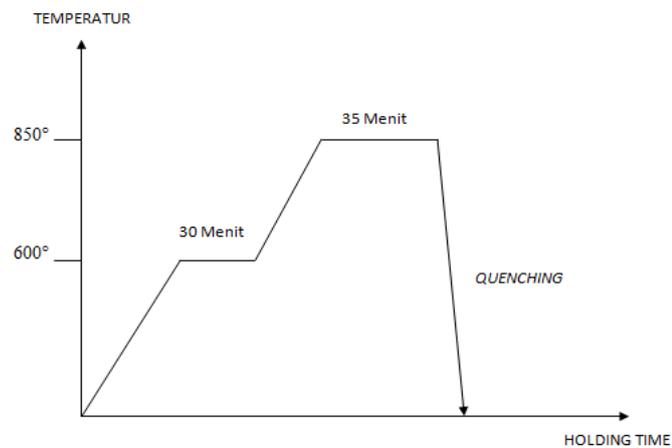
- Dimensi spesimen adalah $P= 20\text{mm}$ dan $\text{Ø}= 25\text{mm}$.
- *Holding time* 35 menit pada proses *Hardening*.
- Beban pengujian kekerasan *rockwell* sama untuk setiap spesimen.

3.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dilakukan setelah persiapan bahan dan peralatan selesai. Perlakuan panas yang diterapkan dalam penelitian ini adalah perlakuan panas pengerasan yang dilakukan dengan tahapan proses sebagai berikut:

1. *Preheating* merupakan pemanasan awal untuk menghindari terjadinya keretakan pada spesimen akibat adanya *shock temperature*. Proses ini dilakukan sebelum proses pemanasan austensi. Proses pemanasan ini dilakukan pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 30 menit.
2. Austenisasi merupakan pemanasan lanjutan setelah dilakukan pemanasan awal. Pemanasan ini dilakukan sampai temperatur austenisasi 850°C dengan waktu tahan 35 menit.

3. *Quenching* merupakan proses pendinginan cepat terhadap logam dengan pencelupan pada media pendingin. Proses pendinginan cepat (*quenching*) dilakukan setelah mencapai temperatur austenisasi dan *holding time* yang telah ditentukan dengan menggunakan media pendingin larutan garam. Untuk digram proses perlakuan panas dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.16 di bawah ini:



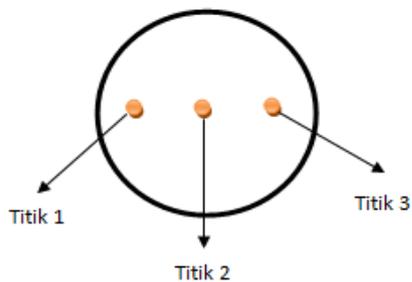
Gambar 3.16 Diagram Proses Perlakuan Panas

3.5 Uji Kekerasan

Pada penelitian ini uji kekerasan dilakukan menggunakan metode *rockwell*. Uji kekerasan pada spesimen tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan baja akibat suhu pemanasan dan variasi campuran media pendingin sehingga dapat diketahui perubahan kekerasan serta kekerasan rata-rata dari semua spesimen. Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengamati nilai kekerasan pada penelitian ini:

1. Melakukan pengampelasan pada spesimen dengan tingkat kehalusan #250.
2. Melakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji *Hardness Testing Machine Limited* dengan *Type 8150 LK (United Kingdom)*.

Pengujian ini akan dilakukan pada permukaan spesimen yang terkena kontak langsung dengan indenter. Penempatan titik uji pada spesimen dapat ditunjukkan pada gambar 3.17 sebagai berikut:



Gambar 3.17 Posisi Titik Pengujian Kekerasan Permukaan

Adapun lembar pengamatan untuk pengujian kekerasan tanpa perlakuan (R1) dapat dilihat seperti pada tabel 3.3 di bawah ini:

Tabel 3.3 Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan Tanpa Perlakuan (R1)

No.	Banyak pengujian			Jumlah rata-rata (HRC)
	1	2	3	
1	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	\bar{x} R ₁

Adapun lembar pengamatan untuk pengujian kekerasan setelah perlakuan dapat dilihat seperti pada tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.4 Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan Setelah Perlakuan

No	Quenching	Nama Sampel	Harga Kekerasan Rockwell (HRC)				Rata-rata 1, 2 dan 3	Rata Rata Σ
			1	2	3			
1	Air Garam dapur 35%	A1	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	\bar{x} A ₁	\bar{x} A ₁ A ₂ A ₃	
		A2	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	\bar{x} A ₂		
		A3	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	\bar{x} A ₃		
2	Air Garam Dapur 40%	B1	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	\bar{x} B ₁	\bar{x} B ₁ B ₂ B ₃	
		B2	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	\bar{x} B ₂		
		B3	B ₃₁	B ₃₂	B ₃₃	\bar{x} B ₃		

Tabel 3.4 Lembar Pengamatan Pengujian Kekerasan Setelah Perlakuan

(Lanjutan)							
3	Air Garam	C1	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	\bar{x} C ₁	
	MgCl ₂ 35%	C2	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	\bar{x} C ₂	\bar{x} C ₁ C ₂ C ₃
		C3	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	\bar{x} C ₃	
4	Air Garam	D1	D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃	\bar{x} D ₁	
	MgCl ₂ 40%	D2	D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃	\bar{x} D ₂	\bar{x} D ₁ D ₂ D ₃
		D3	D ₃₁	D ₃₂	D ₃₃	\bar{x} D ₃	

3.6 Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Analisis of Varians* (ANOVA) Satu Arah. Langkah-langkah yang dilakukan dalam *one way* ANOVA adalah sebagai berikut:

a. Menentukan Hipotesis

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- H₀ : Tidak terdapat pengaruh perlakuan
- H₁ : Terdapat pengaruh perlakuan

b. Menentukan (α)

Pada penelitian ini taraf signifikansi α yang digunakan sebesar 5% (0.05).

c. Menentukan Kriteria Pengujian

Kriteria uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jika nilai $F_{hitung} < \text{nilai } F_{tabel}$ ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh terhadap kekerasan dengan kata lain H₀ diterima dan H₁ ditolak.
- Jika nilai $F_{hitung} > \text{nilai } F_{tabel}$ ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh terhadap kekerasan dengan kata lain H₀ ditolak dan H₁ diterima.

d. Statistik Uji

Dalam statistik uji maka langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Mencari Jumlah Kuadrat (JK)
- 2) Mencari Derajat Bebas (db) = $df = v$
- 3) Mencari Kuadrat Tengah (KT)
- 4) Membuat Tabel
- 5) Mencari F_{tabel}
- 6) Membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel}

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan proses yang akan dilakukan mulai dari persiapan spesimen, perlakuan panas, dan pengujian. Adapun langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

a. **Persiapan spesimen**

Persiapan spesimen ini dimulai dari:

- Pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin gerjgaji potong DOALL Model C-916. Potong spesimen dengan ukuran panjang 20 mm dan diameter 25 mm. Jumlah spesimen yang akan dibuat sebanyak 13 Pcs. Untuk pembuatan spesimen dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4.1 Pembuatan Spesimen

- Mengikir spesimen setelah selesai dipotong untuk menghilangkan sisi tajam sisa pemotongan.
- Mengikat spesimen dengan kawat agar mempermudah dalam pengangkatan dan pencelupan ke media pendingin. Untuk proses mengikat spesimen dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Mengikat Spesimen

b. Perlakuan panas

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses perlakuan panas, yaitu:

- Menyiapkan media pendingin yang akan digunakan dalam penelitian. Hal yang perlu disiapkan adalah 4 liter air sebanyak 4 wadah, garam yang akan dipakai sebagai media pendingin yaitu garam dapur (NaCl) dengan kadar garam 35% dan 40% kemudian garam *Magnesium Chloride* (MgCl_2) dengan kadar garam 35% dan 40%. Selanjutnya masing-masing garam sesuai dengan kadarnya dicampur dengan wadah yang sudah berisi air dan diaduk hingga merata. Untuk larutan garam yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.3 di bawah ini:



Gambar 4.3 Larutan Garam

- Proses pemanasan dilakukan dengan persiapan dapur pemanas. Selanjutnya memasukan spesimen yang telah diikat dengan kawat kedalam dapur pemanas. Spesimen dipanaskan pada suhu 850°C dan ditahan selama 35 menit.

- Proses *quenching* dilakukan setelah tungku mencapai batas waktu penahanan. Spesimen didinginkan secara cepat setelah dipanaskan pada suhu 850°C kedalam wadah berisi larutan garam. Setelah spesimen dingin angkat spesimen dan keringkan menggunakan majun. Untuk proses pencelupan dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4.4 Proses Pencelupan

- Setelah spesimen mencapai suhu ruangan, keringkan menggunakan majun dan bersihkan menggunakan amplas.
- c. Pengujian

Dalam penelitian yang dilakukan pada baja St 60 menggunakan metode pengujian kekerasan *Rockwell*. Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

- Mempersiapkan spesimen uji yang telah di proses perlakuan panas dan dihaluskan.
- Mengatur beban pada alat uji kekerasan *Rockwell* sebesar 150-kgf.
- Melakukan pemasangan indenter yang berbentuk seperti *diamond*.
- Meletakkan spesimen pada meja uji.
- Melakukan pengujian pada spesimen dengan cara memutar tuas pada bagian bawah meja uji. Untuk proses pengujian dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4.5 Melakukan Pengujian

- Setelah itu tunggu hingga alat uji membaca nilai kekerasan spesimen.
- Setelah alat uji selesai membaca nilai kekerasan, turunkan meja uji sampai spesimen tidak menempel lagi pada indenter dengan cara memutar tuas berlawanan arah jarum jam pada bagian bawah meja uji.
- Lakukan pengulangan penitikan yang tidak terlalu jauh dari penitikan pertama sampai beberapa titik dan catat hasil nilai kekerasan yang saling mendekati.

4.2 Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil pengujian kekerasan tanpa perlakuan (R1) dapat dilihat seperti pada tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Tanpa Perlakuan (R1)

No.	Banyak pengujian			Jumlah rata-rata (HRC)
	1	2	3	
1	14	16.1	13.5	14.5

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilihat hasil pengujian kekerasan tanpa perlakuan memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 14.5 HRC.

Adapun hasil pengujian kekerasan setelah perlakuan dapat dilihat seperti pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Setelah Perlakuan

No	Quenching	Nama Sampel	Harga Kekerasan <i>Rockwel</i> (HRC)				
			1	2	3	Rata-rata 1, 2 dan 3	Rata Σ
1	Air Garam NaCl 35%	A1	39.1	39.1	41	39.7	
		A2	40	40.7	40.7	40.5	40.5
		A3	41.1	41.1	41.3	41.2	
2	Air Garam NaCl 40%	B1	42.9	43.3	43.5	43.2	
		B2	42.8	43.1	44.1	43.3	43.4
		B3	42.3	44.4	44.6	43.8	
3	Air Garam MgCl ₂ 35%	C1	43.3	43.3	44.1	43.6	
		C2	43	43.6	43.8	43.5	43.7
		C3	43.8	44.2	44.4	44.1	
4	Air Garam MgCl ₂ 40%	D1	45.1	45.5	47.3	46	
		D2	45.3	46.5	46.9	46.2	46.2
		D3	45.5	46.4	47.2	46.4	

Berdasarkan tabel 4.2 dapat dilihat air garam dapur (NaCl) 35% memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 40.5 HRC, air garam dapur (NaCl) 40% memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 43.4 HRC, air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 35% memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 43.7 HRC dan air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 40% memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 46.2 HRC.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menghitung *one way* ANOVA adalah sebagai berikut:

i. Hipotesis

H₀: Tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap pengaruh media pendingin pada hasil penelitian yang dilakukan terhadap sampel setelah dilakukan pengujian kekerasan pada spesimen baja St 60.

H1: Terdapat perbedaan yang signifikan terhadap pengaruh media pendingin pada hasil penelitian yang dilakukan terhadap sampel setelah dilakukan pengujian kekerasan pada baja St 60.

ii. Menentukan (α)

$$\alpha = 5\% (0.05)$$

iii. Kriteria uji

- Jika nilai $F_{hitung} < \text{nilai } F_{tabel} (\alpha = 5\%)$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh terhadap kekerasan dengan kata lain H_0 diterima dan H_1 ditolak.
- Jika nilai $F_{hitung} > \text{nilai } F_{tabel} (\alpha = 5\%)$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh terhadap kekerasan dengan kata lain H_0 ditolak dan H_1 diterima.

iv. Statistika uji

$$F_{hitung} = \frac{S^2_{perlakuan}}{S^2_{galat}}$$

Adapun perhitungan *one way* ANOVA yang digunakan dapat dilihat seperti pada tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4.3 Perhitungan *One Way* ANOVA

No.	NaCl	NaCl	MgCl	MgCl	A ²	B ²	C ²	D ²
	35%	40%	35%	40%				
	(A)	(B)	(C)	(D)				
\bar{x} 1	39.7	43.2	43.6	46	1576.	1866.	1900.	2116
					09	24	96	
\bar{x} 2	40.5	43.3	43.5	46.2	1640.	1874.	1892.	2134
					25	89	25	.4
\bar{x} 3	41.2	43.8	44.1	46.4	1697.	1918.	1944.	2152
					44	44	81	.96

Tabel 4.3 Perhitungan *One Way* ANOVA (Lanjutan)

Σ	121.4	130.3	131.2	138.6	4913.	5659.	5738.	6403
					78	57	02	.4
Total		521.5				22714.77		
Σ^2	14737	16978	17213	19209				
	.96	.09	.44	.96				
Total		68139.45						

1) Mencari Jumlah Kuadrat (JK)

$$(FK) = \frac{521.5^2}{12} = 22663.52$$

$$(JK_{perlakuan}) = \frac{121.4^2 + 130.3^2 + 131.2^2 + 138.6^2}{3} - FK$$

$$= \frac{68139.45}{3} - 22663.52 = 49.63$$

$$(JK_{total}) = 1576.09 + 1866.24 + 1900.96 + 2116 + 1640.25 +$$

$$1874.89 + 1892.25 + 2134.4 + 1697.44 + 1918.44 +$$

$$1944.81 + 2152.96 + 4913.78 + 5659.57 + 5738.02 +$$

$$6403.4 - FK$$

$$= 51.25$$

$$(JK_{galat}) = JK_{total} - JK_{perlakuan} = 1.62$$

2) Mencari Derajat Bebas (db) = df = v

$$V_{total} = nk - 1 = (3 \times 4) - 1 = 11$$

$$V_{perlakuan} (V_1) = k - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$V_{galat} (V_2) = nk - k = (3 \times 4) - 4 = 12 - 4 = 8$$

3) Mencari Kuadrat Tengah (KT)

$$KT_{perlakuan} = S^2_{perlakuan} = \frac{49.63}{3} = 16.54$$

$$KT_{galat} = S^2_{galat} = \frac{1.62}{8} = 0.2$$

$$F_{hitung} = \frac{S^2_{perlakuan}}{S^2_{galat}} = \frac{16.54}{0.2} = 82.7$$

4) Membuat Tabel

Adapun tabulasi ragam *one way* ANOVA yang didapatkan dari hasil perhitungan dapat dilihat seperti pada tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.4 Tabulasi Ragam *One Way* ANOVA

Sumber keragaman	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	F_{hit}	Taraf Signifikansi (α)
Perlakuan	49.63	3	16.54		
Galat	1.62	8	0.2	82.7	5% (0.05)
Total	51,25	11			

Untuk perhitungan ANOVA *software* analisis dapat dilihat seperti pada tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5 Perhitungan ANOVA *Software* Analisis

Source	DF	SS	MS	F	P
Media	3	49.629	16.543	81.69	0.000
Pendingin					
Error	8	1.620	0.202		
Total	11	51.249			

Berdasarkan tabel 4.4 dan tabel 4.5 dapat dilihat bahwa perbandingan antara perhitungan langsung dengan perhitungan *software* tidak memiliki perbedaan yang jauh antara nilai F.

5) Menentukan F_{tabel}

$$F_{\text{tabel}} = F(\alpha; \text{df perlakuan}, \text{df galat})$$

$$F_{(0.05; 3; 8)} = 4.07$$

6) Membandingkan F_{hit} dan F_{tabel}

Setelah didapat nilai $F_{\text{hitung}} 82.7 > F_{\text{tabel}} 4.07$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh terhadap kekerasan dengan kata lain H_0 diterima dan H_1 ditolak. Dimana H_1 menyatakan terdapat perbedaan yang signifikan terhadap pengaruh media pendingin pada hasil penelitian yang dilakukan terhadap sampel setelah dilakukan pengujian kekerasan pada baja St 60.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian serta analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Nilai kekerasan sebelum perlakuan panas yaitu (14.5 HRC) dan nilai kekerasan setelah perlakuan panas dengan empat variasi media pendingin yaitu air garam dapur (NaCl) 35% sebesar (40.5 HRC), air garam dapur (NaCl) 40% sebesar (43.4 HRC), air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 35% sebesar (43.7 HRC) dan air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 40% sebesar (46.2 HRC). Dari keempat media pendingin yang memberikan hasil kekerasan lebih baik pada material baja St 60 yaitu media pendingin air garam *magnesium chloride* (MgCl₂) 40% dengan nilai kekerasan sebesar (46.2 HRC).
2. Terdapat pengaruh setiap kenaikan % pada garam dalam media pendingin terhadap nilai kekerasan pada proses pengerasan baja St 60. Dimana semakin besar % garam dalam media pendingin, maka semakin tinggi pula nilai kekerasannya.

1.2 Saran

Adapun saran yang diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ialah:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan penelitian menggunakan larutan garam sebagai media pendinginnya dengan dilakukan penambahan karbon.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aziza, Y., & Pradani, Y. F. (2017). Pengaruh Kadar Garam Dapur (NaCl) Dalam Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja St-60. *Journal Teknologi Terapan* , 18-25.
2. Fhadillah, A., Budiarto, U., & Budi, A. W. (2019). Analisa Sifat Mekanis Baja ST 60 Setelah Carburizing Menggunakan Arang Batok Katalis BaCO₃ dan Quenching. *Jurnal Teknik Perkapalan* , 7, 29-36.
3. Fitrayudha, A., Fajrin, J., & Anshari, B. (2020). Analisis Sifat Mekanis Komposit Polyester Sisal Menggunakan Metode Anova. 2817-2824.
4. Furqon S, G. R., Firman, M., & Suggeng .P, M. A. (2016). Analisa Uji Kekerasan Pada Poros Baja St 60 Dengan Media Pendingin Yang Berbeda. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA* , 21-26.
5. Handoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching dan Tempering pada Baja JIS GRADE S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* , 3, 2.
6. Iriandoko, H., Akbar, A., & Pramesti, Y. S. (2020). Pengaruh Heat Treatment Baja St 60 Terhadap Nilai Kekerasan Dengan Media Pendingin Asam Cuka.
7. Lasmon, J. M., Lumintang, R. C., & Sutrisno, A. (2017). Penerapan Metode Anova Untuk Analisis Sifat Mekanik Komposit Serabut Kelapa. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin* , 151-162.
8. Matien, Y. A. (2016). *Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi Pada Hardening Baja Karbon Sedang*. Semarang.
9. Mustofa, Z. (2016). Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment. *teknik mesin* .
10. Nur, h. (2017). Pengaruh Penggunaan Media Pendingin Air Garam, Air Tawar, dan Air Asam Pada Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Baja ST 60. *16*, 1-11.
11. Pramono, A. (2011). Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Ilmiah Teknik Mesin* , 32-38.
12. Purnomo. (2017). *Material Teknik*. Malang: CV. Seribu Bintang.
13. Putra, R. R., Jokosisworo, S., & Budi S., A. W. (2018). Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja ST 60 sebagai Bahan Poros Baling-

baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan* , 6, 83-90.

14. Santoso, K., & Suhardiman. (2019). Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja. *Seminar Nasional Industri dan Teknologi, Politeknik Negeri Bengkalis* , 160.
15. Selamat, R. (2000). Pengetahuan Bahan Teknik. *Modul Perkuliahan* .
16. Setiawan, H. (2014). Pengujian Kekerasan Dan Komposisi Kimia Produk Cor Propeler Alumunium. *Prosiding SNST ke-5* , Hal 31-36.
17. Yusman, F. (2018). *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan dan Stuktur Mikro Baja AISI 1045*. Bandar Lampung.

Lampiran 1:

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Muhammad Syaifullah
Tempat, Tanggal Lahir : Pait Jaya, 9 Maret 2000
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Pendidikan Terakhir : D IV (Teknik Mesin dan Manufaktur)
Alamat : Dusun VI Pait Jaya, RT 02/RW 00
Desa Belo Laut, Kecamatan Muntok
Kabupaten Bangka Barat, Bangka Belitung
Telepon/HP : 0821-7714-8499
Email : msyaifullah2000@gmail.com

Pendidikan Formal

- a. 2014-2017 : SMK Negeri 1 Muntok
- b. 2011-2014 : SMP Negeri 3 Muntok
- c. 2005-2011 : SD Negeri 16 Muntok

Lampiran 2:

Proses



Gambar 2.1 Spesimen



Gamabar 2.2 Pengikiran Spesimen



Gambar 2.3 Mengikat Spesimen



Gambar 2.4 Memasukan spesimen



Gambar 2.5 Mengatur beban alat uji



Gambar 4.9 Memasang indenter



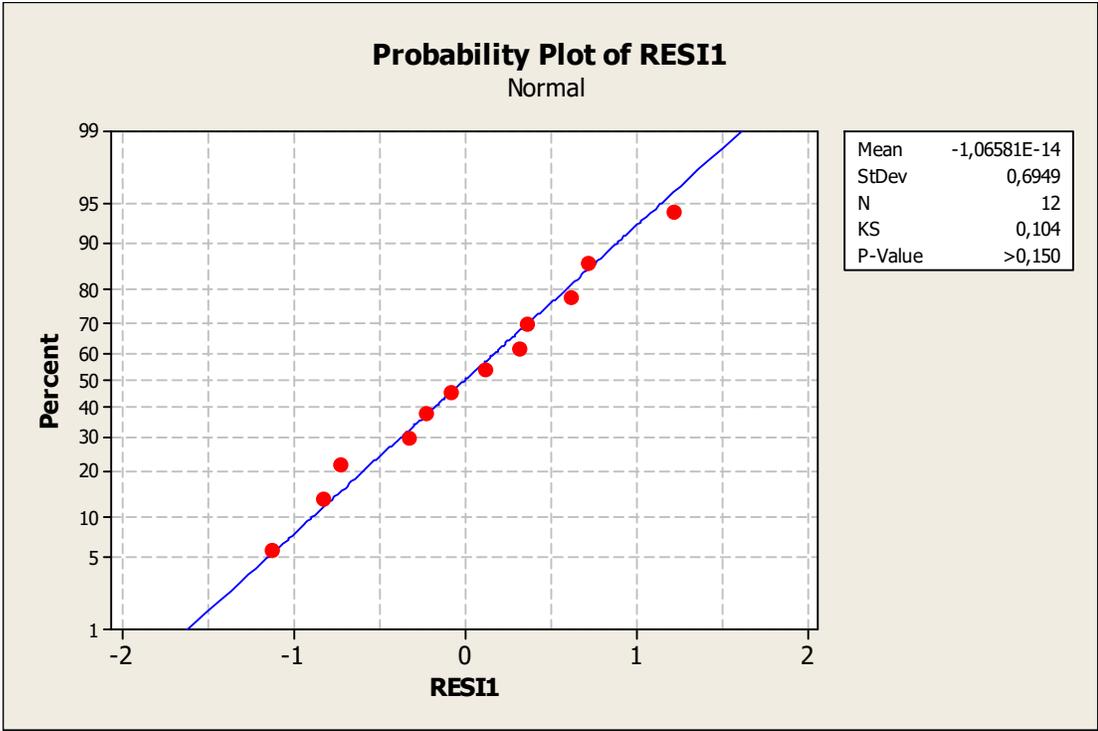
Gambar 4.10 Meletakkan Spesimen



Gambar 4.12 Pengujian spesimen

Lampiran 3:

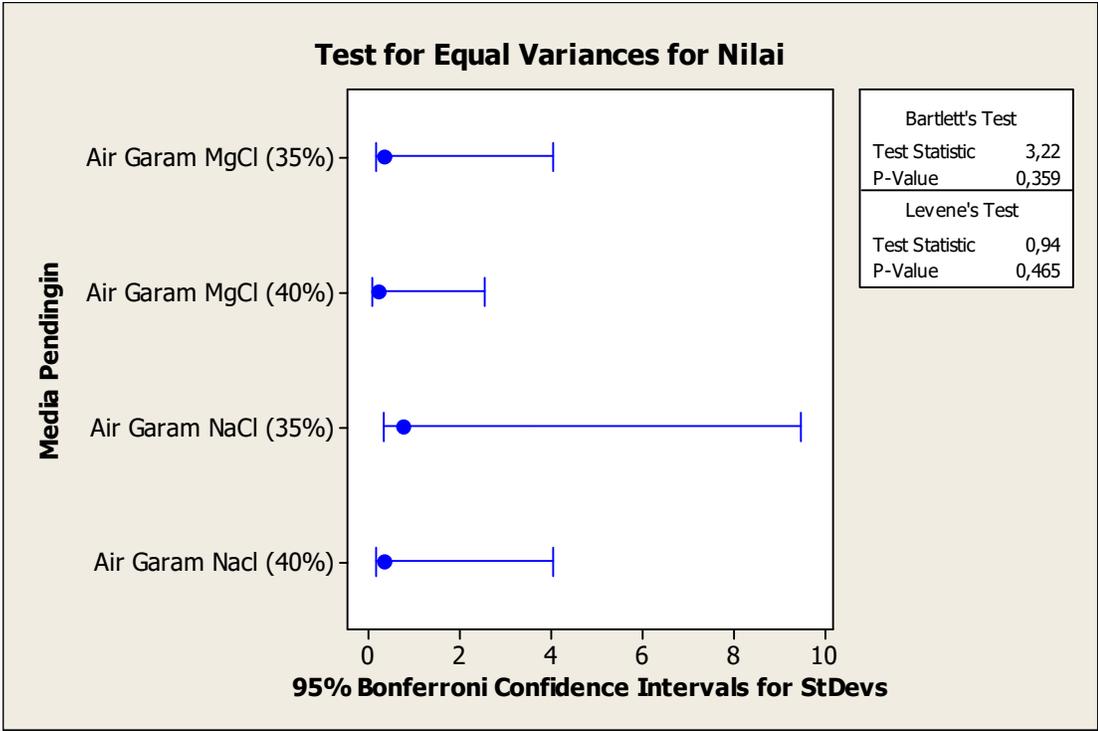
Uji Distribusi Normal



Gambar 3.1 Uji Distribusi Normal Media Pendingin

Lampiran 4:

Uji Homogen



Gambar 4.1 Uji Homogen Media Pendingin

Lampiran 5:

Tabel Persentase Distribusi F

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89