



TUGAS AKHIR - VM 180629

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN GARAM PADA
MEDIA PENDINGIN AIR DALAM PROSES
PENGKERASAN INDUKSI BAJA ST 41 TERHADAP
STRUKTUR MIKRO, NILAI KEKERASAN DAN
KEKUATAN IMPAK**

**ZENDYKA SATRIA BIMANTARA
NRP. 102115 00000 056**

**Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
NIP. 19601025 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



TUGAS AKHIR - VM 180629

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN GARAM PADA
AIR SEBAGAI MEDIA PENDINGIN DALAM PROSES
PENGKERASAN INDUKSI BAJA ST 41 TERHADAP
STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN
IMPAK**

**ZENDYKA SATRIA BIMANTARA
NRP. 102115 00000 056**

**Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
NIP. 19601025 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - VM 180629

**ANALYSIS OF THE EFFECT FROM SALT ADDITION
ON WATER AS COOLING MEDIA AT INDUCTION
HARDENING PROCESS OF ST 41 STEEL TO MICRO
STRUCTURE, HARDNESS AND IMPACT STRENGTH**

**ZENDYKA SATRIA BIMANTARA
NRP. 102115 00000 056**

**Lecture Concellor
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
NIP. 19601025 198701 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN GARAM PADA AIR
SEBAGAI MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PENGERASAN
INDUKSI BAJA ST 41 TERHADAP STRUKTUR MIKRO,
KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada**

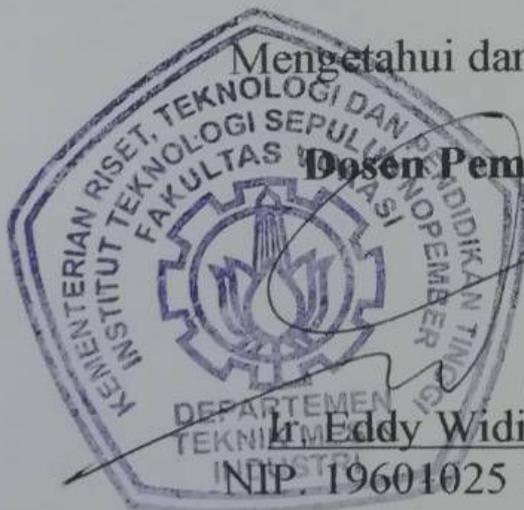
**Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**ZENDYKA SATRIA BIMANTARA
NRP. 10211500000056**

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Eddy Widiyono, MSc

NIP. 19601025 198701 1 001

**SURABAYA,
JANUARI 2019**

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN GARAM PADA MEDIA PENDINGIN AIR PADA PROSES Pengerasan Induksi BAJA ST 41 TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK

Nama Mahasiswa : Zedyka Satria Bimantara
NRP : 1021150000056
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.

Abstrak

Mobil Nogogeni merupakan mobil listrik yang terdiri dari banyak komponen yang menunjang performa dari mobil tersebut. Salah satu bagian penting yang menerima seluruh beban mobil tersebut adalah poros roda. Poros roda ini diharuskan mampu untuk menahan seluruh beban mobil tanpa mengalami deformasi plastis dan memiliki ketangguhan untuk menahan beban dinamis serta harus memiliki kekerasan yang cukup agar tahan aus.

Untuk mendapatkan sifat poros demikian, maka dilakukan laku panas pengerasan induksi dengan suhu pemanasan 900°C, waktu penahanan selama 15 menit dan menggunakan air garam sebagai media pendingin dengan variasi kandungan sebesar 0%, 10% dan 20% terhadap berat air.

Setelah dilakukan laku panas pengerasan induksi dan dilakukan pengujian, didapatkan hasil yang bergam. Pada media pendingin airgaram 0% didapatkan hasil metalografi dengan persentase perlit 70%, kekerasan kulit 47.5 HRC dan kekuatan impak rata-rata 332.46 Kg/cm. Pada media pendingin campuran air dan garam 10 % didapatkan hasil metalografi dengan presentase perlit 81.9%, kekerasan kulit 51 HRC dan kekuatan impak 271.39 kg/cm kemudian pada media pendingin campuran antara air dan garam sebesar 20% menghasilkan metalografi dengan presentase perlitt 64%, kekerasan kulit 37 HRC dan kekuatan impak 644.5kg/cm.

Kata Kunci: Induksi, Struktur mikro, kekerasan, impak,

**ANALYSIS OF THE EFFECT FROM SALT ADDITION ON
WATER AS QUENCHING MEDIA AT INDUCTION
HARDENING PROCESS OF ST 41 STEEL TO MICRO
STRUCTURE, HARDNESS AND IMPACT STRENGTH**

Name : *Zendyka Satria Bimantara*
NRP : *10211500000056*
Department : *Industrial Mechanical Engineering ITS*
Advisor : *Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.*

Abstract

Nogogeni car is an electric car that consists of many components that support the performance of the car. One important part that accepts the entire load of the car is the wheel shaft. This wheel shaft is required to be able to hold all car loads without plastic deformation and has the toughness to withstand dynamic loads and must have sufficient hardness to be resistant to wear.

To obtain such shaft properties, induction hardening heat is carried out with a heating temperature of 900° C, holding time for 15 minutes and using salt water as a cooling medium with a variation of content of 0%, 10% and 20% of the weight of water.

After induction hardening heat treatment and testing, the results obtained are mixed. In water cooling media metallography results obtained with a percentage of 57% pearlite, skin hardness of 47.5 HRC and average impact strength of 332.46 Kg / cm. In the cooling medium the mixture of water and salt 10% obtained metallographic results with a percentage of 60% pearlite, skin hardness 51 HRC and impact strength 271.39 kg / cm then in cooling media the mixture of water and salt by 20% produces metallography with a percentage of 54% pearlite, hardness of the skin 37 HRC and impact strength of 569.93kg / cm.

Keywords: *Induction, microstructure, hardness, impact,*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian yang berjudul :

“ANALISA PENGARUH LAKU PANAS Pengerasan INDUKSI PADA BAJA ST 41 DENGAN VARIASI KANDUNGAN GARAM PADA MEDIA PENDINGIN TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK”

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Ir. Eddy Widiyono M.Sc.** selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku kepala Departemen Teknik Mesin Industri.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri.
4. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.

5. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
6. Teman-teman **D3MITS 2015** yang telah membantu dan menyemangati.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

COVER VERSI INDONESIA	i
COVER VERSI ENGLISH.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK VERSI INDONESIA	iv
ABSTRAK VERSI ENGLISH.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Baja Karbon	6
2.3 Laku Panas Pengerasan Permukaan.....	7
2.3.1 Pengerasan dengan kontak resistan elektrik	8
2.3.2 Pengerasan dengan elektrolitik	9
2.3.3 Pengerasan dengan api oxy – asetilen (<i>flame hardening</i>)	10
2.3.4 Pengerasan dengan induksi (induction hardening)	10
2.4 Media Pendingin	12
2.4.1 Media Pendingin Air.....	13
2.4.2 Media Pendingin Larutan Garam.....	14
2.4.3 Media Pendingin Minyak.....	18
2.4.4 Media Pendingin Emulsi Minyak	19
2.5 Pengujian.....	21
2.5.1 Uji Kekerasan	21

2.5.2 Uji Impak	24
2.5.3 Uji Metalografi	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Diagram Alir	35
3.2 Studi Literatur	36
3.3 Pembuatan Benda Uji.....	36
3.3.1 Spesimen Uji Kekerasan	38
3.3.2 Spesimen Uji Metalografi	38
3.3.3 Spesimen Uji Impak.....	38
3.4 Laku Panas Induksi	39
3.5 Prosedur Pengujian.....	40
3.5.1 Prosedur Uji Kekerasan	40
3.5.2 Prosedur Uji Metalografi	41
3.5.1 Prosedur Uji Impak	42
2.4.3 Hasil dan Analisa	43
BAB 4 HASIL DAN ANALISA	44
4.1 Variasi Kandungan Garam pada Media Pendingin, Suhu Pemanasan dan Waktu Penahanan	44
4.2 Pengujian Metalografi.....	44
4.2.1 Hasil Uji Metalografi Kondisi Awal..	45
4.2.2 Hasil Uji Metalografi dengan Media Pendingin Garam 0 %	45
4.2.3 Hasil Uji Metalografi dengan Media Pendingin Garam 10 %	47
4.2.4 Hasil Pengujian Metalografi dengan Media Pendingin Garam 20 %	49
4.2.5 Analisa Persentase Martensit Pada Benda Uji	50
4.3 Pengujian Kekerasan.....	51
4.3.1 Hasil Uji Kekerasan Kondisi Awal ...	51
4.3.2 Hasil Uji Kekerasan dengan Media Pendingin Garam 0%	52

4.3.3 Hasil Uji Kekerasan dengan Media Pendingin Garam 10%	53
4.3.4 Hasil Uji Kekerasan dengan Media Pendingin Garam 20%	54
4.3.5 Analisa Hasil Uji Kekerasan.....	55
4.4 Pengujian Impak.....	56
4.4.1 Hasil Uji Impak Kondisi Awal	56
4.4.2 Hasil Uji Impak dengan Media Pendingin Garam 0%	56
4.4.3 Hasil Uji Impak dengan Media Pendingin Garam 10%	57
4.4.4 Hasil Uji Impak dengan Media Pendingin Garam 20%	58
4.4.5 Analisa Hasil Uji Impak.....	58
BAB 5 PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya.....	60

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BOIDATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema pengerasan dengan kontak resisten elektrik	9
Gambar 2.2	Skema pengerasan dengan elektrolitik.....	9
Gambar 2.3	Skema pengerasan dengan induksi	11
Gambar 2.4	Grafik efek konsentrasi garam pada air	14
Gambar 2.5	Grafik perbandingan antara larutan garam 10 % dan air pada suhu dan 24°C dan 50°C pada laju pendinginan	16
Gambar 2.6	Kurva laju pendinginan berbagai jenis konsentrasi minyak dalam emulsi minyak dan air	20
Gambar 2.7	Prinsip kerja mesin uji kekerasan rockwell.	22
Gambar 2.8	Perbedaan uji impak charpy dan izod	25
Gambar 2.9	Spesimen uji impak charpy	25
Gambar 2.10	Spesimen uji impak izod	26
Gambar 2.11	Hubungan antara temperatur, material dan kekuatan impak	26
Gambar 2.12	Kebutuhan energy untuk mematahkan benda uji	28
Gambar 2.13	Mikrostruktur Ferit dan Perlit	31
Gambar 2.12	Mikrostruktur Austenit.....	31
Gambar 2.13	Mikrostruktur Cementit	32
Gambar 2.14	Mikrostruktur Bainite.....	32
Gambar 2.15	Fasa Martensit.....	33
Gambar 3.1	Dimensi Spesimen uji kekerasan	38
Gambar 3.2	Dimensi Spesimen uji metalografi	38
Gambar 3.3	Dimensi Spesimen uji impak	39
Gambar 3.4	Titik indentasi uji kekerasan	41
Gambar 4.1	Grafik perbandingan fasa	50
Gambar 4.2	Grafik uji kekerasan kondisi awal.....	52
Gambar 4.3	Grafik uji kekerasan air garam 0%	53

Gambar 4.4	Grafik uji kekerasan air garam 10%	53
Gambar 4.5	Grafik uji kekerasan air garam 20%	54
Gambar 4.6	Grafik uji kekerasan seluruh spesimen	55
Gambar 4.7	Grafik uji impak	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis larutan garam dan laju pendinginannya...	15
Tabel 2.2 Tabel jenis indenter mesin uji kekerasan	22
Tabel 3.1 Komposisi kimia Baja St 41	36
Tabel 3.2 Sifat mekanik Baja St 41	37
Tabel 3.3 Struktur mikro Baja St 41.....	37
Tabel 3.4 Perbandingan berat garam dan air media pendingin	40
Tabel 4.1 Perbandingan berat garam dan air media pendingin	44
Tabel 4.2 Struktur Mikro Baja St – 41 kondisi awal.....	45
Tabel 4.3 Struktur Mikro Baja St – 41garam 0%.....	46
Tabel 4.4 Struktur Mikro Baja St – 41garam 10%.....	47
Tabel 4.5 Struktur Mikro Baja St – 41garam 20%.....	49
Tabel 4.6 Uji kekerasan kondisi awal	51
Tabel 4.7 Uji kekerasan garam 0%	52
Tabel 4.8 Uji kekerasan garam 10%	53
Tabel 4.9 Uji kekerasan garam 20%	54
Tabel 4.10 Uji impak kondisi awal	56
Tabel 4.11 Uji impak garam 0%	57
Tabel 4.12 Uji impak garam 10%	57
Tabel 4.13 Uji impak garam 20%	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil Nogogeni merupakan mobil listrik yang terdiri dari banyak komponen yang menunjang performa dari mobil tersebut. Salah satu bagian penting yang menerima seluruh beban mobil tersebut adalah poros roda. Poros roda ini diharuskan mampu untuk menahan seluruh beban mobil tanpa mengalami deformasi plastis dan memiliki ketangguhan untuk menahan beban dinamis serta harus memiliki kekerasan yang cukup agar tahan aus dan awet. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan elemen mesin dan simulasi komputer, mobil nogogeni menggunakan poros dengan bahan St 41, dimana bahan tersebut merupakan jenis baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,20 %. Dengan kadar karbon tersebut, maka material ini dapat dilakukan perlakuan panas, terutama pengerasan permukaan.

Pengerasan permukaan adalah salah satu cara untuk mengurangi laju keausan tanpa mengubah sifat mekanik bagian dalam poros sehingga poros memiliki kekerasan pada permukaan dan sifat – sifat bahan pada bagian dalam tidak berubah. Pengerasan permukaan memiliki beberapa metode yang umum digunakan, contoh : *Flame hardening* menggunakan api dari *oxy-asetilen*, pengerasan dengan *electrolytic* dan *electrical contact resistance*. Pada tugas akhir ini, metode pengerasan permukaan dilakukan dengan *induction hardening*.

Induction hardening atau pengerasan dengan panas induksi adalah salah satu metode pengerasan permukaan yang menggunakan arus induksi berfrekuensi tinggi yang mampu memanaskan permukaan benda kerja. Induction hardening umum digunakan untuk industri untuk memperkeras permukaan berbagai elemen mesin seperti crankshaft, camshaft, roda gigi dan lain sebagainya. Pengerasan permukaan dengan metode induksi memiliki beberapa keuntungan, yaitu mengurangi waktu heat treatment, deformasi akibat laku panas dapat dikurangi serta dapat menentukan bagian mana yang akan di keraskan pada benda kerja (selective hardening).

Pada tugas akhir ini, dilakukan penelitian tentang pengaruh air garam sebagai media pendingin setelah baja St 41 dilakukan pemanasan menggunakan mesin pemanas induksi. Hal yang akan divariasikan adalah persentase campuran garam terhadap air yang akan merubah densitas air, sehingga dapat ditentukan konsentrasi garam yang sesuai untuk hasil sesuai sifat mekanik yang diinginkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh laku panas pengerasan induksi dengan variasi kandungan garam pada media pendingin air terhadap struktur mikro baja st 41?
2. Bagaimanakah pengaruh laku panas pengerasan induksi dengan variasi kandungan garam pada media pendingin air terhadap kekerasan baja St 41?
3. Bagaimanakah pengaruh laku panas pengerasan induksi dengan variasi kandungan garam pada media pendingin air terhadap kekuatan impak baja St 41?

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan gambaran struktur mikro yang mempengaruhi kekerasan dan ketangguhan material St 41 yang telah dilakukan laku panas pengerasan induksi dengan variasi kandungan garam dalam media pendingin.
2. Mendapatkan nilai kekerasan yang terjadi akibat perlakuan panas pengerasan induksi dengan variasi kandungan garam dalam media pendingin
3. Mendapatkan nilai kekuatan impak yang terjadi akibat perlakuan panas pengerasan induksi dengan variasi kandungan garam dalam media pendingin

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas lebih terarah dan fokus, maka diperlukan batasan masalah. Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Komposisi kimia bahan diasumsikan homogen.
2. Pengujian sifat mekanik hanya terbatas pada pengujian kekerasan (menggunakan skala kekerasan *Rockwell*), kekuatan impak (menggunakan metode *Charphy*) dan metalografi (menentukan fasa yang terjadi).
3. Waktu pemanasan, suhu pemanasan, frekuensi induksi, jarak benda kerja pada kumparan induksi pada setiap benda uji diasumsikan sama.

1.5 Metodologi Penulisan

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Pada Bab 1 ditulis tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penulisan.

2. BAB 2 DASAR TEORI

Pada Bab 2 ditulis tentang dasar teori yang menunjang pengerjaan tugas akhir ini.

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 ditulis tentang metodologi penelitian, dimana seluruh rangkaian kegiatan penelitian dijabarkan secara rinci.

4. BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Pada Bab 4 dibahas tentang hasil penelitian yang telah dilakukan dan analisa data yang telah didapatkan selama penelitian.

5. BAB 5 KESIMPULAN

Pada Bab 5 ditulis tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pembahasan penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

Dasar Teori

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam suatu penelitian, diperlukan dukungan hasil – hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian tersebut.

Dari penelitian Tarsono Dwi Susanto, dalam jurnal yang berjudul “*Studi Pengerasan Permukaan Dengan Cara Pengerasan Induksi*” perlakuan panas induksi pada low alloy steel pada mesin pemanas induksi 15 kW dengan fluida pendingin air. Menggunakan variasi lama waktu menghasilkan kekerasan, permukaan yang meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pemanasan, sehingga dapat disimpulkan bahwa lama pemanasan berpengaruh terhadap kekerasan yang terjadi akibat laku panas induksi.

Kemudian dari penelitian oleh Prihanto Trihutomo dalam jurnal yang berjudul “*Analisa Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda*”, laku panas dengan suhu pemanasan 800°C dengan media pendingin air garam ($\rho = 1025 \text{ Kg/m}^3$) menghasilkan kekerasan rata – rata 836.56 HV yang bila dikonversi ke skala kekerasan Rockwell skala C menjadi 58 HRC.

Penelitian yang lain dilakukan oleh Koos Sarjono, dalam jurnal yang berjudul “*Pengaruh Hardening Pada Baja JIS G 4051 Grade S45C Terhadap Sifat mekanis dan Struktur Mikro*”, laku panas dengan variasi suhu

pemanasan 800°C, 860°C dan 920°C. Dengan penahanan selama 15 menit dan didinginkan menggunakan media pendingin air, nilai kekerasan rata - rata yang didapatkan adalah 204 HV pada suhu pemanasan 800°C, 406 HV pada suhu pemanasan 860°C dan 579 HV pada suhu pemanasan 920°C. Pada hasil uji metalografi didapatkan fasa martensit, pearlite dan ferrite pada pemanasan suhu 800°C dan 860°C. Sedangkan pada suhu pemanasan 920°C didapatkan fasa bainit dan martensit.

2.2 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0,2%-2,1%. Selain itu juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase kecil. Sifat baja karbon dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. Karena unsur paduan utama baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

2.2.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,2% C. Baja ini kurang efektif untuk dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2.2.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3% C - 0,6% C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

2.2.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6% C - 2% C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

2.3 Laku Panas Pengerasan Permukaan

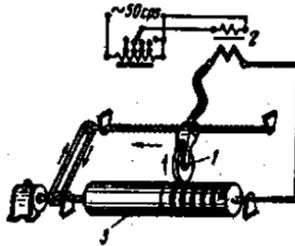
Laku panas pengerasan permukaan (*case hardening*) adalah laku panas selektif yang hanya mengeraskan bagian permukaan dengan kedalaman tertentu dimana bagian dalam relatif tidak mengalami perubahan. Jenis – jenis pengerasan permukaan adalah sebagai berikut :

1. Pengerasan dengan kontak resisten elektrik
2. Pengerasan dengan elektrolitik
3. Pengerasan dengan api oxy – asetilen (*flame hardening*)
4. Pengerasan dengan induksi (*induction hardening*)

Tujuan dasar dari pengerasan permukaan adalah untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus pada permukaan benda kerja.

2.3.1 Pengerasan dengan kontak resistan elektrik

Metode ini ditemukan dan dikembangkan oleh N. V. Geveling, seorang metalurgis dari Uni Soviet dengan skema seperti pada gambar 2.1. Metode ini menggunakan frekuensi arus listrik bolak – balik (*alternating current*) sebesar 50 cps dan tegangan rendah antara 2 – 6 volt yang dialirkan ke benda kerja melalui elektroda berbentuk roller. Roller ditekan ke benda kerja dengan tekanan 10 – 15 kg per millimeter dari tebal roller. Daya yang digunakan disuplai dari trafo single phase – step down. Kerapatan arus sekitar 400 – 700 A per millimeter dari ketebalan roller. Benda kerja diputar searah sumbu



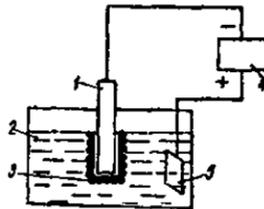
Gambar 2.1 Skema pengerasan dengan kontak resisten elektrik

Sumber : Y. Lakhtin (1963), *Engineering Physical Metallurgy*

aksial dan roler bergerak sepanjang benda kerja dengan kecepatan antara 2 – 15 mm per detik. Dengan gerakan sedemikian rupa, kontak antara roller dan benda kerja (poros) akan berbentuk spiral. Kedalaman kekerasan maksimum pada proses ini berada pada rentang 0.05 mm sampai 1 mm di bawah permukaan benda kerja.

2.3.2 Pengerasan dengan elektrolitik

Metode ini dikembangkan oleh I. Z. Yasnogordosky. Benda kerja yang bertindak sebagai katoda ditenggelamkan ke dalam larutan elektrolit (5% - 10% larutan soda atau potash) seperti yang tergambar pada gambar 2.2



*Gambar 2.2 Skema pengerasan dengan elektrolitik
Sumber : Y.Lakhtin (1963), Engineering Phisycal
Metallurgy*

Saat arus listrik searah tegangan tinggi dialirkan ke benda kerja (250 – 300 Volt), di sekitar katoda (benda kerja) terbentuk selimut hydrogen. Dikeranakan resistivitanya tinggi, selimut hydrogen suhunya naik menjadi sekitar 2000°C dan sebagian besar akan berpindah ke benda kerja. Waktu pemanasan

bervariasi antara 10 – 40 detik. Kerapatan arus berada diantara 3 – 6 A per cm².

2.3.3 Pengerasan dengan api oxy – asetilen (*flame hardening*)

Permukaan benda kerja yang di-*treatment* menggunakan metode ini dipanaskan dengan api oxy – asetilen yang memiliki suhu 3000°C sampai 3200°C. peralatan yang digunakan dalam metode ini adalah seperangkat *torch*, asetilen sebagai bahan bakar dan oksigen.

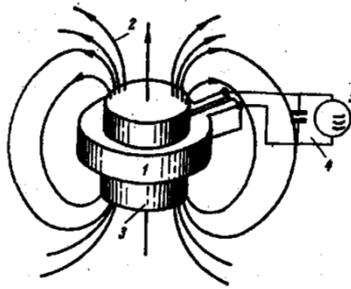
2.3.4 Pengerasan dengan induksi (*induction hardening*)

Metode pengerasan dengan induksi (arus frekuensi tinggi) pertama kali digunakan oleh V. P. Volgdin pada tahun 1923. Namun penggunaan pada industri pertama kali dilakukan pada tahun 1935 dengan skema seperti pada gambar 2.3.

Penegerasan permukaan dengan metode induksi memiliki beberapa keuntungan :

1. Mengurangi waktu laku panas sehingga dapat meningkatkan produktivitas tenaga kerja
2. Deformasi akibat laku panas dapat dikurangi

Pemanasan menggunakan arus frekuensi tinggi dilakukan oleh efek thermal dari arus yang terinduksi pada benda kerja yang sedang dipanaskan (*eddy current*). Bagian yang akan dipanaskan diletakkan pada bagian yang dinamakan inductor atau *inductor coil* yang terbuat dari tembaga. Saat arus bolak – balik melalui inductor, terbentuk medan magnet di sekeliling benda kerja.



Gambar 2.3 Skema pengerasan permukaan dengan induksi
Sumber : Y.Lakhtin (1963), Engineering Physical Metallurgy

Setiap saat arah arus induksi dalam benda kerja kira-kira berlawanan dengan itu di kumparan inductor, dan secara umum pola alirannya akan menggambarkan semacam "bayangan gambar" dari kumparan konduktor. Arus induksi juga menghasilkan medan magnet mereka sendiri, yang bertentangan dengan medan yang dihasilkan oleh kumparan (*inductor coil*) dan dengan demikian mencegah medan magnet dari *induction coil* menembus ke pusat benda kerja. Oleh karena itu, arus eddy lebih terkonsentrasi di permukaan dan menurunkan kekuatan ke arah pusat objek. Fenomena arus eddy yang bergerak lebih dekat

ke permukaan konduktor disebut "efek kulit" (*skin effect*).

Mekanisme utama dalam pembangkitan panas dalam pemanasan induksi adalah aliran dari arus eddy pada benda kerja. Mekanisme kedua terjadi ketika energy yang terbuang saat terjadi pembalikan arah arus. Namun mekanisma kedua sering diabaikan karena efeknya terlalu kecil. Oleh karena itu laju pemanasan dalam satuan energy / daya menggunakan fungsi I^2/R atau *Joule Heating*. Laju pemanasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Kekuatan medan magnet
2. Jarak antara bendakerja dan coil induksi
3. Sifat elektrik dan magnetis dari material benda kerja seperti resistivitas dan permaebilitas magnet.

Sistem pemanas induksi biasanya terdiri dari catu daya, komponen elektronik, induktor (pemanasan) koil, kontrol, dan unit penanganan benda kerja. Sistem juga termasuk sistem pendinginan, tergantung pada tingkat kekerasan kelas tertentu. Pada umumnya termasuk peralatan tambahan lainnya seperti garis pembuka - pemutusan listrik (saklar utama), dan peralatan sistem pendinginan benda kerja sebagai bagian dari paket pemanas induksi.

2.4 Media Pendingin

Media pendingin (*quenchant*) adalah media yang digunakan untuk mendinginkan benda kerja yang telah dipanaskan ke fase austenite dengan kecepatan tertentu

tergantung dari media pendingin itu sendiri. Media pendingin dapat berupa cair, gas, padat maupun campuran. Namun pada praktek umumnya digunakan media pendingin cair untuk proses *quenching*. Media pendingin cair dapat berupa air, larutan garam, minyak serta emulsi air dan minyak.

2.4.1 Media Pendingin Air

Media pendingin air adalah media pendingin yang hampir selalu digunakan saat baja yang diketahui hanyalah baja karbon. Pada saat ini air juga berhasil digunakan sebagai *quenchant* untuk baja paduan rendah. Keuntungan dari penggunaan media air sebagai media pendingin adalah sebagai berikut :

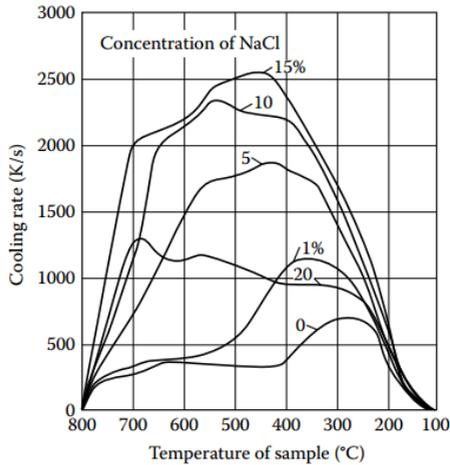
1. Tidak terpicu api (*nonflammability*)
2. Harga yang murah
3. Tidak berbahaya bagi kesehatan
4. Mudah untuk dibuang (tidak merusak lingkungan)

Sedangkan kekurangan dari media pendingin air adalah :

1. Menimbulkan korosi pada benda kerja
2. Terjadi vapor blanket pada air yang tidak di agitasi yang menimbulkan thermal stress distorsi dan titik – titik halus.

2.4.2 Media Pendingin Larutan Garam (*Brine*)

Media pendingin larutan garam adalah media pendingin campuran antara air dan garam dengan perbandingan tertentu. Garam yang paling banyak digunakan adalah Natrium klorida (NaCl) yang digunakan sendiri atau dengan campuran garam lain. Gambar 2.4, menunjukkan bagaimana konsentrasi garam mempengaruhi kurva laju pendinginan.



Gambar 2.4 Grafik efek konsentrasi garam pada laju pendinginan larutan garam

Sumber : Totten (2010), *Quenching theory and Technology*

Pengaruh dari jenis garam lain juga hampir sama. NaOH pada konsentrasi 5% sampai 16.5 % menunjukkan laju pendinginan paling tinggi diantara larutan garam lain, namun garam NaCl lebih mudah

didapat dan tidak menimbulkan bahaya bagi kesehatan. *Cooling rate* dari berbagai jenis garam dan konsentrasinya dapat dilihat pada tabel 2.1.

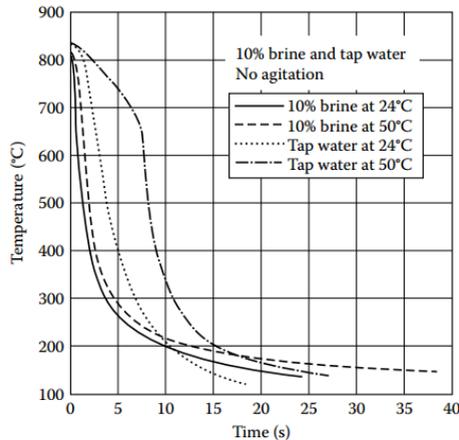
Tabel 2.1 Tabel berbagai jenis larutan garam dengan laju pendinginannya

Sumber : Totten (2010), Quenching theory and Technology

Water Solution	Concentration (%)	Cooling Rate (K/s)
Water NaCl	0	102-120
	5	170
	10	195
CaCl ₂	5	170
	10	193
	20	170
Na ₂ CO ₃	10	170
NaOH	2.5	195
	5.0	202
	11.5	202
	16.5	207
HCl	5.0	153
	20.0	100
H ₂ SO ₄	5-20	143-150

Keuntungan utama dari penggunaan larutan garam dibanding dengan air adalah :

1. Dalam berbagai tingkat temperature, temperature dari larutan garam hanya mempengaruhi sedikit dari laju pendinginan dibandingkan dengan air yang laju pendinginannya banyak terpengaruh oleh suhu air itu sendiri seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Grafik perbandingan antara larutan garam 10 % dan air pada suhu dan 24°C dan 50°C pada laju pendinginan

Sumber : Totten (2010), *Quenching theory and Technology*

2. *Soft spots*, distorsi dan retak jarang terjadi
3. Karena reduksi dari fase selimut uap (*Vapor Blanket*), proses quenching lebih seragam.

Berkurangnya *vapor blanket* dapat terjadi karena ketika kristal garam yang terdeposit pada permukaan logam dipanaskan oleh logam yang panas, air keluar melalui suatu ledakan mikro yang memecah selimut uap dan memfasilitasi terbentuknya gelembung uap. Jadi hasilnya durasi dari fase vapor blanket jadi berkurang ataupun tidak terjadi sama sekali. Selain itu, efek ini dapat mencegah gelembung uap terjebak pada rongga – rongga yang ada pada permukaan benda yang di – *quench*.

Selain memiliki kelebihan, menggunakan media pendingin larutan air garam memiliki beberapa kerugian.

1. Wadah media pendingin dan peralatan penunjangnya (pipa dan pompa) harus terlindungi dari korosi atau terbuat dari material yang tahan karat (hal ini tidak perlu dilakukan apabila larutan garam ditambahkan zat inhibitor korosi).
2. Tutup bagian atas dari wadah media pendingin untuk melindungi para personel dari bahaya uap air garam.
3. Dibandingkan dengan media pendingin air, larutan air garam lebih mahal dalam biaya pada segi bahan garam dan tambahan pekerja untuk membuat larutan garam.
4. Dalam beberapa jenis larutan air garam seperti NaOH dan garam nitrat atau saat ditambahkan sianida, sifat toksik dan bahaya terbakar meningkat dan harus dinetralkan sebelum dibuang ke lingkungan.

Terpisah dari beberapa larutan garam yang disebutkan di atas, larutan lain yang dibuat dari campuran garam dan zat aditif lainnya, seperti inhibitor korosi juga digunakan. Bagaimanapun *sodium chloride* (NaCl) pada konsentrasi 5% - 20% dalam perbandingan berat paling banyak digunakan. Di USSR, larutan yang terbuat dari campuran air dan 5% - 7% KMnO_4 juga direkomendasikan.

Pada negara – negara yang telah maju dalam bidang metalurgi, terdapat berbagai jenis garam yang telah ditambahkan zat inhibitor korosi dengan

berbagai merek yang telah dijual secara umum dan komposisi kimianya sesuai dengan tujuan quenching tertentu.

2.2.3 Media Pendingin minyak (oil)

Saat pertama kali baja paduan dikembangkan, terdapat kekurangan pada proses quench menggunakan air, yaitu rentan terhadap terjadinya distorsi dan retak. Meski demikian, usaha pengembangan media pendingin alternative kurang intensif dilakukan. Pada awalnya beberapa jenis minyak hewan dan minyak sayur digunakan sebagai media pendingin, namun memiliki kekurangan utama yaitu umur lebih pendek karena terjadi oksidasi dan dekomposisi. Selain itu juga minyak hewan dan minyak sayur harganya mahal.

Pada akhir abad 19, beberapa produk murah dari minyak bumi muncul di pasaran dan minyak mineral (mineral oil) menggantikan minyak sayur dan minyak hewan untuk proses quenching.

Biasanya, produsen minyak untuk *quenching* menawarkan beberapa jenis minyak quench. Berdasarkan suhu operasinya, dibagi menjadi dua yaitu, *low temperature oil (Cold)* dan *high temperature oil (Hot)*. Sedangkan berdasarkan *quenching power* - nya, dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu minyak konvensional (conventional oil), *Fast oil* dan hot oil.

1. Minyak konvensional (conventional oil)

Minyak konvensional biasanya terbuat dari fraksi paraffinic dan naphthenic dengan viskositas diantara 5.5 sampai 50 mm²/s pada 50°C dan mengandung bahan aditif yang meningkatkan ketahanan terhadap *aging*.

2. Fast Oil

Fast oil terbuat dari destilasi fraksi viskositas rendah dan megandung bahan aditif untuk meningkatkan kelekatan minyak pada benda kerja yang di - *quench*. *Quenching power* dari fast oil tergolong tinggi karena viskositasnya yang rendah.

3. Hot Oil

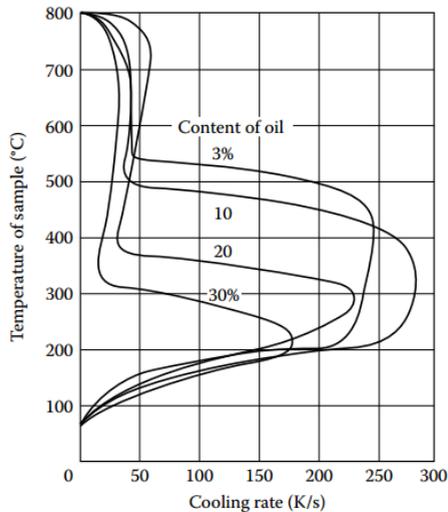
Hot oil tidak digunakan untuk marquenching dan austempering sampai tahun 1950 ketika campuran yang sesuai antara minyak dasar (base oil) dan inhibitor oksidasi dikembangkan. Tanpa inhibitor, minyak petroleum yang mudah teroksidasi pada suhu tinggi menjadi lebih kental dan tidak lagi sesuai untuk digunakan. Hot oil modern dapat digunakan pada suhu sampai dengan 200°C, bahkan samapai 250°C.

2.2.4 Media pendingin emulsi air dan minyak

Media pendingin emulsi air dan minyak telah dikembangkan bertahun – tahun yang lalu untuk

memperoleh sifat tengah diantara minyak dan air. Emulsi dipersiapkan dengan mencampurkan surfaktan minyak dengan air. Bagaimanapun, berbagai studi pada sifat termokinetik dari emulsi minyak dan air mengindikasikan bahwa penggunaannya terbatas.

Gambar 2.6 menunjukkan bahwa laju pendinginan bergantung pada kandungan minyak dalam emulsi. Dalam emulsi minyak lebih dari 10%, fase selimut uap terjadi lebih lama sampai suhu benda yang di - *quench* menjadi sangat rendah. Laju pendinginan kembali meningkat setelah melewati fase selimut uap.



Gambar 2.6 Kurva laju pendinginan berbagai jenis konsentrasi minyak dalam emulsi minyak dan air
Sumber : Totten (2010), *Quenching theory and Technology*

2.5 Pengujian

2.5.1 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah merupakan salah satu jenis pengujian sifat mekanik yang menghasilkan suatu nilai kekerasan berdasarkan jenis pengujian kekerasan tertentu. Pada pengujian kekerasan Rockwell, nilai kekerasan yang diperoleh dari kedalaman indentasi pada benda uji akibat pembebanan statis. Pada pengujian kekerasan Rockwell dapat digunakan dua jenis indenter, yaitu indenter dengan bentuk bola dari baja yang dikeraskan dan indenter berbentuk kerucut dari intan. Beban yang diberikan pada benda uji disesuaikan dengan bentuk dan dimensi dari indenter. Hasil dari pengujian kekerasan dapat dibaca langsung pada mesin tanpa perlu ada perhitungan lagi.

Prosedur pengujian kekerasan Rockwell dilakukan dengan melakukan menuirunkan indenter ke permukaan benda uji, kemudian pembebanan awal dengan beban sebesar 10 Kg (Beban Minor). Setelah itu jarum penunjuk di set ke angka nol skala hitam, kemudian beban utama (Beban Mayor) diberikan.

Skala B digunakan untuk mengukur kekerasan logam – logam yang lunak seperti tembaga, baja lunak, paduan aluminium, besi cor tempa dan lain sebagainya. Skala C digunakan untuk menguji keras bahan – bahan yang lebih keras seperti baja, besi cor, baja hasil pengerasan kulit (case hardening) dan segala material yang lebih keras dari 100 HRB. Skala A digunakan untuk baja tipis. Berbagai jenis

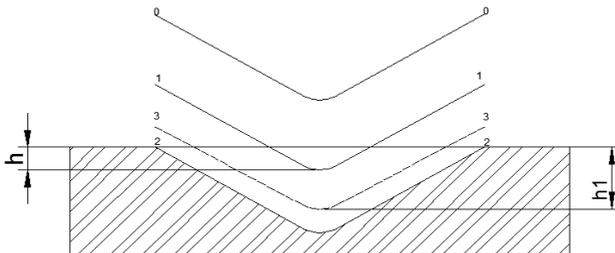
indentor untuk uji kekerasan dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel jenis indentor mesin uji kekerasan Rockwell

Skala	Indentor	Beban Utama	Penunjuk Dial	Unit
B	Bola Ø 1.588 mm	100	Merah	HRB
C	Kerucut intan 120°	150	Hitam	HRC
A	Kerucut intan 120°	60	Hitam	HRA

Sumber : ASTM E-18

Meskipun hasil pengujian telah dapat dibaca langsung sesaat setelah pengujian, namun terdapat metode perhitungan kekerasan dengan mengukur kedalaman indentasi. Skema perhitungan terdapat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Prinsip kerja mesin uji kekerasan Rockwell

Keterangan :

0 – 0 Posisi sebelum indentasi

1 – 1 Penetrasi pada saat beban awal (beban minor)

2 – 2 Penetrasi pada saat beban utama (beban mayor)

3 – 3 kedalaman pada saat beban mayor dilepas

Hasil dari pengujian kekerasan Rockwell menghasilkan angka yang tidak memiliki satuan, tetapi dengan satu huruf di belakang seperti tabel 2.2 yang menyebutkan kondisi pengujian, contoh : “kekerasan yang didapat 55 HRC”, dengan pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa pengujian kekerasan menggunakan mesin uji keras Rockwell dan menggunakan skala Rockwell C.

Angka pada mesin terdiri dari dua warna, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi dari 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0.002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{HRC} = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

$$\text{HRB} = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

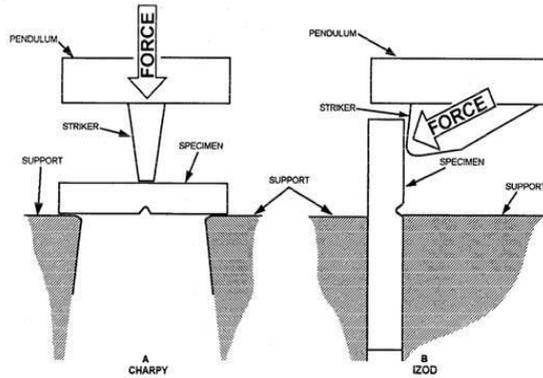
2.5.2 Uji Impact

Uji impact adalah salah satu pengujian sifat mekanik yang menguji suatu ketangguhan suatu material atau bisa disebut kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya patahan.

Pengujian ini juga berguna untuk melihat efek – efek yang ditimbulkan oleh adanya takikan, bentuk takikan, temperatur dan faktor – faktor lainnya. Adapun uji impact bertujuan untuk menentukan :

1. Ketahanan beban impact
2. Sensivitas dari bahan terhadap adanya takik
3. Analisa patahan dari benda kerja

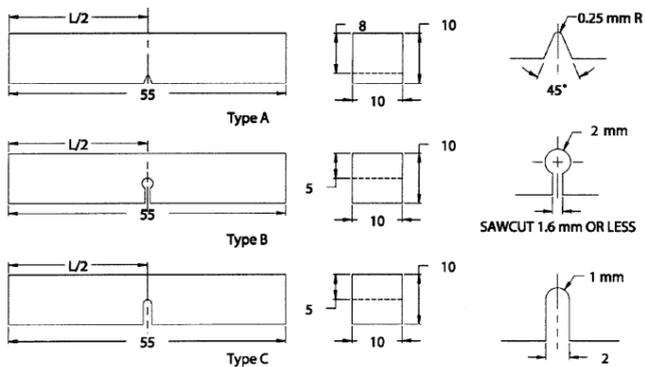
Dalam uji impact, energy didapat dari bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun kemudian memukul benda uji. Selisih dari energy potensial bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energy yang dapat diserap oleh benda uji tersebut. Berdasarkan bentuk bendajinya, uji impact dibagi menjadi dua, yaitu charpy dan izod. Pada benda uji impact *charpy*, *notch* atau takik diletakan di tengah benda uji (simetris), sedangkan pada uji impact *izod*, Takik diletakan tidak di tengah benda uji (asimetris) dan uji impact *charphy* diletakan mendatar pada landasan sedangkan uji impact *izod* diletakan tegak pada landasan specimen. Perbedaan dua metode ini dapat dilihat pada gambar 2.8 dan bentuk specimen dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada gambar 2.9 dan 2.10.



Gambar 2.8 Perbedaan uji impak charphy dan izod

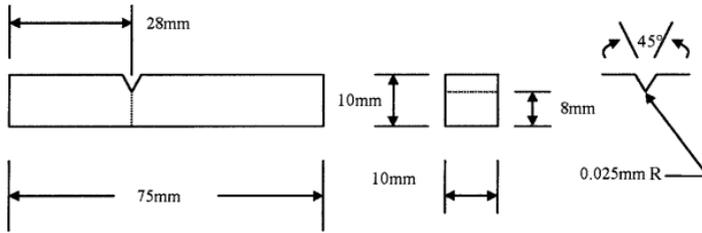
Sumber:

www.danidwikw.wordpress.com/category/materi-teknik



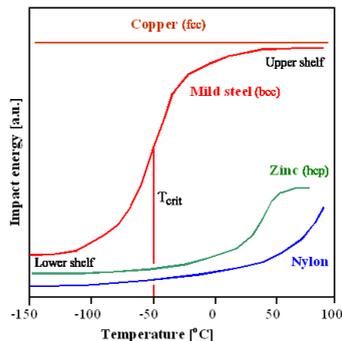
Gambar 2.9 Spesimen uji impak charpy

Sumber: ASTM E23



Gambar 2.10 Spesimen uji impact Izod
 Sumber : ASTM E23

Salah satu faktor yang mempengaruhi ketahanan impact material adalah suhu material itu sendiri. Efek dari temperatur berbeda pada setiap material. Hubungan dari temperature dan kekuatan impact dapat dilihat pada gambar 2.11. Kenaikan temperature kerja akan meningkatkan kekuatan impact logam, sedangkan apabila temperature kerja dari suatu material berada di bawah temperature transisi material yang digunakan, maka akan terjadi *crack* bahkan *fracture* akibat beban impact.



Gambar 2.11 Hubungan antara temperature kerja, material dan kekuatan impact
 Sumber : www.tf.ini-kiel.de

Takik atau *notch* memegang peranan penting terhadap Keluatan impak suatu material. Jika terdapat dua buah material dengan jenis yang sama dan luas penampang yang sama namun berbeda dalam bentuk takiknya, akan menghasilkan kekuatan impak yang berbeda. Adanya takikan dalam suatu benda kerja dapat berupa desain atau pengerjaan benda kerja yang kurang baik seperti fusi yang tidak sempurna (*incomplete fusion*) dalam pengelasan atau terjadinya korosi pada benda kerja yang dapat menjadi pusat tegangan (*stress concentration*). Adanya pusat tegangan ini menimbulkan material menjadi *brittle* yang menyebabkan patah pada beban dibawah *yield strength*.

Patahan pada material (*fracture*) dapat digolongkan menjadi dua, yaitu patahan getas (*Brittle*) dan patahan ulet (*Ductile*). Patahan getas adalah patahan yang terjadi tanpa / sedikit sekali mengalami deformasi sebelum patah, sedangkan patahan ulet adalah patahan yang mengalami deformasi sebelum patah. Material yang mengalami patah getas hanya sedikit menyerap energy sebelum patah.

Kekuatan impak suatu material didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan suatu benda uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. Energy untuk mematahkan benda uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian bandul sebelum dan setelah terjadi impak tanpa memperhatikan kehilangan energy.

Besarnya energy impact dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_0 = W.h_0$$

$$E_0 = W (L - L.Cos\alpha)$$

$$E_1 = W.h_1$$

$$E_1 = W (L - L.Cos\beta)$$

Dari persamaan diatas, substitusikan ke persamaan ΔE

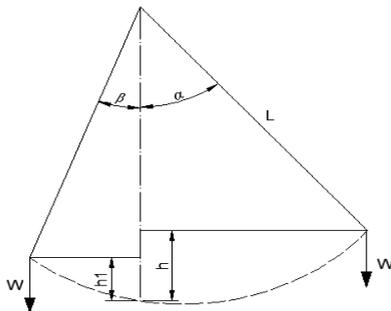
$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = (W (L - L.Cos\alpha)) - (W (L - L.Cos\beta))$$

$$\Delta E = W.L (Cos\beta - Cos\alpha)$$

Untuk mendapatkan nilai impact bahan, selisih energy sebelum dan sesudah terjadi impact (ΔE) dibagi luas penampang benda kerja yang patah. Gambar 2.12 menunjukkan skema kebutuhan energy untuk mematahkan spesimen

$$IS = \frac{W.L (Cos\beta - Cos\alpha)}{A}$$



Gambar 2.12 Kebutuhan energy unruk mematahkan spesimen

Keterangan :

E_0	: Energi awal saat pendulum dilepas (kgm)
α	: Sudut awal ($^{\circ}$)
E_1	: Energi setelah pendulum menghantam benda uji (kgm)
β	: Sudut akhir ($^{\circ}$)
W	: Berat Pendulum (kgm)
L	: Panjang titik tumpu ke titik berat pendulum
ΔE	: Energi yang digunakan untuk mematahkan benda kerja (kgm)
A	: Luas penampang yang rusak (mm^2)
IS	: Kekuatan impact (kgm/mm^2)

2.5.2 Uji Metalografi

Uji metalografi adalah suatu metode untuk menyelidiki atau mengamati struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Hasil pengamatan tersebut dinamakan mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan kepada benda uji yang telah diproses sebelumnya sehingga bisa diamati mikrostrukturnya

Pengujian metalografi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Pengujian Makro

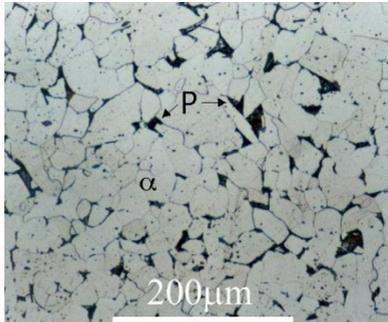
Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata dari permukaan benda uji yang telah dietsa sebelumnya.

2. Pengujian Mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihatbutiran struktur kristal dari benda uji menggunakan mikroskop dengan perbesaran 50 – 3000 kali sehingga dapat diketahui fasa – fasa yang ada pada benda uji dan ukuran butiran rata – rata benda uji melalui suatu metode perhitungan.

Pengujian metalografi dapat menunjukkan berbagai fasa yang terbentuk dalam benda uji. Berikut adalah contoh fasa yang ada dalam baja.

- *Ferrite*
Ferit merupakan salah satu fasa dalam baja dengan susunan atom BCC yang bersifat lunak dan ulet. Dalam foto metalografi berwarna putih terang pada gambar 2.13
- *Pearlite*
Perlit merupakan campuran eutektoid (*eutectoid mixture*) dari fasa sementit dan fasa ferit. Perlit bersifat kuat dan tangguh. Dalam gamabar 2.13 berwarna hitam.



Gambar 2.13 Mikrostruktur ferit dan perlit
Sumber : www.nitty-gritty.com

- *Austenite*
Austenit adalah fase dalam logam baja dengan susunan atom FCC. Berbentuk padatan seperti plat dan berwarna abu – abu terang seperti terlihat pada gambar 2.13. Bersifat lunak dan ulet



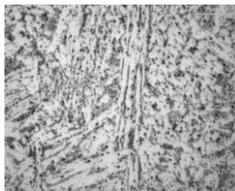
Gambar 2.13 Mikrostruktur Austenit
Sumber : www.lennon.csufreshno.edu

- *Cementite*
Sementit adalah karbida besi (Fe_3C) yang bersifat keras dan getas. Dalam foto metalografi terlihat pada gambar 2.13 membentuk jaringan (*cementite network*).



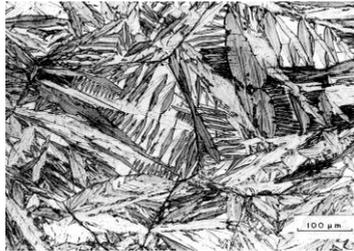
Gambar 2.13 Mikrostruktur Sementit
Sumber : www.princeton.edu

- *Bainite*
Bainit adalah struktur mikro yang didapat dari pendinginan cepat dan penahanan pada temperatur tertentu. Berbentuk seperti jarum jarum dan berwarna abu – abu gelap seperti terlihat pada gambar 2.14 Bersifat keras dan getas.



Gambar 2.14 Mikrostruktur Bainit
Sumber : www.researchgate.net

- *Martensite*
Martensit adalah struktur mikro metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan cepat dari temperatur austenit. Berbentuk jarum – jarum pendek berwarna hitam keabu – abuan seperti yang terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Fasa Martensite
Sumber : www.researchgate.net

Setelah dilakukan pengamatan mikrostruktur, maka dapat dilakukan penghitungan persentase tiap fasa yang terbentuk.

- Menghitung presentase tiap fasa dalam benda uji

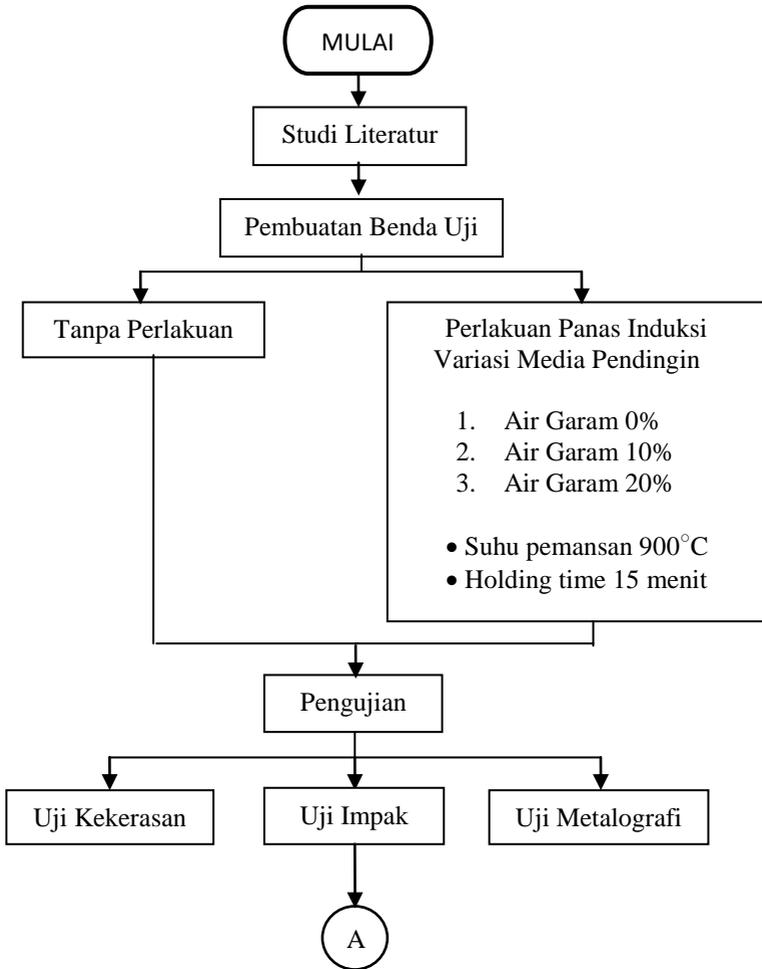
Untuk menghitung presentase fasa mikrostrukturnya, hasil foto uji metalografi di proses menggunakan software ImageJ. Software Imagej adalah software yang dapat digunakan untuk mengolah dan menghitung sebaran suatu partikel dalam sebuah gambar.

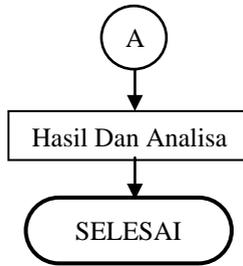
1. Open ImageJ.exe (folder imagej)
2. Pilih file gambar yg akan diukur
File>Open>Pilih Gambar
3. Tentukan persebaran pearlite dan ferrite dengan menggunakan Color Threshold
 - a. Image>Adjust>Color Threshold
Atur luas sebaran sesuai yg diinginkan dan tentukan warna
 - b. Threshold method>Threshold color
4. Hitung persen dari bagian yg berwarna (merah)
 - a. Analyze>Analyze Particle>OK
 - b. Jumlah persen yg muncul adalah gambar diarsir putih (threshold) berupa persen(%)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah studi berbagai literatur yang mendukung tentang tema yang diangkat pada tugas akhir ini. Literatur yang digunakan dapat berupa buku teks, jurnal ilmiah, artikel ilmiah dan lain sebagainya. Tujuan dilakukan studi literatur adalah agar wawasan penulis tentang topik yang diangkat menjadi lebih luas

3.3 Pembuatan Benda Uji

Bahan yang digunakan adalah baja St 41 dengan komposisi kimia (% dalam berat) dan sifat mekanik dan struktur mikro dapat dilihat pada tabel 3.1, 3.2 dan 3.3.

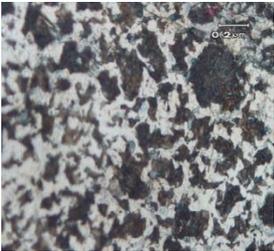
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja St 41

C	Si	Mn	P	S
0.19 %	0.18%	0.6 %	0.021%	0.015%

Tabel 3.2 Sifat mekanik baja St 41

Kekuatan Tarik	Kekerasan	Kekuatan Impak
636 N/mm ²	21 HRC	729.14 Kg/cm

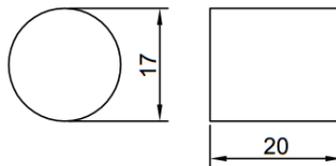
Tabel 3.3 Struktur Mikro baja St 41

Struktur Mikro	
	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none">• Ferit : 54.8%• Perlit : 45.2%

Kemudian material tersebut disiapkan untuk tiga jenis uji yaitu uji kekerasan, uji impak dan uji metalografi.

3.3.1 Spesimen uji kekerasan

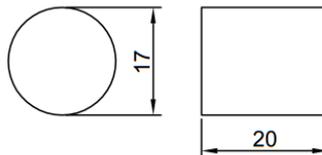
Spesimen uji kekerasan di bentuk persegi dengan panjang 25 mm, lebar 25 mm dan tebal 30 mm hasil pemotongan melintang bahan uji baik yang telah di laku panas induksi maupun tanpa laku panas (sesuai ASTM E-18) seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Dimensi Spsimen uji kekerasan

3.3.2 Spesimen uji metalografi

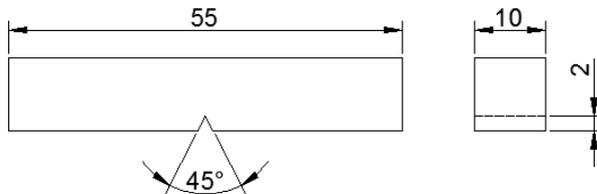
Spesimen uji metalografi di bentuk persegi dengan panjang 25 mm, lebar 25 mm dan tebal 30 mm hasil pemotongan melintang bahan uji baik yang telah di laku panas maupun tanpa laku panas induksi sesuai standar ASTM E3-95 seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Dimensi Spsimen uji metalografi

3.3.3 Spesimen uji impact

Spesimen uji impact berbentuk balok dengan ukuran panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tinggi 10 mm. Ditambah takik di bagian tengah sedalam 2 mm dan bersudut 45° sesuai standar ASTM untuk uji impact charpy (ASTM E-23) seperti pada gambar 3.4, baik yang telah dilaku panas induksi maupun tanpa perlakuan panas induksi



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen uji impact charpy

3.4 Laku Panas Induksi

Percobaan dilakukan di mesin pemanas induksi dengan suhu 900°C dan waktu pemanasan (*holding time*) 15 menit. Satu spesimen dibiarkan untuk tanpa perlakuan. 3 spesimen di laku panas induksi kemudian di dinginkan dengan variasi media pendingin. Satu spesimen didinginkan dengan media air, satu spesimen didinginkan dengan media air garam dengan kadar garam 10% dan spesimen terakhir didinginkan dengan media air garam dengan kadar garam 20%. Pembuatan larutan garam sebagai media pendingin menggunakan perbandingan berat antara air dan garam dengan

ketentuan seperti yang dapat dilihat di tabel 3.4. Garam yang digunakan untuk penelitian ini adalah Natrium Klorida (NaCl).

Tabel 3.4 Tabel perbandingan berat garam dan air pada media pendingin

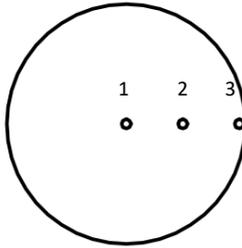
Media Pendingin	Berat Air	Berat Garam
Air	5 Kg	0 Kg
Air Garam 10%	4.5 Kg	0.5 Kg
Air Garam 20%	4 Kg	1 Kg

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Prosedur Uji Kekerasan (Rockwell Hardness Test)

Prosedur pengujian kekerasan Rockwell sesuai standar ASTM E-18 adalah sebagai berikut :

1. Tentukan titik – titik yang akan diindentasi.
2. Pasang indentor pada mesin
3. Turunkan indentor ke permukaan benda uji pada titik indentasi yang telah ditentukan seperti gambar 3.4.
4. Berikan gaya pembebanan minor sebesar 10 KgF.
5. Tunggu sesaat setelah dilakukan pembebanan minor selama 1 – 4 detik (dwell time)
6. Berikan gaya pembebanan mayor sesuai dengan bahan yang diuji
7. Tunggu sesaat setelah dilakukan pembebanan mayor selama 2 - 6 detik (dwell time)



Gambar 3.4 Titik – titik indentasi uji kekerasan

8. Catat kekerasan benda uji yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.
9. Angkat indenter dan persiapkan indentasi di titik selanjutnya.
10. Ulangi langkah 2 - 8 sampai semua titik yang akan di indentasi telah seluruhnya di indentasi.
11. Langkah tersebut dilakukan sampai semua benda uji telah dilakukan pengujian.

3.5.2 Prosedur Uji Metalografi

Prosedur pembuatan benda uji dan pengujian metalografi adalah sebagai berikut ini (sesuai standar ASTM E3 – 95) :

1. Benda uji dihaluskan permukaannya (proses *grinding*) menggunakan kertas amplas dengan grit 120, 180, 240, 320, 360, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000. Proses *grinding* dilakukan dengan air mengalir. Proses ini dilakukan di mesin *grinding – polishing*.
2. Setelah penghalusan, dilakukan pemolesan menggunakan kain poles (kain bludru) dan

- serbuk alumina 0.05 mikron hingga diperoleh benda uji yang bebas goresan
3. Setelah proses penghalusan dan poles dilakukan, benda uji di etsa permukannya menggunakan larutan 2% HNO_3 dan 98% alkohol selama beberapa detik.
 4. Benda uji kemudian dibilas menggunakan alkohol
 5. Kemudian benda uji diletakan di bawah mikroskop untuk diamati.
 6. Hasil pengamatan di tangkap untuk dianalisa.
 7. Ulangi langkah 1 – 6 untuk semua benda uji metalografi.
 8. Melakukan perhitungan presentase fasa dan perhitungan besar butir rata – rata untuk semua hasil foto metalografi

3.5.3 Prosedur Uji Impak

Prosedur pengujian impak charpy sesuai ASTM E - 23 adalah sebagai berikut ini :

1. Bandul ditempatkan pada posisi awal pengujian
2. Atur jarum penunjuk pada posisi 0
3. Benda uji diletakan di landasan
4. Posisikan tangan kanan pada pengunci bandul dan tangan kiri pada tuas rem bandul.
5. Pengunci bandul dilepaskan, sehingga bandul merluncur memukul benda uji.
6. Rem ditekan saat bandul akan mengayun untuk yang kedua kali.

7. Catat besarnya sudut yang ditunjuk oleh jarum penunjuk yang kemudian digunakan untuk perhitungan kekuatan impact benda uji.
8. Ulangi langkah 1 – 7 untuk semua benda uji.
9. Melakukan perhitungan kekuatan impact pada masing – masing benda uji.

3.6 Hasil dan Analisa

Hasil dari pengujian kekerasan dan impact diolah dan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel (tabel diletakan pada lampiran). Hasil dari pengujian metalografi disajikan dalam bentuk foto metalografi, hasil perhitungan besar butir rata – rata dan fraksi fasa yang terbentuk. Kemudian dilakukan analisa dari data yang telah diperoleh.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Pengujian ini dilakukan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS dengan material Baja St 41. Dilakukan pengujian antara lain struktur mikro, nilai kekerasan dan nilai kekuatan impak.

4.1 Variasi Kandungan Garam Pada Media Pendingin, Suhu Pemanasan dan Waktu Penahanan Laku Panas Induksi

Tabel 4.1 Tabel perbandingan berat garam dan air pada media pendingin

Media Pendingin	Berat Air	Berat Garam
Air Garam 0 %	5 Kg	0 Kg
Air Garam 10%	4.5 Kg	0.5 Kg
Air Garam 20%	4 Kg	1 Kg

Variasi kandungan garam dapat dilihat pada tabel 4.1. Suhu pemanasan yang digunakan 900°C dan waktu penahanan selama 15 menit

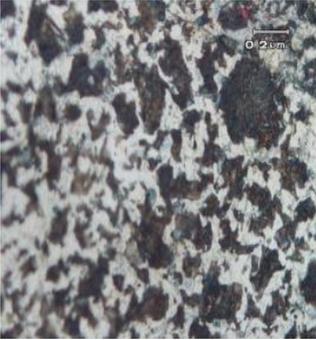
4.2 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material uji yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material. Pengambilan gambar menggunakan mikroskop dengan perbesaran 50x.

4.2.1 Hasil Uji Metalografi Kondisi Awal

Pada pengujian metalografi baja tahan karat ST 41 kondisi awal ini diambil gambar dengan perbesaran 100x. Hasil pengujian seperti pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tabel Struktur Mikro Baja St – 41 kondisi awal

Struktur Mikro	
	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none">• Ferit : 54.8%• Perlit : 45.2%

4.2.3 Hasil Uji Metalografi dengan Media Pendingin Garam 0%

Pada pengujian metalografi baja st 41 yang telah dilaku panas induksi dan didinginkan menggunakan media pendingin air garam 0% mendapatkan hasil pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Tabel Struktur Mikro Baja St – 41 dengan media pendingin air garam 0%

Struktur Mikro	
<p>Titik 1</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none">• Perlit 32.6%• Ferit 67.4 %
<p>Titik 2</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none">• Perlit 58.1%• Ferit 41.9%

<p>Titik 3</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perlit 70% • Ferit 30%
--	--

4.2.3 Hasil Uji Metalografi dengan Media Pendingin Garam 10%

Pada pengujian metalografi baja st 41 yang telah dilaku panas induksi dan didinginkan menggunakan media pendingin air garam 10% mendapatkan hasil pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Tabel Struktur Mikro Baja St – 41 dengan media pendingin air garam 10%

Struktur Mikro	
<p>Titik 1</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perlit 61.3% • Ferit 38.7%

Titik 2



Struktur mikro yang terbentuk :

- Perlit
71.8%
- Ferit
28.2%

Titik 3



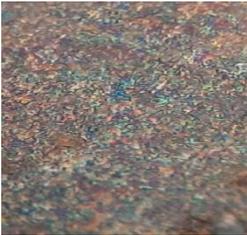
Struktur mikro yang terbentuk :

- Perlit
81.9%
- Ferit
19.1%

4.2.4 Hasil Uji Metalografi dengan Media Pendingin Garam 20%

Pada pengujian metalografi baja st 41 yang telah dilaku panas induksi dan didinginkan menggunakan media pendingin air garam 20% mendapatkan hasil pada tabel 4.5 berikut :

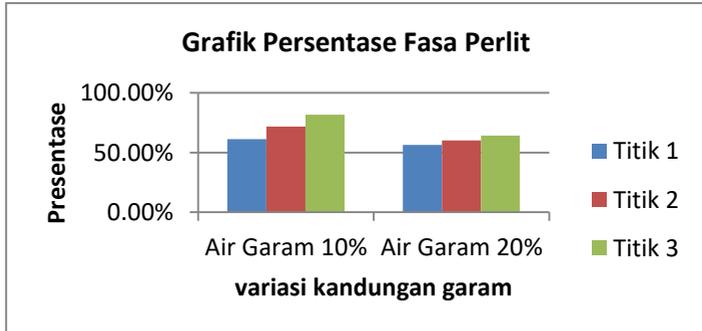
Tabel 4.5 Tabel Struktur Mikro Baja St – 41 dengan media pendingin air garam 20%

Struktur Mikro	
<p>Titik 1</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none">• Perlit 56.5%• Ferit 33.5%
<p>Titik 2</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none">• Perlit 60.3%• Ferit 39.7%

<p>Titik 3</p> 	<p>Struktur mikro yang terbentuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perlit 64.3% • Ferit 35.7%
--	--

4.2.4 Analisa Persentase Martensit pada Benda Uji

Dari hasil pengujian metalografi, fasa yang terbentuk dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana berikut ini :



Gambar 4.1 Grafik perbandingan fasa martensit dari semua spesimen

Dari grafik 4.1, dapat disimpulkan bahwa fasa perlit yang didapatkan hasil bervariasi persentasenya sesuai dengan media pendingin yang digunakan dan dimana titik pengambilan gambar metalografi pada benda uji. Perlit

terbanyak didapatkan pada specimen yang didinginkan menggunakan media pendingin air dengan kandungan garam 10%, karena sesuai dengan teori, media pendingin tersebut memiliki cooling rate lebih besar dibandingkan dengan tanpa garam dan kandungan garam 20%.

4.3 Pengujian Kekerasan

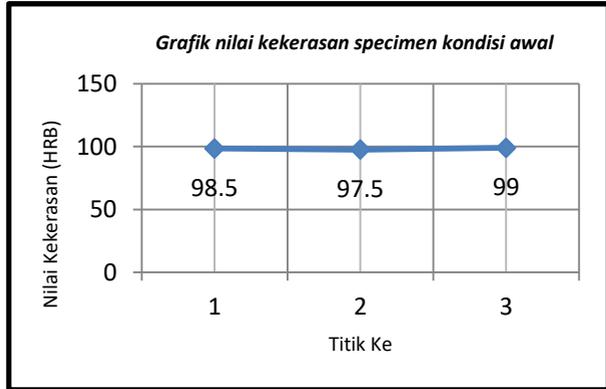
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material akibat perlakuan panas. Pengujian kekerasan dilakukan di tiga titik, titik tengah benda uji yang disebut titik 1, kemudian di ± 5 mm dari titik tengah yang disebut titik 2 dan di tepi specimen yang disebut titik 3. Pengujian dengan posisi titik – titik ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kekerasan di dalam inti benda uji dan di tepi atau kulit.

4.3.1 Hasil Uji Kekerasan Kondisi Awal

Pada pengujian kekerasan kondisi awal (tanpa perlakuan, didapatkan hasil sebagaimana tabel 4.6 dan disajikan dalam grafik 4.2 :

Tabel 4.6 Tabel hasil uji kekerasan kondisi awal

Bahan	Titik	Nilai (HRB)
St - 41	1	98.5
	2	97.5
	3	99



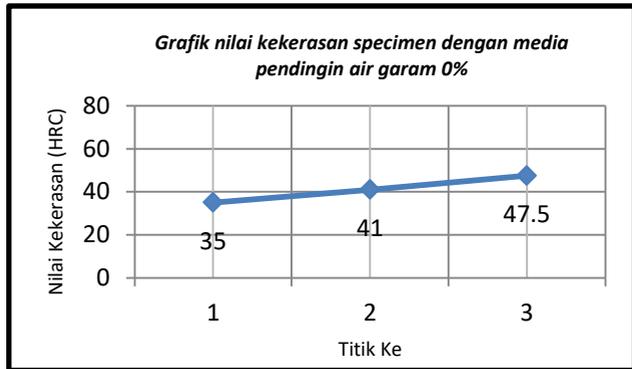
Gambar 4.2 Grafik nilai kekerasan specimen kondisi awal

4.3.2 Hasil Uji Kekerasan dengan Media Pendingin Garam 0%

Pada pengujian kekerasan specimen dengan media pendingin 0% garam, didapatkan hasil sebagaimana tabel 4.7 dan disajikan dalam grafik 4.3.

Tabel 4.7 Tabel hasil uji kekerasan specimen dengan media pendingin air garam 0%

Bahan	Titik	Nilai (HRC)
St - 41	1	35
	2	41
	3	47.5



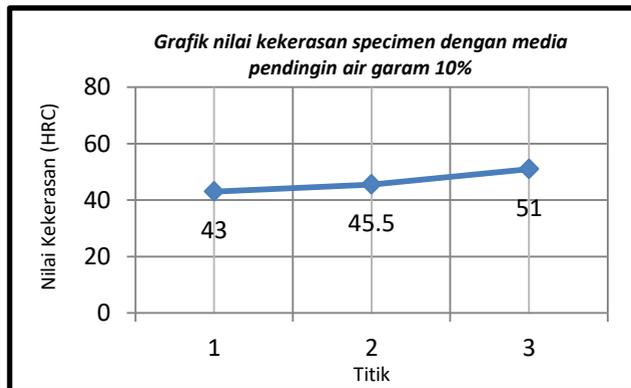
Gambar 4.3 Grafik nilai kekerasan specimen dengan media pendingin air garam 0%

4.3.3 Hasil Uji Kekerasan dengan Media Pendingin Garam 10%

Pada pengujian kekerasan specimen dengan media pendingin 10% garam, didapatkan hasil sebagaimana tabel 4.8 dan disajikan dalam grafik 4.4.

Tabel 4.8 Tabel hasil uji kekerasan specimen dengan media pendingin air garam 10%

Bahan	Titik	Nilai (HRC)
St - 41	1	43
	2	45.5
	3	51



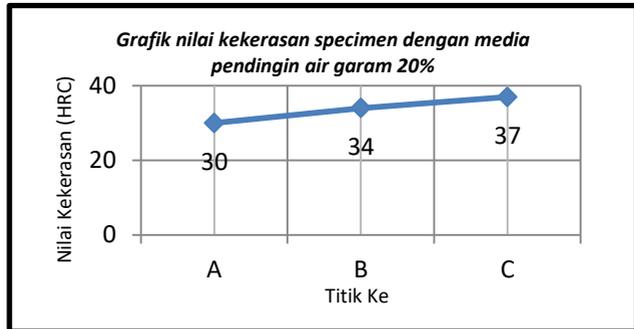
Gambar 4.4 Grafik nilai kekerasan specimen dengan media pendingin air garam 10%

4.3.4 Hasil Uji Kekerasan dengan Media Pendingin Garam 20%

Pada pengujian kekerasan specimen dengan media pendingin 20% garam, didapatkan hasil sebagaimana tabel 4.9 dan disajikan dalam grafik 4.5.

Tabel 4.9 Tabel hasil uji kekerasan specimen dengan media pendingin air garam 20%

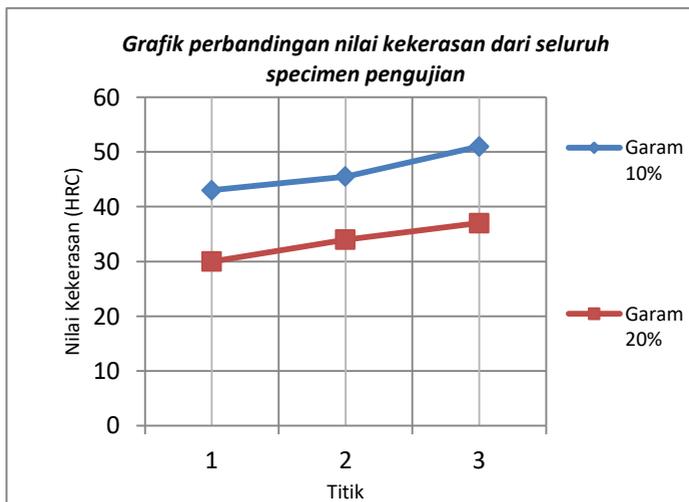
Bahan	Titik	Nilai (HRC)
St - 41	1	30
	2	34
	3	37



Gambar 4.5 Grafik nilai kekerasan specimen dengan media pendingin air garam 20%

4.3.3 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan

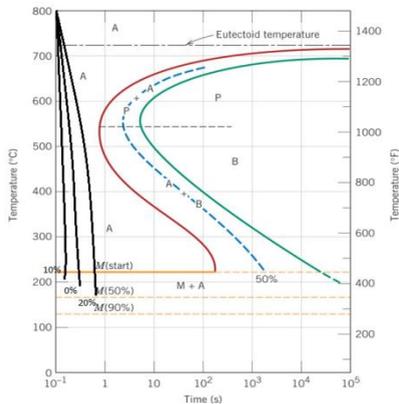
Dari hasil pengujian kekerasan pada seluruh specimen, maka dapat disajikan grafik 4.5 seperti gambar berikut :



Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai kekerasan dari seluruh specimen pengujian

Dari grafik 4.5 ,maka dapat diketahui bawa kekerasan pada inti specimen ke tepi specimen akan naik kekerasanya dikarenakan sesuai teori pengerasan induksi, bagian terluar dari specimen akan lebih keras dari bagian dalam.

Kemudian pada penggunaan campuran antara air dan garam dengan konsentrasi 10% terjadi kenaikan hasil pengujian kekerasan dibandingkan dengan menggunakan media pendingin air dikarenakan campuran garam pada air 10% mengakibatkan perubahan koefisien konveksi pada media pendingin sehingga memiliki laju pendinginan lebih cepat daripada menggunakan air biasa.



Gambar 4.7 Diagram CCT

Pada penggunaan media pendingin campuran antara air dan garam 20% terlihat penurunan nilai kekerasan karena pengaruh koefisien viskositas yang berubah akibat bertambahnya konsentrasi garam yang lebih jenuh sehingga mengurangi

kemampuan campuran tersebut dalam mendinginkan benda uji yang mengakibatkan penurunan nilai kekerasan dibandingkan specimen yang di-*quench* menggunakan media pendingin air maupun campuran air dan garam 10% seperti yang terlihat pada diagram CCT pada gambar 4.7

4.4 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan impak dari suatu material, yaitu kemampuan untuk menahan beban impak.

4.4.1 Hasil Uji Impak Kondisi Awal

Pada pengujian impak kondisi awal (tanpa perlakuan, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.10 Tabel hasil uji impak kondisi awal

Bahan	Nilai Impak (Kg/cm)	Nilai Rata – Rata
St – 41	742.95	729.14 Kg/cm
	702.24	
	742.24	

4.4.2 Hasil Uji Impak Spesimen menggunakan Media Pendingin Air Garam 0%

Pada pengujian impak specimen dengan media pendingin air garam 0%, didapatkan hasil sebagai berikut pada tabel 4.11:

Tabel 4.11 Tabel hasil uji impak specimen dengan media pendingin air garam 0%

Bahan	Nilai Impak (Kg/cm)	Nilai Rata – Rata
St – 41	651.3	644.5 Kg/cm
	631	
	651.3	

4.4.3 Hasil Uji Impak Spesimen menggunakan Media Pendingin Air Garam 10%

Pada pengujian impak specimen dengan media pendingin air garam 10%, didapatkan hasil sebagai berikut pada tabel 4.12 :

Tabel 4.12 Tabel hasil uji impak specimen dengan media pendingin air garam 10%

Bahan	Nilai Impak (Kg/cm)	Nilai Rata – Rata
St – 41	284.95	271.39 Kg/cm
	264.61	
	264.61	

4.4.4 Hasil Uji Impak Spesimen menggunakan Media Pendingin Air Garam 20%

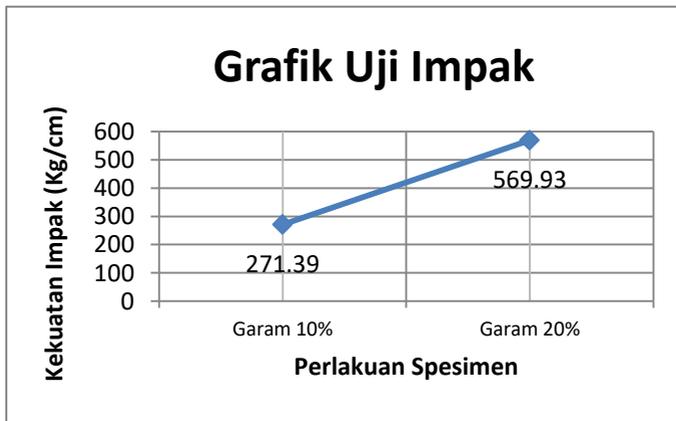
Pada pengujian impak specimen dengan media pendingin air garam 20%, didapatkan hasil sebagai berikut pada tabel 4.13 :

Tabel 4.13 Tabel hasil uji impact specimen dengan media pendingin air garam 20%

Bahan	Nilai Impact (Kg/cm)	Nilai Rata – Rata
St – 41	600.47	569.93Kg/cm
	559.76	
	549.58	

4.4.5 Analisa Hasil Uji Impact

Dari data yang diperoleh dari pengujian impact, maka dapat disajikan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik uji impact

Grafik 4.7 menunjukkan bahwa dengan memberikan perlakuan panas tidak setimbang akan cenderung membuat kekuatan impact suatu

material menurun karena laku panas tidak setimbang menghasilkan fasa martensit yang dapat dilihat pada bagian pengujian metalografi. Pada specimen yang didinginkan menggunakan campuran air dan garam 20% terlihat memiliki kekuatan impak lebih baik dibandingkan dengan specimen yang didinginkan menggunakan media air maupun air garam karena laju pendinginan yang terjadi lebih lambat dibandingkan kedua media pendingin sebelumnya, karena semakin lambat laju pendinginan, maka semakin sedikit martensit yang terbentuk yang mengakibatkan kekerasan menurun dan ketangguhan naik.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian seluruh benda uji dengan variasi kandungan garam pada media pendingin air, maka dapat disimpulkan :

1. Struktur mikro yang terbentuk paling banyak adalah perlit dengan presentase 81% pada penggunaan media pendingin campuran air garam 10%
2. Kekerasan paling tinggi didapatkan pada penggunaan campuran media pendingin air garam 10% sebesar 51 HRC pada kulit, kekerasan terendah terdapat pada penggunaan media pendingin air garam 20% dengan kekerasan sebesar 37 HRC pada kulit.
3. Kekuatan impak paling tinggi didapatkan pada penggunaan media pendingin air garam 20% sebesar 569.93 Kg/cm, sedangkan kekuatan impak paling rendah didapat pada 271.39 kg/cm dengan menggunakan media pendingin campuran air garam 10%

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh penambahan garam terhadap koefisien konveksi media pendingin serta perhitungannya secara teoritis

DAFTAR PUSTAKA

Susanto, Tarsono Dwi. “Studi Pengerasan Permukaan Dengan Cara Pengerasan Induksi Pada Baja Paduan Rendah” *STT Wiwiroto Purwokerto*. 52 – 54

Trihutomo, Prihanto. “Analisa Kekerasan Pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Berbagai Media Pendingin Yang Berbeda” *Universitas Negeri Malang*. 28 – 34

Sarjono, Koos(2009). “Pengaruh Hardening Pada Baja JIS G4051 Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro” *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia vol. 11*. 95 – 100

Lakhtin, Y(1963). “*Engineering Physical Metallurgy*” Delhi : India. CBS Publisher & Distributors India

Liscic, Bozidar. Tensi, Hans M. Canale, Lauralice. Totten, George E. (2010) “*Quenching Theory And Technology*” Florida : USA. CRC Press Taylor and Francis group.

www.danidwikw.wordpress.com/category/materi-teknik
diakses pada tgl. 10 November 2018

www.tf.ini-kiel.de
Diakses pada tanggal 10 November 2018

www.nitty-gritty.com
Diakses pada tanggal 11 November 2018

www.lennon.csufreshno.edu
Diakses pada tanggal 11 November 2018

www.princeton.edu

Diakses pada tanggal 11 November 2018

www.researchgate.net

Diakses pada tanggal 11 November 2018

Perhitungan Kekuatan Impak

Rumus Perhitungan Kekuatan Impak:

$$\frac{W.L(\text{Cos}\alpha - \text{Cos}\beta)}{A}$$

Benda uji : Tanpa perlakuan

- 92°
- 94°
- 92°

$$\frac{13.57 \times 60 (\text{Cos } 92 - \text{Cos } 140)}{0.8} = 742.9 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\text{Cos } 94 - \text{Cos } 140)}{0.8} = 702.2 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\text{Cos } 92 - \text{Cos } 140)}{0.8} = 742.9 \text{ kg/mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= (742.9 + 702.2 + 742.9) / 3 \\ &= 729.3 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

Benda uji : Garam 0%

- 98°
- 98°
- 97°

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 98 - \cos 140)}{0.8} = 631 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 98 - \cos 140)}{0.8} = 631 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 97 - \cos 140)}{0.8} = 651.3 \text{ kg/mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= (631 + 631 + 651.3) / 3 \\ &= 637.7 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

Benda uji : Garam 10%

- 119°
- 120°
- 120°

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 119 - \cos 140)}{0.8} = 284.9 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 120 - \cos 140)}{0.8} = 264.6 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 120 - \cos 140)}{0.8} = 264.6 \text{ kg/mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= (284.9 + 264.6 + 264.6) / 3 \\ &= 271.3 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

Benda uji : Garam 20%

- 100°
- 102°
- 105°

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 100 - \cos 140)}{0.8} = 600.4 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 102 - \cos 140)}{0.8} = 559.7 \text{ kg/mm}$$

$$\frac{13.57 \times 60 (\cos 105 - \cos 140)}{0.8} = 549.5 \text{ kg/mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= (600.4 + 559.7 + 549.5) / 3 \\ &= 569.93 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

LAMPIRAN

1. Sertifikat baja st 41

PT GROWTH SUMATRA INDUSTRY
 Head Office / factory : Jln. K.L. Yos. Sudarso Km 10 - Medan.
 Phone : (061) 685 1989 (7 lines) Facs. : (061) 685 1474, 685 5779.

MILL TEST CERTIFICATE

CUSTOMER : **PT. BENTENG ANUGERAH BEJANTERA** COMMOITY : **COLD DRAWN STEEL BOUND BARS** CERTIFICATE NO : **237/D/S/SH/2018**
 SPECIFICATION : **SBS 400 - d = 88 A1.** NO.FD : **-**
 (Equivalent to JIS G. 3129). DATE OF ISSUE : **19/10/2018**
 No. Contact : **016/303-SBI/TT-239/2018/03**

DIMENSION DIAMETER LENGTH (In, mm)	HEAT NUMBER	QUANTITY	CHEMICAL COMPOSITION (%)					TENSILE STRENGTH		HARDNESS	
			C	SI	Mn	P	S	(N/mm ²)	(HB)	(HRB)	(HB)
1 1/4 In	6 12991	240	0.2182	0.1855	0.5877	0.0337	0.0318	636	-	170	
1 1/8 In	6 31953	50	0.1827	0.1375	0.6180	0.0367	0.0347	626	-	174	
1 In	6 31864	200	0.1955	0.2054	0.6093	0.0214	0.0190	636	-	175	
2 1/2 In	6 32947	104	0.1932	0.2111	0.6164	0.0324	0.0246	633	-	173	
2 1/4 In	6 22598	49	0.1962	0.1892	0.5444	0.0273	0.0264	640	-	175	
35 mm	6 42222	140	0.2231	0.1326	0.6250	0.0274	0.0171	642	-	181	
7/8 In	6 22948	140	0.1876	0.2022	0.6282	0.0306	0.0246	629	-	176	

Approved by :
 Manager Of Quality Control



Ir. Heini SF. Manullang

Prepared by :

Tabel Konversi
Kekerasan

Reference Table: Steel hardness conversion chart - all values approximate.

Brinell Hardness HB	Rockwell HRC	Rockwell HRB	Vickers HV	N/mm ²
800	72			
780	71			
760	70			
752	69			
745	68			
746	67			
735	66			
711	65			
695	64			
681	63			
658	62			
642	61			
627	60			
613	59			
601	58		746	
592	57		727	
572	56		694	
552	55		649	
534	54	120	589	
513	53	119	567	
504	52	118	549	
486	51	118	531	
469	50	117	505	
468	49	117	497	
456	48	116	490	1569
445	47	115	474	1520
430	46	115	458	1471
419	45	114	448	1447

415	44	114	438	1422
402	43	114	424	1390
388	42	113	406	1363
375	41	112	393	1314
373	40	111	388	1265
360	39	111	376	1236
348	38	110	361	1187
341	37	109	351	1157
331	36	109	342	1118
322	35	108	332	1089
314	34	108	320	1049
308	33	107	311	1035
300	32	107	303	1020
290	31	106	292	990
277	30	105	285	971
271	29	104	277	941
264	28	103	271	892
262	27	103	262	880
255	26	102	258	870
250	25	101	255	853
245	24	100	252	838
240	23	100	247	824
233	22	99	241	794
229	21	98	235	775
223	20	97	227	755
216	19	96	222	716
212	18	95	218	706
208	17	95	210	696
203	16	94	201	680
199	15	93	199	667
191	14	92	197	657
190	13	92	186	648
186	12	91	184	637
183	11	90	183	617

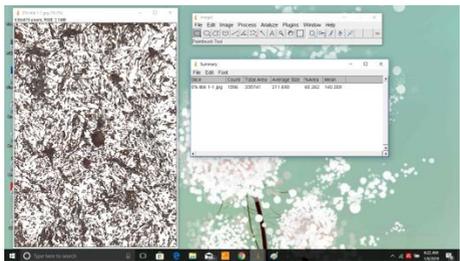
180	10	89	180	608
175	9	88	178	685
170	7	87	175	559
167	6	86	172	555
166	5	86	168	549
163	4	85	162	539
160	3	84	160	535
156	2	83	158	530
154	1	82	152	515
149		81	149	500
147		80	147	490
143		79	146	482
141		78	144	481
139		77	142	480
137		76	140	475
135		75	137	467
131		74	134	461
127		72	129	451
121		70	127	431
116		68	124	422
114		67	121	412
111		66	118	402
107		64	115	382
105		62	112	378
103		61	108	373
95		56	104	
90		52	95	
81		41	85	
76		37	80	

2. Perhitungan Hasil Metalografi

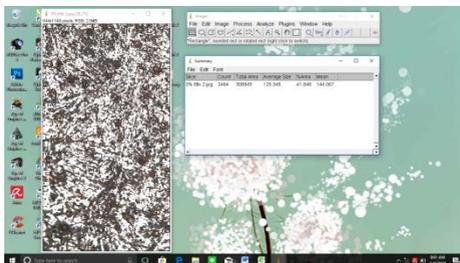
- Tanpa Perlakuan



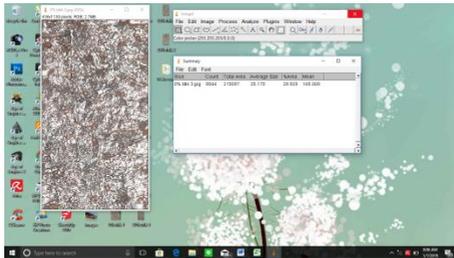
- Garam 0% Titik 1



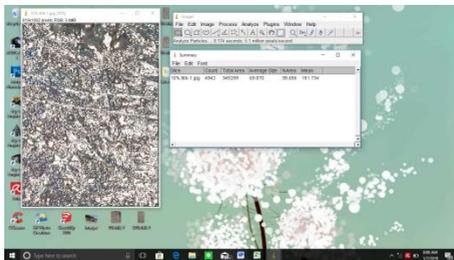
- Garam 0% Titik 2



- Garam 0% Titik 3



- Garam 10% Titik 1



- Garam 10% Titik 2



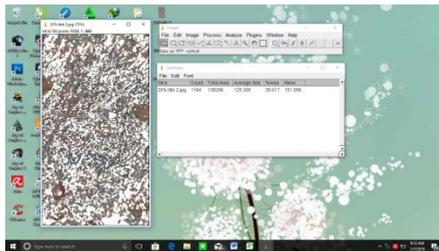
- Garam 10% Titik 3



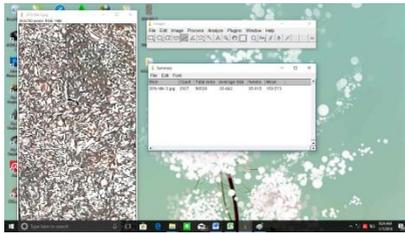
- Garam 20% Titik 1



- Garam 20 Titik 2



- Garam 20% Titik 3



BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Zedyka Satria Bimantara lahir di kota Surabaya pada tanggal 29 Juni 1997, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Pakis 1 Surabaya, kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 4 Surabaya dan melanjutkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 18 Surabaya. Setelah lulus dari sekolah menengah atas melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri pada tahun 2015 terdaftar dengan NRP. 10211500000056.

Selama duduk di bangku perkuliahan, penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri menjabat sebagai staf ahli BSO Jundullah masa bhakti 2016 – 2017. Penulis melakukan kerja praktek di PT Dok Dan Perkapalan Surabaya pada bagian maintenance dan bengkel pemesinan PT DPS Surabaya.

Pelatihan yang pernah diikuti Penulis antara lain : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI) HMDM – ITS tahun 2015, Pelatihan Motor Bakar HMDM FTI-ITS (2015), dan Pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar (Pra-TD) FTI-ITS (2015)