

**PENGARUH DIAMETER MATERIAL DAN WAKTU TAHAN
PROSES *INDUCTION HARDENING* TERHADAP
KEKERASAN PADA BAJA AISI 1045 UNTUK
APLIKASI *SPROCKET GEAR***

SKRIPSI

Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Disusun Oleh:

MUHAMMAD RAJA FADHIL HARAHAP

3334141902

**JURUSAN TEKNIK METALURGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH DIAMETER MATERIAL DAN WAKTU TAHAN
PROSES *INDUCTION HARDENING* TERHADAP
KEKERASAN PADA BAJA AISI 1045 UNTUK
APLIKASI *SPROCKET GEAR***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II



Suryana, ST., M.Si

NIP. 197402162001121001



Indah Uswatun Hasanah S.Si., M.T

NIP. 199012142019032022

LEMBAR PERSETUJUAN

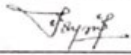

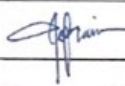
**PENGARUH DIAMETER MATERIAL DAN WAKTU TAHAN
PROSES *INDUCTION HARDENING* TERHADAP
KEKERASAN PADA BAJA AISI 1045 UNTUK
APLIKASI *SPROCKET GEAR*
SKRIPSI**

Disusun dan diajukan oleh :

MUHAMMAD RAJA FADHIL HARAHAP

3334141902

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 24 Januari 2021

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: <u>Suryana, ST., M.Si</u>	
Penguji II	: <u>Indah Uswatun Hasanah S.Si., M.T</u>	
Penguji III	: <u>Prof Alfirano S.T., M.T, Ph.D</u>	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi


Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP. 197804102003121001



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut :

Judul : Pengaruh Diameter Material dan Waktu tahan Proses
Induction Hardening terhadap Kekerasan pada Baja AISI
1045 untuk aplikasi *Sprocket Gear*.

Nama Mahasiswa : Muhammad Raja Fadhil Harahap

NIM : 3334141902

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seuruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 24 Januari 2021



Muhammad Raja Fadhil Harahap

3334141902

ABSTRAK

Baja AISI 1045 merupakan jenis baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,45%. Karena sifatnya yang cukup ulet, tangguh dan relatif mudah diberi perlakuan, AISI 1045 menjadi pilihan utama terutama untuk komponen mesin, *Gear Sprocket* menjadi salah satu contohnya pada industri otomotif. Pada baja AISI 1045 memiliki kekerasan yang tergolong rendah sedangkan untuk aplikasi *Aplikasi Gear Sprocket* diharuskan memiliki sifat mekanik yang baik terutama pada kekerasan dan ketahanan aus dikarenakan penggunaannya yang selalu bergesekan dengan mata rantai. Maka bagian permukaan harus dilakukan *surface hardening* atau pengerasan pada bagian permukaan. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan nilai kekerasan dari permukaan *Gear Sprocket*. Salah satu metode untuk mengeraskan permukaan baja yaitu pengerasan secara induksi (*induction hardening*). Pada proses *induction hardening* ini memiliki beberapa variabel yang mempengaruhi prosesnya seperti waktu tahan pemanasan dan ukuran diameter benda kerjanya. Pada percobaan ini variabel yang digunakan adalah 5, 7, dan 9 detik sedangkan diameter benda kerjanya adalah 20 mm, 25 mm, dan 32 mm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap kekerasan dan kedalaman kekerasan dari baja AISI 1045. Pada percobaan ini menghasilkan bahwa semakin lama waktu dan semakin besar ukuran diameter benda kerja maka semakin besar *case depth* yang ditemui, semakin besar diameter material semakin besar nilai kekerasannya, sedangkan waktu tahan tidak terlalu mempengaruhi nilai kekerasan akhir. Kekerasan terbesar terjadi pada spesimen 32 mm dengan waktu tahan 9s dengan titik indentasi 2 mm dari permukaan sebesar 845,57 HV.

Kata Kunci: Baja AISI 1045, *induction hardening*, *Gear Sprocket*, *surface hardening*, waktu tahan.

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Dalam pembuatan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Adhitya Trenggono, ST., M.Se. sebagai ketua jurusan Teknik Metalurgi UNTIRTA
2. Bapak Adhitya Trenggono, ST., MT. sebagai koordinator skripsi Teknik Metalurgi UNTIRTA
3. Suryana, ST., M.Si. sebagai Pembimbing I dan Ibu Indah Uswatun H. S.Si., M.T sebagai Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
4. Pak Anang dan Tim Laboratorium HSM Plant PT. Krakatau Steel Indonesia, yang telah membantu dan membimbing saya dalam pengambilan data penelitian
5. Orang tua, adik, serta teman-teman Metalurgi semua jurusan yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan bantuannya.
6. Untuk Yasmine Azmi Syafawani Kurnia.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama bagi penulis dan pembaca.

Cilegon, Januari 2021

Muhammad Raja Fadhil Harahap
3334141902

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.5 Hipotesa Awal.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baja AISI 1045.....	5
2.2 Induction Hardening.....	6
2.3 Faktor yang Mempengaruhi <i>Induction Hardening</i>	10
2.4 Pengujian Kekerasan.....	11
2.5 Pengujian Kekerasan	13
2.5.1 Uji Kekerasan Brinell.....	14
2.5.2 Uji Kekerasan Vickers	15
2.5.3 Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	16

2.6	Quenching	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		22
3.1	Diagram Alir Penelitian	22
3.2	Alat dan Bahan.....	23
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	23
3.2.2	Bahan yang Digunakan	24
3.3	Prosedur Percobaan.....	24
3.3.1	Preparasi Sampel.....	24
3.3.2	Persiapan <i>Induction Electromagnetic Furnace</i>	24
3.3.3	Karakterisasi dan Pengujian Sampel.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		28
4.1	Karakterisasi Awal struktur mikro menggunakan <i>Optical Microscope</i>	28
4.2	Pengujian kekerasan dengan <i>Vicker's hardness test</i>	29
4.2.1	Pengaruh Diameter terhadap Nilai Kekerasan & <i>Case Depth</i>	29
4.2.2	Pengaruh Waktu Tahan terhadap Nilai Kekerasan & <i>Case Depth</i>	33
4.3	Analisa Struktur Mikro	39
4.3.1	Analisa Struktur Mikro Sampel 20 mm 5 detik (Sampel A)...	40
4.3.2	Analisa Struktur Mikro Sampel 32 mm 5 detik (Sampel B)...	42
4.3.3	Analisa Struktur Mikro Sampel 32 mm 7 detik (Sampel C)...	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
5.1	Kesimpulan	49

5.2	Saran.....	50
-----	------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	55
--	-----------

LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN.....	57
--	-----------

LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN.....	61
--	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045 (<i>Standart</i> AISI 1045).....	5
Tabel 2.2 Parameter Termal Baja Karbon Rendah (<i>Dong et al</i> , 2019).....	7
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045	27
Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Awal Baja AISI 1045.....	27
Tabel 4.3 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 20 mm.....	29
Tabel 4.4 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 25 mm.....	29
Tabel 4.5 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 32 mm.....	29
Tabel 4.6 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 5s.....	33
Tabel 4.7 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 7s.....	33
Tabel 4.8 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 9s.	33
Tabel 4.9 Penyebaran Fasa Sampel A.....	40
Tabel 4.10 Penyebaran Fasa Sampel B.....	43
Tabel 4.11 Penyebaran Fasa Sampel C.....	44
Tabel B.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045.....	57
Tabel B.2 Nilai Kekerasan Awal Baja AISI 1045.....	57
Tabel B.3 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 20 mm.....	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mekanisme Induction Hardening.....	6
Gambar 2.2 Zona-Zona pada Material Proses Induction Hardening.....	7
Gambar 2.3 Struktur mikro pada (a) Martensit di hardened zone (b) Martensit-perlit di transition zone (c) Perlit di unhardened zone.....	8
Gambar 2.4 Diagram Tulang Ikan Parameter Proses Induction Hardening.....	12
Gambar 2.5 Kelas Konsistensi.....	14
Gambar 2.6 Kurva TTT Pada Baja AISI 1045 (Totten <i>et al</i> , 2002).....	19
Gambar 2.10 Diagram CCT Untuk Baja AISI 1045 (Totten <i>et al</i> , 2002)..	20
Gambar 3.1 Diagram Alir	22
Gambar 3.2 Skema Pengambilan Sampel	24
Gambar 3.3 Indentasi metode vickers (Barsom <i>et al</i> 2000)	26
Gambar 4.1. AISI 1045 Non treatment	28
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 5s ..	30
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 7s...	31
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 9s...	31
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 20 mm.....	34
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 25 mm.....	35

Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 32 mm.....	36
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Sampel 20mm 5s, 32 mm 5s. dan 32mm 7s	37
Gambar 4.9. AISI 1045 Non treatment.....	39
Gambar 4.10 Struktur mikro Sampel A. A). Bagian Permukaan, B). Bagian Perantara C). <i>Base Metal</i>	40
Gambar 4.11 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Sampel A.....	41
Gambar 4.12 Struktur mikro Sampel B. A). Bagian Permukaan, B). Bagian Perantara C). <i>Base Metal</i>	43
Gambar 4.13 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Permukaan Sampel B.....	43
Gambar 4.14 Struktur mikro Sampel B. A). Bagian Permukaan, B). Bagian Perantara C). <i>Base Metal</i>	45
Gambar 4.15 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Permukaan Sampel C.....	47
Gambar 4.16 Rata-rata.Kekerasan Permukaan & Ukuran Butir.....	46
Gambar B.1 Langkah – Langkah Menggunakan Software ImageJ Untuk Mendapatkan Fraksi Volume.....	59
Gambar B.2 Struktur Mikro Sebelum Dilakukan Induction Treatment	61
Gambar C.1 Induction Electromagnetic Furnace.....	61
Gambar C.2 Air Es.....	61
Gambar C.3 Ethanol.....	61
Gambar C.4 Pasta Alumina.....	61
Gambar C.5 Larutan Nital 2%.....	61

Gambar C.6 Mesin Polishing.....	61
Gambar C.7 Bakelit.....	62
Gambar C.8 Alat Grinding.....	62
Gambar C.10 Alat Cutting.....	62
Gambar C.9 Mesin Mounting.....	62
Gambar C.11 Mikroskop Optik.....	62
Gambar C.12 Alat tekan.....	62
Gambar C.13 Alat Pengering.....	63
Gambar C.14 Tang Tangan.....	63
Gambar C.15 Uji Kekerasan <i>Micro vickers</i>	63
Gambar C.16 Oli.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja AISI 1045 merupakan jenis baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebanyak 0,43%-0,50 % dan termasuk golongan baja karbon menengah (Glyn.et.al, 2001). Salah satu contoh aplikasi baja AISI 1045 adalah untuk *gear sprocket*. Tetapi dikarenakan nilai kekerasan yang belum memenuhi standar, maka harus di lakukan perlakuan tambahan, untuk meningkatkan kekerasannya.

Gear sprocket adalah salah komponen yang akan selalu bersinggungan dengan rantai, sehingga *gear sprocket* rentan mengalami keausan maupun pengikisan. Sedangkan *wear resistance* berbanding lurus dengan nilai kekerasan logam. Sehingga permukaan dari *gear sprocket* harus memiliki nilai kekerasan yang tinggi, tetapi juga memiliki nilai ketangguhan yang tinggi.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu diadakan penelitian tentang metode-metode untuk meningkatkan nilai kekerasan AISI 1045. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkat permukaan baja yaitu adalah pengerasan secara induksi (*induction hardening*), dimana induksi elektromagnetik yang terbentuk dari aliran listrik pada solenoid dapat merubah fasa permukaan logam. *Induction hardening* digunakan karena laju pemanasannya yang cepat dibandingkan dengan metode pengerasan permukaan konvensional, *Induction hardening* memiliki kelebihan yaitu, dapat memanaskan baja pada titik tertentu, optimal untuk benda kerja dengan geometri kompleks, serta relatif lebih ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui parameter yang optimal, sehingga dapat meningkatkan kekerasan baja AISI 1045 dari 200 HV menjadi 500 HV dan *case depth* paling baik sebesar 1,5-2 mm, dengan menggunakan proses *induction hardening* dengan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti diameter spesimen dan waktu tahan pemanasan pada metode *induction hardening*.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh diameter spesimen terhadap kekerasan dan kedalaman kekerasan (*case depth*) dari baja AISI 1045 yang telah melalui proses *Induction Hardening*.
2. Mengetahui pengaruh waktu tahan terhadap kekerasan dan kedalaman kekerasan (*case depth*) dari baja AISI 1045 yang telah melalui proses *Induction Hardening*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian, material yang digunakan adalah baja AISI 1045 yang dilakukan proses *induction hardening*. Material disiapkan dengan variabel ukuran 20, 25, dan 32 mm dengan tebal 10 mm. Variabel kedua adalah lama waktu pemanasan, 5, 7, dan 9 detik. Lalu material diletakkan diantara *coil solenoid* yang

telah dibuat. Lalu dilakukan *quenching* dengan menggunakan air es. Karakterisasi struktur mikro dan *case depth* dilakukan dengan *Optical Microscope*. Uji kekerasan dilakukan menggunakan uji kekerasan mikro Vicker's. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Metalurgi FT UNTIRTA dan untuk pengambilan data kekerasan dan struktur mikro di Lab Krakatau Steel.

1.5 Hipotesa Awal

Hipotesis awal dari penelitian ini adalah semakin besar ukuran diameter spesimen, maka *case depth* juga akan semakin bertambah besar. Lalu semakin tinggi waktu tahan yang digunakan maka nilai kekerasan baja AISI 1045 dan *case depth* juga akan bertambah.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian. Bab II menjelaskan teori yang mendukung penelitian ini seperti teori tentang baja secara umum, penjelasan mengenai baja AISI 1045, penjelasan tentang *induction hardening*, faktor-faktor yang mempengaruhi, serta penjelasan tentang pengujian sifat mekanik yang berkaitan dengan sifat yang harus dimiliki bahan untuk *gear sprocket* yaitu pengujian kekerasan. Bab III menjelaskan mengenai diagram alir penelitian, prosedur penelitian, serta standar pengujian yang digunakan dalam penelitian. Bab IV menjelaskan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan pembahasannya berdasarkan data hasil pengujian, lalu

membandingkannya dengan penelitian sebelumnya. Bab V kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang didapatkan serta memberi saran kepada pembaca dan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja AISI 1045

Baja AISI (*The American Iron and Steel Institute*) 1045 merupakan baja yang termasuk golongan karbon menengah, dengan kandungan karbon sekitar 0,43%-0,50%. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*). Komposisi kimia untuk baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045 (*Standart AISI 1045*)

Kode	% C	% Si	% Mn	% Mo	% P	% S
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,6-0,9	0,025	0,04	0,05

Baja dengan AISI 1045 biasanya banyak digunakan untuk komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor, Sehingga mengharuskan baja ini memiliki sifat mekanik yang keras serta ketahanan aus yang baik karena pada aplikasinya akan selalu bergesekan dengan logam lainnya. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan pengurangan dimensi akibat suatu gesekan.

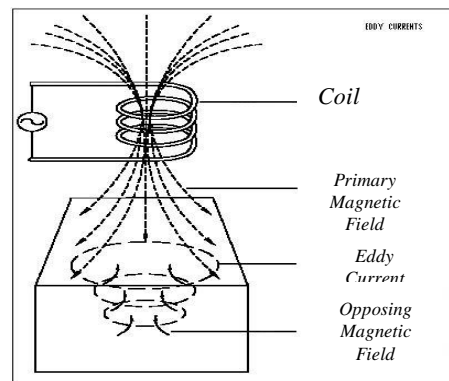
Adapun Baja AISI 1045 harus dipanaskan hingga temperatur tertentu, yaitu biasa dikenal dengan temperatur A1 dan A3. Pada temperatur A1, Baja AISI 1045 yang semula berfasa ferit-perlit akan mulai bertransformasi menjadi fasa austenit+ferit, sedangkan pada temperatur A3, Baja AISI 1045 akan bertransformasi penuh menjadi austenit. Untuk menentukan temperature A1 dan A3, dapat mengacu pada rumus 2.1 dan 2.2 (Trzaska, 2016)

$$A1 = 749 - (29.C) - (14.Mn) + (13.Si) + (16.CR) - (17.Ni) - (16.Mo) + (45.V) + (36.Cu) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$A3 = 925 - (219.\sqrt{C}) - (7.Mn) + (39. Si) - (16.Ni) + (13.Mo) + (97.V)\dots\dots\dots(2.2)$$

2.2 Induction Hardening

Salah satu metode perlakuan untuk meningkatkan nilai kekerasan logam adalah *induction hardening* (pengerasan induksi). Prinsip kerja dari *induction hardening* adalah ketika arus listrik melewati bahan konduktor (*Solenoid*), maka akan terbentuk medan magnet yang mengelilingi *solenoid* tersebut. Apabila di letakan sebuah material *ferromagnetic* ditengah *solenoid*, maka medan magnet akan menginduksi material tersebut sehingga menimbulkan *Eddy Current* pada permukaan material, yang mengakibatkan material menjadi bertambah panas (Thelning, 1984).



Gambar 2.1 Mekanisme Induction Hardening

Untuk struktur mikro yang terdapat karbida di dalamnya dan ferit dengan butir yang besar, tidak cocok sebagai struktur mikro awal dari baja untuk metode *induction hardening*, karena waktu yang diperlukan untuk menghasilkan austenit yang homogen akan terlalu lama. Sehingga proses *normalizing* dilakukan untuk mengubah struktur mikronya, sehingga lebih mudah untuk dilakukan proses *induction hardening*. Fakta yang terjadi yaitu kekerasan martensit yang diproduksi dalam perlakuan dengan pemanasan yang cepat dan waktu austenisasi yang pendek dapat melebihi kekerasan yang diperoleh dengan cara perlakuan panas pengerasan yang konvensional. Peningkatannya bisa sekitar 5 poin pada skala *rockwell* (Glyn Meyrick, 2001).

Tabel 2.2 Parameter Termal Baja Karbon Rendah (Dong *et al*, 2019)

Temperature (°C)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/(kg·°C))	Heat Conductivity Coefficient (W/(m·°C))
0	7842	450.36	66.97
50	-	464.6	65.21
200	7822	498.1	57.38
250	-	502.26	54.91
300	-	514.82	53
400	7802	537.42	47.92
450	-	623.64	45.83
500	-	707.35	43.53
600	7782	812	39.3
650	-	904.07	36.37
700	-	967.69	34.74
800	7761	1026.32	31.02

Dapat dilihat pada Tabel 2.2, dimana dapat dihitung kebutuhan daya pada alat induksi untuk menghasilkan temperatur tertentu pada benda kerja. Pada Tabel 2.2 juga terdapat besar koefisien konduktivitas kalor, dimana koefisien ini mempengaruhi kecepatan rambat kalor pada benda kerja.

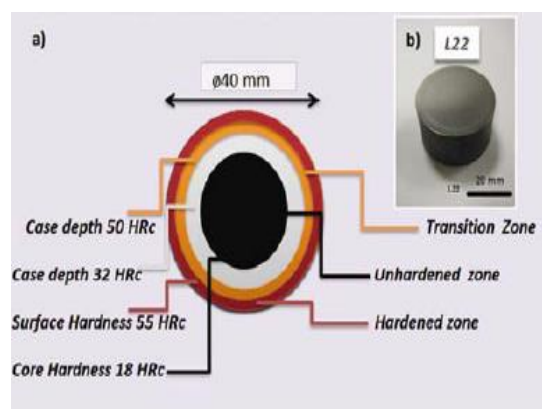
Pada proses *induction hardening*, akan dihasilkan 3 zona pengerasan yaitu, *hardened zone*, *transition zone*, dan *unhardened zone* yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.a (M Onan et al, 2015). Dimana struktur mikro pada masing-masing zona akan berbeda juga dan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda,

- a. Martensit pada zona *hardened zone*.

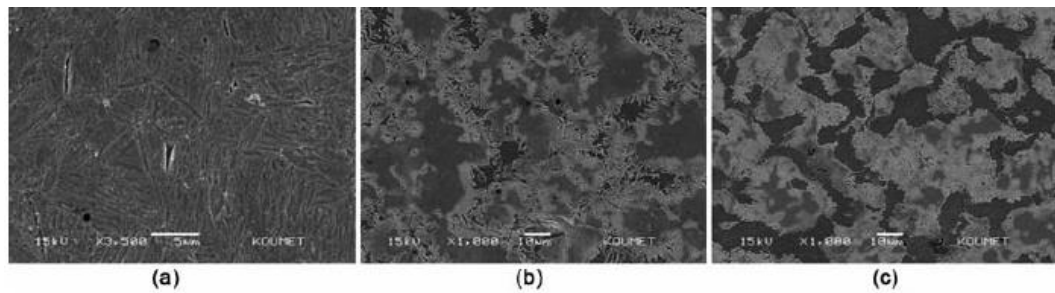
Dapat dilihat pada Gambar 2.3.a, Mikrostruktur berbentuk jarum-jarum halus

- b. Martensit-perlit pada zona *transition zone*.
- c. Perlit pada zona *unhardened zone*.

Dapat dilihat pada Gambar 2.3.c, terdapat struktur mikro ferrit dan sementit.



Gambar 2.2 Zona-Zona pada Material Proses Induction Hardening (Kohli *et al*, 2011)



Gambar 2.3 Struktur mikro pada (a) Martensit di *hardened zone* (b) Martensit-perlit di *transition zone* (c) Perlit di *unhardened zone* (Kohli *et al*, 2011)

Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dari *induction hardening* dibandingkan dengan konvensional *hardening*, yaitu antara lain kelebihan adalah:

- a. Dapat mengeraskan pada lokasi lokasi yang sulit dijangkau pada benda kerja
- b. Waktu pemanasan yang cepat
- c. Dekarburasi dan oksidasi yang kecil pada permukaan, dikarenakan tidak ada penambahan unsur apapun pada proses *induction hardening*
- d. Meningkatkan kekuatan leleh dari benda kerja
- e. Setiap penguatan yang diperlukan dapat dilakukan pada permukaan yang tidak dikeraskan dan pada permukaan yang mengeras
- f. Prosesnya dapat dimasukkan kedalam jalur produksi dari suatu perusahaan
- g. Biaya operasional yang murah
- h. Geometri material dapat beragam
- i. Proses *hardening* tergolong cepat.

Sedangkan kekurangannya yaitu :

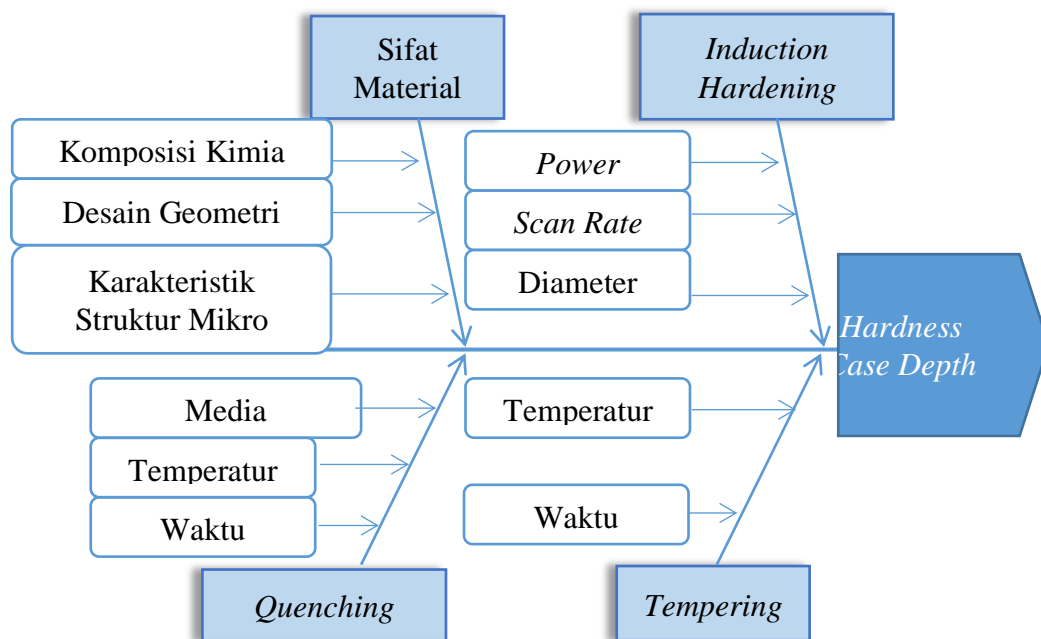
- a. Tingginya biaya modal mengharuskan tingkat pemanfaatan peralatan yang tinggi.
- b. Hanya sejumlah kecil jenis baja yang dapat dikeraskan dengan metode *induction hardening*.

2.3 Faktor yang Mempengaruhi *Induction Hardening*

Terdapat beberapa hal pada yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja pada permukaan dari proses pengerasan permukaan dengan menggunakan metode *induction hardening*, yaitu diantaranya adalah (Onan *et al*, 2015) :

- a. Arus yang digunakan
Semakin besar arus yang digunakan maka nilai kekerasan yang didapat akan semakin besar karena temperatur yang didapat akan semakin besar (Kohli *et al*, 2011).
- b. Waktu tahan
Waktu tahan dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja karbon sedang. Semakin lama waktu tahan maka semakin tinggi nilai kekerasan dari baja tersebut karena lamanya baja yang terpapar panas dari gelombang *eddy current* yang terbentuk dan mengakibatkan pada temperatur austenit semakin homogen (Kohli *et al*, 2011).
- c. Jarak antara *coil* dengan benda kerja.
Dikarnakan jika jarak *coil* terlalu jauh maka akan sangat mempengaruhi panas yang akan diterima dari *coil* tersebut.

- d. Media *quenching* yang digunakan, kekerasan yang diperoleh tergantung pada media *quenching* yang digunakan. Pada proses *quenching* dengan air es penurunan suhu yang signifikan mencegah atom untuk berdifusi sehingga menghasilkan fasa martensit (Arai. *et al.* 1998).



Gambar 2.4 Diagram Tulang Ikan Parameter Proses *Induction Hardening*

Selain faktor-faktor diatas masih terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan nilai *case depth* yang dihasilkan pada proses *induction hardening*. Hal tersebut dapat dilihat dari diagram tulang ikan pada Gambar 2.4 (M Onan et al, 2015).

2.4 Pengujian Kekerasan

Salah satu metode tertua dalam menentukan *performance rating* adalah metode yang dikembangkan oleh *Westinghouse Electric Corporation*. Sistem rating *Westinghouse* menguraikan enam kelas yang merepresentasikan kemahiran

yang ada dalam evaluasi suatu pekerjaan (Niebel, 1999). Keterampilan atau skill didefinisikan sebagai kemampuan mengikuti cara kerja yang sudah ditetapkan. Latihan dapat meningkatkan keterampilan, tetapi hanya sampai ketinggian tertentu saja, tingkat mana merupakan kemampuan maksimal yang dapat diberikan pekerja yang bersangkutan. Secara psikologis keterampilan merupakan attitude atau kebiasaan untuk pekerjaan yang bersangkutan. Keterampilan juga dapat menurun jika terlalu lama tidak menangani pekerjaan tersebut, atau karena sebab-sebab lain seperti karena kesehatan yang terganggu, rasa *fatigue* yang berlebihan, pengaruh sosial dan sebagainya. Untuk keperluan penyesuaian keterampilan dibagi menjadi enam kelas yaitu *super skill*, *excellent skill*, *good skill*, *average skill*, *fair skill* dan *poor skill*. Secara keseluruhan yang membedakan kelas keterampilan seseorang adalah keragu-raguan, ketelitian gerakan, kepercayaan diri, koordinasi, irama gerakan, “bekas-bekas” latihan dan hal-hal lain yang serupa.

Untuk usaha atau effort cara Westinghouse membagi juga atas kelas-kelas dengan ciri masing-masing. Yang dimaksud dengan usaha disini adalah kesungguhan yang ditunjukkan atau diberikan operator ketika melakukan pekerjaannya. Terdapat enam kelas dalam usaha yaitu *excessive effort*, *excellent effort*, *good effort*, *average effort*, *fair effort* dan *poor effort*. Yang dimaksud dengan kondisi kerja atau *Condition* pada cara Westinghouse adalah kondisi fisik lingkungannya seperti keadaan pencahayaan, temperatur dan kebisingan ruangan. Kondisi kerja dibagi menjadi enam kelas yaitu *ideal*, *excellent*, *good*, *average*, *fair* dan *poor*.

Faktor yang harus diperhatikan adalah konsistensi. Faktor ini perlu

diperhatikan karena kenyataan bahwa pada setiap pengukuran waktu angka-angka yang dicatat tidak pernah semuanya sama, waktu penyelesaian yang ditunjukkan pekerja selalu berubah-ubah dari satu siklus ke siklus lainnya, dari jam ke jam, bahkan dari hari ke hari. Selama masih dalam batas-batas kawajaran masalah tidak timbul, tetapi jika variabilitasnya tinggi maka hal tersebut harus diperhatikan. Sebagaimana halnya dengan faktor-faktor lain, konsistensi juga dibagi menjadi enam kelas yaitu perfect, excellent, good, average, fair dan poor.

Skill			Effort		
+ 0,15	A1	Super Skill	+ 0,13	A1	Super Skill
+ 0,13	A2		+ 0,12	A2	
+ 0,11	B1	Excellent	+ 0,10	B1	Excellent
+ 0,08	B2		+ 0,08	B2	
+ 0,06	C1	Good	+ 0,05	C1	Good
0,003	C2		+ 0,02	C2	
0,00	D	Average	0,00	D	Average
- 0,05	E1	Fair	- 0,04	E1	Fair
- 0,10	E2		- 0,08	E2	
- 0,16	F1	Poor	- 0,12	F1	Poor
- 0,22	F2		-0,17	F2	

Condition			Consistency		
+ 0,06	A	Ideal	+ 0,04	A	Ideal
+ 0,04	B	Excellent	+ 0,03	B	Excellent
+ 0,02	C	Good	+ 0,01	C	Good
0,00	D	Average	0,00	D	Average
- 0,03	E	Fair	- 0,02	E	Fair
- 0,07	F	Poor	- 0,04	F	Poor

Gambar 2.5 Kelas Konsistensi

2.5 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material, dan khusus untuk logam deformasi yang dimaksud adalah deformasi plastis. Sedangkan kekuatan adalah ketahanan material terhadap deformasi plastis secara global. Pengujian kekerasan dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan sifat pengujiannya, antara lain sebagai berikut (Koswara, 1999):

a. Metode Goresan

Pengujian kekerasand dengan metode goresan dilakukan dengan cara mengukur kemampuan suatu material dengan menggoreskan material uji kepada spesimen. Skala uji yang digunakan adalah skala Mohs.

b. Metode Dinamik

Pengujian kekerasan dengan metode dinamik (kekerasan pantul) dilakukan dengan menghitung impak yang dihasilkan oleh indentor yang dijatuhkan pada permukaan spesimen.

c. Metode Indentasi

Pengujian kekerasan dengan metode indentasi (metode penekanan) adalah dengan cara mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya tekanan yang diberikan oleh *indentor* dengan memperhatikan besar beban yang diberikan dan besar indentasi. Uji kekerasan dengan metode indentasi ini terdiri atas beberapa cara antara lain :

2.5.1 Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan *brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja *chrom* yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu, oleh gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih (Thelning, 1984). Setelah gaya tekan ditiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tadi diukur secara teliti untuk kemudian dipakai untuk penentuan kekerasan logam yang diuji dengan menggunakan rumus :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D \left[D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]} \dots\dots\dots(2.3)$$

P = Beban yang diberikan (KP atau kgf)

D = Diameter *indentor* yang digunakan (mm)

d = Diameter bekas lekukan (mm)

Keuntungan penggunaan metode brinell antara lain :tidak dipengaruhi oleh oleh permukaan material yang kasar, bekas penekanan cukup besar, sehingga mudah diamati dan dapat mengatasi ketidakteraturan fasa material pada pengujian. Kerugiannya yaitu tidak dapat dikenakan pada benda yang tipis dan permukaan yang kecil, serta pada daerah kritis di mana penekanan dapat mengakibatkan kegagalan, tidak berlaku untuk material yang sangat lunak maupun sangat keras.

2.5.2 Uji Kekerasan Vickers

Uji *vickers* ini didasarkan kepada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah *indentor* berupa *pyramid diamond* terbalik yang memiliki sudut puncak 136° kepermukaan logam yang diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih.

Setelah gaya tekan secara statis ini kemudian ditiadakan dan *pyramid diamond* dikeluarkan dari bekas yang terjadi (permukaan bekas merupakan segi empat karena piramid merupakan piramid sama sisi). Nilai kekerasan yang diperoleh sedemikian itu disebut kekerasan *vickers* dengan Hv atau HVN (*Vickers Hardness Number*) (Thelning, 1984). Untuk

memperoleh nilai kekerasan maka hasil penekanan yang diperoleh dimasukkan ke dalam rumus :

$$H_v = \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{D^2} = \frac{1,8554F}{D^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keuntungan metode Vickers yaitu indentor dibuat dari bahan yang cukup keras, sehingga dimungkinkan dilakukan untuk berbagai jenis logam, memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu dan dapat digunakan untuk menentukan kekerasan pada logam yang sangat lunak dan juga dapat dilakukan untuk benda-benda dengan ketebalan yang sangat tipis, sampai 0,006 inchi sedangkan kerugiannya yaitu pengujian ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lama, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang teliti, dan rentan terhadap kesalahan perhitungan panjang diagonal.

2.5.3 Uji Kekerasan *Rockwell*

Uji kekerasan *Rockwell* ini juga didasarkan pada penekanan sebuah *indentor* dengan suatu gaya tekan tertentu ke permukaan yang rata dan bersih suatu logam yang diuji kekerasannya. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya *minor* maka yang dijadikan dasar perhitungan nilai kekerasan *rockwell* bukanlah hasil pengukuran diameter ataupun diagonal bekas lekukan tetapi justru kedalamannya bekas lekukan yang terjadi itu. Inilah kelainan cara *rockwell* dibandingkan dengan cara pengujian kekerasan lainnya.

Pengujian *rockwell* yang umumnya biasa dipakai adalah HR_A , HR_B dan HR_C . HR itu sendiri merupakan suatu singkatan dari kekerasan *rockwell* atau *rockwell hardness number*. Kekerasan Rockwell dapat dibagi menjadi:

a. Rockwell A

Penetrator berupa kerucut intan dengan pembebanan 60 Kg.

Biasa digunakan untuk jenis-jenis logam yang sangat keras.

b. Rockwell B

Indentor berupa bola baja dengan diameter 1,6 mm dan pembebanan 100 Kg. Biasa digunakan untuk material-material yang lunak.

c. Rockwell C

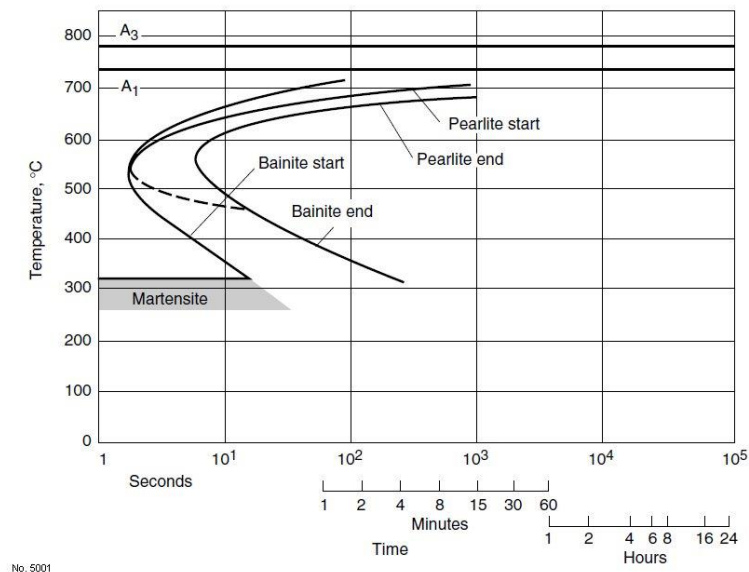
Indentor berupa kerucut intan dengan pembebanan 150 Kg. Biasa digunakan untuk logam-logam yang diperkeras dengan pemanasan. Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Tingkat skala kekerasan menurut metode *rockwell* ini diatur berdasarkan pada jenis *indentor* yang digunakan pada masing-masing skala (Thelning, 1984).

2.6 Quenching

Proses *quenching* adalah suatu proses pendinginan logam secara cepat menggunakan beberapa media *quenching* seperti air es, oli, atau udara. Untuk melakukan *quenching*, pertama sebuah logam harus dipanaskan hingga mencapai

batas austenit yang homogen, untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin atau bisa juga menyemprotkan media *quenching* ke material yang telah dilakukan pemanasan, tergantung pada kecepatan pendinginan yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja. Proses *quenching* ini mencegah proses suhu rendah, seperti transformasi fasa yang tidak diinginkan. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fasa austenit yang sudah dilakukan pemanasan tidak sempat bertransformasi menjadi fasa ferit atau perlit atau menjadi sementit. Dikarenakan tidak ada waktu bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi, oleh karena logam kerja menjadi fasa martensit. Fasa ini berupa fasa yang sangat keras dan tergantung pada keadaan karbon yang terdapat pada baja (Reed-Hill *et al*, 2008).

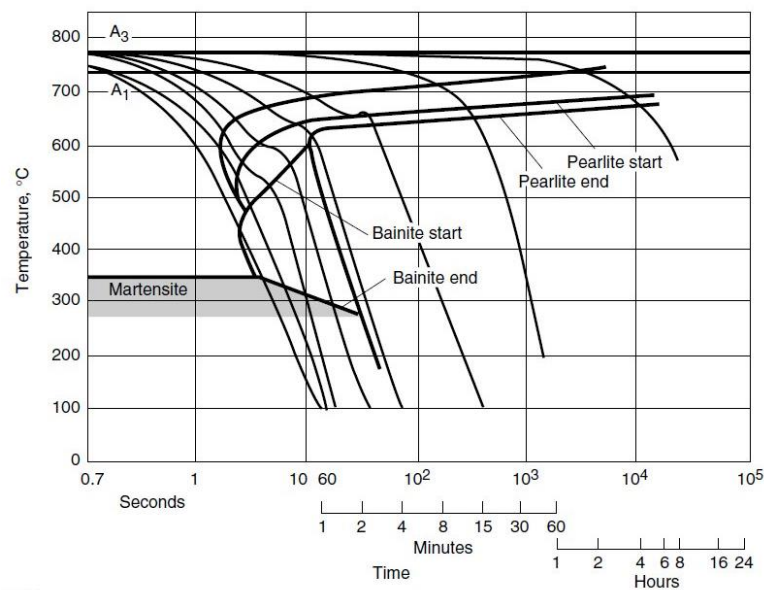
Pembentukan martensit yang sering digunakan untuk merubah sifat mekanik dari baja dan martensit merupakan fasa *nonequilibrium* atau metastabil yang terbentuk akibat pendinginan baja secara cepat dari temperatur *austenite*. Martensit adalah fasa yang keras dan getas, memberikan baja kemampuan unik untuk dapat diperkuat hingga tingkatan yang sangat tinggi. Perilaku transformasi *martensite* dapat dipahami melalui kurva TTT (*time-temperature-transformation*) pada baja *eutectoid*. Seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva TTT Pada Baja AISI 1045. (Totten *et al*, 2002)

Kurva TTT menunjukkan bagaimana laju pendinginan mempengaruhi transformasi *austenite* menjadi berbagai fasa: (1) bentuk alternatif dari *ferrite* dan *cementite*, serta (2) *martensite*. Waktu ditunjukkan secara logaritmis pada sumbu horisontal sedangkan temperatur pada sumbu vertikal. Pada laju pendinginan yang lambat, lintasan kurva pendinginan akan melalui daerah transformasi menjadi *pearlite* atau *bainite*.

Pearlite adalah campuran fasa *ferrite* dan *cementite* dengan bentuk pelat-pelat sejajar (*parallel plates*). *Pearlite* terbentuk ketika lintasan kurva pendinginan melalui P_s (*pearlitic start*) di atas “nose” kurva TTT. *Bainite* merupakan alternatif campuran dari *ferrite* dan *cementite* yang memiliki struktur seperti jarum (*needle-like*) atau seperti bulu (*feather-like*). *Bainite* dapat dihasilkan dengan pendinginan awal yang cepat ke temperatur di atas M_s (*martensitic start*) untuk menghindari *nose* kurva TTT lalu pendinginan yang lebih lambat agar melewati B_s (*bainitic start*) dan menuju daerah *ferrite-cementite*.



Gambar 2.7 Diagram CCT Untuk Baja AISI 1045. (Totten *et al*, 2002)

Selain menggunakan kurva TTT kita dapat juga melihat perubahan fasa yang terbentuk yang bertransformasi fasa menjadi *pearlite*, *bainite*, dan *martensite* yang terjadi pada diagram CCT untuk baja AISI 1045 pada Gambar 2.7

Adapun diagram *continuous cooling transformation* (CCT) yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 dengan digambarkan kurva dari waktu yang di butuhkan untuk bertransformasi dengan temperatur pembentukan penting secara jelas menerangkan diagram transformasi berasal untuk penggunaan diagram CCT ini sangat umum dilakukan untuk perlakuan eksperimental. Pada kurva pada diagram ini mensimulasikan pada bagian dalam yang besar seperti laju pendinginan batang jominy agak jauh dari ujung batang yang terkena media pendingin. Laju pendinginan bisa sangat kompleks pada bagian permukaan. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan diagram CCT untuk material baja AISI 1045 . daerah ferit, perlit, bainit dan Ms di indikasikan. Perhatikan bahwa suhu Ms tidak konstan ketika pembentukan martensit didahului oleh pembentukan bainit, tetapi biasanya

menurun dengan waktu yang lebih lama. serta Jika pendinginan terjadi dengan laju yang cepat (ditunjukkan oleh garis putus-putus dalam Gambar 2.7), *austenite* akan bertransformasi menjadi *martensite*. Struktur *body-centered cubic* (BCC) pada *austenite* bertransformasi menjadi *body-centered tetragonal* (BCT) tanpa melalui proses difusi. Adapun *martensite* memiliki komposisi yang sama dengan *austenite* di atas temperatur titik A1 (Atkins 1977).

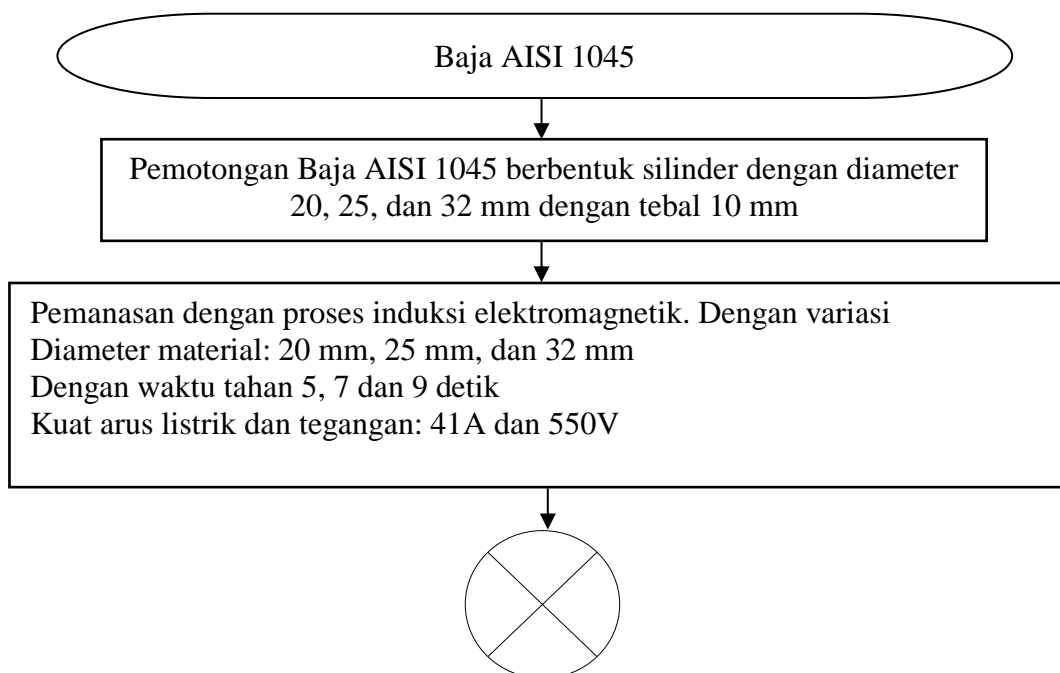
BAB III

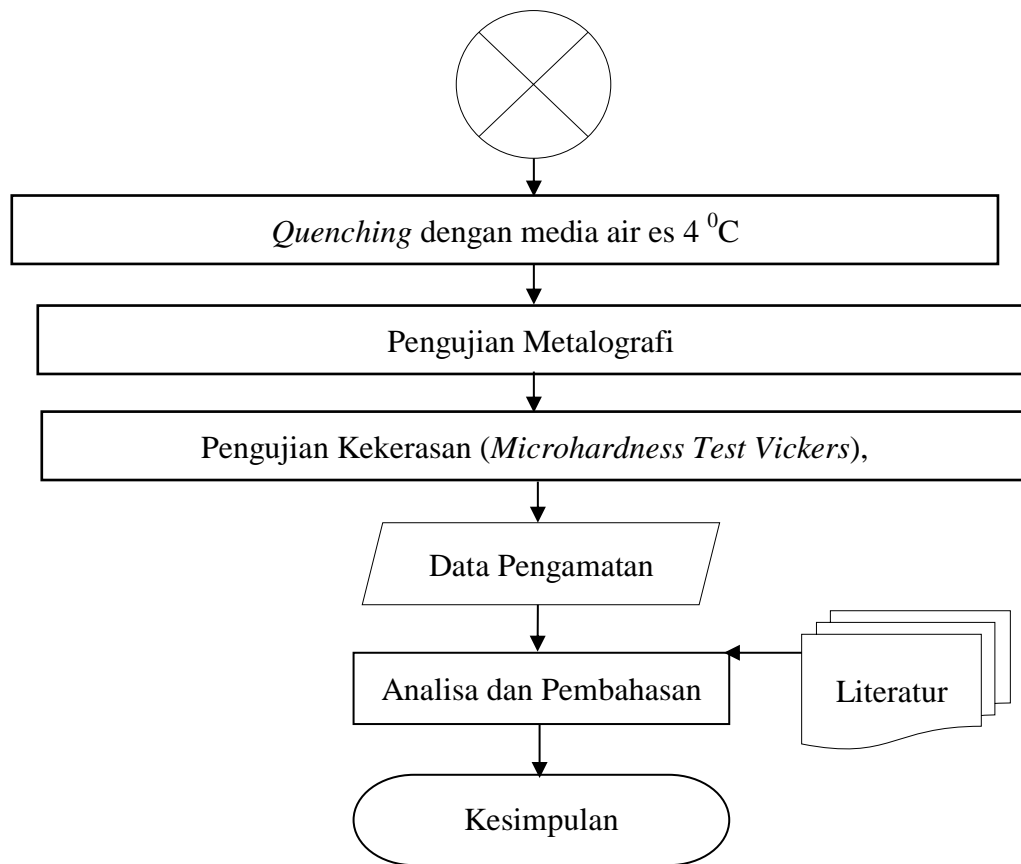
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini baja AISI 1045 digunakan sebagai material awal, lalu baja AISI 1045. Selanjutnya sampel dipreparasi dengan ukuran diameter 20, 25, dan 32mm dan tebal 10mm. Setelah itu dilakukan proses *induction hardening* dengan variasi waktu tahan 5, 7 dan 9 detik, setelah itu spesimen dilakukan proses *quenching* dengan media air es 4 °C. Lalu selanjutnya akan dilihat struktur mikro yang terbentuk dengan menggunakan *optical microscope*. Yang terakhir dilakukan pengujian kekerasan menggunakan *vickers microhardness testing* untuk mengetahui nilai kekerasan dan tebal *case depth*.

Berikut diagram alir penelitian ini :





Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

Berikut adalah alat yang digunakan dalam penelitian :

- 1) *Induction Electromagnetic Furnace*
- 2) Alat Potong Logam
- 3) Jangka Sorong
- 4) *Stopwatch*
- 5) *Optical Microscope*
- 6) *Alat grinding & Alat polishing*
- 7) Alat uji kekerasan shimadzu Tipe HMV-G21ST

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Berikut adalah bahan yang digunakan dalam penelitian :

- 1) Baja AISI 1045
- 2) Air es
- 3) Kertas Amplas
- 4) Pasta Alumina
- 5) Ethanol
- 6) Larutan Nital 2%

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Preparasi Sampel

Spesimen baja AISI 1045 yang berbentuk silinder dengan dimensi yang memiliki diameter 20, 25, dan 32 mm dan tebal 10 mm , lalu dihaluskan dengan gerinda tangan untuk menghaluskan permukaan spesimen.

3.3.2 Persiapan *Induction Electromagnetic Furnace*

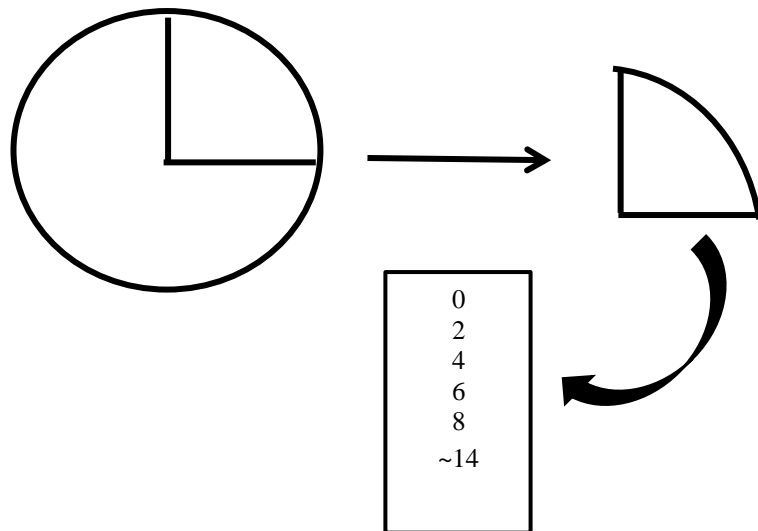
Sampel yang sudah bersih dan halus dari sisa-sisa potongan selanjunya dilakukan proses induction hardening dengan menggunakan *induction furnace* dengan menggunakan diameter *coil* yang digunakan 53 mm, arus dan tegangan listrik yang digunakan adalah 41 A dan 550V dengan variasi waktu penahanan 5, 7, dan 9 detik, tujuan pemanasan yang dilakukan untuk sampel mencapai fasa austenit sebelum didinginkan cepat. Setelah dipanaskan dengan waktu tahan yang sudah ditentukan sampel akan didinginkan cepat dengan media pendingin air es 4 °C.

3.3.3 Karakterisasi dan Pengujian Sampel

Karakterisasi yang dilakukan untuk pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan yaitu :

- 1) Analisa struktur mikro menggunakan *Optical Microscope*.

Pengambilan data struktur mikro diambil dari sepanjang daerah permukaan pemotongan sampel. Lalu dilihat melalui *Optical Microscope* sehingga didapatkan struktur mikronya. Skema pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Pengambilan Sampel

- 2) Pengujian kekerasan dengan *Vickers hardness test*

Pengujian kekerasan menggunakan *Microvickers Hardness Tester* yang bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan material yang telah dilakukan proses *induction hardening* dengan berbagai variabel yang telah digunakan untuk prosesnya. Pengujian kekerasan dilakukan setelah

pengujian struktur mikro dilakukan dengan pembebanan yang digunakan 300 kgf, Pengambilan nilai kekerasan dilakukan dengan mengambil nilai kekerasan dari bagian *surface* ke bagian tengah atau *base*. Lamanya pembebanan yang dilakukan adalah 15 detik lalu dilihat pada *microscope* pada alat uji kekerasan untuk mendapatkan nilai d_1 dan d_2 . Dimana d_1 adalah panjang indentasi, dan d_2 adalah lebar indentasi setelah proses pembebanan, data d_1 dan d_2 lalu dimasukkan kedalam persamaan 3.1 sehingga didapatkan nilai HVN (*Hardness Vickers Number*).

$$H_v = \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{D^2} = \frac{1,8554 F}{D^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

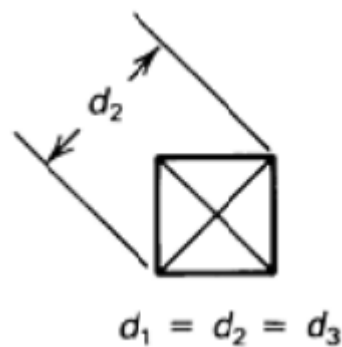
Keterangan :

HVN = *Hardness Vickers Number*

F = Beban yang Diberikan (kgf)

d = Diagonal (mm),

Nilai d yang di dapatkan hasil dari rata-rata nilai d_1 dan d_2 .



Gambar 3.3 Indentasi metode vickers (Barsom *et al* 2000)

- 3) Pengukuran *case depth* dengan bantuan alat *microhardness test*

Pengambilan nilai kekerasan dilakukan dengan mengambil nilai kekerasan dari bagian *surface* ke bagian tengah atau *base*. Dengan jarak yang digunakan antara setiap indentasi satu ke indentasi yang lainnya sebesar 2 mm. Hal ini dilakukan dalam beberapa titik yaitu 0, 2, 4, 6, 8, hingga 14 mm dari permukaan specimen, jarak maksimal tergantung diameter spesimennya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui *case depth* specimen, dengan melihat daerah yang mengalami penurunan kekerasan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Awal struktur mikro menggunakan *Optical Microscope*.

Baja yang digunakan adalah baja AISI 1045. Baja ini sering digunakan dalam industri otomotif dikarenakan sifatnya yang mudah dilas, mudah dibentuk, kekuatan yang tinggi dan ketangguhan yang tinggi, sehingga dipilih sebagai sampel dalam penelitian. Menggunakan rumus 2.1 dan 2.2 diketahui bahwa temperatur A1 sampel adalah sebesar 735 °C, dan temperatur A3 nya sebesar 785 °C. Sedangkan komposisi baja dan kekerasan awal AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan kekerasan awalnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

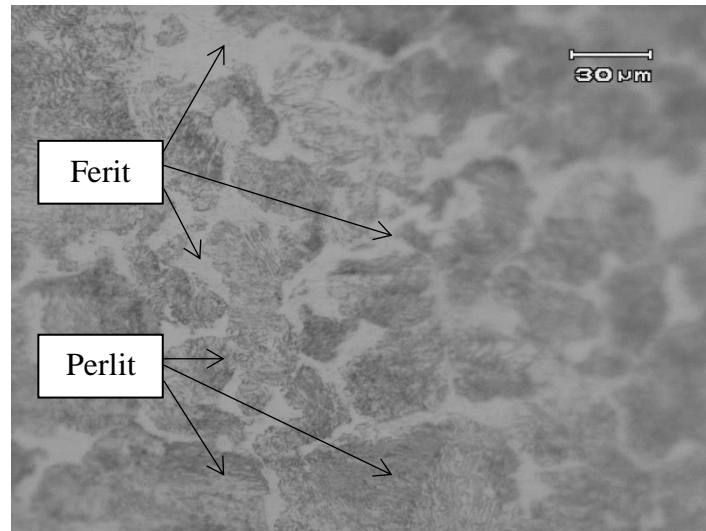
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	HB
0,44	0,23	0,63	0,016	0,005	0,08	0,02	0,1	0,01	165-198

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Awal Baja AISI 1045

Titik Indentasi	HV
0	229,36
2	200,31
4	196,19
6	187,99
8	191,85
Rata-Rata	201,00

Struktur mikro awal baja AISI 1045 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Baja AISI 1045 hanya memiliki struktur ferit dan perlit. Dimana ferit ditunjukkan

oleh daerah berwarna putih, sedangkan perlit ditunjukkan oleh area berwarna hitam.



Gambar 4.1. AISI 1045 Non treatment

4.2 Pengujian kekerasan dengan *Vicker's hardness test*

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vicker's Test* untuk mengetahui nilai kekerasan dan kedalaman *case depth* yang terbentuk, oleh proses pengerasan permukaan menggunakan metode induksi elektromagnetik. Nilai kekerasan diambil dari daerah permukaan menuju bagian tengah benda kerja, dengan interval 2 mm.

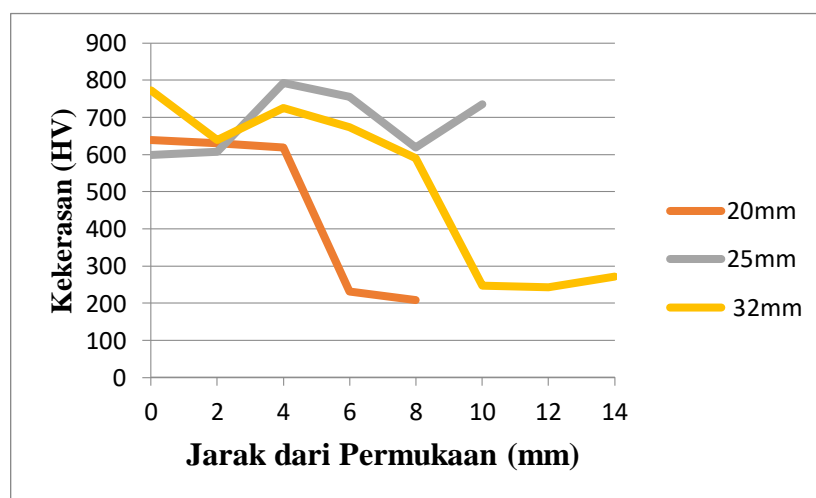
4.2.1 Pengaruh Diameter terhadap Nilai Kekerasan & *Case Depth*

Nilai kekerasan sampel hasil percobaan akan dibandingkan dengan nilai kekerasan sampel tanpa perlakuan. Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.3, 4.4, dan 4.5 berturut-turut. Titik indentasi diambil berdasarkan jarak pengambilan titik indentasi dari permukaan sampel, menuju daerah *base metal* sampel.

Hasil penelitian pengaruh diameter sampel terhadap nilai kekerasan yang didapatkan dari proses *induction hardening*. Dimana sampel memiliki diameter sebesar 20mm, 25mm, dan 32 mm. dan *coil* induksi memiliki diameter yang konstan, 53 mm. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.3 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 20 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	639,26	541,59	735,63
2	630,68	673,05	616,08
4	618,13	666,08	666,08
6	232,18	628,57	786,25
8	208,13	730,31	697,09
10	639,26	541,59	735,63



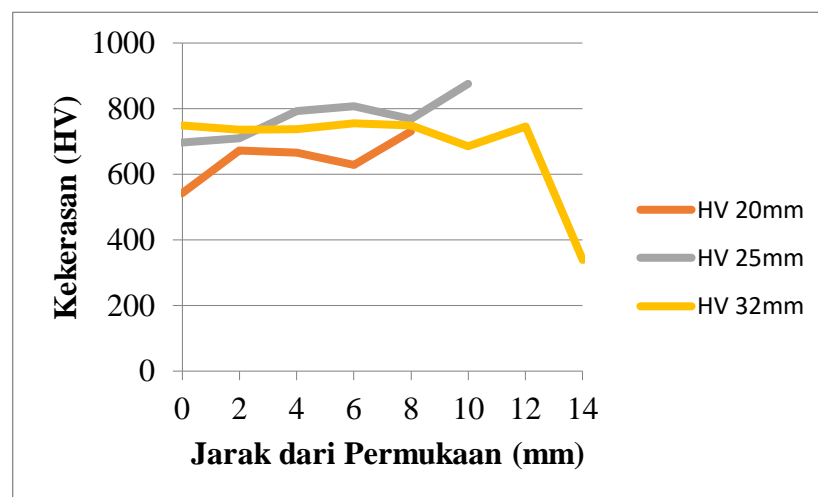
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 5s.

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa, sampel dengan diameter 20mm mengalami penurunan kekerasan pada jarak 4mm ke 6 mm dari 618,13 HV menjadi 232,18 HV. Hal yang sama juga terjadi pada sampel dengan diameter 32 mm, dimana terjadi penurunan kekerasan pada jarak 8

mm ke 10 mm dari 590,27 HV menjadi 246,57 HV. Penurunan kekerasan ini menandakan bahwa spesimen memiliki *case depth* sebesar 4 mm pada spesimen 20 mm dan sebesar 8 mm pada spesimen 32 mm.

Tabel 4.4 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 25 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	598,03	697,09	661,50
2	607,96	709,59	675,40
4	792,20	792,20	771,68
6	754,72	807,36	743,72
8	618,13	768,81	717,26
10	735,63	876,04	807,36

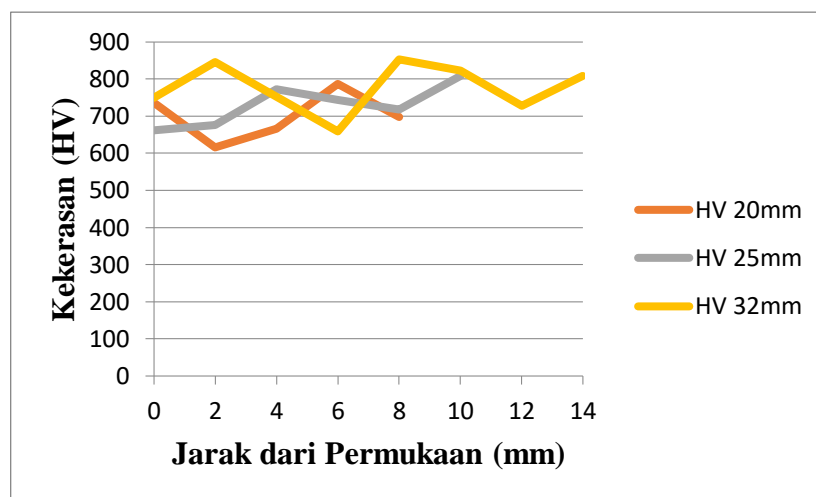


Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 7s.

Dapat dilihat pada Gambar 4.3 bahwa, sampel dengan diameter 32mm mengalami penurunan kekerasan pada jarak 12 mm ke 14 mm dari 746,45 HV menjadi 339,17 HV. Penurunan kekerasan ini menandakan bahwa spesimen memiliki *case depth* sebesar 12 mm pada. Pada waktu tahan 7 detik, hanya ditemukan satu spesimen yang memiliki *case depth*.

Tabel 4.5 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 32 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	771,68	749,19	749,19
2	639,26	735,63	845,57
4	725,05	738,31	751,95
6	673,05	754,72	659,22
8	590,27	749,19	852,20
10	246,57	684,91	822,96
12	242,97	746,45	727,67
14	271,70	339,17	807,36

**Gambar 4.4** Grafik Pengaruh Diameter terhadap Kekerasan. Waktu Tahan 9s

Pada waktu tahan 9 detik, tidak ditemukan penurunan kekerasan, dimana setiap spesimen pada setiap jarak dari permukaannya memiliki nilai kekerasan yang tinggi, atau masih dalam standar standar kekerasan struktur mikro martensit. Sehingga dapat diartikan spesimen 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Berdasarkan Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 Dimana nilai kekerasan spesimen baja AISI 1045 berbanding lurus dengan besar diameternya.

Dapat diketahui bahwa, ukuran diameter cukup berpengaruh terhadap nilai kekerasan akhir.

Sedangkan untuk nilai kedalaman *case depth*, dapat diketahui diameter spesimen cukup mempengaruhi hasil akhirnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 bahwa spesimen yang memiliki diameter 32 mm juga memiliki *case depth* yang besar, yaitu 10 mm dan 12 mm. Sedangkan untuk spesimen yang memiliki diameter 20 mm, *case depth* nya hanya sebesar 4 mm.

4.2.2 Pengaruh Waktu Tahan terhadap Nilai Kekerasan & Case

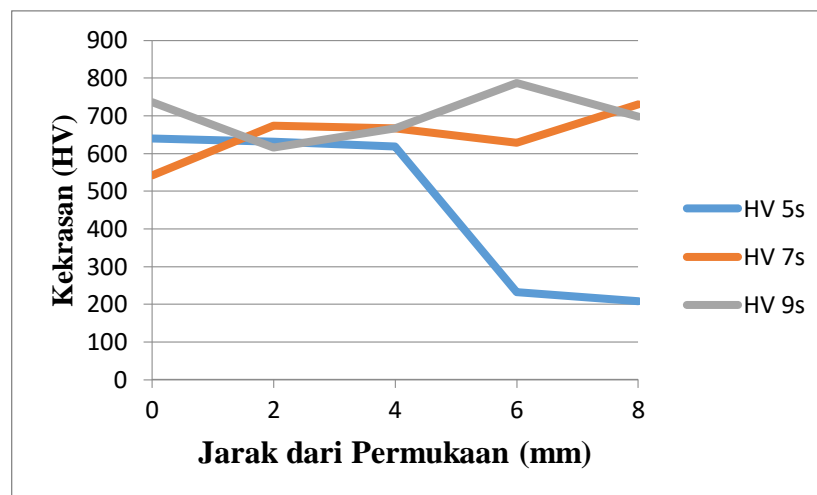
Depth

Salah satu parameter keberhasilan proses *surface hardening* adalah benda kerja memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada bagian permukaan dengan bagian *base metal*. Kedalaman kekerasan ini biasa dikenal dengan *case depth*. *Case depth* bisa didapatkan dengan mendapatkan nilai kekerasan dari permukaan benda kerja hingga *base metal*. Data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.3, 4.4, dan 4.5 berturut-turut. Titik indentasi diambil berdasarkan jarak pengambilan titik indentasi dari permukaan sampel.

Tabel 4.6 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 5s

Titik Indentasi (mm)	20mm	25mm	32mm
0	639,26	598,03	771,68
2	630,68	607,96	639,26
4	618,13	792,20	725,05
6	232,18	754,72	673,05
8	208,13	618,13	590,27

10	-	735,63	246,57
12	-	-	242,97
14	-	-	271,70



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 20 mm

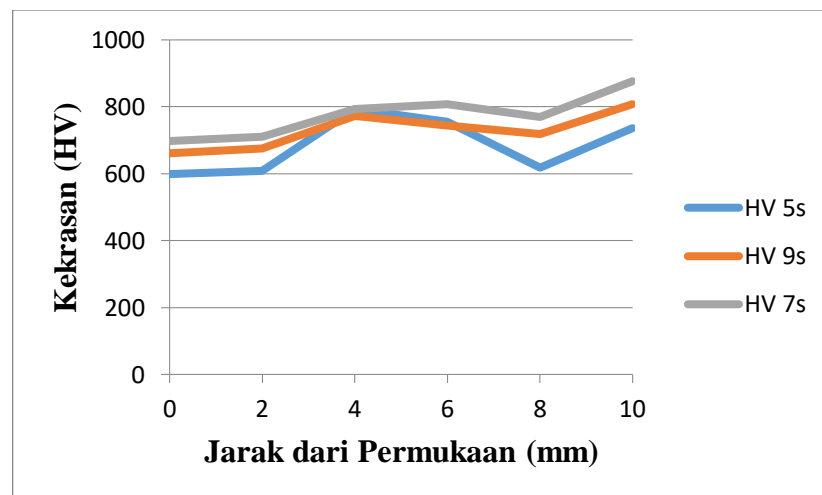
Dapat dilihat dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.5 bahwa pada sampel dengan waktu pemanasan 7 dan 9 detik memiliki nilai kekerasan pada setiap titik indentasi yang masuk dalam kategori struktur mikro Martensit. Dikarenakan seluruh spesimen bertransformasi menjadi Martensit, dapat dikatakan bahwa untuk sampel waktu tahan 7 detik dan 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Mengacu Tabel 4.6 sampel dengan waktu tahan 5 detik, dapat dilihat penurunan nilai kekerasan mulai pada titik indentasi 4 mm dengan nilai kekerasan 618,13 HV hingga 6 mm dengan nilai kekerasan 232,18 HV dan pada titik indentasi diantara 6 mm dengan nilai kekerasan 232,18 HV sampai 8 mm dengan nilai kekerasan 208,13 HV, sampel memiliki nilai kekerasan yang serupa dengan nilai kekerasan baja AISI 1045 *non-*

treatment dengan nilai kekerasan 191,85 HV. Pada waktu tahan 5 detik, dapat ditentukan *case depth* sebesar 4 mm.

Tabel 4.7 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 7s

Titik Indentasi (mm)	HV 20mm	HV 25mm	HV 32mm
0	541,59	697,09	749,19
2	673,05	709,59	735,63
4	666,08	792,20	738,31
6	628,57	807,36	754,72
8	730,31	768,81	749,19
10	-	876,04	684,91
12	-	-	746,45
14	-	-	339,17



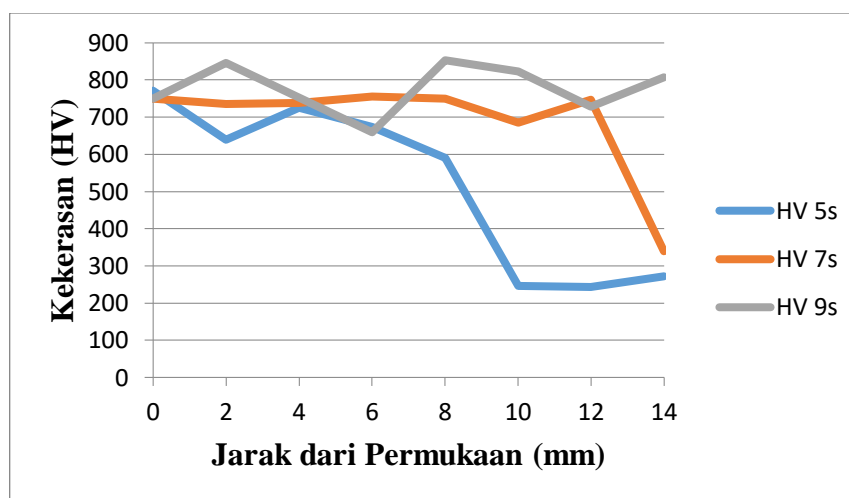
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Diameter 25 mm

Dapat dilihat dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.6 bahwa pada sampel dengan waktu pemanasan 5 detik, 7 detik dan 9 detik memiliki nilai kekerasan pada setiap titik indentasi yang masuk dalam kategori struktur mikro Martensit. Dikarenakan seluruh spesimen bertransformasi menjadi

Martensit, dapat dikatakan bahwa untuk sampel waktu tahan 5 detik, 7 detik dan 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Tabel 4.8 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Waktu Tahan 9s.

Titik Indentasi (mm)	HV 20mm	HV 25mm	HV 32mm
0	735,63	661,50	749,19
2	616,08	675,40	845,57
4	666,08	771,68	751,95
6	786,25	743,72	659,22
8	697,09	717,26	852,20
10	-	807,36	822,96
12	-	-	727,67
14	-	-	807,36



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan.
Diameter 32 mm

Dapat dilihat dari Tabel 4.8 dan Gambar 4.7 bahwa pada sampel dengan waktu pemanasan 9 detik memiliki nilai kekerasan pada setiap titik indentasi yang masuk dalam kategori struktur mikro Martensit. Dikarenakan seluruh spesimen bertransformasi menjadi Martensit, dapat

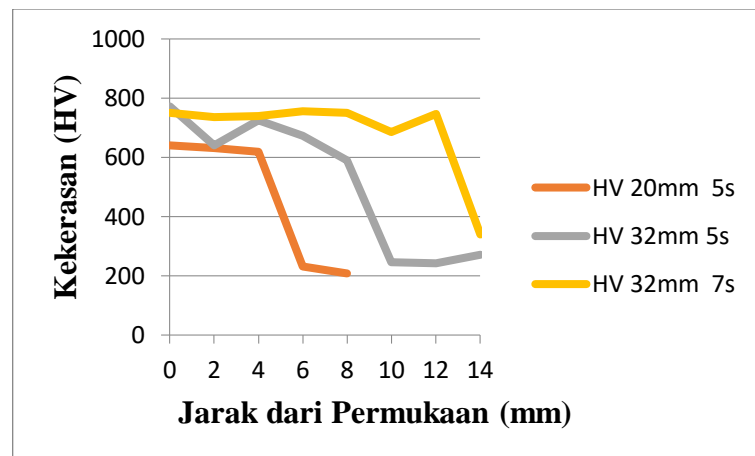
dikatakan bahwa untuk sampel waktu tahan dan 9 detik tidak memiliki *case depth*.

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8 bahwa sampel dengan waktu tahan 5 detik dapat dilihat penurunan nilai kekerasan mulai pada titik indentasi 8 mm dengan nilai kekerasan 590,27 HV hingga 10 mm dengan nilai kekerasan 246,57 HV dan pada titik indentasi diantara 10 mm dengan nilai kekerasan 246,57 HV sampai 12 dan 14 mm dengan nilai kekerasan berturut-turut 242,97 HV dan 271,70 HV sampel waktu tahan 5 detik memiliki nilai kekerasan yang serupa dengan nilai kekerasan baja AISI 1045 *non-treatment* dengan rata-rata nilai kekerasan 201 HV. Pada waktu tahan 5 detik, dapat ditentukan *case depth* adalah sebesar 8 mm.

Sementara untuk waktu untuk waktu tahan 7 detik dapat dilihat penurunan nilai kekerasan mulai pada titik indentasi 12 mm dengan nilai kekerasan 746,45 HV hingga 14 mm dengan nilai kekerasan 339,17 HV sampel waktu tahan 7 detik memiliki nilai kekerasan yang serupa dengan nilai kekerasan baja AISI 1045 *non-treatment* dengan rata-rata nilai kekerasan 201 HV pada titik indentasi 14 mm. Sehingga pada waktu tahan 7 detik, dapat ditentukan *case depth* adalah sebesar 12 mm.

Dapat diketahui dari Gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 Dimana nilai kekerasan semua spesimen baja AISI 1045 didaerah yang bertransformasi memiliki nilai kekerasan diatas 600 HV. Hal ini menunjukkan bahwa, waktu tahan 5 detik, 7 detik dan 9 detik tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kekerasan akhir penelitian ini.

Sedangkan untuk kedalaman *case depth*, Waktu tahan cukup mempengaruhi hasil akhirnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.7, Pada spesimen dengan diameter 20 mm dan waktu tahan 5 detik memiliki *case depth* sebesar 4 mm. Sedangkan untuk waktu tahan 7 detik dan 5 detik, spesimen bertransformasi menyeluruh menjadi martensit, sehingga tidak memiliki *case depth*. Lalu pada spesimen yang memiliki diameter 32 mm dan pada waktu tahan 7 detik memiliki *case depth* sebesar 10 mm sedangkan, pada waktu tahan 9 detik memiliki *case depth* sebesar 12 mm.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Waktu Tahan terhadap Kekerasan. Sampel 20mm 5s, 32 mm 5s. dan 32mm 7s

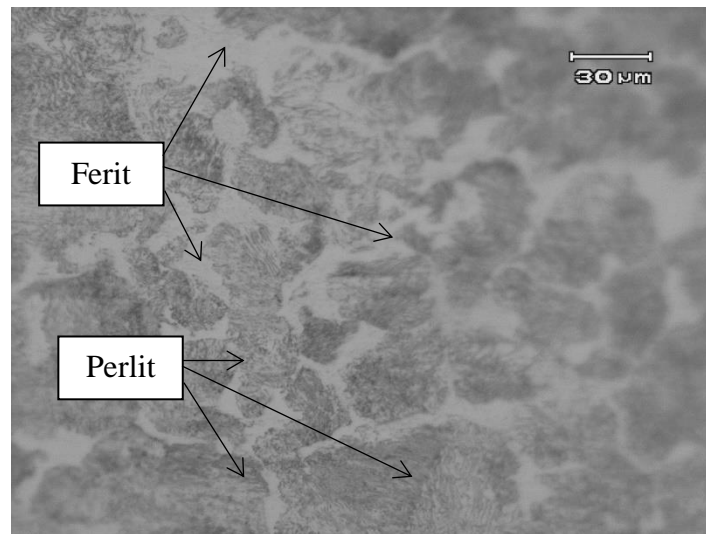
Dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dari data hasil kekerasan dan hasil *case depth* dari setiap variabel. Dapat ditemui bahwa hanya ada tiga sampel yang paling mendekati standar. Yaitu sampel yang mempunyai nilai kekerasan yang tinggi, berstruktur martensit, dan serta memiliki *case depth*, yaitu adalah sampel 20 mm 5s, sampel 32 mm 5s, dan sampel 32 mm 7s. Selain sampel yang telah

disebutkan di kalimat sebelumnya, sampel-sampel yang lain mempunyai nilai kekerasan yang tinggi, berstruktur martensit, tetapi tidak memiliki *case depth*. Hal ini disebabkan oleh sampel bertransformasi penuh dari fasa ferit-perlit menjadi martensite pada seluruh bagian sampel.

4.3 Analisa Struktur Mikro

Dalam penelitian ini, dilakukan analisa struktur mikro dengan menggunakan bantuan *Optical Electron Microscopy* dan *software ImageJ*. Analisa struktur mikro dilakukan untuk mendapatkan persentase distribusi setiap fasa dan distribusi ukuran butir martensit pada bagian permukaannya. Selanjutnya, Analisa struktur mikro akan dilakukan untuk sampel-sampel yang memiliki kriteria yang sesuai, yaitu sampel 20 mm 5 detik atau sampel A, 32 mm 5 detik atau sampel B, dan sampel 32 mm 7 detik atau sampel C. Dimana setiap sampel akan diambil foto bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Dimana setiap sampel akan diambil foto bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*.

Untuk struktur mikro awal spesimen sebelum dilakukan *induction hardening* dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dibantu oleh *ImageJ*, dapat ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam memiliki besar distribusi fasa 58,54% dan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna putih yang memiliki besar distribusi fasa sebesar 41,46%. Nilai persentase distribusi fasa yang memakai *ImageJ* dengan hasil perhitungan menggunakan rumus *lever rule* tidak jauh berbeda. Dimana dengan menggunakan rumus *lever rule* didapatkan besar distribusi fasa perlit sebesar 57% dan distribusi fasa ferit sebesar 43%.



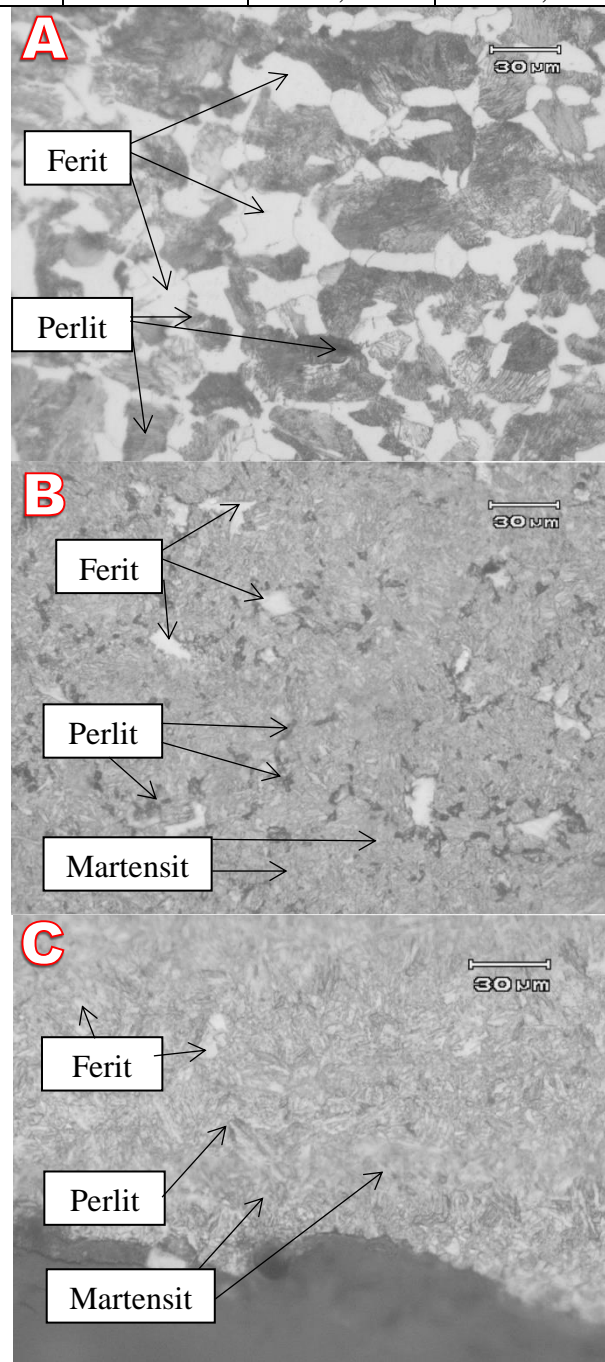
Gambar 4.9. AISI 1045 Non treatment

4.3.1 Analisa Struktur Mikro Sampel 20 mm 5 detik (Sampel A)

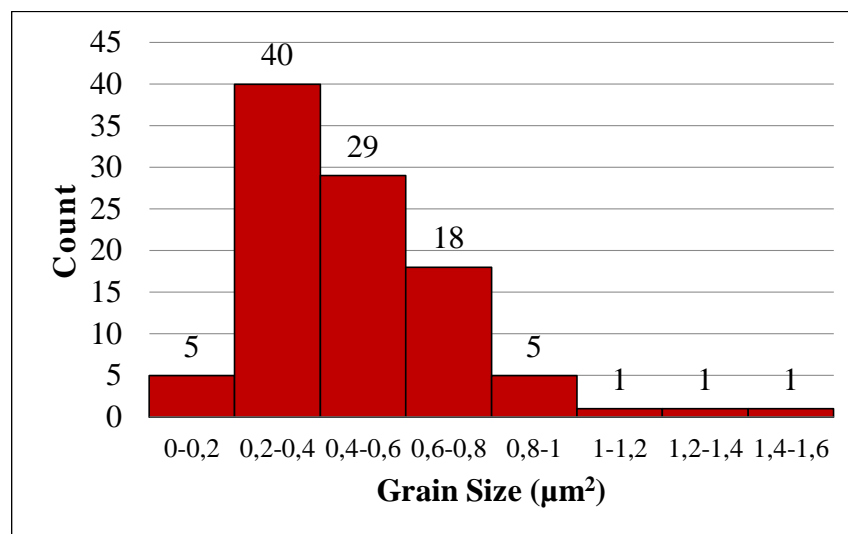
Sampel A memiliki rata-rata kekerasan untuk daerah permukaannya sebesar 629,36 HV. Dibantu oleh *software ImageJ*, besar penyebaran fasa perlit, ferit, dan martensit dapat dilihat pada Tabel 4.9. Sedangkan, pada Gambar 4.10, dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Pada bagian base metal, ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam dan struktur fasa ferit yang ditunjukkan oleh warna putih. Sedangkan pada bagian perantara, ditemukan tiga struktur mikro, yaitu struktur fasa perlit dan ferit yang mengalami penurunan ukuran butir, dan terakhir struktur fasa martensit yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu dengan struktur mirip jarum. Terakhir pada daerah permukaan juga ditemukan tiga fasa struktur mikro yaitu perlit dan ferit, dan struktur fasa dominan, martensit. Untuk besar distribusi ukuran butir martensit pada daerah permukaannya dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.9 Penyebaran Fasa Sampel A

	Base metal	Perantara	Permukaan
Perlit	32,98	6,39	6,04
Ferit	67,02	19,69	12,6
Martensit		73,92	81,36



Gambar 4.10 Struktur mikro Sampel A. A). *Base Metal*, B). Bagian Perantara C). *Permukaan*



Gambar 4.11 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Sampel A

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa mayoritas ukuran butir martensit ada pada rentang 0,2 sampai dengan 0,8 μm^2 , dengan jumlah butir sebanyak 40 butir pada rentang 0,2-0,4 μm^2 , 29 butir pada rentang 0,4-0,6 μm^2 , dan 18 butir pada rentang 0,6-0,8 μm^2 . Rata-rata ukuran butir pada sampel A adalah 0,469 μm^2 .

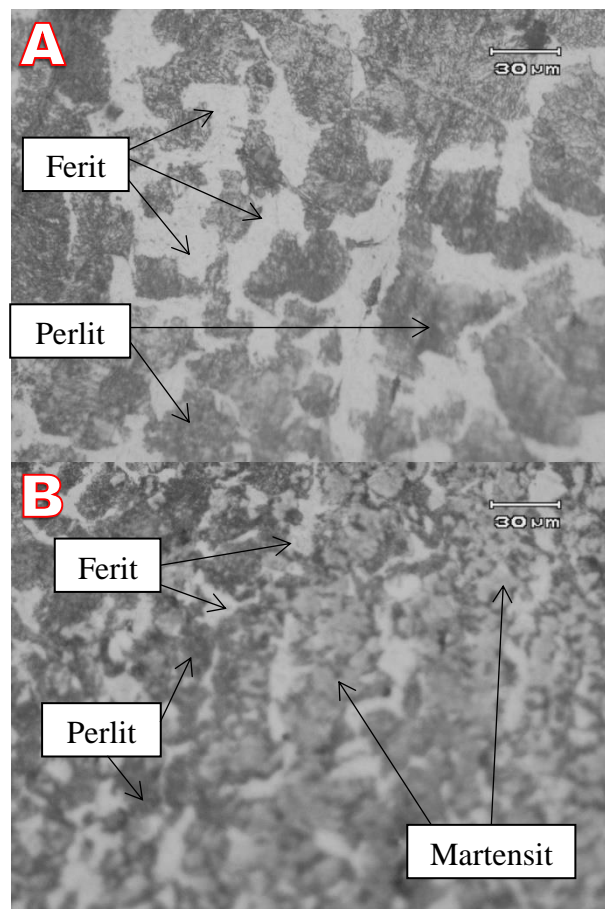
4.3.2 Analisa Struktur Mikro Sampel 32 mm 5 detik (Sampel B)

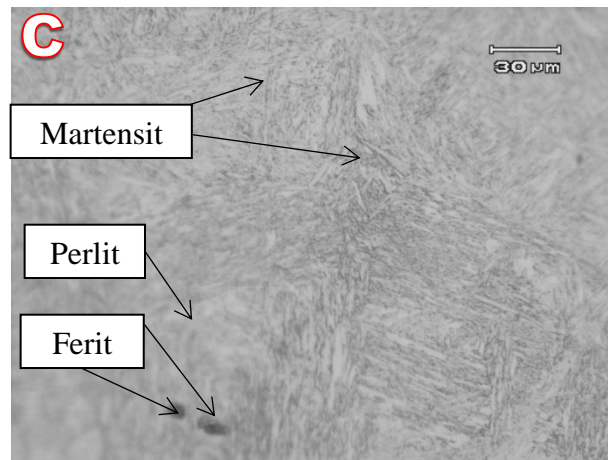
Sampel B memiliki rata-rata kekerasan untuk daerah permukaannya sebesar 679,86 HV. Dibantu oleh *software ImageJ* besaran penyebaran setiap fasa perlit, ferit, dan martensit dapat dilihat pada Tabel 4.10. Sedangkan Pada Gambar 4.12, dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Pada bagian *base metal*, ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam dan struktur mikro ferit yang ditunjukkan oleh warna putih. Pada bagian perantara, ditemukan tiga struktur mikro, yaitu struktur fasa perlit dan ferit yang mengalami penurunan distribusi ukuran butir, dan

terakhir terdapat struktur fasa martensit yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu dengan struktur mirip jarum-jarum. Terakhir pada daerah permukaan juga ditemukan tiga struktur mikro, yaitu perlit dan ferit, yang berukuran dan distribusi sangat kecil dan struktur dominan, martensit. Untuk besar distribusi ukuran butir martensit pada daerah permukaannya dapat dilihat pada Gambar 4.13.

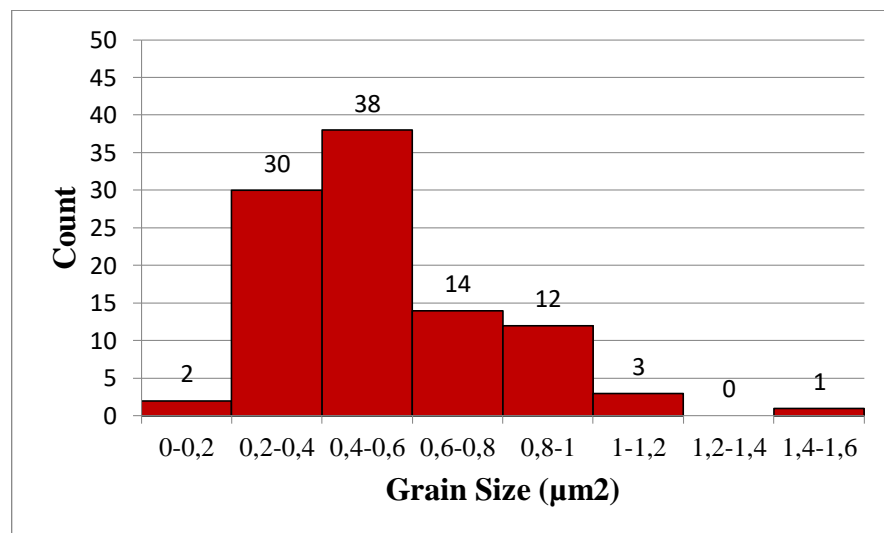
Tabel 4.10 Penyebaran Fasa Sampel B

	Base metal	Perantara	Permukaan
Perlit	68,99	67,9	2,02
Ferit	31,01	18,14	4,91
Martensit		13,96	93,07





Gambar 4.12 Struktur mikro Sampel B. A). *Base Metal*, B). Bagian Perantara C). Permukaan



Gambar 4.13 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Permukaan Sampel B.

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa mayoritas ukuran butir martensit ada pada rentang 0,2 sampai dengan 0,6 μm^2 , dengan jumlah butir sebanyak 30 butir pada rentang 0,2-0,4 μm^2 , dan 38 butir pada rentang 0,4-0,6 μm^2 . Sampel B memiliki tingkat distribusi ukuran butir yang lebih terpusat dibandingkan dengan sampel A. Dimana pada sampel B, 68 butir terpusat pada rentang ukuran 0,2-0,6 μm^2 , sedangkan pada

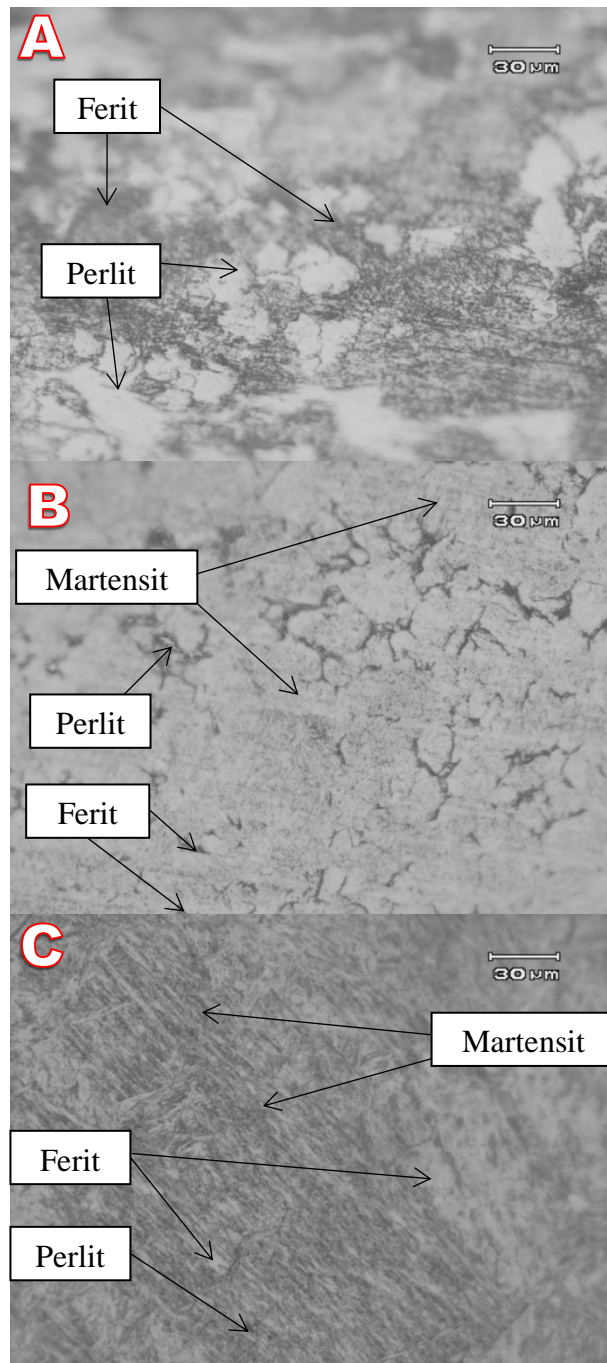
sampel A, 87 butir terpusat pada rentang ukuran 0,2-0,8 μm^2 . Rata-rata ukuran butir pada sampel B adalah 0,538 μm^2 .

4.3.3 Analisa Struktur Mikro Sampel 32 mm 7 detik (Sampel C)

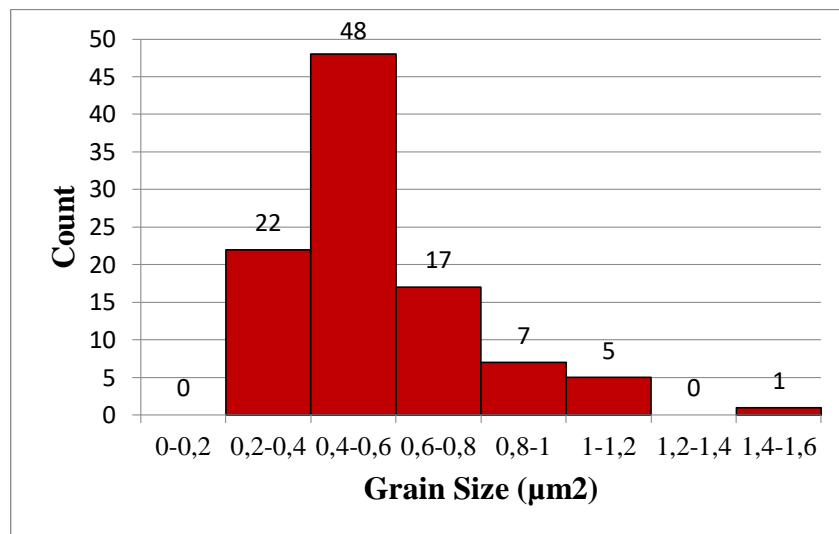
Sampel B memiliki rata-rata kekerasan untuk daerah permukaannya sebesar 736,91 HV. Dibantu oleh *software ImageJ* besaran penyebaran setiap fasa perlit, ferit, dan martensit dapat dilihat pada Tabel 4.11. Sedangkan, pada Gambar 4.14, dapat sekali lagi dilihat perbedaan struktur mikro antara bagian permukaan, bagian perantara, dan bagian *base metal*. Pada bagian *base metal*, ditemukan struktur fasa perlit yang ditunjukkan oleh warna hitam, dan struktur mikro ferit yang ditunjukkan oleh warna putih, struktur mikro sampel C secara visual berbeda dengan sampel A dan sampel B, Sedangkan pada bagian perantara, ditemukan tiga struktur mikro, yaitu struktur fasa perlit dan ferit yang mengalami penurunan distribusi butir, dan terakhir struktur fasa martensit yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu dengan struktur mirip jarum-jarum. Terakhir pada daerah permukaan juga ditemukan tiga struktur mikro perlit dan ferit, yang berukuran dan memiliki distribusi yang sangat kecil dan struktur mikro dominan, martensit. Untuk besar distribusi ukuran butir martensit pada daerah permukaannya dapat dilihat pada Gambar 4.15

Tabel 4.11 Penyebaran Fasa Sampel C

	Base metal	Perantara	Permukaan
Perlit	48,71	8,67	5,4
Ferit	51,29	3,28	4,82
Martensit		88,05	89,78

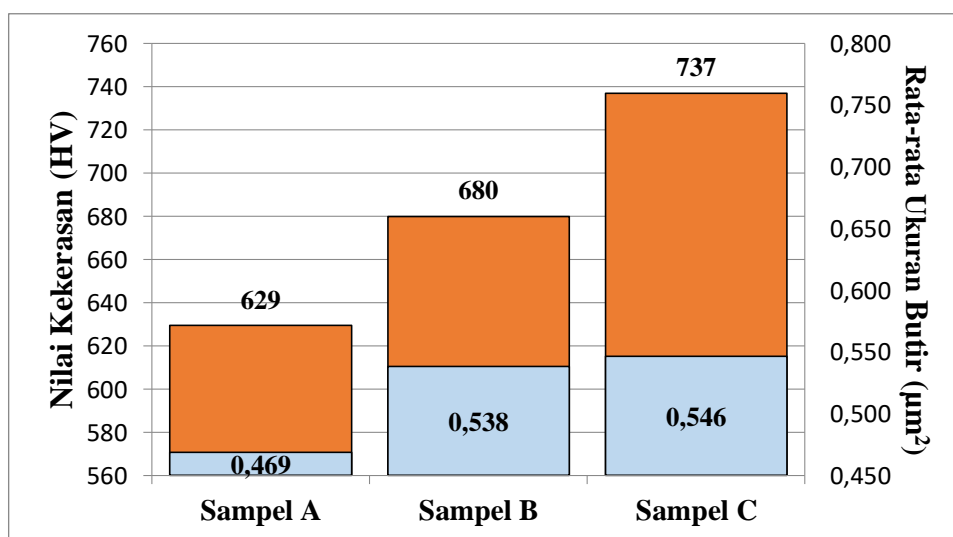


Gambar 4.14 Struktur mikro Sampel B. A). *Base Metal*, B). Bagian Perantara C). Permukaan



Gambar 4.15 Penyebaran Ukuran Butir Martensit Permukaan Sampel C.

Pada Gambar 4.15 Berbeda dengan sampel A & B, dapat dilihat bahwa mayoritas ukuran butir martensit ada pada rentang 0,2 sampai dengan $0,8 \mu\text{m}^2$, Tetapi untuk rentang ukuran 0,4 – 0,6 memiliki jumlah yang jauh lebih tinggi. Sampel C memiliki 22 butir pada rentang 0,2-0,4 μm^2 , 48 butir pada rentang 0,4-0,6 μm^2 , dan 17 butir pada rentang 0,6-0,8 μm^2 . Rata-rata ukuran butir pada sampel C adalah $0,546 \mu\text{m}^2$.



Gambar 4.16 Rata-rata.Kekerasan Permukaan & Ukuran Butir.

Dapat dilihat pada Gambar 4.16, nilai rata-rata kekerasan permukaan dan ukuran butir martensitnya pada sampel A, Sampel B, dan Sampel C. Serta mengacu kepada literatur yang menyatakan bahwa jika ukuran butir semakin kecil maka kekerasan akan semakin meningkat (Masataka, 2007), Maka dapat diketahui bahwa, hasil penelitian tidak sesuai dengan literatur yang ada. Hal ini juga mungkin disebabkan oleh persentase penyebaran fase martensit yang tidak sama antara sampel A, sampel B, dan sampel C.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan tugas akhir yang telah dilakukan dengan proses *induction hardening* yang dilakukan pada baja AISI 1045, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Diameter material 20, 25 dan 32 mm cukup mempengaruhi kekerasan akhir proses *induction hardening*. Hal ini dapat dilihat oleh grafik pengaruh diameter terhadap kekerasan dengan waktu tahan 5, 7 dan 9 detik . Dimana, baja dengan diameter 32mm memiliki kekerasan terbesar, 771,68 HV, 749,19 HV dan 749,19 HV untuk waktu tahan 5, 7 dan 9 detik.
2. Diameter material 20, 25, dan 32 mm cukup mempengaruhi jarak *case depth*. Dimana *case depth* terkecil sebesar 4 mm dimiliki oleh sampel diameter 20mm, dan *case depth* terbesar sebesar 12 mm dimiliki spesimen 32mm.
3. Waktu tahan proses *induction hardening* tidak terlalu mempengaruhi nilai kekerasan akhir. Tidak ditemukan perbedaan kekerasan yang signifikan pada setiap variabel waktu di semua variabel ukuran diameter yang berbeda.
4. Waktu tahan proses *induction hardening* sangat mempengaruhi jarak *case depth*, dimana waktu tahan 5 detik memiliki *case depth* terkecil

sebesar 4 mm, sedangkan pada waktu tahan 9 detik spesimen bertransformasi secara keseluruhan menjadi martensit.

5. Secara umum, variabel diameter dan waktu tahan yang digunakan, sudah dapat mencapai nilai kekerasan dan struktur mikro yang diinginkan. Tetapi belum dapat mendapatkan jarak *case depth* yang diinginkan

5.2 Saran

Ada beberapa saran dari penulis yang dapat diberikan guna memperbaiki hasil penelitian selanjutnya, diantaranya :

1. Pada saat proses *induction hardening* diperlukan pembacaan temperatur yang teliti sehingga diketahui temperatur benda kerja ketika ditengah proses *induction hardening*.
2. Pada saat melakukan pendinginan, harap diperhatikan suhu media pendinginnya agar selalu konstan. Hal ini dilakukan, sehingga, variabel *cooling rate* media pendingin selalu tetap.
3. Menaruh perhatian pada waktu pemindahan benda kerja dari alat *induction hardening* ke media pendingin. Hal ini dilakukan agar benda kerja tidak mengalami penurunan suhu pada udara ruang, sehingga menghasilkan struktur yang tak diinginkan
4. Melakukan normalizing terlebih dahulu untuk menghomogenkan struktur mikro yang terdapat pada sampel yang akan digunakan.
5. Setelah dilakukan proses *induction hardening* perlu dilakukan proses tempering, Hal ini dilakukan agar dapat menghilangkan tegangan

sisanya yang didapatkan setelah proses *induction hardening* dan meningkatkan ketangguhan dan keuletan baja.

6. Melakukan percobaan singkat terlebih dahulu, sehingga dapat mendapatkan penelitian dengan variabel yang lebih optimal

DAFTAR PUSTAKA

Kohli et al, 2011, *Optimization of Processing Parameters in Induction Hardening Using Response Surface Methodology*, Indian Academy of Science, Vol 36, pp. 141-152

Arai. et al. (1998) “Heat Treating.” *ASM Metal Handbook vol 4*. USA: ASM International.

Aggen.et al (1993). “*Properties and selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys,*” *ASM Metal Handbook vol 1*, ASM nternational.

Barsom J. 2000. *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM Handbook Volume 8 USA: ASM International.

Aubin R. 2004. *ASM Handbook Volume 9 –Metallography and Microstructures*. USA: ASM International.

Calister D. William. 2007. *Materials Science and Engineering*. Edisi 7,Departement of Metallurgical Engineering University of Utah.

Glyn, M., 2001, *Physical Metallurgy of Steel, Class Notes and Lecture Material*, ForMSE 651.01.

Huyett, 2014, *Engineering Hanbook*, Steelmaking: Materials, Attributes, and Manufacturing Processes , second edition.

Thelning, 1984, *Steel and its heat treatment*, 2nd edition, Butterworths, Great Britain.

Koswara, E., 1999, *Pengujian Logam*, Humaniora Utama, Bandung

Onan, M., 2015, *Determining the Influence of process parameters on the induction hardening of AISI 1040 steel by an experimental design method*, *Indian Journal of Engineering & Material Science*, Vol 22, pp. 513-520

Spuzic.S, 1994, *Wear Of Hot Rolling Mill Rolls: An Overview*, Volume No 176.

Abbaschian, R., L. and Reed-hill, R. (2009) *Physical Metallurgy Principles*. fourth. Edited by J. Dinsmore. USA: cengage learning.

Kobasko *et al.* (2011) *Correlation Between Chemical Composition of Steel, Optimal Hardened Layer, and Optimal Residual Stress Distribution*. Journal of ASTM international

Valery, R., Don, L., Raymond, L., 2017, *Handbook of Induction Heating*, 2nd Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, Newyork

Anggri Abdi Rullah, 2019, Analisis Karakteristik Roda Gigi Miring Pada Transmissi Kendaraan Roda Empat

Munawar Chalil, 2017, Toyota Indonesia, Pt. Toyota Motor Manufacturing Indonesia

Septyan . D dan Aries . W, 2012, Studi Numerik 2D dan Uji Eksperimen tentang Karakteristik Aliran dan Unjuk Kerja Helical Savonius Blade dengan Variasi Overlap Ratio 0,1 ; 0,3 dan 0,5, Vol 1 No. 1

Tejas G. Patil, 2014, *A Critical Review On Different Coil Configurations Used For Induction Heating System, International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBEA)*.

Groover, Mikell P. *Fundamentals of Modern Manufacturing 4th Edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2010.

Kadhim D (2016). *Effect of Quenching Media on Mechanical Properties for Medium Carbon Steel*, Journal of Engineering Research and Application Vol 6, PP. 26-34.

Subramanian *et al* (2019), *Hardness Property Measurement, Grain Size Reduction and Heat Treatment of AA6061+CuO Composite with and without*

TiB2 Addition, Revue des Composites et des Materiaux Avances vol. 29, PP. 33-37

Yopi Handoyo, (2015)” *Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45c Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft* “ Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.2 Universitas Islam

Atkins. M 1977, *Atlas of Continuous Transformation Diagrams for Engineering Steels*, British Steel Corporation, Sheffield.

Dong, H., Zhao, Y., Yuan, H., Hu, X. and Yang, Z., 2019. A Simplified Calculation Method of Heat Source Model for Induction Heating.

TRZASKA, J., 2016. CALCULATION OF CRITICAL TEMPERATURES BY EMPIRICAL FORMULAE. *Arch. Metall. Mater*, 61, pp.981-986.

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

1. Perhitungan nilai kekerasan dengan menggunakan metode hardness vickers (HV).

Contoh perhitungannya yang digunakan adalah sampel diameter 20 mm dengan waktu tahan 5 detik, rumus yang akan digunakan adalah rumus

2.1.

$$\text{HVN} = 1,854 \frac{P}{D^2}$$

Keterangan :

HVN = *Hardness Vickers Number*

P = Beban yang Diberikan (kgf)

d = Diagonal (mm)

dengan Nilai d yang didapatkan hasil dari rata-rata nilai d1 dan d2.

Diketahui :

$$d1 = 26$$

$$d2 = 25$$

$$p = 300$$

$$d = \frac{26+25}{2}$$

$$d = 25,5$$

$$\begin{aligned} \text{HVN} &= 1,854 \frac{300}{25,5^2} \\ &= \frac{556320}{650,25} = 855,54 \text{ HV} \end{aligned}$$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

Data yang didapatkan yaitu hasil nilai kekerasan dan contoh cara menganalisa mikro struktur untuk mendapatkan fraksi volume dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel B.1 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 20 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	639,264579	541,587467	735,629752
2	630,683944	673,052552	616,078029
4	618,133333	666,083979	666,083979
6	232,177046	628,565779	786,251343
8	208,134267	730,308759	697,088261

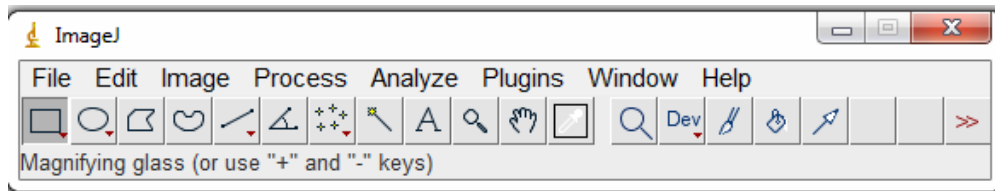
Tabel B.2 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 25 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	598,032787	697,088261	661,498216
2	607,958473	709,591837	675,399726
4	792,196511	792,196511	771,677954
6	754,718517	807,357823	743,720944
8	618,133333	768,811929	717,256139
10	735,629752	876,039305	807,357823

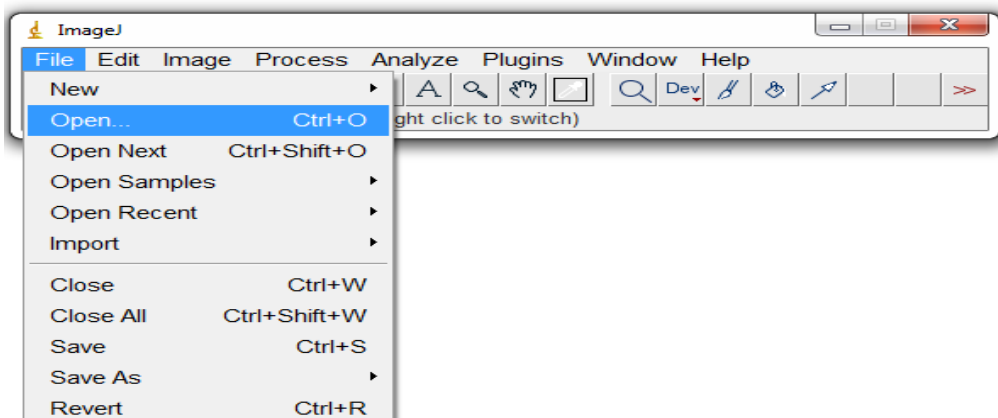
Tabel B.3 Data Kekerasan Hasil Perlakuan Panas Diameter 32 mm

Titik Indentasi (mm)	HV 5s	HV 7s	HV 9s
0	771,677954	749,189462	749,189462
2	639,264579	735,629752	845,570717
4	725,045289	738,312083	751,946367
6	673,052552	754,718517	659,223074
8	590,26621	749,189462	852,202619
10	246,568421	684,912281	822,95858
12	242,974551	746,447692	727,669885
14	271,698666	339,16781	807,357823

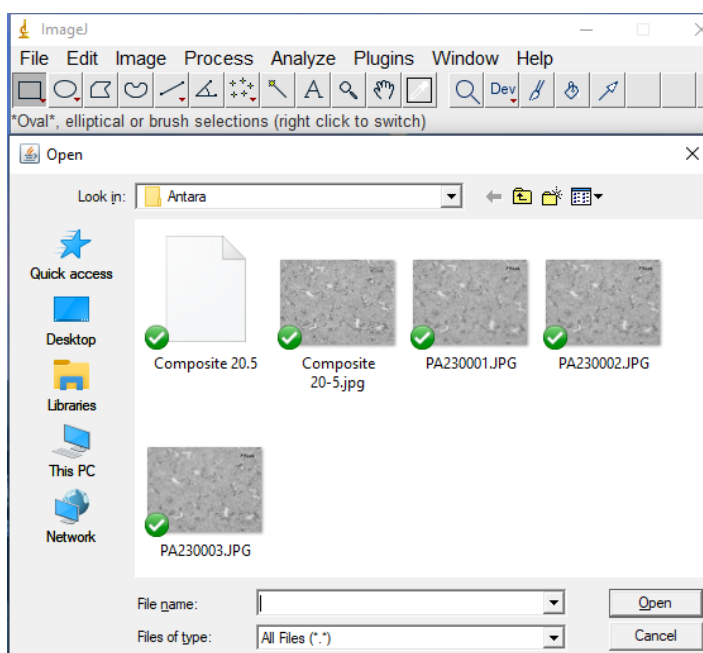
1. Buka *software ImageJ* hingga terbuka tampilan *ImageJ* seperti gambar dibawah ini



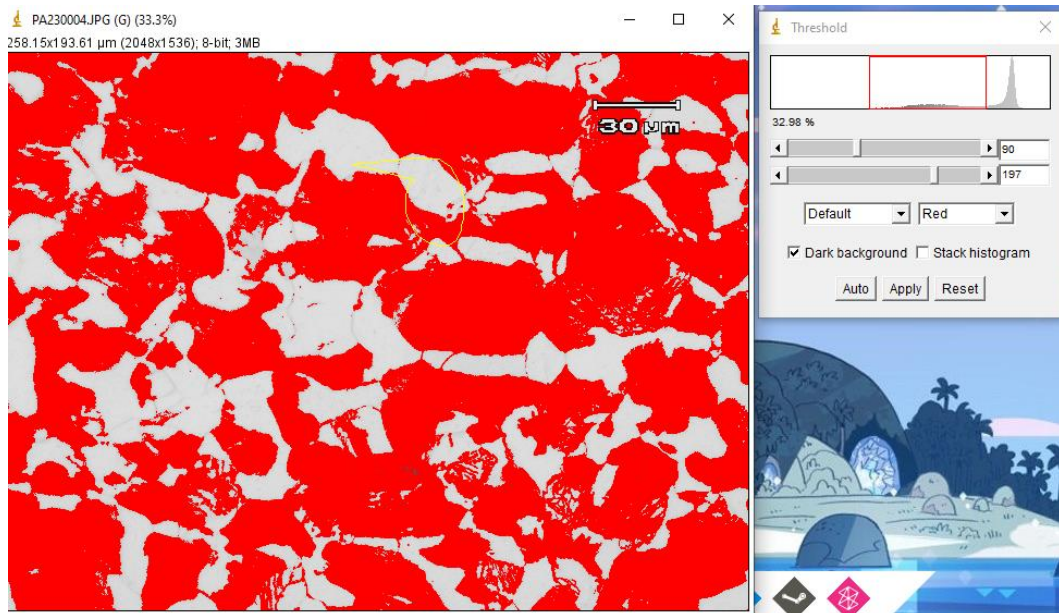
2. Klik tab *File* lalu pilih tab *Open* untuk membuka gambar yang ingin dianalisa fraksi volume martensitnya



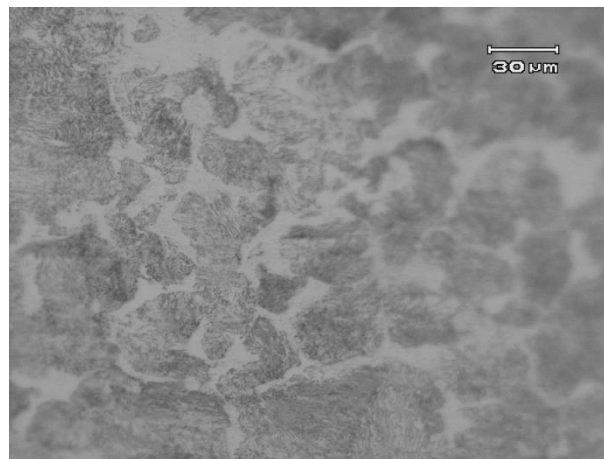
3. Pilih gambar yang akan dilakukan analisa fraksi volumenya lalu klik *open*



4. Lalu apabila gambar telah muncul pilih *Image* lalu *Adjust* dan klik *Threshold* untuk mengetahui fraksi volume ferite-pearlite atau martensit.



Gambar B.1 Langkah – Langkah Menggunakan *Software ImageJ* Untuk Mendapatkan Fraksi Volume



Gambar B.2 Struktur Mikro Sebelum Dilakukan *Induction Treatment*

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN



Gambar C.1 *Induction
Electromagnetic
Furnace*



Gambar C.2 Air Es



Gambar C.3 Ethanol



Gambar C.4 Pasta Alumina



Gambar C.5 Larutan Nital 2%



Gambar C.6 Mesin Polishing



Gambar C.7 Bakelit



Gambar C.8 Alat *Grinding*



Gambar C.9 Mesin *Mounting*



Gambar C.10 Alat *Cutting*



Gambar C.11 Mikroskop Optik



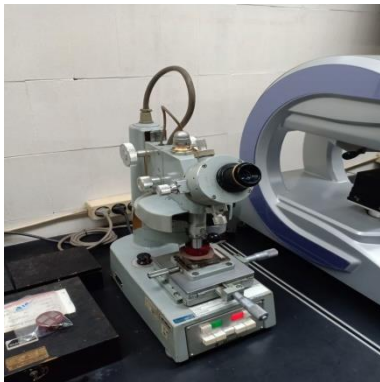
Gambar C.12 Alat tekan



Gambar C.13 Alat Pengering



Gambar C.14 Tang Tangan



Gambar C.15 Uji Kekerasan
Microvickers