

PEROLAHIAN PANGAR BERHAJI DAN AMAN USUL HADJI TERHADAP
PENYINGKAPAN TERORISME KALAH PAKSA BERSAMA SAMA
DENGAN MUDLA QUR'ANICORNYA UJI

Laporan Tugas Akhir

Dijadikan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar Sarjana (Strata 1) Teknik Informatika



Dijutkan oleh

NAMA : ACHMAD FAYULLI

NIM : 15.301.3031

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SEMARANG
2015



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN

**PERLAKUAN PANAS DENGAN PEMANAS INDUKSI UNTUK
PENGKERASAN PERMUKAAN PADA RODA GIGI DENGAN MEDIA
*QUENCHING OIL***

Telah diperiksa, disetujui dan dipertahankan dihadapan dewan penguji
Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid
Hasyim Semarang

Nama : *Achmad Jayuli*
Nim : *153010031*
Hari : *Senin*
Tanggal : *13 Juli 2020*

Pembimbing I

Dr. Helmy Purwanto, S.T., M.T.

NIDN. 0610047501

Pembimbing II

M. Dzulfikar, S.T., M.T.

NIDN. 0614019102

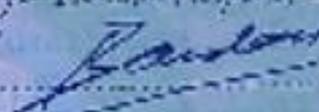
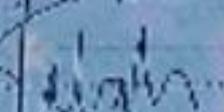


FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN/REVISI

Nama : Achmad Jayadi
NIM : 153E10031
Judul TA : Perilaku Paras Dengan Permutasi Indikasi Untuk
Pengerasan Perumahan Rukun Warga Dengan Media
Quencing Gel

Telah dipertahankan dan direvisi di depan Dewan Penguji Tugas Akhir
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim
Semarang

1. Penguji 1
Nama : Dr. Hidayat Rasyida, ST, MT
Tanggal Pengesahan : 7/9/2020
Tanda Tangan : 
2. Penguji 2
Nama : Dr. Sri Mulya Handayani Rospita, ST, MT
Tanggal Pengesahan : 6/9/2020
Tanda Tangan : 
3. Penguji 3
Nama : Dr. Tjahjot Prongkoso, MT
Tanggal Pengesahan : 06/09/2020
Tanda Tangan : 

1. September 2020





FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Achmad Jayuli
NIM : 153010031
Program studi : Teknik Mesin

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir ini bukan merupakan jiplakan dan juga bukan dari karya orang lain.

Semarang, 13 Juli 2020

Yang menyatakan

Achmad Jayuli

NIM: 153010031

MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Awali semua dengan Bismillah, akhiri dengan Alhamdulillah
- Ridho Orang tua adalah Ridho Allah S.W.T
- Jadilah orang yang bermanfaat bagi orang lain

PERSEMBAHAN

- Allah SWT, yang selalu melimpahkan kemudahan dan kelancaran.
- Untuk Kedua Orang Tua Saya Ibu Sri Mulyati dan Bapak Suroso.
- Untuk saudara kandung saya, kakak Ali Nursaid dan adik Janatun Saidah juga Shinta Esti Wulandari. Semoga bisa menjadi motivasi untuk terus belajar dan meningkatkan prestasi.
- Teman-teman Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Rekan kerja PT Alam Kautsar Sejahtera.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur Alhamdulillah penulis menyelesaikan Tugas Akhir (TA) sebagai syarat meraih gelar Sarjana Strata-1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang. Adapun judul dari Tugas Akhir ini adalah **“PERLAKUAN PANAS DENGAN PEMANAS INDUKSI UNTUK Pengerasan Permukaan pada Roda Gigi dengan Media *QUENCHING OIL*”**.

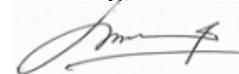
Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan pengetahuan serta pengalaman penulis, namun demikian penulis telah bekerja keras dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sampai ditangan para pembaca.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih atas sumbang saran kepada:

1. Bapak Dr. Helmy Purwanto, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing I dan Wakil Rektor Universitas Wahid Hasyim Semarang.
2. Bapak M Dzulfikar, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing II dan Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang.
3. Bapak Eris Suhandha selaku Direktur Utama PT. Alam Kautsar Sejahtera dan seluruh rekan kerja PT. Alam Kautsar Sejahtera yang telah memberikan toleransi waktu dan kesempatan untuk melanjutkan study dan menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Rekan mengerjakan Tugas Akhir Agung Budi Arto.

Penulis mohon maaf apabila ada kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini kelak bermanfaat bagi para pembaca. Terimakasih.

Semarang, 13 Juli 2020



Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN/ REVISI.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
Abstrak.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
2.1 Rumusan Masalah	3
3.1 Batasan Masalah.....	3
4.1 Tujuan Peneliti	3
5.1 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
KAJIAN PUSTAKA	5
II.1 Kajian Pustaka	5
II.2 Landasan Teori	7
II.2.1 <i>Heat Treatment</i> (Perlakuan panas).....	7
II.2.2 Perlakuan panas dengan Induksi.....	16
II.2.3 Pengujian Kekerasan.....	16
II.2.4 Struktur Mikro	19
II.2.5 Pengerasan Permukaan Baja.....	20
II.2.6 Roda Gigi	29

BAB III	32
METODE PENELITIAN	32
III.1 Alat dan bahan yang digunakan	32
III.1.1 Alat	32
III.2.1 Bahan	40
III.2 Tempat dan waktu penelitian.	41
III.3 Proses Penelitian.....	42
BAB IV	43
HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Uji Komposisi	43
4.2 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Raw Material (Uji Rockwell)</i>	44
4.3 Hasil Perlakuan Panas	45
4.3.1 Perlakuan Panas Dengan Pemanas Induksi Suhu 700°C.....	45
4.3.2 Perlakuan Panas Dengan Pemanas Induksi Suhu 800°C.....	46
4.3.3 Perlakuan Panas Dengan Pemanas Induksi Suhu 900°C.....	47
4.4 Hasil Pengujian <i>Vickers</i> dan Pemotongan <i>Wire Cutting</i>	48
4.4.1 Roda Gigi dengan Perlakuan Panas Suhu 700°C	49
4.4.2 Roda Gigi dengan Perlakuan Panas Suhu 800°C	51
4.4.3 Roda Gigi dengan Perlakuan Panas Suhu 900°C	53
4.5 Hasil Pengujian <i>Makro</i>	55
4.6 Hasil Pengujian <i>Mikro</i>	56
4.6.1 Roda Gigi dengan Perlakuan Panas Suhu 700°C	56
4.6.2 Roda Gigi dengan Perlakuan Panas Suhu 800°C	58
4.6.3 Roda Gigi dengan Perlakuan Panas Suhu 900°C	61
4.6.4 Perbedaan Foto Mikro Suhu 700°C, 800°C, 900°C	64
BAB V	65
KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 KESIMPULAN	65
5.2 SARAN	65
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C.....	11
Gambar II. 2 <i>Isothermal Transformation Diagram</i>	14
Gambar II. 3 <i>Continuos Cooling Transformation Diagram</i>	15
Gambar II. 4 Posisi Beban Penekanan Metode <i>Brinell</i>	17
Gambar II. 5 Posisi Beban Penekanan Metode <i>Rockwell</i>	18
Gambar II. 6 Posisi Beban Penekanan Metode <i>Vickers</i>	18
Gambar II. 7 Gambar Struktur Mikro Logam.....	19
Gambar II. 8 Diagram kesetimbangan Fe-Fe ₃ C untuk baja.	22
Gambar II. 9 Transformasi <i>mikrostruktur</i> pada saat pendinginan lambat ke temperatur ruang dari <i>austenit</i> ke <i>perlit</i> untuk baja <i>hipoeutektoid</i> (dibawah 0,8 %C).....	22
Gambar II. 10 Besi <i>alpha</i>	24
Gambar II. 11 <i>Austenite</i>	24
Gambar II. 12 <i>Sementit</i>	25
Gambar II. 13 <i>Perlit</i>	26
Gambar II. 14 <i>Martensit</i>	27
Gambar II. 15 Diagram transformasi temperatur terhadap waktu untuk baja, <i>martensit</i> terbentuk dalam fungsi temperatur dan tidak tergantung oleh waktu.	27
Gambar II. 16 Transformasi fasa yang melibatkan dekomposisi <i>austenite</i>	27
Gambar II. 17 Hubungan antara kekerasan, kadar karbon, dan jumlah <i>martensite</i>	28
Gambar II. 18 Roda gigi Lurus Luar.....	30
Gambar II. 19 Roda gigi <i>Rack</i> dan <i>Pinion</i>	31
Gambar II. 20 Roda gigi Miring Silang.	31
Gambar II. 21 Roda gigi Kerucut Lurus	32
Gambar III. 1 Mesin <i>Rockwell Tester</i>	33
Gambar III. 2 Dimensi Pengujian Jarak Titik <i>Rockwell</i>	34

Gambar III. 3 Rangkaian Mesin Induksi.....	34
Gambar III. 4 (a) Thermo gun, (b) Clampmeter, (c) Multimeter.....	35
Gambar III. 5 Proses Pengujian Perlakuan Panas Dengan Pemanas Induksi	36
Gambar III. 6 <i>Vickers tester</i>	37
Gambar III. 7 Dimensi Pengujian Titik <i>Vickers</i> dan <i>Wire Cutting</i>	38
Gambar III. 8 Proses Pengujian <i>Vickers Tester</i>	39
Gambar III. 9 Mesin <i>Wire Cutting</i>	39
Gambar III. 10 Mikroskop <i>Metalografi</i>	40
Gambar III. 11 Roda Gigi Lurus Tanpa Perlakuan Panas.....	41
Gambar III. 12 <i>Flow Cart</i> Proses Penelitian.....	44
Gambar IV. 1 Roda Gigi Yang Sudah Uji Komposisi	44
Gambar IV. 2 Hasil Pegujian Titik <i>Rockwell</i>	44
Gambar IV. 3 Hasil Perlakuan Panas dengan suhu 700°C	46
Gambar IV. 4 Hasil Perlakuan Panas dengan suhu 800°C	47
Gambar IV. 5 Hasil Perlakuan Panas dengan suhu 900°C	48
Gambar IV. 6 Grafik Hasil Pengujian Pada Titik <i>Vickers</i> (HV).....	49
Gambar IV. 7 Grafik Hasil Pengujian Pada Titik <i>Vickers</i> (HV) pada suhu 700°C	49
Gambar IV. 8 Hasil Pemotongan Dengan <i>Wire cutting</i> 700°C	50
Gambar IV. 9 Grafik Hasil Pengujian Pada Titik <i>Vickers</i> (HV) pada suhu 800°C	51
Gambar IV. 10 Hasil Pemotongan Dengan <i>Wire cutting</i> 800°C	52
Gambar IV. 11 Grafik Hasil Pengujian Pada Titik <i>Vickers</i> (HV) pada suhu 900°C	53
Gambar IV. 12 Hasil Pemotongan Dengan <i>Wire cutting</i> 900°C	54
Gambar IV. 13 Hasil Foto Makro Potongan Roda gigi 700°C, 800°C dan 900°C.	55
Gambar IV. 14 Hasil Foto Mikro <i>Raw Material</i> (a) Perbesaran 400 x, (b) perbesaran 600 x.....	56
Gambar IV. 15 Hasil Foto Mikro perbesaran 50 x.....	57
Gambar IV. 16 Hasil Foto Mikro dengan jarak 2 mm dari ujung roda gigi	57
Gambar IV. 17 Hasil Foto Mikro dengan jarak 4 mm dari ujung roda gigi	58
Gambar IV. 18 Hasil Foto Mikro dengan jarak 5 mm dari ujung roda gigi	58
Gambar IV. 19 Hasil Foto Mikro perbesaran 50 x.....	59

Gambar IV. 20 Hasil foto mikro dengan jarak 2 mm dari ujung roda gigi.....	59
Gambar IV. 21 Hasil Foto Mikro dengan jarak 4 mm dari ujung roda gigi	60
Gambar IV. 22 Hasil Foto Mikro dengan jarak 6 mm dari ujung roda gigi	60
Gambar IV. 23 Hasil Foto Mikro dengan jarak 8 mm dari ujung roda gigi	60
Gambar IV. 24 Hasil Foto perbesaran 50 x.....	61
Gambar IV. 25 Hasil Foto Mikro dengan jarak 2 mm dari ujung roda gigi	61
Gambar IV. 26 Hasil Foto Mikro dengan jarak 4 mm dari ujung roda gigi	62
Gambar IV. 27 Hasil Foto Mikro dengan jarak 6 mm dari ujung roda gigi	62
Gambar IV. 28 Hasil Foto Mikro dengan jarak 8 mm dari ujung roda gigi	63
Gambar IV. 29 Hasil Foto Mikro dengan jarak 10 mm dari ujung roda gigi	63
Gambar IV. 30 Hasil Foto Mikro dengan jarak 12 mm dari ujung roda gigi	63

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Bagian-bagian mesin <i>Rockwell Tester</i>	33
Tabel III. 2 Bagian-bagian mesin Induksi.	35
Tabel III. 3 Bagian-bagian mesin Induksi.	37
Tabel III. 4 Bagian-bagian <i>Microskop Metalografi</i>	40
Tabel III. 5 Spesifikasi roda gigi lurus	41
Tabel IV. 1 Hasil Uji Komposisi (Sumber : PT. Itokoh Ceperindo).	43
Tabel IV. 2 Hasil Pengujian <i>Rockwell</i>	45
Tabel IV. 3 Pengaturan Pengujian Induksi 800 °C.	46
Tabel IV. 4 Pengaturan Pengujian Induksi 900 °C.	47
Tabel IV. 5 Hasil Kekerasan Pengujian pada suhu 700 °C <i>Vickers</i>	50
Tabel IV. 6 Hasil Kekerasan Pengujian pada suhu 800 °C <i>Vickers</i>	52
Tabel IV. 7 Hasil Kekerasan Pengujian pada suhu 900 °C <i>Vickers</i>	54
Tabel IV. 8 Perbedaan Foto Mikro Suhu 700°C, 800°C, 900°C	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Komposisi PT. Itokoh Ceperindo.....	68
Lampiran 2. Hasil Pengujian <i>Vickers</i>	69

DAFTAR NOTASI

Lambang	Nama	Satuan
σ	Tegangan tarik	(MPa)
HRC	Kekerasan <i>Rockwell</i>	(HRC)
HRV	Kekerasan <i>Vickers</i>	(HV)
A	Luas Penampang	(mm ²)
ΔL_0	Perubahan panjang keseluruhan	(mm)
L ₀	Panjang awal	(mm)
ρ	massa jenis	(g/cm ³)
M	massa	(g)
V	volume	(cm ³)

Abstrak

Baja sebagai bahan roda gigi memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih baik jika dibandingkan dengan bahan-bahan lain. Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2-2,1% wt. Salah satu baja yang digunakan untuk pembuatan roda gigi adalah baja karbon sedang AISI 4340. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh suhu austenisasi pada proses pengerasan permukaan roda gigi terhadap struktur mikro dan distribusi kekerasan pada roda gigi dengan bahan AISI 4340. Roda gigi dihardening dengan suhu austenisasi 700°C, 800°C dan 900°C dengan menggunakan pemanas induksi dengan lama pemanasan 15 detik, 19 detik, 22 detik. Setelah mencapai suhu penelitian dan waktu penahanan roda gigi dicelup dengan media oli. Hasil penelitian menunjukkan kekerasan pada roda gigi yang telah dihardening pada suhu 700°C kekerasan permukaan mencapai 880.3 HV, pada suhu 800°C kekerasan permukaan mencapai 969.5 HV, pada suhu 900°C kekerasan permukaan mencapai 1023.0 HV. Sedangkan kekerasan pada bagian tengah (sumbu) adalah 263 HV. Pengamatan struktur mikro pada suhu 700°C, 800°C dan 900°C, terlihat struktur martensit telah terbentuk akibat proses pendinginan cepat setelah hardening dan bewarna lebih gelap dengan sifat yang lebih getas dan lebih keras. Struktur lain yang terbentuk adalah bainit yang berwarna hitam seperti jarum struktur ini tingkat kekerasannya masih dibawah martensit.

Kata Kunci : Roda gigi, baja AISI 4340, surface hardening, pemanas induksi, quenching oil

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Roda gigi adalah salah satu komponen mesin yang sangat penting pada sistem pemindahan daya sebuah kendaraan. Fungsi utama dari roda gigi adalah meneruskan putaran dan gaya dari sumber gaya ke bagian yang akan digerakkan. Selama menjalankan fungsinya tersebut roda gigi akan saling bersinggungan dan bergesekan antar roda gigi satu dengan roda gigi yang lain. Dengan beban kerja yang berat maka roda gigi dituntut memiliki sifat tidak mudah aus dan tidak mudah patah atau rusak, sehingga roda gigi harus memiliki kekerasan dan keuletan (Sularso, 2013)

Baja sebagai bahan roda gigi memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih baik jika dibandingkan dengan bahan-bahan lain. Namun kekerasan dan keuletan tersebut masih belum memadai, maka roda gigi harus ditingkatkan kekerasan dan keuletannya dengan perlakuan panas. Perlakuan panas atau *heat treatment* diberikan dengan tujuan untuk merubah sifat-sifat mekanis material antara lain kekerasan dan keuletan. Dengan perlakuan panas tersebut diharapkan ketahanan aus pada baja meningkat karena adanya peningkatan kekerasan.

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan suatu proses mengubah sifat mekanik logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam, (Suherman, 2011). Pada pemanas induksi, arus listrik bolak-balik dari *power unit* mengalir melalui koil yang terbuat dari tembaga. Arus ini akan menimbulkan medan elektromagnetik yang besarnya berubah-ubah dan membangkitkan arus listrik pada material logam yang ada di dalamnya. Arus listrik yang timbul (*arus eddy*) menimbulkan panas yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk memanaskan dan mencairkan logam tersebut.

Pengerasan permukaan bertujuan untuk meningkatkan kekerasan pada bagian permukaan dan mempertahankan keuletan pada bagian inti atau tengah dari komponen. Dengan pengerasan permukaan ini akan didapatkan komponen yang tahan aus tetapi juga mempunyai keuletan yang baik. Roda gigi merupakan salah satu komponen yang harus memenuhi syarat tahan aus dan ulet. Sehingga roda gigi dapat dilakukan proses pengerasan permukaan dengan perlakuan panas menggunakan mesin induksi.

Pemanas induksi merupakan teknologi praktis yang telah banyak dikembangkan pada berbagai aplikasi industri misalnya pengerasan permukaan pada komponen yang berkontak. Keuntungan yang dimiliki teknologi pemanas induksi adalah akurasi titik/lokasi pemanasan dan temperatur pemanasan. Akibat pemanasan yang selektif maka energi yang diperlukan lebih sedikit dari pada pemanasan keseluruhan produk, waktu yang lebih singkat dan mengurangi distorsi panas yang berlebihan. Induksi magnetik adalah proses elektromagnetik non kontak dimana logam yang akan dikeraskan di dalam sebuah kumparan tembaga yang dialiri arus bolak balik frekuensi tinggi.

Quenching merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin. Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara mendadak sampel yang telah dipanaskan sehingga mengakibatkan perubahan struktur mikro. Hasil *quenching* di dapatkan material yang keras, getas serta terdapat tegangan sisa. Untuk mengurangi dan menghilangkan tegangan sisa dilakukan perlakuan panas *tempering*. Perlakuan panas *tempering* bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan dan keuletan baja yang telah mengalami pengerasan *martensit*. Selama proses *tempering* baja akan mengalami penurunan kekerasan dan kekuatan. Namun sifat keuletan akan menaik yang diikuti dengan penurunan kerapuhan. Tegangan sisa yang terbentuk selama pembentukan fasa *martensit* ikut berkurang.

Temperatur pemanasan hingga fasa *austenite* (austenisasi) merupakan salah satu faktor penting untuk mengubah sifat material, seperti kekerasan dan

struktur mikro suatu logam. Pada penelitian ini dilakukan pemanasan hingga temperature *austenite* dengan sistem pemanas induksi yang akan digunakan untuk proses pemanasan roda gigi dengan bahan material baja karbon menengah AISI 4340.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh suhu austenisasi pada proses pengerasan permukaan terhadap struktur mikro roda gigi dengan bahan material AISI 4340?
2. Bagaimana pengaruh suhu austenisasi pada proses pengerasan permukaan terhadap distribusi roda gigi dengan bahan material AISI 4340?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah:

1. Bahan material roda gigi adalah baja karbon menengah AISI 4340
2. Media pendingin yang digunakan adalah oli.
3. Variasi suhu austenisasi dalam penelitian adalah 700° C, 800° C dan 900° C.
4. Arus 1200 A
5. Jumlah lilitan koil yaitu 2 lilitan

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisa pengaruh suhu austenisasi pada proses pengerasan permukaan terhadap struktur mikro roda gigi dengan bahan material AISI 4340?
2. Mengetahui dan menganalisa pengaruh suhu austenisasi pada proses

pengerasan permukaan terhadap distribusi kekerasan roda gigi dengan bahan material AISI 4340?

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah

1. Memberikan informasi data tentang perlakuan panas permukaan roda gigi, dengan materi baja karbon menengah AISI 4340.
2. Hasil pengujian dapat dijadikan acuan atau referensi dalam pengujian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

II.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka yang melandasi timbulnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis adalah karena adanya dorongan keingintahuan akan tingkat kekerasan setelah dilakukan perlakuan panas dengan rekayasa material untuk peningkatan kekuatan agar dapat bertahan lebih kuat, ulet dan tahan lama pada kondisi-kondisi yang sering bermasalah, serta juga ada banyak bahan penelitian dan jurnal yang mengangkat proses perlakuan panas permukaan roda gigi sebagai landasan teori seperti berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh (Doloksaribu dkk, 2018), penelitian tentang pengaruh temperatur dan waktu tahan proses perlakuan panas temper terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan rim roda kereta api prototipe hasil pengerasan induksi, metode yang digunakan dengan cara prototipe roda kereta api diberikan perlakuan panas pengerasan induksi pada temperatur 900°C dan didinginkan dengan media pendingin air. Hasil uji kekerasan pada spesimen perlakuan panas temper adalah 311, 258 dan 243 HB untuk temperatur temper 500°C, 600°C dan 700°C dengan waktu tahan selama 1 jam. Sedangkan hasil uji kekerasan pada spesimen perlakuan panas temper pada temperatur 500°C, 600°C dan 700°C dengan waktu tahan 3 jam adalah 271, 253 dan 237 HB.

Sugianto (2018) melaporkan peningkatan kualitas roda gigi produk Usaha Kecil Menengah (UKM), metode yang digunakan yaitu proses pengerasan selanjutnya hasil distribusi kekerasan roda gigi produk UKM dibandingkan dengan produk OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kualitas roda gigi produk UKM Tegal dapat dilakukan dengan proses pengerasan. Proses pengerasan dilakukan dalam dua tahap yaitu proses *quenching* dan proses *tempering*. Proses *quenching* dilakukan pada temperatur pemanasan 850°C dengan media pendingin oli, sedangkan proses *tempering* dilakukan pada temperatur pemanasan 300°C dengan waktu penahanan

40 detik, menghasilkan distribusi kekerasan yang mendekati dengan roda gigi produk OEM .

Ismail dkk (2011) mengkaji mesin pemanas induksi untuk pengerasan permukaan roda gigi produk UKM, metode yang digunakan yaitu dengan sistem rangkaian berbasis *Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor* (MOSFET) dirancang untuk menghasilkan arus AC pada kumparan dengan frekuensi tinggi. Frekuensi kerja yang berkisar antara 3080 KHz akan memberikan pemanasan yang terkonsentrasi pada permukaan roda gigi sehingga bagian dalam roda gigi tetap bersifat ulet sehingga mampu menahan beban puntir yang besar. Hasil yang didapat perubahan proses pemanasan yang dilakukan oleh UKM produsen roda gigi dari penggunaan dapur peleburan atau dapur pemanas beralih pada mesin pemanas induksi dapat meningkatkan keseragaman dan ketepatan proses pemanasan roda gigi. Proses pemantauan dan pengukuran pemanasan menggunakan mesin pemanas induksi lebih mudah sehingga dapat membantu UKM membuat produk roda gigi yang lebih berkualitas dan seragam.

Penelitian (Amanto dkk, 1999) tentang pengerasan permukaan induksi, objek pada penelitian ini adalah roda gigi atau *gear*, silinder pejal, pin kereta api, pisau, *hammer mill*, dan *camshaft*. Proses pengerasan permukaan dilakukan menggunakan alat pemanas induksi. Pengujian menggunakan varian material yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam industri alat transportasi. Spesimen ditempatkan di tengah koil induksi dan dipanaskan sampai suhu *austenit* kemudian dicelupkan ke dalam pendingin dengan cepat. Percobaan terhadap spesimen dibedakan oleh variasi baja induksi, serta temperatur dan waktu penahanan. Hasilnya adalah peningkatan nilai kekerasan permukaan dan ketebalan pengerasan permukaan. Semakin rendah frekuensi induksi maka pengerasan yang terjadi semakin tebal dan struktur *martensit* semakin dominan. Alat pemanas induksi terbukti mampu meningkatkan nilai kekerasan permukaan spesimen sebesar 65 - 75 HRC dengan ketebalan 3-4 mm sesuai yang distandarkan oleh ASM.

Ismail dkk (2011) tentang pengaruh tempering menggunakan pemanas induksi terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro material baja ST 60 pasca

quenching, variasi yang dilakukan adalah nilai temperatur pemanasan dan durasi waktu penahanan pemanasan. Spesimen dianalisa dengan uji kekerasan makro dan uji mikrografi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami penurunan menjadi 50 HRC sesuai dengan target dan hasil uji *mikrografi* menunjukkan perbedaan struktur mikro *martensite* di tepi benda uji dan *ferrite-pearlite* ditengah benda uji.

II.2 Landasan Teori

II.2.1 Heat Treatment (Perlakuan panas)

Dari sebuah rangkuman yang ditulis oleh (Avner 1974: 676) Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam.

Adanya sifat alotropik dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. Alotropik itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperatur dibawah 910°C sel satuannya *Body Center Cubic* (BCC), temperatur antara 910°C dan 1392°C sel satuannya *Face Center Cubic* (FCC) sedangkan temperatur diatas 1392°C sel satuannya kembali menjadi BCC.

Proses perlakuan panas ada dua kategori, yaitu :

1. *Softening* (Pelunakan) : Adalah usaha untuk menurunkan sifat mekanik agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan didalam tungku (*annealing*) atau mendinginkan dalam udara terbuka (*normalizing*).

2. *Hardening* (Pengerasan) : Adalah usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara celup cepat (*quenching*) material yang sudah dipanaskan ke dalam suatu media pendingin berupa air, air garam, maupun oli.

II.2.1.1 *Hardening*

Hardening adalah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan (pengejutan) berikutnya secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Akibat pengejutan dingin dari daerah suhu pengerasan ini, dicapai suatu keadaan paksaan bagi struktur baja yang merangsang kekerasan, oleh karena itu maka proses pengerasan ini disebut pengerasan kejut. Karena logam menjadi keras melalui peralihan wujud struktur, maka perlakuan panas ini disebut juga pengerasan alih wujud.

Hardening dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan *fatigue limit* atau *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan (*temperatur autenitising*), *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada *hardenability*.

Kekerasan yang dicapai pada kecepatan pendinginan kritis (*martensit*) ini diiringi kerapuhan yang besar dan tegangan pengejutan, karena itu pada umumnya dilakukan pemanasan kembali menuju suhu tertentu dengan pendinginan lambat. Kekerasan tertinggi (66-68 HRC) yang dapat dicapai dengan pengerasan kejut suatu baja, pertama bergantung pada kandungan zat arang, kedua tebal benda kerja mempunyai pengaruh terhadap kekerasan karena dampak kejutan membutuhkan beberapa waktu untuk menembus ke sebelah dalam, dengan demikian maka kekerasan menurun kearah inti.

II.2.1.2 *Tempering*

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan memudakan (*tempering*). *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (*annealing*) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat.

Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk *cementit*.

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut :

1. *Tempering* pada suhu rendah (150° – 300°C) *tempering* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.
2. *Tempering* pada suhu menengah (300° - 550°C) *tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500° C pada proses *tempering*.
3. *Tempering* pada suhu tinggi (550° - 650°C) *tempering* suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

II.2.1.3 *Annealing*

Annealing adalah perlakuan panas logam dengan pendinginan yang lambat berfungsi untuk memindahkan tekanan internal atau untuk mengurangi dan menyuling struktur kristal (melibatkan pemanasan di atas temperatur kritis bagian atas). logam dipanaskan sekitar 25° C di atas temperatur kritis bagian atas, ditahan dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan pelan-pelan di tungku pengapian. Proses ini digunakan untuk memindahkan tekanan internal penuh sebagai hasil proses pendinginan. Berikutnya pendinginan logam diatur kembali di dalam sama benar untuk menurunkan energi bentuk wujud, tegangan yang baru dibebaskan dibentuk dan pertumbuhan butir dukung. Tujuannya untuk menghilangkan internal *stress* pada logam dan untuk menghaluskan *grain* (batas butir) dari atom logam, serta mengurangi kekerasan, sehingga menjadi lebih ulet (Sitinjak, 1985). *Annealing* terdiri dari 3 proses yaitu :

1. *Fase recovery*

Fase recovery adalah hasil dari pelunakan logam melalui pelepasan cacat kristal (tipe utama dimana cacat *linear* disebut dislokasi) dan tegangan dalam.

2. *Fase rekristalisasi*

Fase rekristalisasi adalah fase dimana butir *nucleate* baru dan tumbuh untuk menggantikan cacat- cacat oleh tegangan dalam.

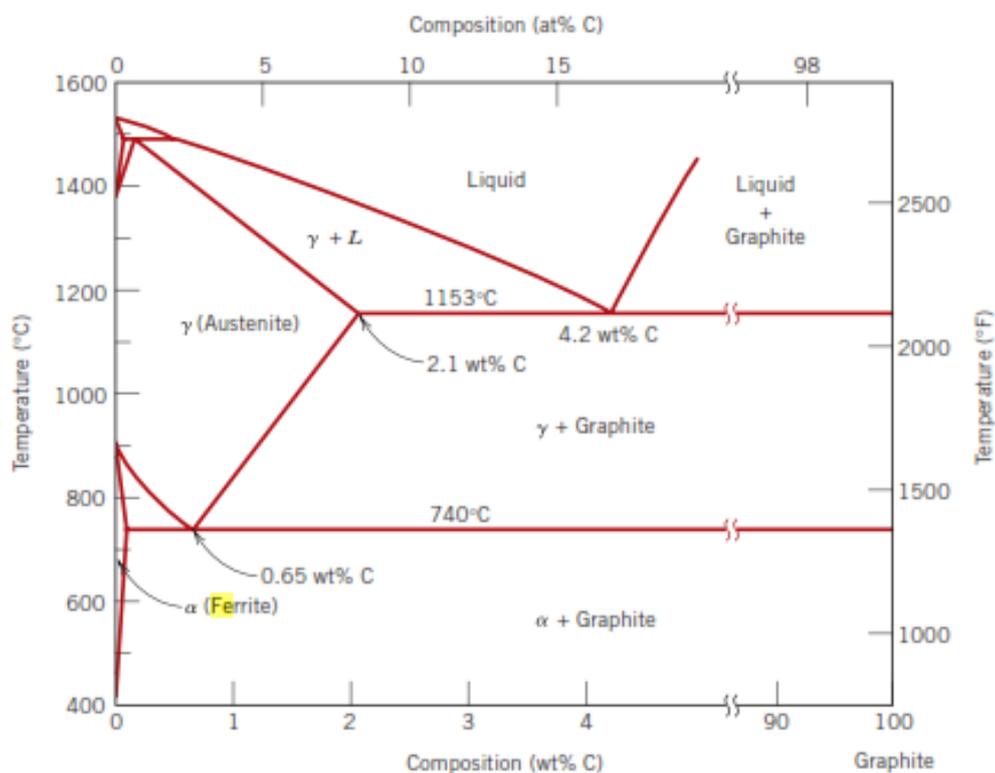
3. *Fase grain growth* (tumbuhnya butir)

Fase grain growth (tumbuhnya butir) adalah fase dimana mikrostruktur mulai menjadi kasar dan menyebabkan logam tidak terlalu memuaskan untuk proses pemesinan.

II.2.1.4 *Normalizing*

Normalizing adalah perlakuan panas logam di sekitar 40° C di atas batas kritis logam, kemudian di tahan pada temperatur tersebut untuk masa waktu yang cukup dan dilanjutkan dengan pendinginnan pada udara terbuka. Pada proses pendinginan ini temperatur logam terjaga untuk sementara waktu sekitar 2 menit

per mm dari ketebalan-nya hingga temperatur spesimen sama dengan temperatur ruangan, dan struktur yang diperoleh dalam proses ini diantaranya *perlit* (*eutectoid*), *perlit brown ferrite* (*hypoeutectoid*) atau *perlit brown cementite* (*hypereutectoid*). *Normalizing* digunakan untuk menyuling struktur butir dan menciptakan suatu *austenite* yang lebih homogen ketika baja dipanaskan kembali. Seperti Pada Gambar II.1



Gambar II. 1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C
(Callister, 2007)

Dari gambar diatas dapat diterangkan atau dibaca diantaranya :

1. Pada kandungan karbon mencapai 6.67% terbentuk struktur mikro dinamakan *Cementit* Fe₃C (dapat dilihat pada garis vertikal paling kanan). Sifat – sifat *cementit* diantaranya sangat keras dan sangat getas
2. Pada sisi kiri diagram dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah,

pada suhu kamar terbentuk struktur mikro *ferit*.

3. Pada baja dengan kadar karbon 0.83%, struktur mikro yang terbentuk adalah *Perlit*, kondisi suhu dan kadar karbon ini dinamakan titik *Eutectoid*.
4. Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik *eutectoid*, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara *ferit* dan *perlit*.
5. Pada baja dengan kandungan titik *eutectoid* sampai dengan 6.67%, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara *perlit* dan *sementit*.
6. Pada saat pendinginan dari suhu leleh baja dengan kadar karbon rendah, akan terbentuk struktur mikro *ferit delta* lalu menjadi struktur mikro *Austenit*.

Pada baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi, suhu leleh turun dengan naiknya kadar karbon, peralihan bentuk langsung dari leleh menjadi *Austenit*.

II.2.1.5 *Holding Time*

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur *austenitnya* homogen atau terjadi kelarutan karbida kedalam *austenite*, difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman untuk menentukan *holding time* dari berbagai jenis baja pada yang umum diantaranya sebagai berikut.

- Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah; yang mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan *holding time* yang singkat, 5 – 15 menit setelah mencapai temperatur pemanasannya dianggap sudah memadai.
- Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan *holding time* 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
- *Low Alloy Tool Steel*; memerlukan *holding time* yang tepat agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per milli meter tebal benda, atau 10 – 30 menit.
- *High Alloy Chrome Steel*; Membutuhkan *holding time* yang paling panjang diantara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya, juga diperlukan kombinasi temperatur dan *holding time* yang tepat. Biasanya dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal

benda dengan minimum 10 menit, maksimum 3 jam.

- *Hot Work Tool Steel*; mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada suhu 1000° C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* harus dibatasi, 15–30 menit.

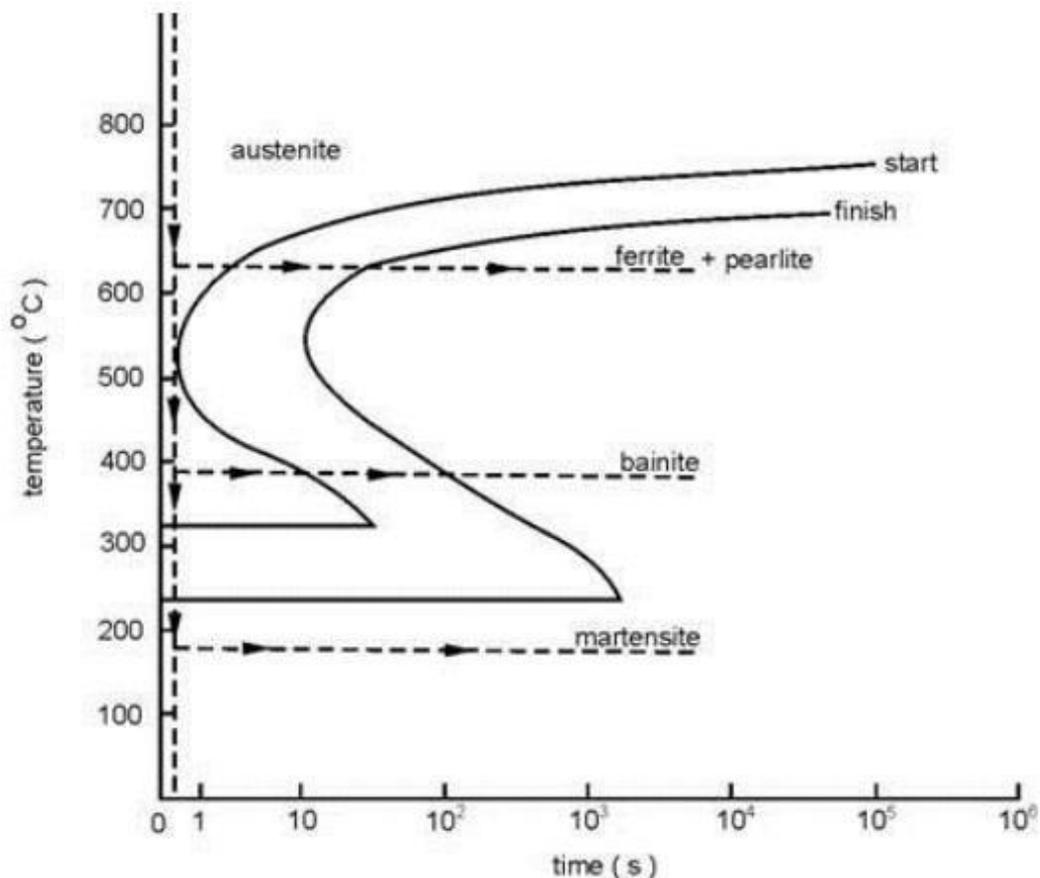
High Speed Steel; memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi 1200° C - 1300° C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan *holding time* diambil hanya beberapa menit saja.

II.2.1.5 Quenching

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardenability* dari logam tersebut. *Hardenability* merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

1. Pendinginan tidak menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada gambar II.2 diagram *Isothermal Transformation Diagram*.



Gambar II. 2 Isothermal Transformation Diagram
(ASM International, 2005)

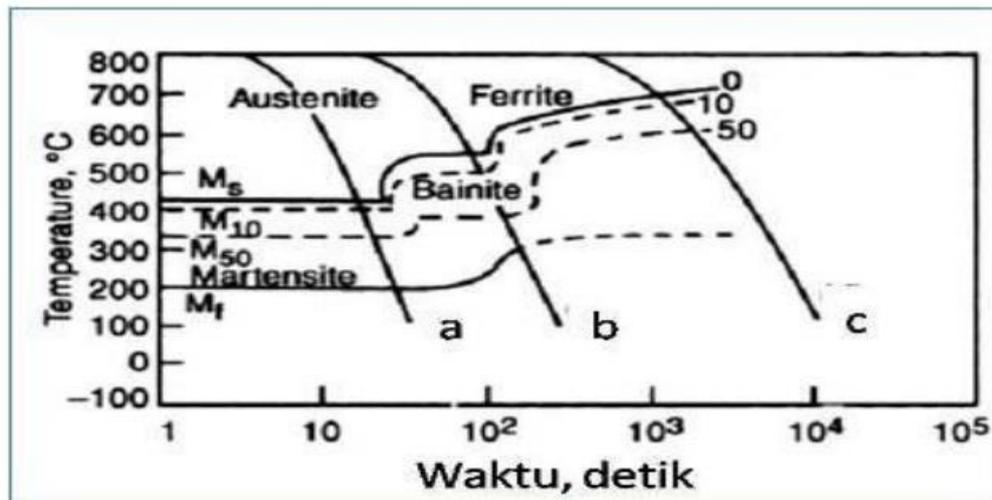
Berikut beberapa penjelasan tentang diagram diatas :

- Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja tersebut
- Untuk baja dengan kadar karbon kurang dari 0.83% yang ditahan suhunya dititik tertentu dan letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur *perlit* dan *ferit*.
- Jika ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro *Bainit* (lebih keras dari *perlit*).
- Bila ditahan suhunya pada titik tertentu dibawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur *Martensit* (sangat keras dan getas).
- Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan.

- f) Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

2. Pendinginan Terus Menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan terus menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat pada gambar II.3 diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram*.



Gambar II. 3 Continuous Cooling Transformation Diagram.
(ASM International, 2005)

Penjelasan diagram:

- Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperatur *austenite* sekitar 920° C ke temperature 200° C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan *dekomposisi* fasa *austenite* menjadi *martensit*. Fasa *Austenite* akan menjadi *martensit* pada Temperatur Ms, *martensite start*. Sedangkan akhir pembentukan *martensit* akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperatur Mf, *martensite finish*.

- Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju

sedang/medium dari temperatur 920° C ke 250° C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa *austenite terdekomposisi* menjadi struktur *bainit*.

- Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan lambat dari temperature 920°C ke 250°C. pendinginan lambat ini menyebabkan fasa *austenite terdekomposisi* manjadi fasa *ferit* dan *perlit*.

-

II.2.2 Perlakuan panas dengan Induksi

Pemanasan secara induksi berdasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik. Prinsip ini dijelaskan pertama kali oleh Michael Faraday pada tahun 1831. Prinsip induksi elektromagnetik ini menjadi dasar penemuan transformator. Tidak lama setelah itu berbagai aplikasi pemanasan secara induksi panaskan bahan konduktif tersebut. Selain itu ada beberapa faktor lain yang ikut berpengaruh pada proses pemanasan, yaitu rugi-rugi hystersis dan efek kulit. Jadi secara umum prinsip dasar yang dimanfaatkan dalam pemanasan induksi yaitu:

1. Arus *Eddy*.
2. Rugi-rugi *hysteresis*.
3. Efek kulit, (Ambar Rencono, 2000)

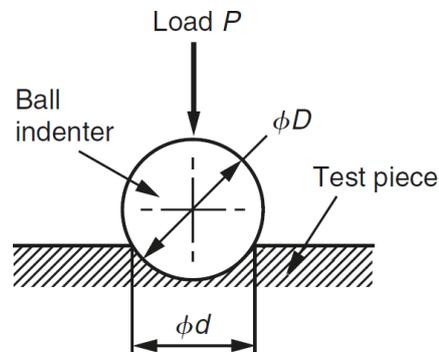
II.2.3 Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan merupakan uji bahan untuk mengetahui ketahanan plastis dari suhu permukaan benda uji terhadap penetrasi. Beberapa macam uji kekerasan adalah *Ball indentation test (Brinell)*, *Cone indentation test (Rockwell)*.

II.2.3.1 *Ball Indentation test (Brinell)*

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya (Dieter, 1987). Pada dasarnya *ball indentation test* atau sering disebut sebagai metode *brinell*. Metode *brinell* adalah pengujian kekerasan berdasarkan nilai tekanan bola baja dengan beban tertentu diatas permukaan benda uji, sehingga menimbulkan bekas identasi atau bekas penekanan. Lubang bekas tekanan tersebut kemudian diukur luasnya dalam A mm², sedangkan beban yang

diberikan tersebut diukur dalam F kg sehingga diperoleh nilai kekerasan *brinell*. Seperti pada gambar II.4

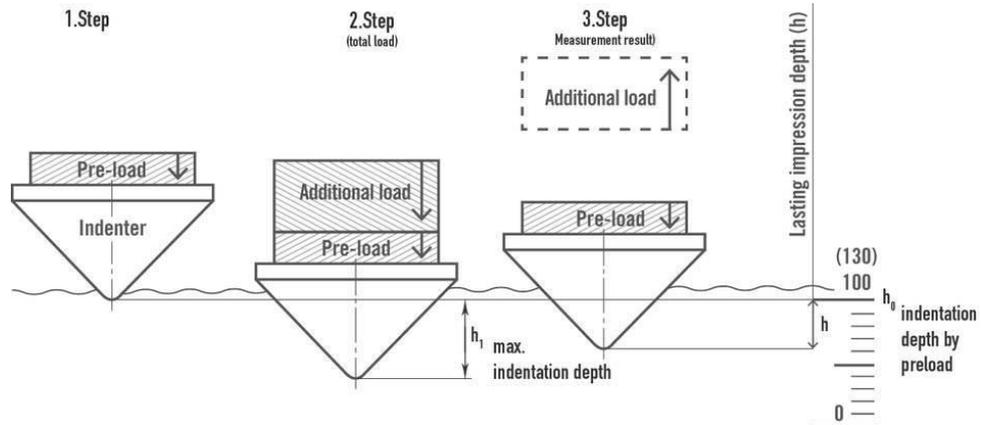


Gambar II. 4 Posisi Beban Penekanan Metode *Brinell*.
(<http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/>)

Pengujian rockwell mirip dengan pengujian brinell, yakni angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955).

II.2.3.2 Cone Indentation Test (*Rockwell*)

Cone indentation test atau pengujian kekerasan metode *rockwell* , pada dasarnya uji kekerasan bahan menggunakan penekan yang terbuat dari permata atau baja yang berujung piramida tersebut 120° . Pada uji ini, mula mula benda uji diberi beban awal sebesar 10 kg, lalu beban sesungguhnya 90 kg untuk penekanan baja skala B atau seberat 140 kg untuk penekanan baja skala A, kemudian semua beban dilepaskan dan diukur lubang penekanan, perlu diketahui bahwa kemampuan pengukuran kekerasan metode *rockwell* maksimal adalah 68 Rc. Seperti pada gambar II.5

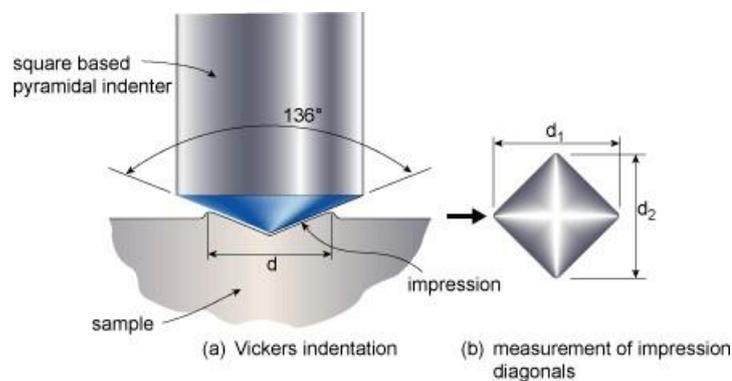


Gambar II. 5 Posisi Beban Penekanan Metode Rockwell.
 (<http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/>)

II.2.3.3 *Pyramide Indentation Test (Vickers)*

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987)

Pyramide indentation test atau sering dikenal dengan pengujian kekerasan bahan metode *vickers*. Metode ini dalam pengukurannya menggunakan beban tekan sebesar 5 kg, 10 kg, 20 kg, 50 kg, 100 kg, atau 120 kg dan menggunakan penekanan yang diperkeras berbentuk piramida dengan muka lawan sudut $\alpha = 136^\circ$. Seperti pada gambar II.6



Gambar II. 6 Posisi Beban Penekanan Metode *Vickers*.
 (<http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/>)

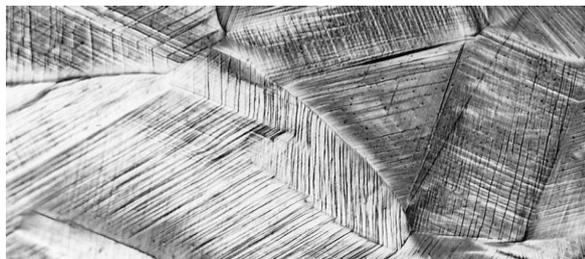
II.2.4 Struktur Mikro

Menurut (Lely Susita R.M., dkk 1996) struktur mikro adalah struktur yang hanya bisa diamati melalui mikroskop baik itu mikroskop optik maupun mikroskop elektron. Informasi yang bisa diperoleh dari struktur mikro antara lain identifikasi fasa-fasa yang ada, presentase fasa, distribusi fasa, inklusi (pengotor), presipitat maupun ukuran butir. Perubahan struktur suatu sistem pencampuran logam hanya akan terjadi apabila suatu campuran didinginkan secara perlahan-lahan (Amanto dan Daryanto, 1999: 67). Pada cairan logam yang telah mencapai temperatur tertinggi kemudian didinginkan sampai mencapai titik beku, maka akan terjadi perubahan-perubahan struktur (Arifin, 2010 : 73). Perubahan yang terjadi pada suatu logam adalah berhubungan dengan letak atom-atom di dalam balur-balur jarak antara tiap-tiap balur dan besarnya suatu balur yang terjadi.

Struktur mikro dapat diubah dengan suatu perlakuan panas. Ini berarti untuk material dengan komposisi yang sama dapat mempunyai sifat-sifat yang berbeda dan ini bisa diperoleh dengan cara mengubah struktur mikronya. Dengan kata lain, untuk memperbaiki sifat-sifat suatu material sesuai dengan yang dikehendaki dapat diperoleh dengan cara mengubah struktur mikronya.

II.2.4.1 Mikro Struktur Logam

Struktur mikro merupakan struktur yang dapat diamati dibawah mikroskop optik. Meskipun dapat pula diartikan sebagai hasil dari pengamatan menggunakan scanning electron microscope (SEM). Mikroskop optik dapat memperbesar struktur hingga 1500 kali. Seperti pada gambar II.7



Gambar II. 7 Gambar Struktur Mikro Logam
(Callister, 2007)

Pemeriksaan pada mikro struktur dari bahan logam untuk mengetahui keadaan struktur bahan tersebut dalam hubungannya dalam sifat bahan tersebut sebelum atau sesudah proses perlakuan panas. Sebagaimana telah kita pelajari bahwa sifat bahan khususnya bahan logam sangat dipengaruhi oleh struktur serta komposisi unsur dari logam tersebut, oleh karena itu dalam proses perbaikan sifat bahan sering dilakukan dengan cara merubah struktur bahan tersebut melalui proses perlakuan panas.

Untuk dapat mengamati struktur mikro sebuah material oleh mikroskop optik, maka harus dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan pemolesan secara bertahap hingga lebih halus dari 0,5 mikron. Proses ini biasanya dilakukan dengan menggunakan ampelas secara bertahap dimulai dengan grid yang kecil (100) hingga grid yang besar (2000). Dilanjutkan dengan pemolesan oleh mesin poles dibantu dengan larutan pemoles.
2. Etsa dilakukan setelah memperluas struktur mikro. Etsa adalah membilas atau mencelupkan permukaan material yang akan diamati ke dalam sebuah larutan kimia yang dibuat sesuai kandungan paduan logamnya. Hal ini dilakukan untuk memunculkan fasa-fasa yang ada dalam struktur mikro.
- 3.

II.2.5 Pengerasan Permukaan Baja

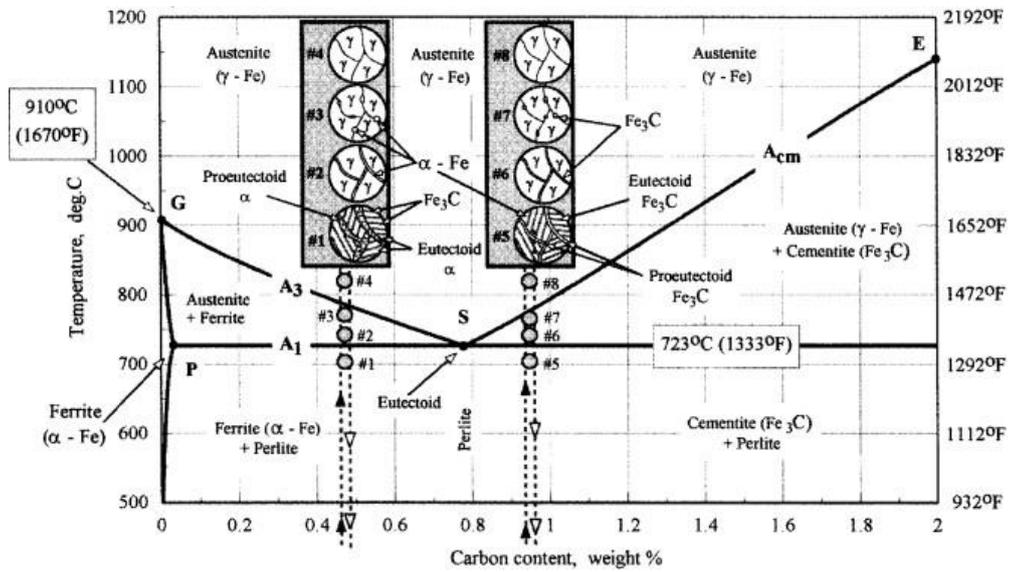
Pengerasan permukaan merupakan pengembangan dari perlakuan panas konvensional dimana bagian yang mengalami perlakuan hanya terbatas pada bagian permukaan saja. Teknik pengerasan permukaan dapat dilakukan melalui *carburizing*, *nitriding*, *flame hardening*, dan *Induction hardening*. Diantara beberapa opsi pengerasan permukaan yang ada, pengerasan dengan metode *Induction hardening* memiliki beberapa kelebihan: (i) proses pemanasan singkat, (ii) dapat didesain otomatis, (iii) sedikit skil yang dibutuhkan oleh operator, (iv) cocok untuk komponen berdimensi kecil, serta (v) nilai dan tebal pengerasan dapat diatur dengan mengendalikan frekuensi arus. Pengerasan dengan metode

Induction hardening telah dikembangkan di Jurusan Teknik Mesin UNDIP. Sistem ini masih memiliki beberapa kelemahan: (i) membutuhkan waktu yang cukup lama untuk pemanasan, (ii) belum memiliki sistem otomatis dan (iii) perlu dikembangkan untuk skala industry.

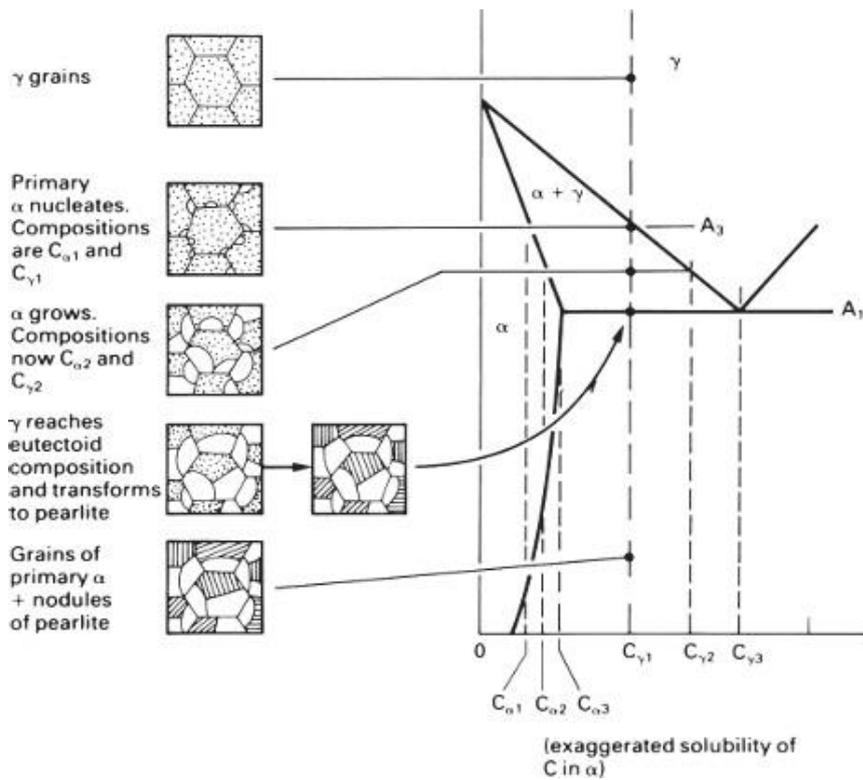
Perlakuan panas atau heat treatment dapat didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduannya dalam keadaan padat dalam waktu tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh sifat yang diinginkan dengan merubah struktur mikronya.

Disamping itu semua dasar-dasar proses perlakuan panas melibatkan transformasi dan dekomposisi *austenite*. Langkah pertama dalam proses perlakuan panas pada baja adalah melakukan pemanasan sampai tempertur tertentu atau diatas temperatur kritis untuk membentuk fase *austenite*. Kemudian dilakukan penahanan waktu agar *austenite* dapat lebih homogen baru setelah itu baru dilakukan pendinginan. Proses pendinginan dilakukan dengan cermat agar benda kerja tidak mengalami cacat retak setelah dilakukan proses ini.

Disamping itu semua dasar-dasar proses perlakuan panas melibatkan transformasi dan dekomposisi *austenite*. Langkah pertama dalam proses perlakuan panas pada baja adalah melakukan pemanasan sampai tempertur tertentu atau diatas temperatur kritis untuk membentuk fase *austenite*. Kemudian dilakukan penahanan waktu agar *austenite* dapat lebih homogen baru setelah itu baru dilakukan pendinginan. Proses pendinginan dilakukan dengan cermat agar benda kerja tidak mengalami cacat retak setelah dilakukan proses ini. Seperti pada gambar II.8, gambar II.9



Gambar II. 8 Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C untuk baja. (ASM International, 2005)



Gambar II. 9 Transformasi mikrostruktur pada saat pendinginan lambat ke temperatur ruang dari austenit ke perlit untuk baja hipoeutektoid (di bawah 0,8 %C). (Callister, 2007)

Menurut *Callister* diagram fasa Fe₃-C merupakan diagram yang digunakan sebagai parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi pada baja, serta untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi dengan segala perlakuannya.

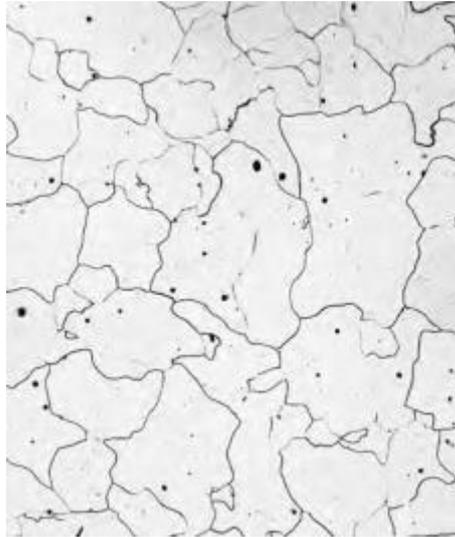
Dari diagram fasa yang ditunjukkan pada Gambar II.8, terlihat bahwa pada suhu 727°C yang merupakan suhu transformasi austenit menjadi fasa perlit (merupakan gabungan fasa perlit dan sementit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi *eutectoid* dan merupakan dasar perlakuan panas dari baja. Sedangkan daerah fasa yang prosentase larutan karbon hingga 2% yang terjadi di temperature 1147°C merupakan daerah besi gamma (γ) atau disebut *austenite*. Pada kondisi ini biasanya *austenite* bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk, tidak fero magnetik dan memiliki struktur kristal FCC.

Besi murni pada suhu dibawah 912°C mempunyai struktur Kristal BCC. Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah sangat rendah, yaitu 0.02% maksimum pada suhu 727°C. Larutan pada intensitas dari karbon di dalam besi ini disebut besi *alpha* (α) atau fasa *ferit*. Pada suhu antara 912-1394°C, atom-atom besi menyusun diri menjadi bentuk FCC yang juga disebut besi *gamma* (γ) atau fasa *austenite*. Besi *gamma* ini dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,14% maksimum pada suhu 1147°C. Penambahan karbon kedalam besi FCC ditransformasikan kedalam struktur BCC dari 912°C menjadi 727°C pada kadar karbon sekitar 0,76%. Diantara temperatur 1394°C dan suhu cair 1538°C, besi *gamma* berubah menjadi susunan BCC yang disebut besi *delta* (δ).

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan didalam Fe-Fe₃C yaitu perubahan fasa ferit atau besi *alpha* (α), *austenite* atau besi *gamma* (γ), sementit atau karbida besi, perlit dan sementiti akan diuraikan dibawah ini:

a. *Ferrite* atau besi *alpha*

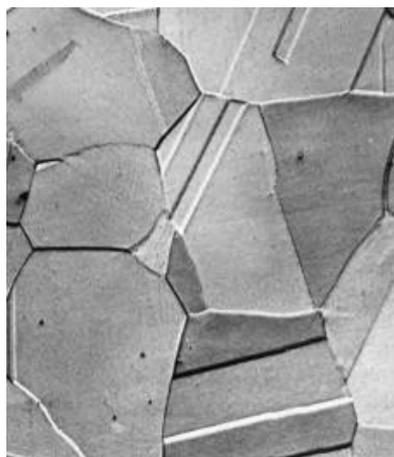
Merupakan modifikasi struktur besi murni pada suhu ruang, dimana ferit menjadi lunak dan ulet karena ferit memiliki struktur BCC, maka ruang antara atom-atomnya adalah kecil dan padat sehingga atom karbon yang dapat tertampung hanya sedikit sekali. Seperti pada gambar II.10



Gambar II. 10 Besi alpha
(Callister, 2007)

b. Austenite atau besi gamma

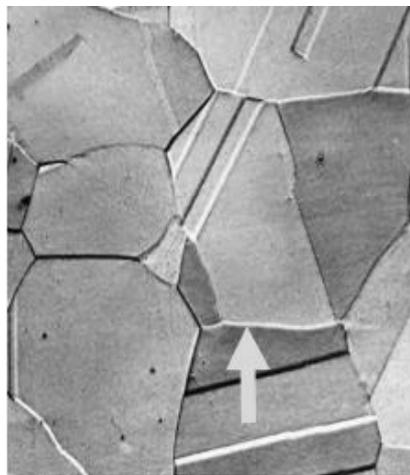
Merupakan modifikasi dari besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan ferit. Meski demikian rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya jadi terbatas. Seperti pada gambar II.11



Gambar II. 11 Austenite
(Callister, 2007)

c. Karbida besi atau sementit

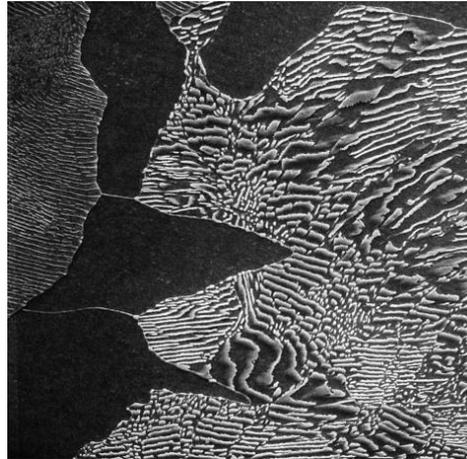
Adalah paduan besi karbon dimana pada kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C . Hal ini tidak berarti bila karbida besi membentuk molekul Fe_3C , akan tetapi kisi Kristal yang membentuk atom besi dan karbon mempunyai perbandingan 3:1. Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja sifat dasar sementit adalah sangat keras. Seperti pada gambar II.12



Gambar II. 12 *Sementit*
(Callister, 2007)

d. *Perlit*

Merupakan campuran khusus yang terjadi atas dua fasa yang terbentuk austenisasi, dengan komposisi *eutectoid* bertransformasi menjadi *ferit* dan karbida. Ini dikarenakan *ferit* dan karbida terbentuk secara bersamaan dan keluaranya saling bercampur. Apabila laju pendinginan dilakukan secara perlahan-lahan maka atom karbon dapat berfungsi lebih lama dan dapat menempuh jarak lebih jauh, sehingga diperoleh bentuk perlit besar. Dan apabila laju pendinginan lebih dipercepat lagi maka difusi akan terbatas pada jarak yang dekat sehingga akhirnya menghasilkan lapisan tipis lebih banyak. Seperti pada gambar II.13



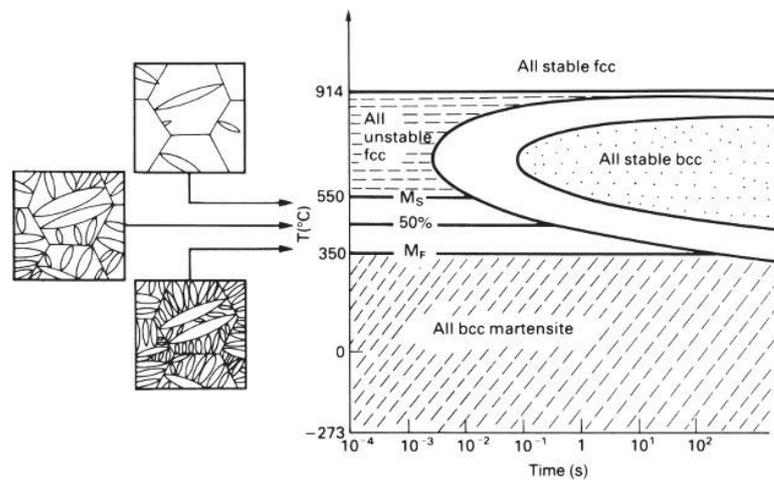
Gambar II. 13 *Pearlit*
(Callister, 2007)

e. *Martensit*

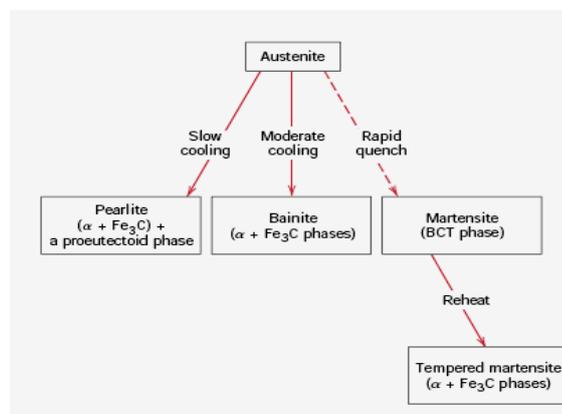
Adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali dan terjadi pada suhu dibawah *eutectoid* tetapi masih di atas suhu kamar. Karena struktur *austenite* FCC tidak stabil maka akan berubah menjadi struktur BCT secara serentak. Pada reaksi ini tidak terjadi difusi tetapi terjadi pengerasan (dislokasi). Semua atom bergerak serentak dan perubahan ini langsung dengan cepat dimana semua atom yang tinggal tetap berada pada larutan padat karena terperangkap dalam kisi sehingga sukar menjadi slip, maka martensit akan menjadi kuat dan keras tetapi sifat getas dan rapuh menjadi tinggi. *Martensit* dapat terjadi bila didinginkan dengan cepat sekali hingga temperatur di bawah pembentukan *bainit*. *Martensit* terbentuk karena transformasi tanpa difusi sehingga atom-atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan super jenuh. Keadaan ini yang menimbulkan distorsi pada struktur kristal martensit dan membentuk BCT. Tingkat distorsi yang terjadi sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu martensit merupakan fasa yang sangat keras namun getas. Seperti pada gambar II.14, gambar II.15, gambar II.16



Gambar II. 14 *Martensit*
(Callister, 2007)



Gambar II. 15 Diagram transformasi temperatur terhadap waktu untuk baja, martensit terbentuk dalam fungsi temperatur dan tidak tergantung oleh waktu.
(Callister, 2007)



Gambar II. 16 Transformasi fasa yang melibatkan dekomposisi *austenite*.
(Callister, 2007)

Surface treatment dibagi dua jenis yaitu:

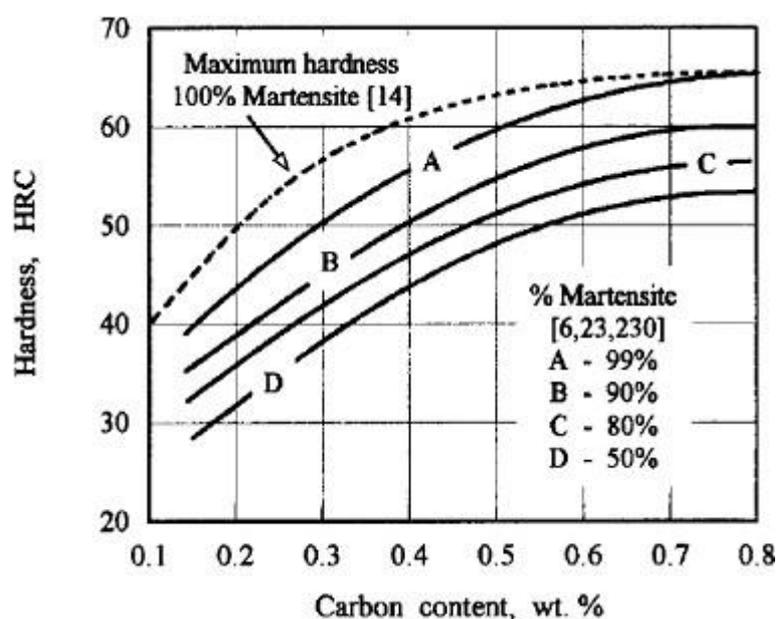
1. *Softening*

Softening bertujuan untuk mempermudah proses *machining*, menghilangkan tegangan dalam, memperbesar atau memperkecil ukuran butir agar seragam dan meningkatkan keuletan (*ductility*). Contoh *Softening* yaitu *annealing*, *normalizing*, *tempering*.

2. *Hardening*

Hardening adalah proses perlakuan panas yang dilakukan untuk mendapatkan kekuatan, kekerasan dan *fatigue limit* yang tinggi. *Hardening* dilakukan dengan memanaskan baja sampai mencapai temperatur *austenite*, dipertahankan beberapa saat pada temperatur tertentu kemudian didinginkan dengan cepat untuk mendapatkan *martensite* yang keras.

Kekerasan maksimum yang dapat dihasilkan setelah proses *hardening* tergantung pada kandungan karbon pada material tersebut. Makin tinggi kandungan karbonnya, maka akan tinggi pula kekerasan yang akan dicapai. Seperti pada gambar II.18



Gambar II. 17 Hubungan antara kekerasan, kadar karbon, dan jumlah martensite .
(Callister, 2007)

II.2.6 Roda Gigi

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Roda gigi memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Roda gigi sering digunakan karena dapat meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya, selain itu roda gigi juga memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan alat transmisi lainnya, yaitu :

- Sistem transmisinya lebih sederhana, putaran lebih tinggi dan daya yang besar.
- Sistem yang sama sehingga konstruksinya sederhana.
- Kemampuan menerima beban lebih tinggi.
- Efisiensi pemindahan dayanya tinggi karena faktor terjadinya slip sangat kecil.
- Kecepatan transmisi roda gigi dapat ditentukan sehingga dapat digunakan dengan pengukuran yang kecil dan daya yang besar.

Roda gigi harus mempunyai perbandingan kecepatan sudut tetap antara dua poros. Di samping itu terdapat pula roda gigi yang perbandingan kecepatan sudutnya dapat bervariasi. Ada pula roda gigi dengan putaran yang terputus-putus. Dalam teori, roda gigi pada umumnya dianggap sebagai benda kaku yang hampir tidak mengalami perubahan bentuk dalam jangka waktu lama.

II.2.6.1 Macam-macam Roda Gigi

1. Menurut arah putaran

Menurut arah putarannya, roda gigi dapat dibedakan atas :

- a. Roda gigi luar ; arah putarannya berlawanan.
- b. Roda gigi dalam dan *pinion* ; arah putarannya sama.

2. Menurut bentuk jalur gigi

Berdasarkan bentuk jalur giginya, roda gigi dapat dibedakan atas :

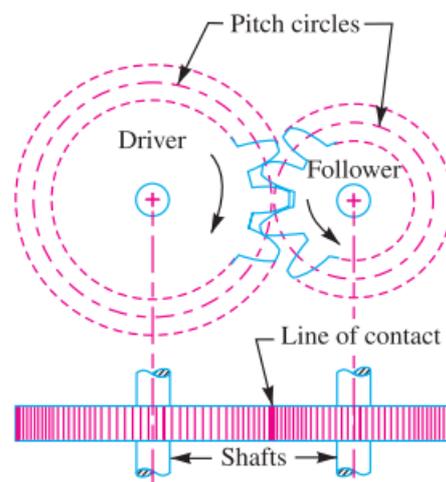
- A. Roda gigi lurus

Roda gigi lurus digunakan untuk poros yang sejajar atau paralel. Dibandingkan dengan jenis roda gigi yang lain roda gigi lurus ini paling mudah dalam proses pengerjaannya (*machining*) sehingga harganya lebih murah. Roda gigi lurus ini cocok digunakan pada sistim transmisi yang gaya kelilingnya besar, karena tidak menimbulkan gaya aksial.

Jenis-jenis roda gigi lurus antara lain :

1. Roda gigi lurus (*external gearing*)

Roda gigi lurus (*external gearing*), pasangan roda gigi lurus ini digunakan untuk menaikkan atau menurunkan putaran dalam arah yang berlawanan. Gambar roda gigi lurus seperti ditunjukkan pada gambar II.18



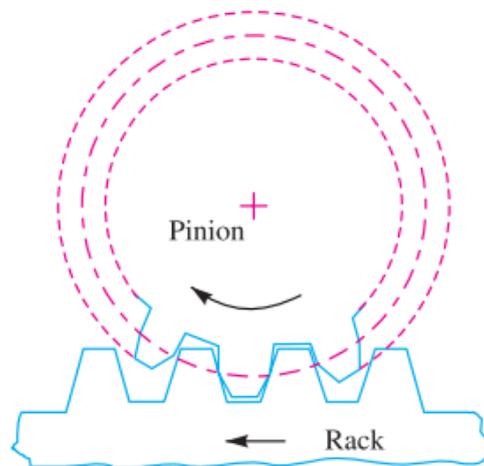
Gambar II. 18 Roda gigi Lurus Luar
(R.S. Khurmi, J.K.Gupta, 2005)

2. Roda gigi dalam (*internal gearing*)

Roda gigi dalam dipakai jika diinginkan alat transmisi yang berukuran kecil dengan perbandingan reduksi besar.

3. Roda gigi *rack* dan *pinion*

Roda gigi *rack* dan *pinion* berupa pasangan antara batang gigi dan *pinion* roda gigi jenis ini digunakan untuk merubah gerakan putar menjadi lurus atau sebaliknya. Gambar roda gigi *rack dan pinion* seperti ditunjukkan pada gambar II.19



Gambar II. 19 Roda gigi Rack dan Pinion
(R.S. Khurmi, J.K.Gupta, 2005)

B. Roda gigi miring

Roda gigi miring kriterianya hampir sama dengan roda gigi lurus, tetapi dalam pengoperasiannya roda gigi miring lebih lembut dan tingkat kebisingannya rendah dengan perkontakan antara gigi lebih dari 1.

Ciri-ciri roda gigi miring adalah :

1. Arah gigi membentuk sudut terhadap sumbu poros.
2. Distribusi beban sepanjang garis kontak tidak *uniform*.
3. Kemampuan pembebanan lebih besar dari pada roda gigi lurus.
4. Gaya aksial lebih besar sehingga memerlukan bantalan aksial dan roda gigi yang kokoh.

Jenis-jenis roda gigi miring antara lain seperti ditunjukkan pada gambar II.20



Gambar II. 20 Roda gigi Miring Silang.
(R.S. Khurmi, J.K.Gupta, 2005)

C. Roda gigi kerucut

Jenis-jenis roda gigi kerucut antara lain seperti ditunjukkan pada gambar II.21 dibawah ini:



*Gambar II. 21 Roda gigi Kerucut Lurus
(R.S. Khurmi, J.K.Gupta, 2005)*

The logo of Universitas Wahid Hasyim Semarang is a circular emblem with a scalloped border. It features a central shield with an open book and a quill pen. The text 'UNIVERSITAS WAHID HASYIM' is written around the top half of the circle, and 'SEMARANG' is at the bottom. There are also some stars and a globe-like element in the center.

HALAMAN INI TIDAK TERSEDIA
BAB III DAN BAB IV
DAPAT DIAKSES MELALUI
UPT PERPUSTAKAAN UNWAHAS

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat di simpulkan bahwa roda gigi dengan material AISI 4340 yang telah dilakukan perlakuan panas permukaan dan di *quenched* pada media oli adalah :

1. Struktur mikro hasil austenisasi permukaan pada suhu 700°C, 800°C dan 900°C, yang di celup pada media oli yang semula berfasa *ferrite* dan *pearlite*, pada bagian permukaan berubah menjadi *martensit*, pada bagian tengah menjadi *bainit*, pada bagian dalam masih berupa *ferrite pearlite*. Pada suhu austenisasi 900°C, perubahan *martensit* terlihat lebih banyak dan mendalam di bandingkan pada suhu 700°C, 800°C
2. Distribusi kekerasan roda gigi yang telah di lakukan austenisasi kekerasan pada suhu 700°C, 800°C dan 900°C meningkat pada bagian permukaan. *Raw material* yang nilai awalnya 261,8 HV, ketika di induksi pada suhu 700°C kekerasan menjadi 880,3 HV kedalaman pengerasan 6 mm dari permukaan roda gigi, pada suhu 800°C kekerasan 969,5 HV kedalaman pengerasannya 9 mm, dan pada suhu 900°C kedalaman pengerasannya 14 mm dengan kekerasan 1023 HV. Jadi semakin panas suhu maka semakin dalam bagian pengerasan yang didapat.

5.2 SARAN

Penelitian ini bisa dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan uji *normalizing* dan *tempering* untuk mengurangi atau menghilangkan tegangan sisa (*residual stress*) dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhan dari baja AISI 4340 akibat proses *hardening*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambar Rencono Wati (2000). Desain dan Analisa Pemanas Induksi. Abstrak Hasil penelitian Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang
- Amanto, H. dan Daryanto, (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta, Bumi Aksara
- ASM Metals Handbook. (1990-1, 2005-2), “Vol 01 : Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys”, ASM International.
- Avner, S.H., 1974, Introduction to Physical Metalurgy, Mc Graw Hill Book Company, Singapore
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T., 1955, The Testing and Inspection of Engineering Materias, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Doloksaribu, dkk. 2018. Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Proses Perlakuan Panas Temper Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Permukaan Rim Roda Kereta Api Prototipe Hasil Pengerasan Induksi. Jurnal. JMI Vol. 40 No. 1 Juni 2018
- Fauzan 2013. *Pengujian Keras (Brinell, Vickers, Rockwell, Shore / Ekuotip)*.
URL:
<http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/>. Diakses tanggal 24 April 2020.
- Ismail, dkk. 2011. Surface Hardening Characterization Of Transmission Gears . Jurnal. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011. ISBN. 978-602-99334-0-6
- Khurmi RS Gupta, JK., 2005, *Text Book of Machine Design Eurasia*, Publising House, ltd Ram Nagar, New Delhi
- Lely Susita R.M., dkk 1996. Karakterisasi Struktur Mikro Stainless-Steel Hasil Implant Asi Ion Nitrogen. Prosding pertemuan dan presentasi ilmiah. PPNY-BATAN. Yogyakarta 23-25 April 1996
- Sugiyanto, 2018. Peningkatan Kualitas Roda Gigi Produk UKM Tegal. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 20, No. 1, Januari 2018: 63-66

- S. Mizhar dan Suherman, 2011, *Pengaruh perbedaan kondisi tempering terhadap struktur mikro dan kekerasan dari baja AISI 4140*, Jurnal Dinamis, Vol. II No.8, ISSN 0216-7492
- Sularso, Kiyokatsu Suga. 2013. Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: Pradnya Paramita
- William D. Callister, Jr., (2007), *Materials Science And Engineering*. Edisi ke 7, Salt Lake City, Utah
- Laboratorium Material dan Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin
Universitas Wahid Hasyim Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang.
- PT. Tjokro Bersaudara Jl. Pengapon No.17, Rejomulyo, Kec. Semarang Tim., Kota Semarang, Jawa Tengah.
- PT. Itokoh Ceperindo Jalan Diponegoro, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten, Jawa Tengah.
- Laboratorium UPT Terpadu Universitas Diponegoro Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah.
- UPT LOGAM Semarang, Kawasan industri LIK kaligawe, jln industri barat raya 1 no 1, Muktiharjo Lor, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah.