



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *HARDENING*  
DAN MEDIA PENDINGIN PADA PROSES  
*HARDENING* MATERIAL AISI 4140 TERHADAP  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SEBAGAI  
SOLUSI KEGAGALAN *SHAFT PINION GEAR***

FAYKEL NICANDRO HATTU  
02511440000132

Dosen Pembimbing  
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - 141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *HARDENING*  
DAN MEDIA PENDINGIN PADA PROSES  
*HARDENING* MATERIAL AISI 4140 TERHADAP  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SEBAGAI  
SOLUSI KEGAGALAN *SHAFT PINION GEAR***

FAYKEL NICANDRO HATTU  
0251144000132

Dosen Pembimbing  
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS ON EFFECT OF HARDENING  
TEMPERATURE AND COOLING MEDIA ON  
MATERIAL AISI 4140'S HARDENING PROCESS  
ON HARDNESS AND MICROSTRUCTURE AS THE  
FAILURE SOLUTION FOR SHAFT PINION GEAR**

FAYKEL NICANDRO HATTU  
02511440000132

Advisor  
Wikan Jatimurti ST.,M.Sc  
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018

*(This page left intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR *HARDENING*  
DAN MEDIA PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING*  
MATERIAL AISI 4140 TERHADAP KEKERASAN DAN  
STRUKTUR MIKRO SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN  
*SHAFT PINION GEAR***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FAYKEL NICANDRO HATTU**

02511440000132

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Wikan. Jatimurti ST., M.Sc .....(Pembimbing 1)
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc .....(Pembimbing 2)



**Analisis Pengaruh Temperatur *Hardening* dan Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Material Baja AISI 4140 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Sebagai Solusi Kegagalan *Shaft Pinion Gear***

Nama Mahasiswa : Faykel Nicandro Hattu  
NRP : 02511440000132  
Jurusan : Teknik Material  
Dosen Pembimbing : Wikan Jatimurti ST., M.Sc.  
Co-Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.

**Abstrak**

*Cooler* merupakan salah satu mesin yang sangat berperan dalam proses pembuatan pupuk, yaitu untuk mentransfer panas keluar dari siklus proses pembuatan pupuk. *Pinion gear* adalah salah satu komponen *cooler* yang menggerakkan *rotary klin* dengan perputaran motor yang terhubung dengan *shaft*. *Shaft pinion gear* pada mesin ini mengalami kerusakan yaitu patah, setelah 3 tahun pemakaian dari 10 tahun desain pemakaian. Setelah itu dilakukan uji kekerasan dan uji komposisi. Hasil dari uji komposisi menunjukkan komposisinya sesuai dengan standar. Tetapi, hasil uji kekerasan menunjukkan nilai kekerasannya berada dibawah standar ASTM 291-03. Setelah itu, dilakukan perbandingan komposisi, dan didapatkan bahwa material *shaft pinion gear* dengan jenis AFNOR 42CD4 memiliki komposisi yang mirip dengan AISI 4140, maka material AISI 4140 dipilih untuk penelitian ini. Material AISI 4140 diberi perlakuan *hardening* dengan temperatur austenisasi 870°C dan 970°C dengan *holding time* 35 menit lalu dilakukan *quenching* dengan media pendingin air, oli dan *brine*. Setelah itu diberikan perlakuan *tempering* dengan temperatur 700°C dengan *holding time* 4 jam. Terdapat kegagalan berupa retakan pada spesimen temperatur austenisasi 870°C dan 970°C dengan media pendingin air dan *brine* saat dilakukan *quenching*. Kekerasan yang sesuai dengan standar

didapatkan oleh spesimen dengan temperatur austenisasi 870°C dengan media pendingin oli dengan nilai kekerasan 247 HV.

***Kata kunci : shaft, shaft pinion gear, hardening, tempering, hardness, media pendingin.***

**Analysis on Effect of Hardening Temperature and Cooling Media on Material AISI 4140's Hardening Process on Hardness and Microstructure as The Failure Solution for *Shaft Pinion Gear***

Name : Faykel Nicandro Hattu  
SRN : 02511440000132  
Major : Material Engineering  
Advisor : Wikan Jatimurti ST., M.Sc.  
Co-Advisor : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.

**Abstract**

Cooler is one of engine that has a very crucial contribution for fertilizer industry, to transfer the heat out of cycle. Pinion gear is one of cooler component which is moved by generator and connected to shaft. Shaft pinion gear in this engine has broken, after 3 years of usage out of 10 years of usage plan. Then, hardness test and compositional test is performed. The result from compositional test show that its composition has complied with the standard. But, hardness test result show that its hardness value is below the standard. After that, composition comparison is performed, and the result show that shaft material, AFNOR 42CD4, have a composition similiarity, and so on AISI 4140 is choosen for this research. Steel AISI 4140 given hardening treatment with austenisation temperature 870°C and 970°C with 35 minutes holding time and then cooled with 3 cooling media which is water, oil and brine. After that, tempering is given with temperature 700°C with 4 hours holding time. Failure appeared on specimens with austenisation temperature 870°C and 970°C with cooling media water and brine when quench is applied. Hardness value that conform the standard obtained by specimen with austenisation temperatur 870°C with cooling media oil with the hardness value 247 HV.

***Keyword : shaft, shaft pinion gear, hardening, tempering, hardness, cooling media.***

*(This page left intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena kasih dan karunia-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Temperatur *Hardening* dan Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Material AISI 4140 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Sebagai Solusi Kegagalan *Shaft Pinion Gear*”.**

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan saudara penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
3. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
6. Rindang Fajarin S.Si, M.Si dan Budi Agung Kurniawan S.T., M.Sc selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Bayu dan Ibu Nur Aini selaku pembimbing di PT. Petrokimia Gresik yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Rekan kerja tugas akhir, I Kadek Yunantara beserta teman-teman MT16 Teknik Material.
10. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 11 Juli 2018

Penulis,  
Faykel Nicandro Hattu

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Batasan Masalah .....	2
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
I.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1 <i>Cooler</i> .....	5
II.2 Material <i>Shaft Pinion Gear</i> .....	5
II.3 Material AISI 4140 .....	7
II.4 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	8
II.5 Perlakuan Panas .....	10
II.6 Media Pendingin .....	17
II.7 Pengujian Metalografi .....	19
II.8 Sifat Kekerasan .....	20
II.9 Penelitian Sebelumnya.....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Diagram Alir .....	25
III.2 Metode Penelitian .....	26
III.3 Material yang Digunakan .....	26
III.4 Peralatan .....	27
III.5 Tahapan Penelitian .....	30
III.6 Rancangan Penelitian .....	32
III.7 <i>Timeline</i> .....	33

<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 Analisa Data .....	35
IV.2 Pembahasan .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1 Kesimpulan .....	49
V.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xix</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxix</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Tiga Tahap Pada <i>Quenching</i> .....	15
<b>Gambar 2.3</b>	Contoh Hasil Tempering Pada Baja AISI 4130 ...	16
<b>Gambar 2.4</b>	Proses <i>Quenching – Tempering</i> Untuk Baja Karbon.....	17
<b>Gambar 2.5</b>	Struktur Mikro Hasil Transformasi .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Permukaan Patahan Pada <i>Shaft Pinion Gear</i> .....	26
<b>Gambar 3.3</b>	Spesimen Uji Material AISI 4140.....	27
<b>Gambar 3.4</b>	Mesin OES .....	27
<b>Gambar 3.5</b>	Tungku Pemanas ( <i>Furnace</i> ).....	28
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Universal Hardness Tester</i> .....	28
<b>Gambar 3.7</b>	<i>Olympus BX51 Optical Microscope</i> .....	29
<b>Gambar 3.8</b>	Mesin <i>Wire Cut</i> .....	29
<b>Gambar 3.9</b>	Proses <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i> dengan Variasi Temperatur <i>Hardening</i> dan Media Pendingin.....	30
<b>Gambar 4.1</b>	Permukaan Patahan pada <i>Shaft Pinion Gear</i> .....	36
<b>Gambar 4.2</b>	Daerah Indentasi Kekerasan pada Material <i>Shaft</i> .....	37
<b>Gambar 4.3</b>	Daerah Indentasi Uji Kekerasan AISI 4140.....	38
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Nilai Kekerasan Hasil proses <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i> AISI 4140.....	39
<b>Gambar 4.5</b>	Struktur Mikro <i>Shaft Pinion Gear</i> tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x.....	40
<b>Gambar 4.6</b>	Foto hasil metalografi dengan perbesaran 500x spesimen perlakuan <i>hardening</i> 870°C dan <i>tempering</i> .....	41
<b>Gambar 4.7</b>	Foto hasil metalografi dengan perbesaran 500x spesimen perlakuan <i>hardening</i> 970°C dan <i>tempering</i> .....	42

<b>Gambar 4.8</b> Foto <i>crack</i> dari spesimen dengan perlakuan <i>hardening</i> 870°C .....	44
<b>Gambar 4.9</b> Foto <i>crack</i> dari spesimen dengan perlakuan <i>hardening</i> 970°C .....	45

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Standar Ekuivalen Material 42CD4.....	6
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi Kimia Material AFNOR 42CD4 .....	7
<b>Tabel 2.3</b> Komposisi Kimia Material baja AISI 4140 .....	8
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan Penelitian .....	32
<b>Tabel 3.2</b> <i>Timeline</i> .....	33
<b>Tabel 4.1</b> Data operasional <i>Shaft Pinion Gear</i> pada <i>Cooler</i> di PT. Petrokimia Gresik.....	35
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengujian Komposisi Kimia Material <i>Shaft</i> <i>Pinion Gear</i> .....	36
<b>Tabel 4.3</b> Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Shaft</i> .....	37
<b>Tabel 4.4</b> Komposisi Kimia Material Pengganti Untuk <i>Shaft</i> <i>Pinion Gear</i> (AISI 4140) .....	38
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Pengujian Kekerasan pada material pengganti setelah di <i>Hardening</i> dan <i>Tempering</i> (HV).....	39

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Industri pangan di Indonesia bisa dibilang belum cukup untuk menutupi seluruh kebutuhan pangan dan gizi di Indonesia, sehingga membutuhkan bahan makanan dari luar negeri yang harus diimpor masuk ke Indonesia untuk menutupi kekurangan bahan pangan tersebut. Indonesia tentu berusaha untuk menutupi kebutuhan dalam negeri sendiri, salah satunya yaitu mendirikan pabrik pupuk yang dapat menunjang produksi pertanian di Indonesia. Salah satunya adalah PT Petrokimia Gresik. Beberapa produk yang dihasilkan antara lain pupuk NPK, Phonska, Fosfat, Urea dan pupuk organik dengan kapasitas produksi pupuk yang mencapai angka 4,44 juta ton pupuk per tahun. Selain itu, benih benih tumbuhan berkualitas dan produk bahan kimia juga diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik dengan angka produksi non pupuk mencapai 3,26 juta ton per tahun.

*Cooler* adalah salah satu alat penunjang pembuatan pupuk yang digunakan pada pabrik pupuk di PT Petrokimia Gresik. *Cooler* sendiri berfungsi mendinginkan hasil pupuk yang telah di *steam* sebelum melalui proses pelapisan. Pada mesin *cooler*, terdapat *pinion gear* yang berfungsi menghubungkan *reducer* dengan *rotary klin* dari mesin tersebut. Ada juga *shaft* yang digunakan sebagai *holder* dari *pinion gear* tersebut. Dalam operasinya, perputaran *pinion gear* tersebut membuat *shaft* penahan mengalami tekanan berulang dan menjadikannya patah dan menyebabkan *cooler* tidak bisa beroperasi. Akibat tidak bisa beroperasinya *cooler*, mesin bisa menjadi terlalu panas dan dapat mengakibatkan ledakan. Sehingga sebelum itu terjadi, proses pembuatan pupuk harus dihentikan. Berhentinya proses pembuatan



pupuk dapat mengakibatkan kerugian yang cukup besar bagi perusahaan. Maka dari itu, dilakukan uji komposisi dan uji kekerasan pada material *shaft*. Hasil uji komposisi menunjukkan komposisi sesuai dengan standar yang dipakai, yaitu AFNOR 42CD4. Tetapi, hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan *shaft* berada dibawah standar. Sehingga, dibutuhkan penambahan kekerasan yang menunjang kerja dari *shaft* tersebut sehingga dapat menahan beban dan kegagalan dapat dicegah. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka material *shaft pinion gear* diberikan perlakuan *hardening*. Setelah itu, diberikan perlakuan *tempering* agar kekerasan dan kegetasannya dapat berkurang agar memenuhi standar (Sunardi, 2016). Kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan metalografi untuk melihat apakah hasil dari perlakuan tersebut dapat membuat material *shaft* tersebut memiliki nilai kekerasan yang sesuai standar.

### **I.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *hardening* terhadap kekerasan *shaft pinion gear* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan *shaft pinion gear* ?

### **I.3 Batasan Masalah**

1. Data operasi seperti kecepatan gerak, temperatur pada shaft sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain dari shaft sudah memenuhi standar operasional.
3. Material dianggap homogen di semua sisi.
4. Pengaruh lingkungan di abaikan.
5. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat material uji dikeluarkan dari dapur pemanas.



6. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur pemanas ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *hardening* pada kekerasan *shaft pinion gear* sebagai solusi kegagalan komponen *shaft pinion gear* pada *cooler*.
2. Menganalisa pengaruh variasi media pendingin pada kekerasan *shaft pinion gear* sebagai solusi kegagalan komponen *shaft pinion gear* pada *cooler*.

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi kedua belah pihak, mahasiswa sebagai peneliti dapat memahami dan mengaplikasikan ilmu yang didapatkan khususnya ilmu material dan metalurgi. Dan juga PT Petrokimia Gresik yang menyokong berjalannya penelitian ini dapat menerapkan hasil penelitian sebagai masukan untuk hal – hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *shaft pinion gear* dapat ditangani, dan juga sebagai referensi perlakuan panas pada *shaft pinion gear*.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Cooler**

PT Petrokimia Gresik adalah salah satu produsen pupuk BUMN yang paling besar di Indonesia dengan produksi pupuk yang mencapai 4,44 juta ton per tahun. Salah satu produk pupuk PT Petrokimia Gresik adalah pupuk urea. Proses pembuatan pupuk urea meliputi 6 tahapan. Keenam tahapan itu adalah sintesa, purifikasi, kristaliser, *prilling*, *recovery*, dan kondensat *treatment*. Dari seluruh tahapan proses pembuatan pupuk urea, untuk menghasilkan butir pupuk dibutuhkan pendinginan, yang dihasilkan dari menara pendingin atau *cooler*.

*Cooler* didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Dalam kebanyakan *cooler* yang bekerja pada sistem pendinginan udara menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal keatas melintasi menara. Semua mesin pendingin yang bekerja akan melepaskan kalor melalui kondensor, refrijeran akan melepas kalornya kepada air pendingin sehingga air menjadi panas. Selanjutnya air panas ini akan dipompakan ke *cooler*. Secara garis besar, mesin *cooler* berfungsi untuk menurunkan temperatur aliran air dengan cara mentransfer panas dari air dan menyalurkannya ke atmosfer. *Cooler* mampu menurunkan temperatur air lebih rendah dibandingkan dengan peralatan yang hanya menggunakan udara untuk membuang panas. Oleh karena itu, ini dinilai lebih efisien dalam penggunaan energinya. (Dian Morfi Nasution, 2011).

#### **II.2 Material Shaft Pinion Gear**

Material yang digunakan untuk shaft pinion gear di PT. Petrokimia Gresik adalah 42CD4 dengan standar AFNOR yang berasal dari Prancis. Material ini mengalami kegagalan yang menyebabkan mesin *cooler* tidak dapat beroperasi dan



mengganggu proses produksi pupuk PT. Petrokimia Gresik. Kegagalan dapat terjadi disebabkan oleh kekerasan material ini tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh ASTM 291-03. Material ini memiliki kesamaan standar material dengan beberapa standar lain. Adapun standar lain yang setara dengan 42CD4 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Jenis Material dari berbagai Standar yang sejenis dengan 42CD4

Standar	Jenis Material
AFNOR	42CD4
EU EN	42CrMo4
USA	4140
DIN	42CrMo4
JIS	SCM440H
BS	708M40CFS11
UNI	42CrMo4
UNE	40CrMo4 F1252
GB	42CrMo
SS	2244
GOST	35 KHM 38 KHM
ISO	42CrMo4

Material 42CD4 sendiri memiliki komposisi kimia sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2.



**Tabel 2.2** Komposisi Kimia Material 42CD4

Komposisi	Kadar (%)
C	0.38-0.43
Mn	0.60-0.90
Si	0.40 max
Cr	0.90-1.20
Mo	0.15-0.30
P	≤0.04
S	≤0.04
Fe	Balance

Material dengan standar AFNOR sangat sukar untuk dicari karena pada umumnya standar yang dipakai di Indonesia adalah AISI, JIS dan juga DIN. Maka dari itu sebagai pembanding, penelitian ini dilakukan dengan material pengganti dengan standar AISI yaitu AISI 4140.

Standar untuk mengaplikasikan material dengan komposisi seperti AFNOR 42CD4 ada pada ASTM 291-03, yaitu memiliki nilai *tensile strength* minimal 725 MPa, *yield strength* minimal 550 MPa dan memiliki kekerasan 227 HV hingga 262 HV.

### II.3 Material AISI 4140

Material AISI 4140 berdasarkan komposisi kimia tergolong dalam jenis baja *chromium-molybdenum steel*. Kekuatan tarik AISI 4140 bisa mencapai 1650 MPa ( 240 ksi ) melalui perlakuan panas *quench* dan *temper* konvensional. Baja ini juga dapat digunakan pada temperatur hingga 480°C (900°F), tetapi kekuatannya menurun dengan cepat dengan semakin meningkatnya temperatur. Material AISI 4140 dapat tersedia dalam bentuk bar, batang, tempa, lembaran, plat, strip, dan coran. Aplikasi baja dengan material AISI 4140 digunakan untuk banyak mesin kekuatan tinggi seperti: *connecting rods*, poros engkol, as



roda, batang piston, *collet*, kunci pas, dan *sprocket* (Ery Hidayat dkk, 2014).

Komposisi kimia material AISI 4140 ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

**Tabel 2.3** Komposisi Material AISI 4140

Komposisi	Kadar
C	0.38–0.43
Mn	0.75–1.00
Si	0.20–0.35
Cr	0.80–1.10
Mo	0.15–0.25
P	≤ 0.04
S	≤ 0.04
Fe	<i>Balance</i>

#### II.4 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

Baja dan besi tuang yang banyak digunakan pada dasarnya adalah paduan besi dengan karbon. Karbon didalam paduan ini dapat berupa karbon bebas (grafit) atau berupa senyawa interstitial (sementit, Fe<sub>3</sub>C). Besi mempunyai 3 macam bentuk allotropi, yaitu besi alfa ( $\alpha$ ) dari temperatur kamar hingga sekitar 910°C, lalu ada besi gamma ( $\gamma$ ) dari temperatur sekitar 910°C hingga 1400°C, dan juga besi delta ( $\delta$ ) dari temperatur 1400°C sampai mencair di temperatur sekitar 1535°C.

Diagram keseimbangan besi-karbon ini cukup kompleks. Namun, hanya sebagian saja yang dipakai di dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstitialnya, karbida besi Fe<sub>3</sub>C yang terdapat 6,67%C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C.

Karbida besi, dapat dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Karena, pada keadaan ekuilibrium, karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi – grafit. Pada temperatur kamar, karbida besi

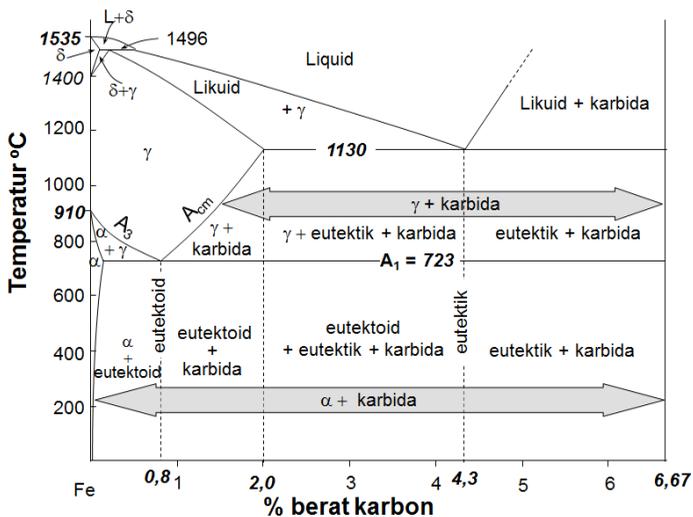


akan terjadi, tetapi akan memakan waktu yang sangat lama. Sebagai perbandingan, pada temperatur 700°C, Perubahan ini akan memakan waktu bertahun-tahun (Avner Sidney, 1974).

Pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C, terdapat 3 reaksi yang berlangsung secara isothermal, yaitu :

- Pada temperatur 723°C, kadar karbon antara 0,025% - 6,67%, berlangsung reaksi eutektoid, yaitu perubahan dari  $\gamma$  menjadi  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  (proses penurunan temperatur).
- Pada temperatur 1130°C, kadar karbon antara 2,0% - 6.67%, berlangsung reaksi eutektik, yaitu perubahan dari L menjadi  $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$  (proses penurunan temperatur).
- Pada temperatur 1496°C, kadar karbon antara 0,1% - 0,5% berlangsung reaksi peritektik, yaitu perubahan dari L +  $\delta$  menjadi  $\gamma$  (proses penurunan temperatur). Pada dunia teknik, daerah ini sangat jarang terjadi karena baja dengan paduan karbon ini sangat jarang digunakan.

Reaksi – reaksi isothermal diatas dapat diamati pada Gambar 2.1 dibawah ini, yang ditandai dengan garis mendatar.



Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (Avner, 1986)



---

## II.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *heat-treatment* dapat di definisikan sebagai suatu kombinasi proses pemanasan dan pendinginan logam/paduannya dalam keadaan padat secara terkontrol. Tujuannya adalah mempersiapkan material logam sebagai produk setengah jadi agar layak diproses lanjut untuk meningkatkan umur pakai material logam sebagai produk jadi. Pertimbangan lain, dengan biaya perlakuan panas yang relatif rendah, umur pemakaian komponen akan lebih lama. Secara umum, proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

- Memanaskan logam / paduannya sampai temperatur tertentu dengan kecepatan tertentu (*heating temperature*).
- Mempertahankan pada temperatur pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*).
- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu.

Ketiga kondisi proses diatas tergantung dari sifat yang ingin dicapai. Selama pemanasan dan pendinginan diharapkan didalam logam terjadi perubahan struktur mikro yang pada akhirnya akan diperoleh sifat baru yang kita inginkan. Perlu kita ketahui bahwa struktur mikro yang terjadi pada akhir proses perlakuan panas dipengaruhi oleh:

- Komposisi unsur dalam material dan *hardenability*.
- Proses perlakuan panas yang dilakukan pada bahan.
- Struktur/ kondisi awal material.

Dalam prakteknya terdapat banyak macam proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap berbagai jenis logam/paduannya. Secara garis besar macam proses perlakuan panas dapat dikelompokan menjadi dua yaitu:

- Perlakuan panas yang menghasilkan struktur mikro yang ekuilibrium seperti: *annealing*, *normalizing* dan *tempering*.
- Perlakuan panas yang menghasilkan struktur yang non ekuilibrium seperti *hardening*.



### II.5.1 Hardening

*Hardening* pada logam, biasanya dilakukan untuk mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi atau kekuatan yang lebih baik. Pengerasan merupakan salah satu proses perlakuan panas, dimana baja dipanaskan pada temperatur tertentu diatas temperatur kritis (A3) dan kemudian ditahan hingga beberapa waktu lalu didinginkan. Proses pendinginannya pun berbagai macam, antara lain dibiarkan di udara bebas, dicelupkan ke dalam air, oli, atau air garam, dll bergantung pada tipe baja tersebut. Temperatur pemanasannya, waktu tahannya, dan juga laju pendinginan untk proses ini ada bermacam macam, tergantung pada komposisi kimia dari baja itu.

Baja yang dipanaskan lalu didinginkan dengan sangat cepat akan menjadi sangat rapuh dan memiliki tegangan yang sangat tinggi, sehingga tidak dapat digunakan untuk pemakaian yang praktis. Maka, agar baja bisa digunakan maka dilakukan proses *tempering*, dengan tujuan untuk mengurangi sifat rapuh, mengurangi tegangan dalam yang terjadi saat proses *hardening*. (Sumiyanto, 2014).

Pada proses *hardening*, proses pemanasan dilakukan hingga material mencapai fasa austenit. Untuk mencapai fasa austenit, temperatur yang harus dicapai bergantung pada kadar karbon dari material tersebut. Tujuannya adalah menjadi acuan saat ingin melakukan proses *hardening*. Berikut adalah rumus perhitungan interpolasi untuk mencari temperatur pada proses *hardening*.

$$\frac{Y - Y1}{Y2 - Y1} = \frac{X - X1}{X2 - X1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

1. Y = Temperatur yang ingin dicapai
2. Y1 = Temperatur yang harus dicapai pada karbon 0%
3. Y2 = Temperatur yang harus dicapai pada karbon 0,8 %
4. X = Kadar karbon material



5. X1 = Kadar karbon 0 %
6. X2 = Kadar karbon 0,8 %

Pada pengujian sesungguhnya, lebih baik temperatur yang telah didapatkan dari perhitungan diatas ditambahkan 30°C-50°C untuk menghindari *error* akibat perhitungan yang kurang akurat atau *heat loss* dari dapur pemanas.

Pada material yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu baja AISI 4140, dengan kadar karbon  $\pm 0,4\%$  memiliki perhitungan sebagai berikut.

$$Y - Y_1 = \left( \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) (Y_2 - Y_1)$$

$$Y - 910 = \left( \frac{0,4 - 0}{0,8 - 0} \right) (723 - 910)$$

$$Y - 910 = \left( \frac{1}{2} \right) (-187)$$

$$Y = -93,5 + 910$$

$$Y = 816,5$$

Jadi, temperatur yang didapatkan adalah 816,5°C dibulatkan menjadi 820°C. Setelah ditambah dengan 50°C maka temperatur yang diujikan adalah 870°C. Selain itu, ditambahkan variasi juga dengan pengujian pada temperatur 970°C.

### II.5.2 *Quenching*

Pengerasan biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi. Pengerasan dilakukan dengan melakukan pemanasan dari baja hingga temperatur austenitisasi lalu mendinginkannya dengan cepat. Dengan pendinginan yang cepat



akan terbentuk fasa martensit dimana kristal yang bertransformasi dari FCC menjadi BCT.

Kekerasan maksimum yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja. Kekerasan yang terjadi pada suatu benda akan tergantung pada temperatur pemanasan dan waktu tahan dimana hal ini berpengaruh pada struktur pada saat pemanasan proses perlakuan panas ini.

Adapun untuk mendapatkan struktur martensit diperlukan media pendingin agar didapatkan laju pendinginan kritis dari baja. Ada sejumlah media yang bisa digunakan antara lain air, larutan garam, minyak, campuran air dan minyak serta garam cair. (Sidney Avner, 1974)

Kekerasan maksimum pada baja karbon dapat dicapai dengan pemanasan sampai fasa austenit kemudian dicelup (*quench*) pada laju pendinginan di atas nilai kritisnya sehingga terbentuk martensit yang keras, akan tetapi proses *quenching* dapat menyebabkan terjadinya tegangan sisa karena beda temperatur antara bagian luar (permukaan) dan dalam dari benda kerja. Media celup yang dipakai dapat berupa air atau minyak.

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam atau paduan sehingga 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, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Untuk menghindari terjadinya presipitasi yang cukup besar selama proses pendinginan maka perlu dipenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Waktu yang diperlukan untuk memindahkan komponen dari tungku (*furnace*) ke media pendingin harus cukup singkat.
- Volume, kapasitas penyerapan panas dan laju aliran media pendingin dipilih sedemikian hingga tidak terjadi presipitasi selama pendinginan.



Jika suatu benda kerja di *quench* ke dalam medium *quenching*, lapisan cairan disekeliling benda kerja akan segera terpanasi sehingga mencapai titik didihnya dan berubah menjadi uap. Berikut adalah 3 tahap pendinginan:

#### 1. Tahap A

Pada tahap ini benda kerja akan segera dikelilingi oleh lapisan uap yang terbentuk dari cairan pendingin yang menyentuh permukaan benda. Uap yang terbentuk menghalangi cairan pendingin menyentuh permukaan benda kerja. Sebelum terbentuk lapisan uap, permukaan benda kerja mengalami pendinginan yang sangat intensif. Dengan adanya lapisan uap, akan menurunkan laju pendinginan karena lapisan terbentuk dan akan berfungsi sebagai isolator.

Pendinginan dalam hal ini terjadi efek radiasi melalui lapisan uap akan hilang oleh cairan pendingin yang mengelilinginya. Kecepatan menghilangkan lapisan uap makin besar jika viskositas cairan makin rendah. Jika benda kerja didinginkan lebih lanjut, panas yang dikeluarkan oleh benda kerja tidak cukup untuk tetap menghasilkan lapisan uap, dengan demikian tahap B dimulai.

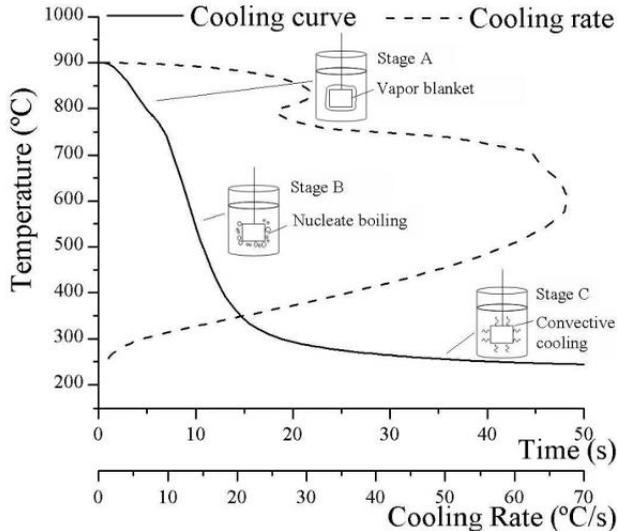
#### 2. Tahap B

Pada tahap ini cairan pendingin dapat menyentuh permukaan benda kerja sehingga terbentuk gelembung – gelembung udara dan menyingkirkan lapisan uap sehingga laju pendinginan menjadi bertambah besar.

#### 3. Tahap C

Tahap C dimulai jika pendidihan cairan pendingin sudah berlalu sehingga cairan pendingin tersebut pada tahap ini sudah mulai bersentuhan dengan seluruh permukaan benda kerja. Pada tahap ini pula pendinginan berlangsung secara konveksi karena itu laju pendinginan menjadi rendah pada saat temperatur benda kerja turun. Untuk mencapai struktur martensit yang keras dari baja karbon dan baja paduan, harus diciptakan kondisi sedemikian sehingga kecepatan pendinginan yang terjadi melampaui

kecepatan pendinginan kritis dari benda kerja yang di *quench*, sehingga transformasi ke *pearlite* atau bainit dapat dicegah.



**Gambar 2.2** Tiga Tahap Pada *Quenching* (Sarmiento, 2009)

### II.5.3 *Tempering*

*Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah temperatur 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 hingga memenuhi syarat atau standar penggunaan material tersebut. Disaat kekerasan menurun, kekuatan tarik akan menurun, sedangkan keuletan dan ketangguhan akan meningkat (Sunardi dkk, 2016). Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, pada proses ini sifat-sifat fisis dikendalikan.

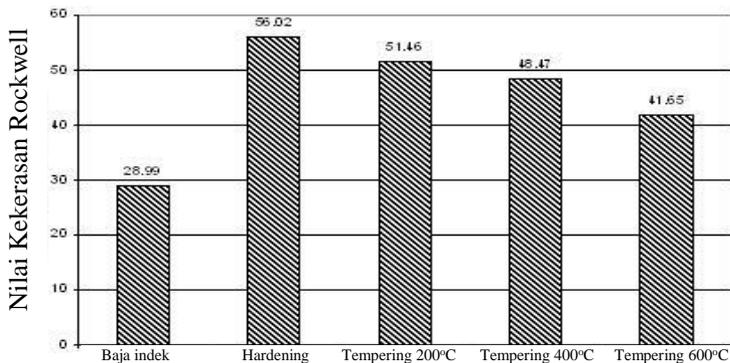
Proses pemanasan berkisar pada temperatur 150°C – 650°C dan diinginkan secara perlahan-lahan tergantung sifat akhir yang diinginkan (Ahmad Multazam, 2017). Berdasarkan tujuan yang



dinginkan, *tempering* dibagi menjadi tiga daerah temperatur pemanasan yaitu:

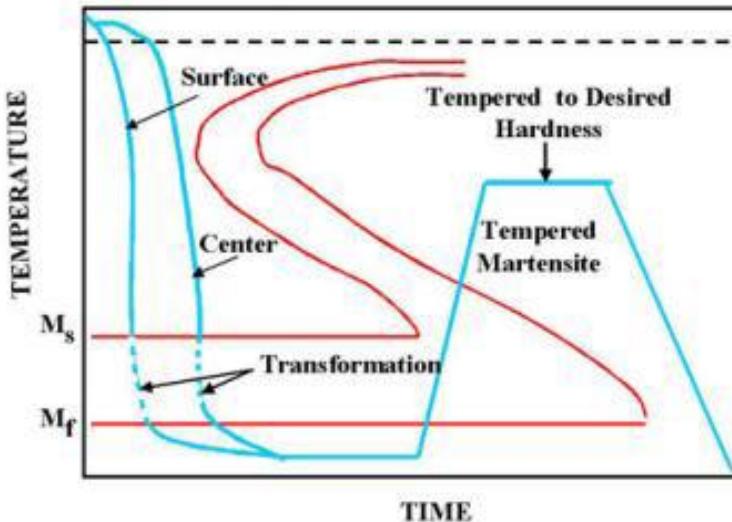
- *Tempering* pada temperatur rendah (150 – 300) °C.  
Tujuannya: Hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan. *Tempering* pada temperatur ini digunakan untuk bahan yang tak mengalami beban yang berat seperti alat potong dan mata bor yang dipakai untuk kaca dan lain-lain.
- *Tempering* pada Temperatur Menengah (300 –500) °C.  
Tujuan: Meningkatkan keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. *Tempering* pada temperatur ini dilakukan pada alat-alat kerja yang mengalami beban yang berat.
- *Tempering* pada Temperatur tinggi (500-650) °C.  
Tujuan: Untuk memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus mengurangi kekerasan. Proses ini digunakan pada roda gigi, poros, batang penggerak dan lain-lain.

Sebagai contoh diperlihatkan pada Gambar 2.3 dibawah ini merupakan hasil *tempering* AISI 4130.



**Gambar 2.3** Contoh Hasil *Tempering* pada Baja AISI 4130  
(Beta Hartanto, 2015)

Proses *tempering* dilakukan dengan cara memanaskan baja yang telah dicelup (struktur martensit) di bawah temperatur *eutectoid* sehingga menjadi lunak dan ulet. Proses *quenching-tempering* seperti pada Gambar 2.4 di bawah.



**Gambar 2.4** Proses *Quenching* dan *Tempering* untuk baja Karbon (Emdadul Hoque, 2015)

## II.6 Media Pendingin

Proses *quenching* adalah perlakuan pendinginan secara cepat dengan menggunakan media pendingin. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen berbeda-beda. Ini disebabkan oleh temperatur, kadar larutan, kekentalan dan bahan dasar media tersebut. Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam tersebut. Karbon yang dihasilkan dari pendinginan cepat lebih banyak dari pendinginan lambat. Hal ini disebabkan atom karbon tidak sempat berdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur yang ruang atomnya kecil sehingga kekerasannya meningkat (Ferdiaz Dinov, 2012).



---

### II.6.1 Brine

Air garam sering digunakan pada proses *quenching*, terutama untuk alat yang terbuat dari baja. Keuntungan menggunakan media air garam adalah suhunya merata sehingga tidak ada bahaya oksidasi, karburisasi atau dekarburisasi selama proses pendinginan (Ach. Nurfanani, 2013).

### II.6.2 Air

Air adalah media yang paling banyak digunakan untuk *quenching* karena biayanya yang murah, dan mudah digunakan serta pendinginan yang cepat. Air memberikan pendinginan yang sangat cepat, sehingga dapat menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retakan pada material yg di uji (Ach. Nurfanani, 2013).

Air mempunyai *cooling capacity* yang tinggi sekali (terjadi pada temperatur 300°C), padahal laju pendinginan tertinggi diperlukan pada saat melewati hidung kurva transformasi, yaitu sekitar temperatur 550°C (Beta Hartanto, 2015).

### II.6.3 Oli

Media pendingin ini memiliki *cooling capacity* pada temperatur sekitar 600°C. Ada bermacam jenis minyak yang bisa digunakan untuk pendingin, yang biasa digunakan adalah minyak murah dengan kekentalan rendah (Beta Hartono, 2015).

Oli sebagai media pendingin lebih lambat dan lebih lunak jika dibandingkan dengan air. Biasanya digunakan pada material yang kritis antara lain mempunyai bagian tipis atau ujung yang tajam. Karena media ini lebih lunak, maka kecil kemungkinan untuk terjadi tegangan dalam, distorsi maupun retakan. Oleh karena itu, material yang dihasilkan lebih lunak dari media air. Penggunaan media ini akan efektif jika dipanaskan pada suhu 30°C-60°C (Ach. Nurfanani, 2013). Hal yang perlu diperhatikan dari proses pendinginan adalah:

- Geometri benda kerja
- Metode dan media pendinginan
- Jumlah benda uji
- Mikrostruktur baja sesudah di *quench*



Terdapat sisa austenit yang tidak bertransformasi pada kondisi setelah *quench*. Sisa austenit terjadi akibat kandungan karbon yang tinggi, dan hadirnya elemen penstabil austenit pada baja paduan. Penghilangan sisa austenit dilakukan dengan *tempering*. Material setelah mengalami *quench* akan memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi, namun hal ini tidak dipakai karena membahayakan. Untuk itu, perlu dilakukan *tempering* sehingga memiliki sifat mekanik yang baik (Ahmad Multazam, 2017).

## II.7 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi atau mikrostruktur bertujuan untuk mengetahui fasa, bentuk, dan ukuran dari struktur mikro pada material. Selain itu juga untuk memprediksi mikrostruktur yang akan terbentuk setelah adanya proses *hardening*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E3 dengan tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Tahap Persiapan

- *Cutting*: Mereduksi ukuran spesimen yang akan diuji menggunakan gergaji mesin/manual.
- *Mounting*: Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan spesimen saat melakukan proses *grinding*.
- *Grinding*: Menggosok spesimen dengan amplas silikon karbida (SiC) yang dimulai dari *grade* 80 hingga *grade* 2000. Sehingga akan diperoleh permukaan yang halus.
- *Polishing*: Memoles spesimen menggunakan pasta alumina dengan tujuan untuk memastikan tidak ada goresan pada permukaan yang akan diujikan.
- *Etching*: Mencelupkan permukaan spesimen uji kedalam larutan etsa. Larutan etsa yang digunakan tergantung dari material yang akan diujikan.

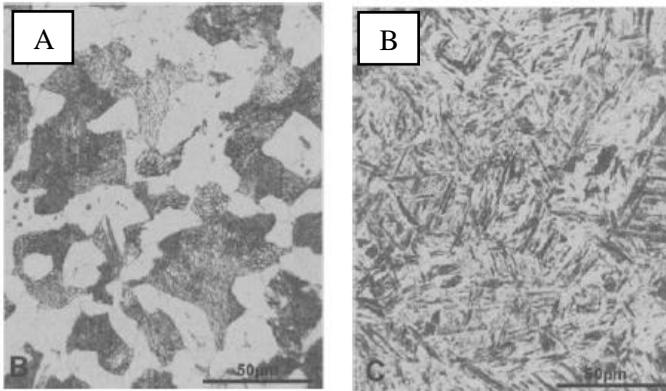
### 2. Tahap Pengamatan

Tahap ini dilakukan untuk mengamati struktur mikro yang terdapat dalam material yang diujikan menggunakan



mikroskop optik. Pengamatan ini dilakukan dengan beberapa kali perbesaran.

Pada Gambar 2.5 dibawah, menunjukkan beberapa contoh struktur mikro hasil pengujian metalografi.



**Gambar 2.5** Struktur mikro hasil transformasi (A) *Ferrite-Pearlite* (B) *Plate Martensite* (Charre, 2004)

Pada Gambar 2.5 menunjukkan struktur mikro hasil transformasi (A) *Ferrite-Pearlite* (B) *Plate Martensite*. Gambar 2.5 (A) menunjukkan struktur *ferrite-pearlite* dimana *ferrite* ditunjukkan dengan bagian terang, sedangkan bagian gelap menunjukkan *pearlite* yang berbentuk *lamelar* yang tersusun dari *cementite* dan *ferrite*. Gambar 2.5 (B) merupakan struktur *plate martensite* yang pada umumnya terdapat pada *medium carbon steel*.

## II.8 Sifat Kekerasan

Kekerasan logam didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi (Smallman, 2000). Selain itu juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), dan penetrasi. Sifat ini berkaitan erat



dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

Untuk melakukan pengujian suatu kekerasan dari material dikenal ada tiga jenis metode penekanan untuk pengujian kekerasan, yaitu: Rockwell, Brinnel, dan Vickers yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasan baja. Uji kekerasan dilakukan dengan menekankan identer ke permukaan logam yang diukur kekerasannya. Identer biasanya terbuat dari material yang lebih keras dari pada benda uji, contohnya *hardened steel*, *tungsten carbide* atau intan. Biasanya identer berbentuk bola, piramid, atau kerucut. Uji kekerasan standar dilakukan dengan menekankan identer dengan hati-hati ke permukaan benda uji secara tegak lurus. Setelah proses pengidentasian, identer ditarik dari benda uji dan nilai kekerasan akan terhitung atau terbaca dari skala, berdasarkan kedalaman bekas penekanan dan diameter lekukan.

- Metode Vickers

Uji *vickers* ini didasarkan kepada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah *indenter* berupa *pyramid diamond* terbalik yang memiliki sudut puncak 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), maka diagonal segi empat bekas teratas diukur secara teliti untuk kemudian digunakan sebagai kekerasan logam yang diuji. Nilai kekerasan yang diperoleh sedemikian itu disebut kekerasan *vickers* yang biasa disingkat dengan Hv atau HVN (*Vicker Hardness Number*). Untuk memperoleh nilai kekerasan *vickers* maka hasil penekanan yang diperoleh dimasukkan kedalam rumus:

$$HV = \frac{1,8554 \times P}{d_1 \times d_2} \dots\dots\dots (2.2)$$



Keterangan :

1. P = beban (gr)
2. d = diagonal (m)

## II.9 Penelitian Sebelumnya

### II.9.1 Pengaruh Proses *Hardening* dan *Tempering* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Sedang Jenis SNCM 447

Pada penelitian oleh Sumiyanto dan Abdunnaser ini, proses yang dilakukan adalah pemanasan awal dengan temperatur 500°C, lalu dilanjutkan *hardening* dengan temperatur 900°C dengan *holding time* 120 menit. Setelah itu, dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin oil dan air. Proses setelah itu adalah di *tempering* dengan variasi temperatur 300°C, 400°C dan 500°C dengan waktu tahan masing – masing 60 menit. Selanjutnya, dilakukan uji kekerasan dan uji struktur mikro.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah semakin tinggi temperatur *tempering*, maka semakin lunak material tersebut karena struktur martemper lunak dan tangguh terdapat pada temperatur temper yang tinggi. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan dari spesimen dengan temperatur *hardening* 900°C dengan media pendingin air, yaitu sebesar 658 HV. Struktur mikro pada pendinginan dengan media pendingin air lebih kasar dibandingkan dengan spesimen dengan media pendingin oli. Strukturnya hampir sama, hanya pada spesimen dengan media pendingin air terdapat lebih banyak struktur austenit sisa yang belum sempat berubah menjadi martensit.

### II.9.2 Pengaruh *Quenching* dan *Tempering* Terhadap Kekerasan dan kekuatan tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit

Penelitian oleh Arief Murtiono adalah melakukan *hardening* pada temperatur 830°C dengan waktu tahan 45 menit kemudian didinginkan dengan media pendingin udara bebas dan air es. Kemudian dilakukan proses *tempering* dengan temperatur



---

550°C, 600°C , dan 650°C dengan waktu tahan 60 menit dan 120 menit. Lalu dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro.

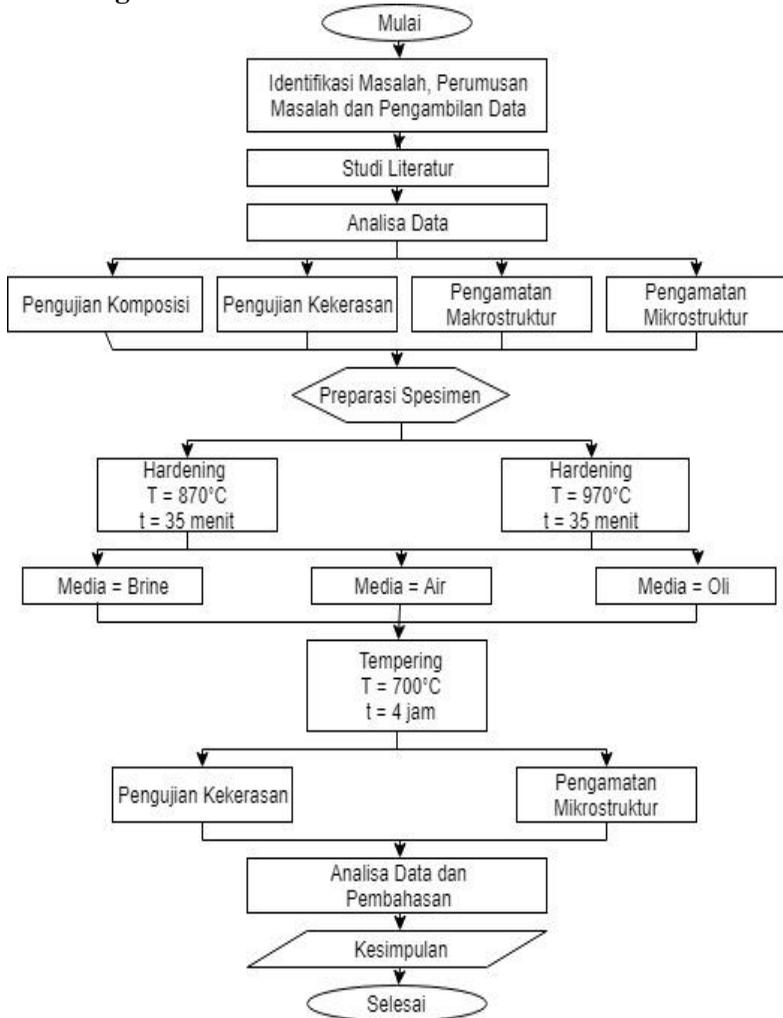
Kesimpulan dari penelitian pada jurnal ini adalah semakin meningkat temperatur temper maka semakin turun nilai kekerasan material. Selain itu, diameter butiran pada material mengalami pembesaran. Hubungan antara ukuran butiran dan kekerasan adalah semakin kecil ukuran butiran maka semakin besar nilai kekerasan material tersebut.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### III.2 Metode Penelitian

1. Studi Lapangan

Metode ini berupa pengambilan data dan pencarian informasi material di pabrik PT Petrokimia Gresik dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT Petrokimia Gresik serta berdiskusi dengan dosen pembimbing maupun PT. Petrokimia Gresik yang ahli di bidangnya.

2. Studi Literatur

Metode yang dilakukan dalam studi literatur ini adalah pengambilan data dan pengambilan referensi dari jurnal-jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan penelitian ini.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung yang sesuai dengan permasalahan dan tujuan yang ingin dicapai. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: pengamatan makro dengan menggunakan kamera, pengamatan mikro dengan mikroskopik optik, uji komposisi dengan menggunakan OES dan uji kekerasan pada material.

4. Penelitian

Metode ini dilakukan dengan meneliti perlakuan – perlakuan yang dapat diterapkan pada material sebagai solusi kegagalan. Metode ini meliputi eksperimen, studi literatur, dan pengujian material – material yang telah diberikan perlakuan.

### III.3 Material yang Digunakan

1. Material *shaft pinion gear*

Material *shaft* yang mengalami kegagalan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Permukaan patahan pada *shaft pinion gear*



2. Spesimen AISI 4140  
Spesimen yang digunakan memiliki diameter 2,5 cm dengan tebal 2 cm, seperti pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Spesimen uji material AISI 4140

### III.4 Peralatan

1. Kamera  
Digunakan untuk pengambilan data material secara makro.
2. *Optical Emission Spectroscopy* (OES)  
Alat yang digunakan untuk pengambilan data komposisi material yang digunakan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Mesin OES



3. Tungku Pemanas (*Furnace*)

Alat yang digunakan untuk memanaskan material pada proses *hardening* dan *tempering*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Tungku Pemanas (*Furnace*)

4. Amplas grade 80-2000

Digunakan untuk preparasi spesimen untuk pengujian metalografi.

5. Pengujian Kekerasan

Alat yang digunakan untuk mengetahui kekerasan material uji, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** *Universal Hardness Tester*



6. Mikroskop Optik

Alat yang digunakan untuk mendapatkan data struktur dan fasa material secara mikro, ditunjukkan pada Gambar 3.7



**Gambar 3.7** *Olympus BX51 Optical Microscope*

7. Mesin Wire Cut

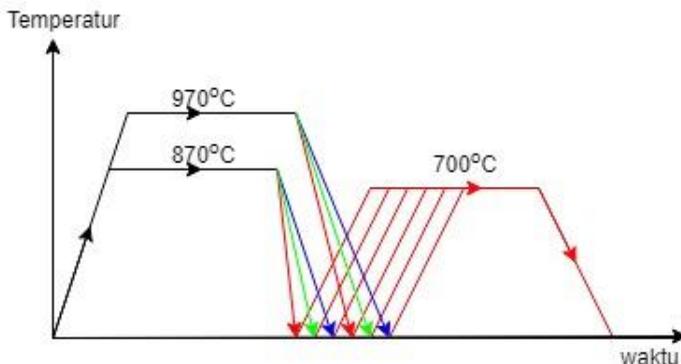
Alat yang digunakan untuk memotong spesimen uji, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** *Mesin Wire Cut*

### III.5 Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan Data Lapangan  
Review dokumen dari perusahaan untuk mendukung kebutuhan penelitian ini. Data data yang diambil yaitu desain material, data operasional material.
2. Preparasi Spesimen  
Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan *shaft pinion gear* pada PT Petrokimia Gresik. Persiapan ini berupa proses *cutting*, *grinding*, *polishing* dan *etching*.
3. Uji Komposisi  
Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan dan spesimen yang digunakan dalam penelitian.
4. Perlakuan Panas  
Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah proses *hardening* dengan temperatur 870°C dan 970°C dengan waktu tahan 35 menit. Setelah melakukan pemanasan, spesimen telah didinginkan dengan media pendingin yang berbeda yaitu oli, air garam dan air. Lalu spesimen di *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam.



**Gambar 3.9** Proses *Hardening* dan *Tempering* dengan Variasi Temperatur *Hardening* dan Media Pendingin



#### 5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers. Indentor yang digunakan adalah piramid intan, dengan titik indentasi sebanyak 3 titik. Beban yang digunakan adalah 100 kgf.

#### 6. Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan digital. Adapun perlakuan terhadap sampel material adalah dengan melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.

#### 7. Pengamatan Mikroskopik

Pengamatan mikro dilakukan dengan tujuan mengetahui struktur mikro pada spesimen yang telah menerima perlakuan. Pengamatan mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik.



### III.6 Rancangan Penelitian

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

Material	Temperatur Hardening	Media Pendingin	Tempering (700°C)	Uji Kekerasan	Uji Mikro Struktur	Uji Komposisi
<i>Failure Shaft Pinion Gear</i>	-	-	-	V	V	V
Baja AISI 4140	870°C	Air	V	V	V	V
		Oli	V	V	V	
		<i>Brine</i>	V	V	V	
	970°C	Air	V	V	V	
		Oli	V	V	V	
		<i>Brine</i>	V	V	V	



### III.7 Timeline (Waktu Pengerjaan)

Tabel 3.2 Timeline

No.	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Identifikasi Masalah	■	■	■	■	■											
2.	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■										
3.	Pengumpulan Data	■	■	■	■	■	■	■	■								
4.	Preparasi Spesimen							■	■	■							
5.	Heat Treatment							■	■	■							
6.	Pengujian Hasil Heat Treatment										■	■	■				
7.	Analisa Hasil dan Penarikan Kesimpulan														■	■	■
8.	Penyusunan Laporan Tugas Akhir	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Data Material *Shaft Pinion Gear* (AFNOR 42CD4)

Pada pabrik II di PT Petrokimia Gresik, ditemukan *failure* pada komponen dari mesin *Cooler* yaitu *Shaft Pinion Gear*. *Shaft Pinion Gear* berperan menghubungkan *reducer* dengan *pinion gear*. Material mengalami kegagalan yaitu patah setelah pemakaian selama 3 tahun dari 10 tahun desain pemakaian. Material yang digunakan menggunakan standar AFNOR dengan jenis material 42CD4 tanpa perlakuan.

Setelah diuji kekerasan, berdasarkan standar ASTM 291-03 kekerasan yang dimiliki oleh komponen ini berada dibawah standar dengan nilai 155 HV. Standar untuk aplikasi *shaft* pada standar ini adalah 227 HV sampai 262 HV. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat menaikkan kekerasan material tersebut agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Pada Tabel 4.1 berikut ini data operasi dari *Shaft Pinion Gear* Pada *Cooler* di Pabrik II PT. Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.1** Data Operasi *Shaft Pinion Gear* pada *Cooler* di PT. Petrokimia Gresik

<b>Daya Motor</b>	90000 W
<b>Putaran</b>	23,5 rpm
<b>Running Time</b>	24 jam/hari

#### 4.1.2 Pengamatan Makro Pada *Shaft Pinion Gear*

Berdasarkan hasil pengamatan visual menggunakan bantuan kamera, terlihat bahwa *Shaft Pinion Gear* mengalami patah seperti pada Gambar 4.1. Hal itu terjadi karena kekerasan material yang berada dibawah standar ASTM 291-03.

Pada komponen *shaft pinion gear* ini terdapat satu buah *pinion gear* dengan 2 *bearing* di masing - masing ujung *shaft*. *Shaft*



ini menghubungkan *reducer* yang digerakkan oleh motor dengan *rotary kiln* sebagai pendingin. Patahan terjadi pada sisi ujung yang berjauhan dengan *reducer* pada *bearing* sisi dalam.



**Gambar 4.1** Permukaan patahan pada *shaft pinion gear*

#### 4.1.3 Hasil Pengujian Komposisi Pada *Shaft Pinion Gear*

Uji Komposisi kimia menggunakan *OES (Optical Emission Spectroscopy)* pada komponen *Shaft Pinion Gear*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada material dan menentukan material pengganti yang akan digunakan. Hasil pengujian komposisi *shaft* dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2** Komposisi kimia material *Shaft Pinion Gear*

Unsur	C%	Cr%	Mo%	Si%	Mn%
<b>Shaft Pinion Gear</b>	0.410	1.05	0.243	0.321	0.817

#### 4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan komponen *Shaft Pinion Gear*

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan pada material yang mengalami kegagalan. Pengujian ini dilakukan di 3 titik indentasi pada material. Indentasi dilakukan dengan beban sebesar 100 kgf. Daerah indentasi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Daerah indentasi kekerasan material *shaft*

**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian Kekerasan *Shaft* (HV)

Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
152	160	153	155

Dari data yang didapatkan, kekerasan tersebut tidak sesuai standar ASTM 291-03 yang menyatakan bahwa kekerasan minimal untuk material *shaft* dengan komposisi tersebut adalah 227 HV.

#### 4.1.5 Data Material Pengganti (AISI 4140)

Penggunaan material pengganti bertujuan untuk melakukan penelitian karena terbatasnya material yang ada dari PT Petrokimia Gresik. Material yang dapat digunakan tidak memenuhi kebutuhan dalam menjalankan penelitian ini.

Berdasarkan komposisi kimianya, maka material AISI 4140 dinilai paling sesuai sebagai material pengganti karena komposisinya yang relatif sama. Berikut adalah komposisi kimia dari AISI 4140.



**Tabel 4.4** Komposisi kimia material Pengganti Untuk *Shaft Pinion Gear* (AISI 4140)

Unsur	C%	Cr%	Mo%	Si%	Mn%
<b>AISI 4140</b>	0.43	0.96	0.17	0.3	0.74

Kekerasan awal dari material pengganti ini adalah 341 BHN atau 351 HV. Seluruh data material pengganti didapatkan dari sertifikat.

#### 4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan Setelah *Hardening* dan *Tempering*

Pengujian kekerasan pada spesimen baja AISI 4140 dilakukan pada setiap spesimen dengan variasi temperatur *hardening* 870°C dan 970°C dan variasi media pendingin air, oli dan *brine* serta perlakuan panas *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam dengan titik indentasi sebanyak 3 titik. Indentasi dilakukan dengan beban sebesar 100 kgf. Berikut ini adalah hasil pengujian kekerasan yang telah didapatkan pada setiap spesimen.

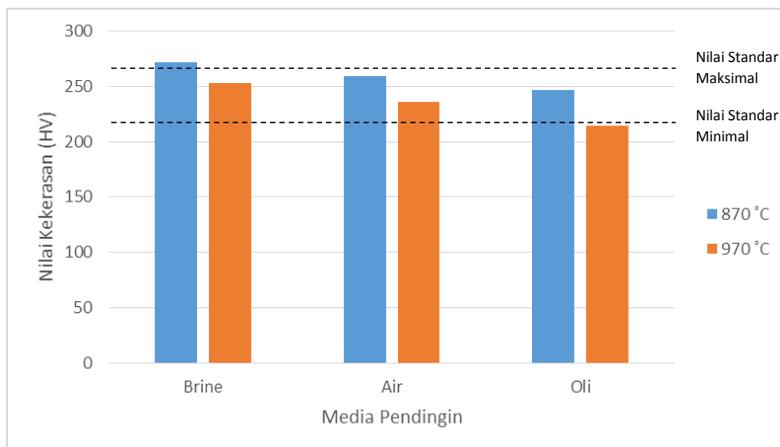


**Gambar 4.3** Daerah indentasi uji kekerasan AISI 4140



**Tabel 4.5** Hasil Pengujian Kekerasan pada material pengganti setelah di *Hardening* dan *Tempering* (HV)

Temperatur	Media Pendingin	Nilai Tiap Titik			Rata Rata
870°C	Brine	277	272	268	272
	Air	261	256	259	259
	Oli	251	242	249	247
970°C	Brine	250	260	249	253
	Air	238	233	236	236
	Oli	214	214	213	214



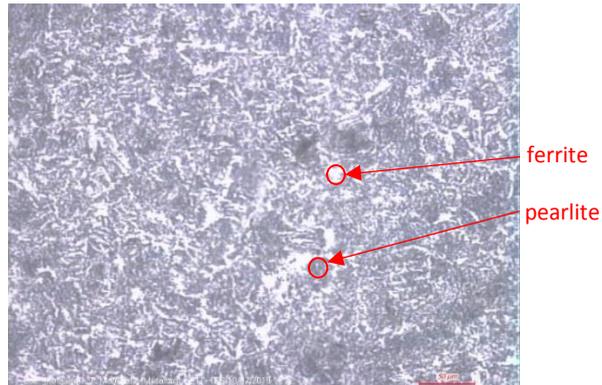
**Gambar 4.4** Grafik nilai kekerasan hasil proses *hardening* dan *tempering* AISI 4140

#### 4.1.7 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur material awal dan struktur material pengganti setelah



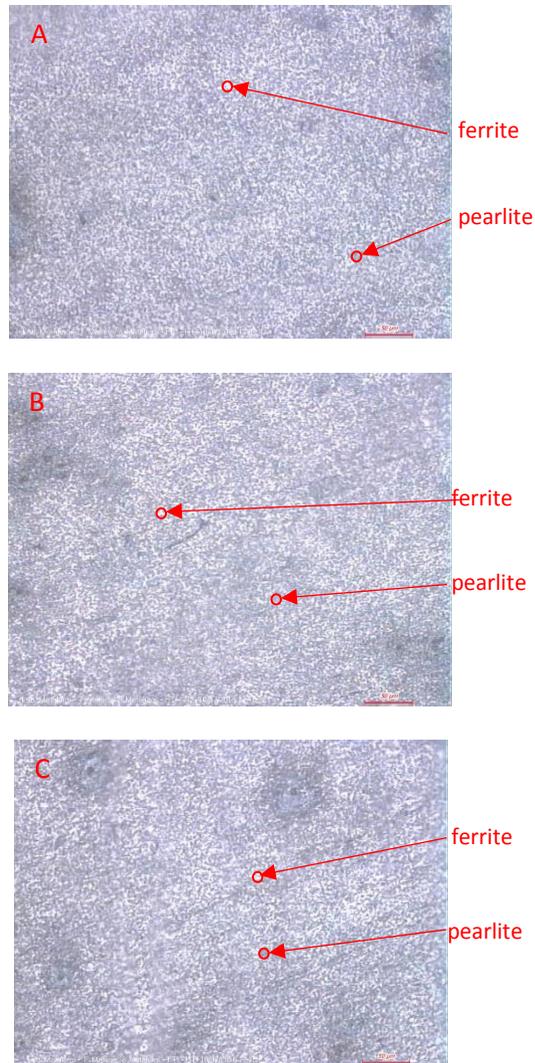
selesai diberikan perlakuan panas. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x.



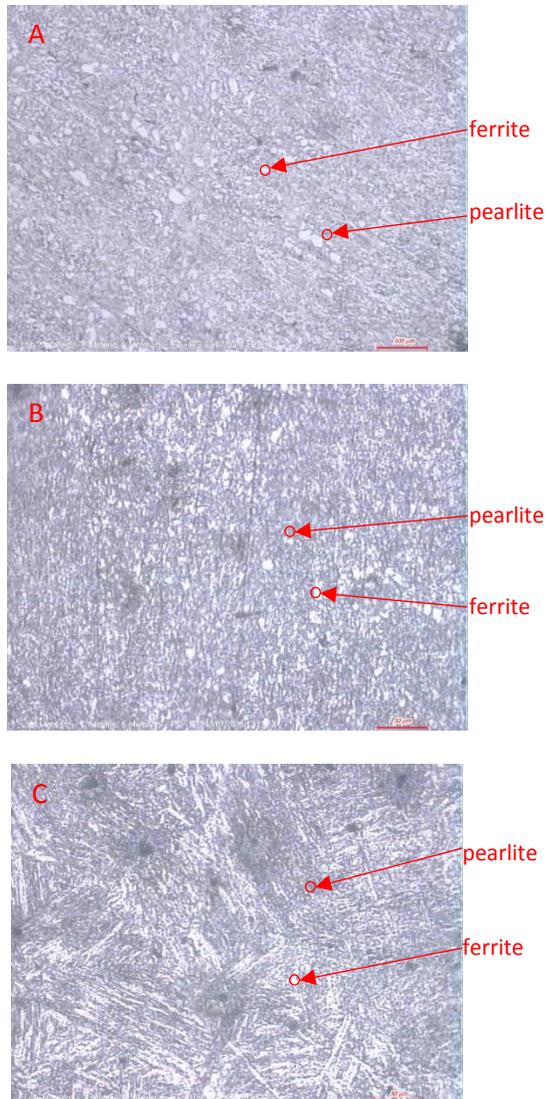
**Gambar 4.5** Struktur mikro *shaft pinion gear* tanpa perlakuan dengan perbesaran 500x

Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro dari *shaft pinion gear* yang gagal. Material yang digunakan belum mengalami perlakuan sebelum digunakan dan gagal. Berdasarkan pengamatan foto struktur mikro, diperoleh fasa yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Fasa tersebut ditunjukkan dengan warna hitam atau gelap yang merupakan fasa *pearlite* dan warna putih atau terang yang merupakan fasa *ferrite*.

Pengamatan juga dilakukan pada material pengganti yaitu AISI 4140 setelah dilakukan perlakuan panas *hardening* dengan variasi temperatur dan media pendingin serta perlakuan *tempering*. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x, gambar mikrostruktur bisa dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



**Gambar 4.6** Foto hasil metalografi dengan perbesaran 500x spesimen perlakuan *hardening* 870°C dan *tempering*: (A) media pendingin *brine*, (B) media pendingin air, (C) media pendingin oli



**Gambar 4.7** Foto hasil metalografi dengan perbesaran 500x spesimen perlakuan *hardening* 970°C dan *tempering*: (A) media pendingin *brine*, (B) media pendingin air, (C) media pendingin oli



Pada Gambar 4.6 menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* dan *tempering* dengan temperatur *hardening* 870°C. Struktur mikro yang terbentuk adalah *ferrite* dan *pearlite* dengan *pearlite* yang ditunjukkan dengan warna gelap dan *ferrite* yang ditunjukkan dengan warna putih. Terlihat pada Gambar 4.6 bahwa ada perbedaan dari ukuran butir dari ketiga spesimen. Gambar 4.6 (A) adalah spesimen dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 870°C dengan media pendingin *brine* lalu di *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam. Ukuran butir pada gambar ini terlihat berukuran lebih kecil bila dibandingkan dengan 2 spesimen lain. Pada Gambar 4.6 (B) menunjukkan hasil struktur mikro dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 870°C dengan media pendingin air lalu di *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam. Pada gambar ini, terlihat ukuran butir lebih besar, dibandingkan dengan spesimen pada gambar (A). Gambar 4.6 (C) menunjukkan hasil struktur mikro dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 870°C dengan media pendingin oli lalu di *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam. Terlihat bahwa ukuran butir pada spesimen ini memiliki ukuran yang terbesar dibandingkan dengan dua spesimen lain dengan perlakuan *hardening* 870°C dan *tempering* 700°C.

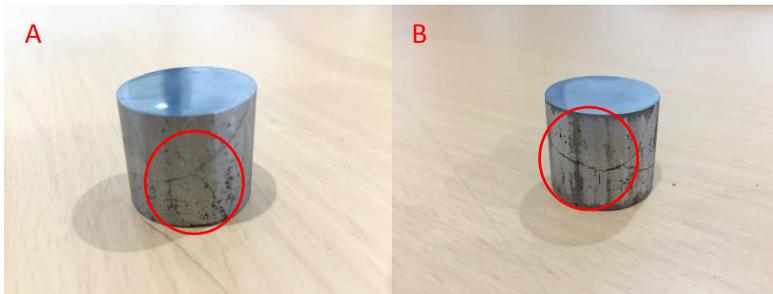
Gambar 4.7 menunjukkan perbedaan ukuran butir setiap spesimen dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 970°C dan *tempering* pada temperatur 700°C selama 4 jam. Perbedaan ukuran butir pada Gambar 4.7 terlihat lebih mencolok bila dibandingkan dengan Gambar 4.6. Gambar 4.7 (A) adalah spesimen dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 970°C dengan media pendingin *brine* lalu di *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam. Ukuran butir pada gambar ini terlihat berukuran lebih kecil bila dibandingkan dengan 2 spesimen lain. Pada Gambar 4.7 (B) menunjukkan hasil struktur mikro dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 970°C dengan media pendingin air lalu di *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam. Pada gambar ini, terlihat ukuran butir lebih besar, dibandingkan dengan spesimen pada Gambar (A). Gambar 4.7 (C) menunjukkan hasil



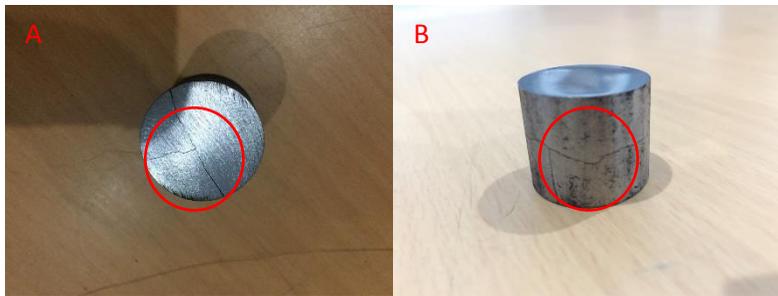
struktur mikro dengan perlakuan *hardening* pada temperatur  $970^{\circ}\text{C}$  dengan media pendingin oli lalu di *tempering* dengan temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam. Terlihat perbedaan ukuran butir yang cukup signifikan dibandingkan dengan spesimen lainnya. Pada spesimen ini, ukuran butir terlihat jauh lebih besar dibandingkan 2 spesimen lainnya dengan temperatur *hardening*  $970^{\circ}\text{C}$  dan *tempering*  $700^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.1.8 Kegagalan Material

Beberapa spesimen uji mengalami kegagalan pada saat perlakuan *quenching* dilakukan. Spesimen yang gagal ada 4 buah spesimen yang mengalami retak. 4 spesimen tersebut adalah dua spesimen dengan temperatur  $870^{\circ}\text{C}$  dengan media pendingin air dan *brine*, ditunjukkan pada Gambar 4.8. Serta 2 spesimen dengan temperatur  $970^{\circ}\text{C}$  dengan media pendingin air dan *brine* yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.8** Foto *crack* dari spesimen dengan perlakuan *hardening*  $870^{\circ}\text{C}$  (A) media pendingin air, (B) media pendingin *brine*.



**Gambar 4.9** Foto *crack* dari spesimen dengan perlakuan hardening 970°C (A) media pendingin air, (B) media pendingin *brine*.

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa faktor yang dapat menjadi penyebab kegagalan material antara lain tidak sesuai komposisi material ataupun nilai kekerasan yang tidak sesuai dengan standar untuk aplikasi tersebut.

Untuk aplikasi *shaft* atau poros dengan dimensi dan komposisi kimia material ini, menurut standar ASTM 291-03 kekerasan minimal yang dibutuhkan adalah 227 HV hingga 262 HV. Namun setelah diuji kekerasan materialnya, kekerasannya tidak mencapai 227 HV, atau tepatnya 155 HV. Oleh karena itu dilakukan penelitian dengan tujuan menaikkan kekerasan guna menambah waktu pakai dari komponen *shaft pinion gear* dengan cara variasi temperatur hardening dan media pendingin kemudian di tempering.

Dari pengamatan makro, dapat dilihat pada Gambar 4.1 patahan menunjukkan bahwa terjadi putaran yang menyebabkan material menjadi rusak. Hal itu disebabkan oleh penggunaan material dengan kekerasan yang dibawah standar.

Hasil dari pengujian kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan dari material AFNOR 42CD4 yang digunakan memiliki nilai kekerasan dibawah standar dari ASTM 291-03 yaitu 155 HV, dengan standar nilai kekerasan untuk poros dengan komposisi yang sesuai adalah 227 HV sampai 262 HV. Hasil pengujian struktur



mikro dari material *shaft pinion gear* menunjukkan fasa *ferrite* dan *pearlite*. Fasa ini ditunjukkan dengan warna putih adalah *ferrite*, dan bagian yang berwarna hitam adalah *pearlite*. Ukuran butir pada spesimen ini berukuran kecil.

Setelah faktor dari kegagalan diketahui, dipilih material pengganti karena keterbatasan bahan material yang dapat digunakan dari PT Petrokimia Gresik. Pemilihan material pengganti mengacu pada komposisi kimia yang memiliki standar yang sama dengan material *shaft pinion gear* AFNOR 42CD4 yaitu AISI 4140.

Material pengganti, AISI 4140, diberikan perlakuan panas yaitu *hardening* dengan tujuan meningkatkan kekerasan hingga memenuhi standar untuk aplikasi poros dengan komposisi kimia sesuai dengan komposisi kimia material tersebut. Penelitian ini menggunakan 6 buah spesimen, dimana setiap spesimennya diberikan perlakuan panas dengan variabel berbeda. Variabel yang digunakan berupa perbedaan temperatur *hardening* yaitu 870 °C dan 970 °C dan juga variasi media pendingin berupa air, *brine* dan oli. Kemudian semua spesimen diberikan perlakuan *tempering* pada temperatur 700°C. Struktur mikro yang didapatkan tidak jauh berbeda tiap spesimennya. Hal tersebut diakibatkan hasil perlakuan *tempering* dengan temperatur yang cukup tinggi dengan waktu tahan yang cukup lama.

Hasil pengujian mikrostruktur menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk pada spesimen yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Perbedaan yang dapat terlihat dari spesimen tersebut ada di ukuran butirnya. Ukuran butir dari spesimen dengan perlakuan *hardening* temperatur 870°C memiliki butir yang lebih kecil dibandingkan dengan butir dari spesimen dengan temperatur *hardening* 970°C. Ukuran butir yang didapatkan juga berbeda di setiap media pendingin yang berbeda. Ukuran butir dengan ukuran terkecil adalah *brine*. Lalu ukuran butir dengan ukuran lebih besar adalah dengan media pendingin air. Media pendingin oli memiliki ukuran butir yang paling besar dibandingkan dengan 2 media pendingin lainnya.



Hasil mikrostruktur yang diperoleh mendukung hasil pengujian kekerasan dimana kekerasan yang didapatkan dengan urutan dari tinggi ke rendah adalah 272 HV untuk temperatur 870°C dan 253 HV untuk temperatur 970°C dengan media pendingin *brine*. Untuk media pendingin air, didapatkan nilai kekerasan 259 HV untuk temperatur 870°C dan 236 HV untuk temperatur 970°C. Lalu 247 HV untuk temperatur 870°C dan 214 HV untuk temperatur 970°C dengan media pendingin oli. Hasil nilai kekerasan 6 spesimen tersebut didapatkan setelah melalui proses *hardening* dan *tempering*. Di setiap variasi media pendingin, nilai kekerasan yang lebih tinggi ditunjukkan dari spesimen dengan temperatur *hardening* 870°C. Hal ini disebabkan oleh besarnya butir yang dimiliki oleh spesimen dengan temperatur *hardening* 870°C lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan temperatur *hardening* 970°C seperti pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

Berdasarkan variasi media pendinginnya, struktur mikro dan kekerasan menjadi berbeda disebabkan perbedaan kecepatan pendinginan sesuai dengan media pendingin yang digunakan. Perbedaan kemampuan pendinginan dapat disebut juga *severity of quench* atau koefisien kekuatan pendinginan, ditandai dengan, H (ASM Vol.4).

Kegagalan material yang terjadi pada 4 buah spesimen yaitu spesimen dengan perlakuan *quenching* pada temperatur 870°C dengan media pendingin air dan *brine* serta spesimen dengan perlakuan temperatur 970°C dengan media pendingin yang digunakan air dan *brine* disebabkan oleh tegangan dalam akibat laju penurunan temperatur yang terlalu cepat (Yose Rizal, 2014).

Dari hasil yang didapatkan dari penelitian, maka sesuai dengan standar ASTM 291-03, material dengan komposisi sesuai dengan AISI 4140 harus memiliki kekerasan sebesar 227 HV hingga 262 HV. Hasil yang didapatkan dari penelitian dan memenuhi standar dari ASTM 291-03 adalah spesimen dengan perlakuan *hardening* dengan temperatur 870°C menggunakan



---

media pendingin oli dan *tempering* dengan temperatur 700°C selama 4 jam, dengan nilai kekerasan 247 HV.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan mengenai kegagalan *shaft pinion gear* pada *cooler* antara lain sebagai berikut :

1. Temperatur *hardening* yang paling optimal terdapat pada temperatur 870°C dan di *tempering* dengan temperatur 700°C dengan fasa yang dihasilkan berupa *pearlite* dan *ferrite* dengan nilai kekerasan 247 HV tanpa adanya keretakan.
2. Media pendingin yang paling baik adalah dengan menggunakan oli karena tidak menghasilkan tegangan dalam yang menyebabkan keretakan dan memenuhi syarat yang telah ditentukan.

#### **5.2 Saran**

1. Pada saat pembelian *shaft* harus disertakan dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik *shaft* dan harus sesuai dengan spesifikasi dari *shaft* yang sesuai standar.
2. Bila tidak memungkinkan, perlu dilakukan proses perlakuan panas sebelum dipasang pada *cooler* agar kekerasan material *shaft* dapat memenuhi standar.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- .....ASTM E3. 2001. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimen*. USA: ASTM International.
- .....ASM Handbook. 1991. *ASM Handbook Volume 01 Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. USA: ASM International.
- .....ASTM A291. 2003. *Standard Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, For Pinions, Gears and Shafts for Reduction Gears*. USA: ASTM International.
- Anggono, W. 2008. *Proses Tempering Baja AISI 4140 Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Roller Cylo Speed Reduce*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra.
- Asrikin. 2011. *Karakterisasi Fatigue dan Analisa Mikroskopis Pada Mekanisme Kegagalan Material Komposit Fiber Glass-Epoxy Untuk Material Struktur Sudu Turbin Angin*. Depok: Universitas Indonesia.
- Avner, Sidney H. 1987. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Callister, William D. 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction*. USA: World Color USA/Versailles.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Charre, Madeleine D. 2004. *Microstructure of Steels and Cast Irons*. Jerman: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Creese, Robert. 1999. *Introduction to Manufacturing Processes and Materials*. West Virginia University.
- Dinov, Ferdiaz. 2012. *Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Remelting Al-Si Berbasis Limbah Piston Bekas dengan Perlakuan Degassing*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hanguang, Fu. 2009. *Effect of quenching temperature on structure and properties of centrifugal casting high speed steel roll*. *Jurnal China Foundry*.

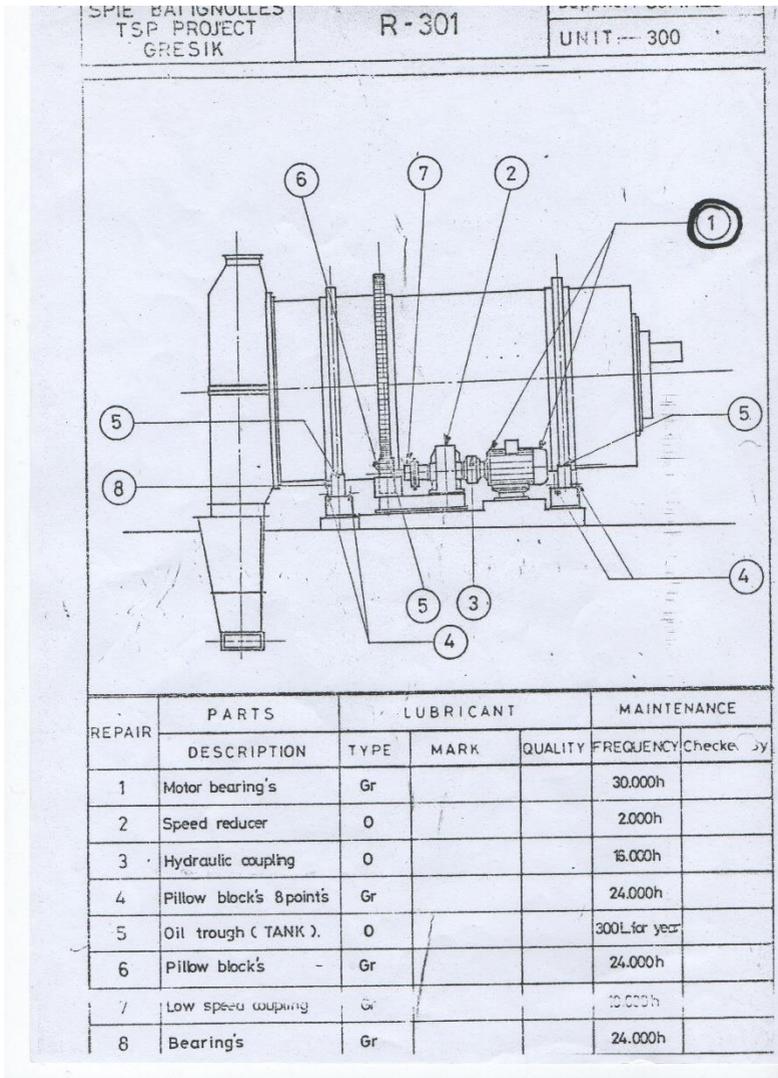
- Hartono, Beta. 2015. ***Pengerasan Baja AISI dengan Metode Perlakuan Panas***. Malang: PPPPTK BOE
- Hidayat, Ery. 2014. ***Analisis Sifat Mekanik Pada Material AISI 4140 dan Creusabro 8000 Untuk Aplikasi Gigi Bucket Produksi PT Polman Swadaya***. Bandung.
- Multazam, Ahmad. 2017. ***Hardness Process Control Baja Tambang dengan Quenching Method***. Mataram: Universitas Nusa Tenggara Barat.
- Nasution, Dian Morfi. 2011. ***Penelitian Kinerja Induced Draft Cooling Tower dengan Potongan Pipa PVC diameter 1 Inchi Sebagai Filling Material***. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Nurfanani, Achmad. 2013. ***Perbandingan Media Pendingin Oli SAE 5W dan Air Garam pada Proses Quenching Grinding Ball 40mm Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus***. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Rizal, Yose. 2014. ***Analisa Pengaruh Media Quench Terhadap Kekuatan Tarik baja AISI 1045***. Teknik Mesin Universitas Pasir Pengairan.
- Sarmiento, G. Sanchez. 2009. ***Computational Modelling of Heat Treating Process by Use for HT-MOD and ABAQUS***. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Smallman. 2000. ***Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material***. Erlangga. Jakarta.
- Suherman, Susri Mizhar dan. 2011. ***Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140***. Medan: Teknik Mesin Politeknik Tanjung Balai.
- Sumiyanto. 2011. ***Pengaruh Proses Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Sedang Jenis SNCM***. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Sunardi. 2016. ***Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Self Tempering dan Variasi Waktu Tahan Pada Proses***

***Tempering Terhadap Sifat Mekanis Baja AISI 4140.***  
Cilegon: Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.  
Zhen, Song. 2007. ***Effect of Heat Treatment on the  
Microstructure and Mechanical Properties of Steel.***Beijing:  
University of Science and Technology  
Zum Gahr, K.H. 1987. ***Microstructure and Wear of Materials.***  
Amsterdam: Tribology Series.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# LAMPIRAN

## 1. Desain Cooler ( PT Petrokimia Gresik)



**EQUIPMENT NO. : R.303.**

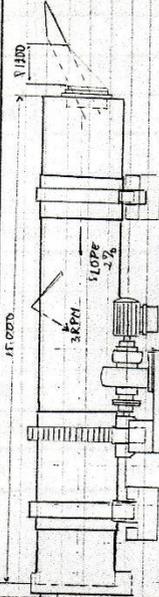
**COOLER.**

MAINT. FORM NO.

ATION

Date :  
 Type : Rotary drum  
 Serial No. :  
 Catalog No. :  
 Size/Weight : 98 T.  
 Location : Unit 300.

**ENGINEERING DATA**



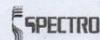
- PERFORMANCE :**
- a. 8 bearing block SN 230 for Trunion roller.
  - b. 2 bearing blocks SKF SN 232 for drive shaft.
  - c. 2 x 2 bearing SKF 2220 C for thrust wheel.
  - d. Drive reducer WECO 3L 400R.
  - e. Hydraulic coupling sine industrie 480x R. with coupling triplex.
  - f. Citroen messian coupling flexaeler 43 TL 2.
  - g. Jeumont Schneider motor FWC 280W4 B3 (WR 303).

PART	LUB. TYPE	QUANTITY	FREQUENCY
Lier pillow block	Mobilux EP.2 (AlvianisEP2)GR	14,400Kg	660 H.
1 pillow block	Mobilux EP.2 (AlvianisEP2)GR	4 Kg	660 H.
bearings	Mobilux EP.2 (AlvianisEP2)GR	2,3 Kg	660 H.
gears and gear(oil trough)	Mobil gear (Omala,220)oil	630	2000 H.
speed reducer	Mobil gear(30) (Omala,220)oil	230 1	500 H.
hydraulic coupling	DPE Medium (Tellux,46)oil	20 1	16,000 H.
ow speed coupling	Mobilux EP.2 (AlvianisEP2)GR	2 Kg	8000 H.
motor bearing	Mobil flex.47 (Alvianis3)GR	0,03 Kg	1700 H.

## 2. Hasil OES (Optical Emission Spectroscopy)



PT. LOGAMINDO SARIMULIA  
 IRON AND STEEL FOUNDRY  
 Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542  
 E-mail : Lisafoundry@gmail.com  
 www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-10-F IARM 200C

Comment: Low alloy Steel

Element concentration

5/17/2018 1:31:23 PM

Sample Name: Quality:

42 CD 4

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.430	0.328	0.831	0.0106	0.0218	1.06	0.249	0.157
2	0.408	0.326	0.811	0.0100	0.0196	1.05	0.243	0.154
3	0.391	0.311	0.810	0.0104	0.0195	1.05	0.238	0.152
< x > (3)	<b>0.410</b>	<b>0.321</b>	<b>0.817</b>	<b>0.0103</b>	<b>0.0203</b>	<b>1.05</b>	<b>0.243</b>	<b>0.154</b>
sd	0.0191	0.0093	0.0116	0.00031	0.0013	0.0083	0.0055	0.0023
rsd	4.7	2.9	1.4	3.0	6.6	0.8	2.3	1.5

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0178	0.0122	0.190	< 0.0010	0.0017	0.0037	< 0.0100	< 0.0030
2	0.0177	0.0119	0.186	< 0.0010	0.0015	0.0037	< 0.0100	< 0.0030
3	0.0198	0.0116	0.191	< 0.0010	0.0018	0.0037	< 0.0100	< 0.0030
< x > (3)	<b>0.0184</b>	<b>0.0119</b>	<b>0.189</b>	<b>&lt; 0.0010</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0037</b>	<b>&lt; 0.0100</b>	<b>&lt; 0.0030</b>
sd	0.0012	0.00033	0.0028	0.00000	0.00014	0.00002	0.00000	0.00000
rsd	6.3	2.8	1.5	0.0	8.3	0.5	0.0	0.0

	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0110	0.0054	< 0.0015	< 0.0040	0.00062	< 0.0030	0.00060	< 0.0020
2	0.0092	0.0038	< 0.0015	< 0.0040	0.00068	< 0.0030	0.00046	< 0.0020
3	0.0101	0.0045	< 0.0015	< 0.0040	0.00098	< 0.0030	0.00046	< 0.0020
< x > (3)	<b>0.0101</b>	<b>0.0045</b>	<b>&lt; 0.0015</b>	<b>&lt; 0.0040</b>	<b>0.00076</b>	<b>&lt; 0.0030</b>	<b>0.00051</b>	<b>&lt; 0.0020</b>
sd	0.00088	0.00060	0.00000	0.00000	0.00019	0.00000	0.00008	0.00000
rsd	8.8	17.7	0.0	0.0	25.3	0.0	16.1	0.0

	La	Fe	Sb	Te				
	%	%	%	%				
1	< 0.0010	96.6	< 0.0010	0.0021				
2	< 0.0010	96.7	< 0.0010	0.0025				
3	< 0.0010	96.7	0.0011	0.0028				
< x > (3)	<b>&lt; 0.0010</b>	<b>96.7</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0024</b>				
sd	0.00000	0.0543	0.00004	0.00034				
rsd	0.0	0.1	4.1	14.0				

Tanda tangan

### 3. Sertifikat AISI 4140



**PT BHINNEKA BAJANAS**  
High Grade Steel-Welding Machine & Electrodes-Heat Treatment Service  
S.I.U.P No 1296/97/09 - 02/PB/0002000



Jl. Karang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta – Indonesia P.O.Box 4103/UKT  
Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6929431, 6925591, 6906308 (hungry) Fax: 6911569, 6924291

#### TEST CERTIFICATE

**Bestell-Nr./Purchase's Order No./No. de commande**  
BB/03/17

**Ursache Auftrags/Nr. Works Order No./No. commande d'usine**  
610.558/ RI

**Prüfgegenstand/Object of tests/Object d'examen**  
STEEL BARS VCL140  
AISI (4140)

**Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Livraison descriptive**  
01 DIA. 25.00 MM

**Nr./No./No.:** 062 / 19.03.2016

**Seite/Pages/Page:** 01

26.08.2017

**Lieferchein/Dispatch note/Note d'expédition**  
17.07.2017/08

**Gewicht kg**  
Weight kg  
Poids kg

**Schmelz**  
Heat No.  
No. de coulée

**Prüf-Nr**  
Test No.  
Numéro de

6600

912762

01

**SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU  
UNTUK NO NO :  
P.T. BHINNEKA BAJANAS**

TRUE COPY

**Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)**

Schmelz Heat No. No. de coulée	C	Si	MN	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al	Cu
912762	0.43	0.3	0.74	0.13	0.027	0.96	0.01	0.17			0.2

**Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)**

Prüf-Nr Test No. Epreuve	Haerte/ Brinell	Tensile Strength (Rm) N/mm2	Yield Strength (Rp 0.2) N/mm2	Elongation %	Reduction %
01	341	1148	1079	14.5	55.3

#### 4. Hasil Pengujian Kekerasan Setelah *Quenching* (HV)

Temperatur	Media Pendingin	Nilai Tiap Titik			Rata Rata
870°C	<i>Brine</i>	724	699	704	709
	Air	645	668	683	665
	Oli	640	613	620	624
970°C	<i>Brine</i>	650	673	665	662
	Air	636	581	613	610
	Oli	542	492	510	514

#### 5. Hasil Pengujian Kekerasan *Shaft* di Titik Dekat Dengan Patahan (HV)

Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata - Rata
218	226	217	220

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 22 Maret 1996, dan merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kartika, SDN Barata Jaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 17 Surabaya. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 02511440000132.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) dan pernah menjabat sebagai Staff Keolahragaan Badan Semi Otonom Minat Bakat HMMT FTI ITS. Penulis juga aktif pada komunitas musik ITS JAZZ. Penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, PJTD, dan PJTL.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjadja Palembang Unit Inspeksi Teknik Khusus pada bulan Juli 2017 – Agustus 2017.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Material AISI 4140 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Sebagai Solusi Kegagalan *Shaft Pinion Gear*”.

Email: faykelnicandro@yahoo.co.id

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*