



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL184834

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ENERGIZER CaCO_3 PADA PROSES CARBURIZING DENGAN VARIASI WAKTU TAHAN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON MEDIUM

RONALD BRIAN
NRP 0251154000013

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019



TUGAS AKHIR - TL184834

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ENERGIZER CaCO_3
PADA PROSES CARBURIZING DENGAN VARIASI WAKTU
TAHAN TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR
MIKRO BAJA KARBON MEDIUM**

**RONALD BRIAN
NRP 0251154000013**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Rochman Rochiem M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF ADDITION CaCO_3
ENERGIZER IN CARBURIZING PROCESS USING
VARIATION OF HOLDING TIMES ON HARDNESS AND
MICROSTRUCTURE OF MEDIUM CARBON STEEL**

RONALD BRIAN
NRP. 0251154000013

Advisor :
Ir. Rochman Rochiem M.Sc.
Alvian Toto Wibisono S.T., M.T

MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Analisa Pengaruh Penambahan *Energizer* CaCO₃ pada
Proses *Carburizing* dengan Variasi Waktu Tahan Terhadap
Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Medium**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RONALD BRIAN

NRP. 0251 15 40000 013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Rochman Rochiem M.Sc. (Pembimbing I)

2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Analisa Pengaruh Penambahan *Energizer* CaCO₃ pada
Proses *Carburizing* dengan Variasi Waktu Tahan Terhadap
Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Medium**

Nama : Ronald Brian
NRP : 02511540000013
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem M.Sc.
Co – Pembimbing : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstrak

Pabrik Gula Gending merupakan salah satu pabrik yang menggunakan mesin uap dalam proses produksinya. Mesin uap tersebut bekerja selama 24 jam pada musim giling selama 4 sampai 6 bulan. Dalam proses penggunaan mesin uap, poros atau shaft pada mesin uap tersebut mengalami kegagalan yang diakibatkan beban berulang. Setelah di teliti ternyata material komponen shaft ini tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan yaitu ASSAB 705. Material ini tergolong baja karbon medium dimana nilai kekerasannya dan sifat mekanik yang dibutuhkan tidak sesuai standar dari aplikasi shaft. Dari permasalahan tersebut perlu dilakukan optimalisasi sifat mekanik material dimana pada penelitian ini menggunakan perlakuan panas pack carburizing. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah pack carburizing dengan variasi perbandingan masa karbon dan energizer CaCO₃ (100%C, 90%C:10%, 80%C:20%, dan 70%C:10%) yang dipanaskan pada temperatur 930°C dengan variasi waktu tahan 1 jam dan 3 jam. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan permukaan, depth of hardness, dan metalografi. Berdasarkan pengujian tersebut, didapatkan hasil, bahwa dengan adanya penambahan energizer yang cukup pada proses carburizing menyebabkan difusi karbon bertambah cepat sehingga kekerasan yang didapatkan lebih besar pula. Kekerasan permukaan yang didapatkan pada spesimen En0/ht1, En10/ht1,

En20/ht1, dan En30/ht1 berturut-turut adalah 781.4 HV, 763 HV, 809 HV, dan 766 HV. Sementara kekerasan permukaan yang didapatkan pada spesimen En0/ht3, En10/ht3, En20/ht3, dan En30/ht3 berturut-turut adalah, 808.4 HV, 845 HV, 779 HV, 646 HV. Kekerasan permukaan meningkat karena ditemukan struktur plate martensit pada permukaan baja hasil carburizing.

Kata kunci: baja, carburizing, energizer, kekerasan.

Analysis The Effect of Addition CaCO₃ Energizer in Carburizing Process Using Variation of Holding Times on Hardness and Micro Structure of Medium Carbon Steel

Name : Ronald Brian
NRP : 0251 1540000013
Departement : Material Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem M. Sc.
Co - Advisor : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstract

Gula Gending Factory is one of the factories that use steam engine in their production process. The steam engine was working for 24 hours on the milling season for 4 to 6 months. In the process of using steam engine, the shaft on the steam engine is get a failure due to repeated loads. After being inspected, it turns out that the shaft component material is not accordance with the standard set, ASSAB 705. The material is classified as medium carbon steel where the hardness value and required mechanical properties are not in accordance with the standard of the shaft application. From these problems is necessary to optimize the mechanical properties of the material, in this experiment using carburizing heat treatment. The method that use in this experiment is pack carburizing with the mass ratio of carbon and energizer CaCO₃ as a variation and heated in 930°C with holding time 1 and 3 hours. Testing methods that is used on this specimen are hardness testing, depth of hardness, and metallography. Based on experiment, the results obtained, that the addition of sufficient CaCO₃ energizer in the carburizing process causes the diffusion of carbon increase, so that the hardness of the material also greater than before. The hardness obtained in specimens En0/ht1, En10/ht1, En20/ht1, dan En30/ht1 is 781.4 HV, 763 HV, 809 HV, and 766 HV. While the hardness obtained in the ratio of En0/ht3,

En10/ht3, En20/ht3, dan En30/ht3is 808.4 HV, 845 HV, 779 HV, 646 HV. The hardness increases because of the plate martensite is found in the microstructure of the carburized steel.

Keywords : steel, carburizing, energizer, hardness.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Penambahan *Energizer* CaCO₃ pada Proses *Carburizing* dengan Variasi Waktu Tahan Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Medium”** Laporan ini dibuat untuk melengkapi mata kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di departemen Teknik Material FTI – ITS Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan hingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan, diantaranya ialah:

1. Keluarga peneliti yang selalu memberikan dukungan secara moril, materiil, doa, serta motivasi dalam menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan S.T. M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah banyak berjasa dalam mengembangkan departemen
3. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada peneliti dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
4. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada peneliti dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Adgyananta S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS dan selaku dosen wali yang telah membantu peneliti menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini banyak salah sehingga penulis menerima masukan dari para pembaca yang dapat membangun. Penulis berharap dengan adanya laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Terimakasih.

Surabaya, 15 Juli 2019

Penulis,

Ronald Brian
0251154000013

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mesin Uap	5
2.2 Poros atau <i>Shaft</i>	6
2.3 Baja Karbon.....	9
2.4 Perlakuan Panas.....	10
2.4.1 Diagram TTT (<i>Time Temperatur Transformation</i>) ...	11
2.4.2 Karburisasi	12
2.4.3 Quenching	15
2.5 <i>Energizer</i>	16
2.6 Martensit	17
2.7 Perlit	20
2.8 Difusi Karbon.....	21
2.9 Metalografi	22
2.10 Pengujian Kekerasan	23
2.11 Penelitian Sebelumnya	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	29
3.2 Metode Penelitian.....	30

3.3	Material yang Digunakan	31
3.4	Alat dan Bahan Penelitian	32
3.5	Variabel Penelitian	36
3.6	Prosedur Penelitian.....	36
3.6.1	Review Dokumen Penelitian	36
3.6.2	Preparasi Spesimen.....	36
3.6.3	Perlakuan Panas <i>Carburizing</i>	37
3.6.4	Uji Kekerasan	37
3.6.5	Uji <i>Depth of Hardness</i>	37
3.6.6	Uji Metalografi	38
3.7	Rancangan	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Spesimen Hasil <i>Carburizing</i>	41
4.2	Pengujian Komposisi.....	42
4.3	Pengujian Metalografi	43
4.4	Uji Kekerasan Makro (Permukaan)	49
4.3	Pengujian <i>Depth Of Hardness</i>	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		59
UCAPAN TERIMA KASIH.....		71
BIODATA PENULIS.....		73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Mesin Uap di Pabrik Gula Gending	5
Gambar 2. 2	Shaft Utama Mesin Uap II	7
Gambar 2. 3	Dimensi Shaft	
Gambar 2. 4	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	11
Gambar 2. 5	Diagram Time Temperature Transformation untuk Baja Karbon Medium	12
Gambar 2. 6	Skema Respresentatif dari Proses Karburisasi ..	13
Gambar 2. 8	Rentang Temperatur Austenisasi	15
Gambar 2.9	Struktur Mikro Lath Martensit Hasil Quench. ..	18
Gambar 2. 10	<i>Plate Martensite</i> pada Baja Hasil Karburisasi ..	19
Gambar 2. 11	Martensit (a) Lath dan (b) Plate.	19
Gambar 2. 12	Struktur Mikro Perlit dengan Layer Ferit (terang) dan Fe ₃ C (lapisan tipis dan gelap)	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3. 2	Dimensi Spesimen	32
Gambar 3. 3	Dimensi Spesimen Setelah Dipotong pada <i>Cross-Section</i>	32
Gambar 3. 4	Media Karburisasi	33
Gambar 3. 5	Mesin Uji Kekerasan	33
Gambar 3. 6	Electric <i>Furnace</i>	34
Gambar 3. 7	Mikroskop Optik	34
Gambar 3. 8	Alat Uji <i>Micro Vickers</i>	35
Gambar 3. 9	Arah Cahaya pada Pengujian Metalografi	38
Gambar 4. 1	Baja AISI 1045 (a) Tanpa Perlakuan (b) Hasil <i>Carburizing</i>	41
Gambar 4. 2	Struktur Mikro Baja AISI 1045 Tanpa Perlakuan	43
Gambar 4. 3	Struktur Mikro Baja Hasil <i>Carburizing</i> dengan Waktu Tahan Satu Jam dan Penambahan <i>Energizer</i> CaCO ₃ : (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%	44

Gambar 4. 4	Struktur Mikro Baja Hasil <i>Carburizing</i> dengan Waktu Tahan Tiga Jam dan Penambahan <i>Energizer</i> CaCO ₃ : (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%	45
Gambar 4. 5	<i>Core</i> Permukaan Baja Hasil <i>Carburizing</i> (a) Tanpa <i>Energizer</i> (b) Dengan <i>Energizer</i> CaCO ₃	48
Gambar 4. 6	Grafik Pengaruh Waktu Tahan dan Penambahan CaCO ₃ Terhadap Kekerasan Permukaan	50
Gambar 4. 7	Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen Waktu Tahan Satu Jam.....	53
Gambar 4. 8	Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen Waktu Tahan Tiga Jam.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Klasifikasi Baja AISI-SAE	9
Tabel 2. 2	Sifat Termo-Kimia Beberapa Mineral Karbonat Sebagai Energizer	17
Tabel 3. 1	Komposisi Kimia Shaft Mesin Uap dan Alternatif Material AISI 1045.....	31
Tabel 3. 2	Rancangan Penelitian	39
Tabel 4. 1	Hasil Uji Komposisi AISI 1045.....	42
Tabel 4. 2	Persentase Fraksi Area <i>Martensite</i> dan <i>Retained Austenite</i>	47
Tabel 4. 3	Hasil Kekerasan Rata-Rata Sampel	50
Tabel 4. 4	Hasil Pengujian <i>Micro Vickers</i>	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur di Indonesia sudah berkembang dengan cukup baik. Sampai saat ini menurut data dari BPS (Badan Pusat Statistik) Indonesia pada tahun 2017 tercatat 30.991 perusahaan manufaktur yang ada di Indonesia. Mesin uap adalah salah satu produk dari hasil manufaktur itu sendiri. Fungsi dari mesin uap adalah untuk mengubah energi panas menjadi energi mekanik. Pabrik Gula Gending merupakan pabrik yang menggunakan mesin uap dalam proses produksinya. Mesin uap itu sendiri bekerja selama 24 jam pada musim giling selama 4 sampai 6 bulan. Dalam proses penggunaan mesin uap, poros atau shaft pada mesin uap tersebut mengalami kegagalan yang diakibatkan beban berulang. Kegagalan itu sendiri dapat berupa crack yang kemudian menjadi patah. Setelah di teliti ternyata material komponen shaft ini tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan yaitu ASSAB 705. Material ini tergolong medium carbon dimana nilai kekerasannya dan sifat mekanik yang dibutuhkan tidak sesuai standar dari aplikasi shaft. Maka dari permasalahan tersebut perlu dilakukan optimalimalisasi sifat mekanik material. Dimana pada penelitian ini akan menggunakan perlakuan panas Carburizing.

Perlakuan panas itu sendiri merupakan kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu (Avner, 1974). Proses Carburizing itu sendiri merupakan proses peningkatan kandungan karbon pada permukaan baja sehingga permukaan baja tersebut memiliki hardenability yang baik. Hal ini akan menghasilkan sifat unggul pada baja karbon terkaburisasi tersebut, dimana permukaan baja memiliki kekerasan yang tinggi dan bagian dalam tetap ulet. *energizer* merupakan suatu katalis yang dapat memepercepat proses difusi carbon dalam proses *carburizing*. Ada beberapa jenis

Energizer yang digunakan dalam proses *carburizing*, yaitu CaCO_3 , BaCO_3 , K_2CO_3 , dan Na_2CO_3 (ASM International, 1991) . Dalam penelitian ini akan dilakukan proses *Carburizing* dimana menggunakan Energizer CaCO_3 , dimana akan menggunakan variasi perbandingan komposisi massa campuran antara karbon dengan *energizer* yaitu 9:1, 8:2, dan 7:3 dengan *carburizing* tanpa *energizer* selanjutnya masing-masing komposisi akan di beri waktu tahan 1 dan 3 jam dan dilihat bagaimana pengaruhnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh Energizer CaCO_3 pada proses *Carburizing* terhadap kekerasan permukaan dan struktur mikro baja karbon medium?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan *Carburizing* terhadap kekerasan permukaan dan struktur mikro baja karbon medium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh *energizer* CaCO_3 pada proses *carburizing* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.
2. Menganalisa pengaruh waktu tahan *carburizing* terhadap poses pengerasan baja karbon medium terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

1.4 Batasan Masalah

1. Material dianggap homogen di semua sisi
2. Pengaruh lingkungan diabaikan
3. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.
4. Tempat/desain chamber dianggap vacuum.
5. Ukuran serbuk di abaikan

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi. Pabrik Gula Gending sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Rekomendasi untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar masalah kegagalan pada shaft mesin uap
2. Referensi peningkatan sifat mekanik pada baja karbon medium untuk aplikasi shaft mesin uap.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Uap

Fungsi dari mesin uap adalah untuk mengubah energi panas menjadi energi mekanik. Energi panas yang dilibatkan adalah hasil pembakaran dari bahan bakar yang berasal *furnace* yang diatur untuk memanaskan panas ke air, yang diletakkan dengan ketel uap. Air yang diubah menjadi uap kemudian disambungkan dengan mesin, uap tersebut dipaksa untuk melakukan kerja mekanikal dan dengan melakukan hal tersebut kehilangan energi panas. Kerja mekanikal tersebut dihubungkan dengan mesin yang akan digunakan berguna, seperti sabuk, tali, rantai, dan konektor lainnya. Atau, bisa dikonversikan menjadi energi elektrik dan dialirkan menggunakan kabel (Sugiarto, 2013) (Terell, 1992).



Gambar 2. 1 Mesin Uap di Pabrik Gula Gending (PG Gending, 2018)

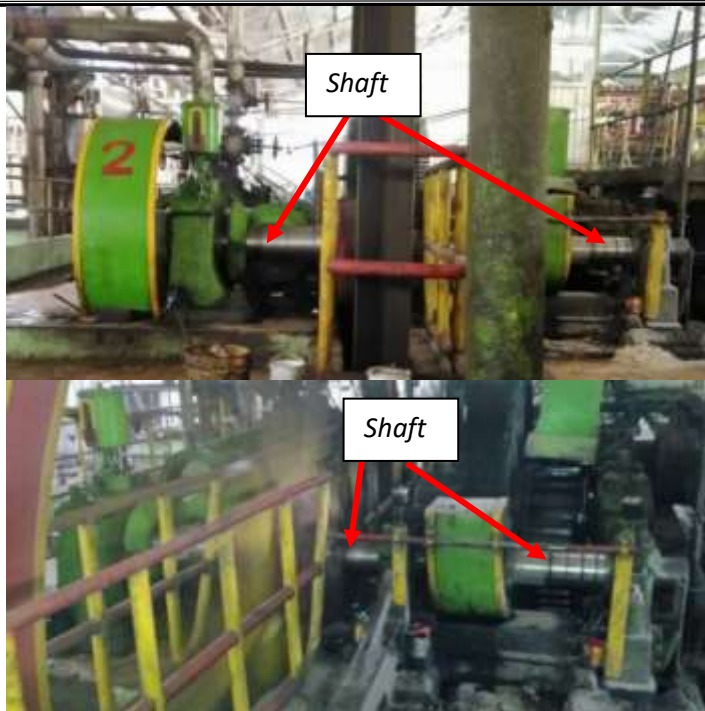
Mesin uap PG Gending ditunjukkan pada Gambar 2.1, digerakan dengan tekanan uap yang dihasilkan dari *boiler*. Uap tersebut mendorong *piston* yang menyebabkan *piston* bertranslasi bolak-balik, menggerakkan *piston rod* yang terkunci dengan pasak pada *crosshead*. Gerakan translasi bolak-balik tersebut diubah

menjadi rotasi dengan *connecting rod* yang menghubungkan *crosshead* dengan *crank*. Bagian *crank* itulah yang memutar poros utama mesin uap yang tersambung dengan *flywheel*. Putaran tersebut direduksi beberapa kali untuk menggerakkan gilingan pemerah tebu. Mesin uap di Pabrik Gula Gending ini sendiri bekerja selama 24 jam pada musim giling dimana sekitar 4-6 bulan. Selama setahun biasanya hanya ada satu musim giling, sehingga selama satu tahun mesin hanya digunakan selama 4-6 bulan.

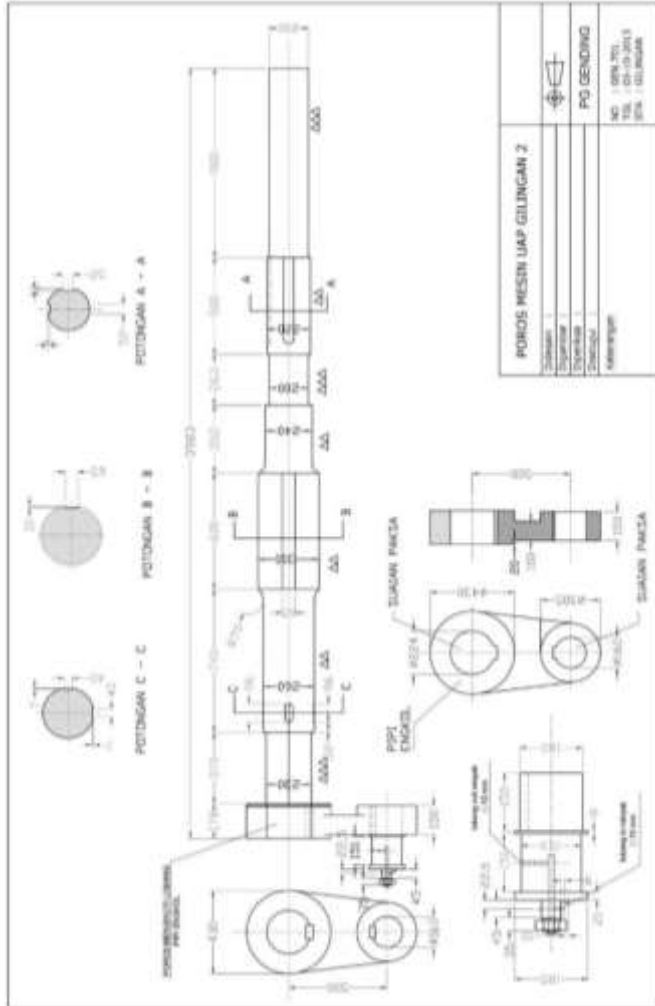
2.2 Poros atau *Shaft*

Poros berfungsi untuk meneruskan tenaga baik berupa torsi maupun bending dari suatu bagian ke bagian yang lain. Akibat beban tersebut poros mengalami pembebanan yang terus berulang. Akibatnya suatu poros sering mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan akibat beban berulang sangat tidak diinginkan karena tanda-tanda akan terjadinya kegagalan tidak dapat diketahui secara langsung. Kegagalan ini dapat berupa *crack* yang terus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* yang kemudian menjadi patah. (Sugiarto, 2013), secara garis besarnya poros dibedakan menjadi:

Pada pabrik gula gending terdapat *shaft* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 yang terletak pada mesin uap ini menghubungkan bagian *flying wheel*, engkol dan *gear* yang dihubungkan dengan mesin penggilingan. *Input* yang dihasilkan dari perputaran engkol dan *flying wheel* sebesar 54 rpm, dan direduksi dengan *gear* sebesar 2,5 rpm untuk disambungkan ke mesin penggilingan. Dimensi *shaft* sendiri ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 2 Shaft Utama Mesin Uap II (PG Gending, 2018)



Gambar 2. 3 Dimensi Shaft (Manual Book PG)

2.3 Baja Karbon

Baja dapat disebut baja karbon ketika tidak ada kandungan minimum yang khusus untuk kromium, cobalt, niobium, molybdenum, titanium, tungsten, vanadium, zirkonium, atau unsur lain yang ditambahkan untuk memperoleh efek paduan, ketika kandungan minimum untuk tembaga tidak melebihi 0,4% atau ketika kandungan maksimum dari unsur berikut tidak melebihi persentase : mangan 1,65%, silicon 0,6%, dan tembaga 0,6%. (ASM International, 1996)

Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristiknya seperti komposisi dan kekuatan. *AISI (American Iron and Steel Institute)* dan *SAE (Society of Automotive Engineering)* merumuskan suatu sistem indeks untuk mengklasifikasikan baja berdasarkan komposisi kimia, seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja AISI-SAE (Vlank & Djaprie, 1989)

Nomor AISI atau SAE	Komposisi
10xx	Baja karbon
11xx	Baja karbon (ditambah belerang untuk mampu permesinan)
15xx	Mangan (1,0 – 2,0 %)
40xx	Molibden (0,20 – 0,30 %)
41xx	Khromium (0,40-1,20%), molibden (0,08 – 0,25%)
43xx	Nikel (1,65-2,00%), khromium (0,40-0,90%), molibden (0,20-0,30%)
44xx	Molibden (0,5%)
46xx	Nikel (1,40-2,00%), molibden (0,15-0,30%)
48xx	Nikel (3,25-3,75%), molibden (0,20-0,30%)
51xx	Khromium (0,70-1,20%)
61xx	Khromium (0,70-1,10%), vanadium (0,10)

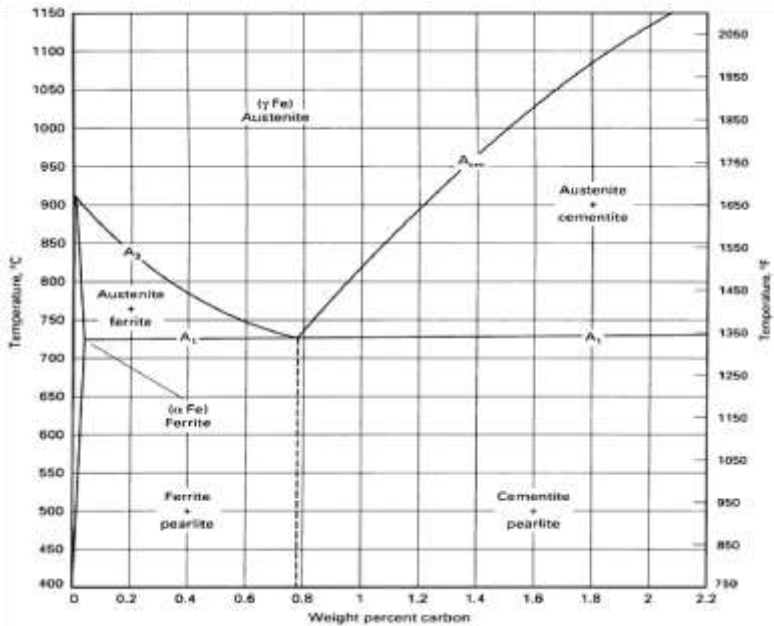
2.4 Perlakuan Panas

Setiap perlakuan panas yang berbeda akan menghasilkan sifat mekanik yang berbeda juga. Perlakuan panas merupakan kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu dan bertujuan untuk memperoleh sifat tertentu. Pemanasan ini dilakukan dengan memanaskan suatu logam pada temperatur tertentu dan ditahan beberapa saat pada temperatur tersebut kemudian didinginkan dengan laju tertentu (Avner, 1974)

Perubahan sifat mekanik karena pemanasan merupakan akibat dari perubahan struktur mikro, perubahan struktur mikro tersebut berupa perubahan fasa atau bentuk kristal material. Struktur mikro yang terjadi pada akhir proses ditentukan oleh komposisi kimia dan proses perlakuan panas yang dialami, dan juga struktur awal benda.

Dalam klasifikasi tujuannya, perlakuan panas dibagi menjadi dua yaitu pengerasan dan pelunakan. Pengerasan merupakan proses menaikkan kekerasan baja untuk memperbaiki sifat tahan leleh dan tahan aus, atau untuk menaikkan ketangguhan baja. Sedangkan proses pelunakan bertujuan untuk memperbaiki *machinability* dan menurunkan kekerasan baja.

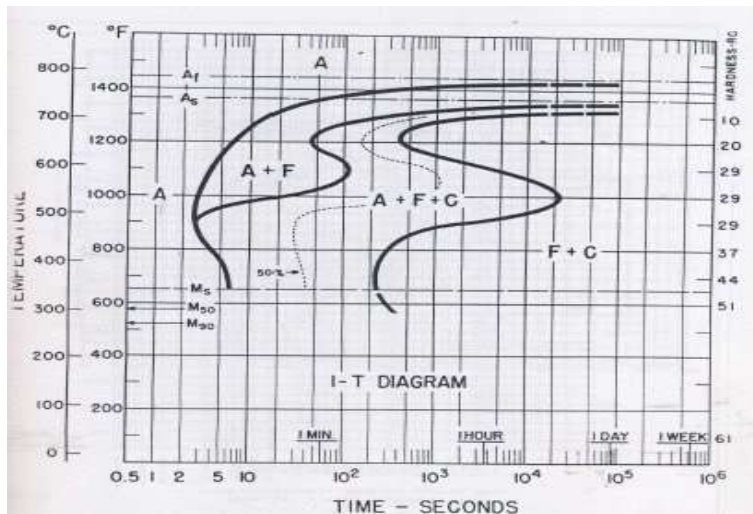
Perlakuan panas pada baja diawali dengan proses austenisasi atau pemanasan hingga temperatur austenit di atas temperatur kritis (A_1). Kemudian logam mengalami penahanan temperatur selama waktu tertentu lalu disusul dengan pendinginan dengan beragam kecepatan pendinginan yang akan menghasilkan fasa akhir yang berbeda-beda. Dengan pendinginan yang lambat, akan terbentuk struktur mikro perlit kasar dan lapisan tipis ferit sementit. Dengan ditingkatkannya laju pendinginan, maka akan mengurangi ketebalan lamela. Jika ditingkatkan lagi akan membentuk struktur mikro bainit. Laju pendinginan yang sangat cepat akan menghasilkan struktur mikro martensit. Diagram fasa baja ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Karl, 1984)

2.4.1 Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*)

Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*) atau biasa disebut diagram *Isothermal Transformation* merupakan diagram untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada baja selama proses perlakuan panas berlangsung, serta untuk mengetahui struktur mikro metastabil yang terbentuk selama proses tersebut.



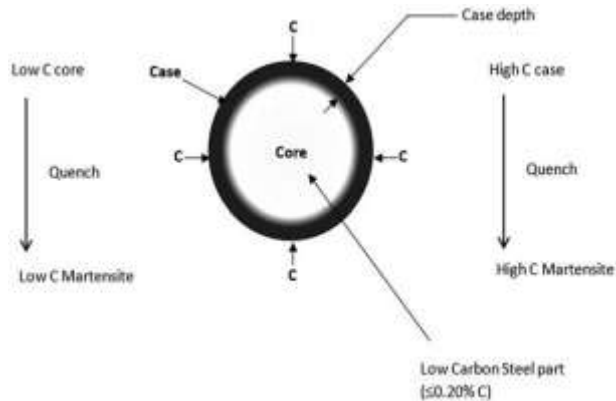
Gambar 2. 5 Diagram Time Temperature Transformation untuk Baja Karbon Medium (ASM International, 1993)

Pada proses pendinginan Gambar 2.5, dapat dilihat bahwa jika kita menginginkan stuktur mikro yang keras yaitu martensit, maka perlu dilakukan pendinginan cepat. Penambahan unsur paduan juga akan mempermudah terbentuknya martensit, karena akan menggeser kurva ke kanan sehingga mempermudah pembentukan martensit untuk waktu tertentu. (Calister, 2007)

2.4.2 Karburisasi

Karburisasi adalah proses perlakuan panas dimana terjadi peningkatan konsentrasi karbon pada permukaan dari suatu baja karbon rendah atau sedang setelah baja tersebut dimasukkan ke dalam suatu lingkungan tertentu pada suatu temperatur di daerah fasa austenit (ASM International, 2000). Metode ini juga merupakan metode pengerasan permukaan yang paling memuaskan dan banyak digunakan. Hal ini dikarenakan tujuan dari pengerasan permukaan ini adalah untuk mendapatkan permukaan

yang keras, tahan aus yang dengan inti/core yang tangguh. Proses karburisasi pada baja biasanya dilakukan di temperatur 850-950°C (temperature austenisasi). Pada temperatur ini struktur austenit yang stabil memiliki kelarutan karbon yang lebih tinggi yang disebarkan dari lingkungan karburisasi di sekitarnya. Pengerasan dicapai ketika lapisan permukaan karbon tinggi didinginkan untuk membentuk martensit. Ini menghasilkan permukaan karbon martensit tinggi dengan sifat ketahanan aus dan kelelahan yang baik sementara inti martensit karbon rendah memberikan sifat tahan banting dan tahan guncangan yang tinggi. Skema karburisasi dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Skema Respresentatif dari Proses Karburisasi
(Bepari, 2017)

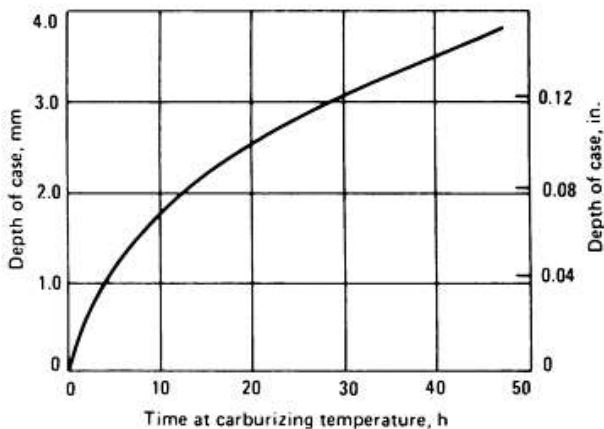
Proses karburisasi biasanya dibedakan bergantung pada karburator pada media karburasi :

1. *Solid Pack Carburization* – Medium padat
2. *Liquid Carburization* – Medium Cair
3. *Gas Carburization* – Medium gas

Ada 2 metode lainnya yaitu *Plasma Carburization* dan *Vacuum Carburization*. Namun pada penelitian kali ini yang digunakan adalah proses karburisasi padat (*Pack Carburization*). *Pack Carburizing* adalah proses di mana karbon monoksida yang

berasal dari senyawa padat terurai di logam permukaan menjadi karbon dan karbon dioksida yang baru. Karbon yang baru, diserap ke dalam logam, dan karbon dioksida segera bereaksi dengan bahan karbon yang ada dalam senyawa karburisasi padat untuk menghasilkan karbon monoksida. Pembentukan karbon monoksida ditingkatkan oleh *Energizers* atau katalis, seperti barium karbonat (BaCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3), kalium karbonat (K_2CO_3), dan natrium karbonat (Na_2CO_3), yang ada dalam senyawa karburasi. *Energizer* ini membantu reaksi karbon dioksida dengan karbon untuk membentuk karbon monoksida. Jadi, dalam sistem tertutup, jumlah *Energizer* tidak berubah. Karburisasi terus berlanjut selama cukup banyak karbon hadir untuk bereaksi dengan kelebihan karbon dioksida. (ASM International, 1991)

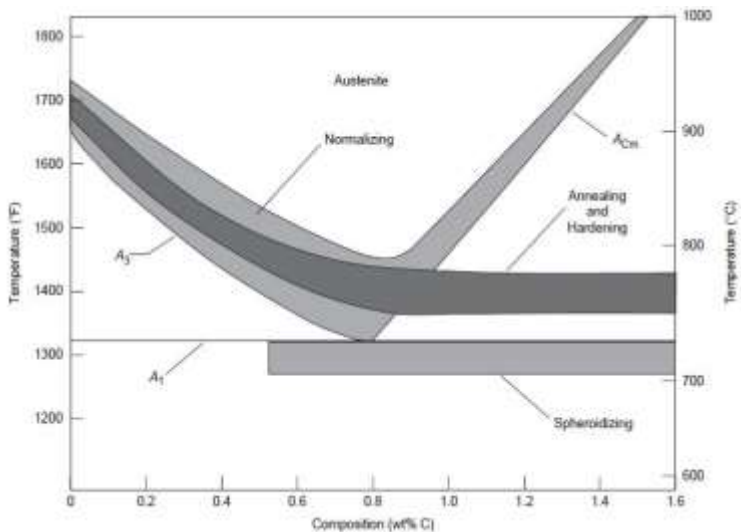
Dalam proses *pack carburization* ini banyak faktor-faktor yang akan mempengaruhi kekerasan permukaan, kedalaman kekerasan, dan kecepatan difusi. Hal-hal tersebut berupa temperature, waktu, *carbon potential*, komposisi paduan, dan juga *Energizers*, seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengaruh Waktu terhadap Kedalaman Kekerasan pada 925°C (ASM International, 1991)

2.4.3 Quenching

Proses *quenching* adalah proses heat transfer (perpindahan panas) dengan laju yang sangat cepat. Proses perlakuan panas pada baja ini dilakukan dengan pemanasan sampai temperatur austenit (diatas A_3) kemudian ditahan dengan waktu tertentu hingga struktur baja homogen dan kemudian didinginkan cepat (Brunhuber, 1988) rentang temperatur austenisasi dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di-*quench* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* meliputi: air, air garam, oli, *air-polymer*, dan beberapa kasus digunakan inert gas.



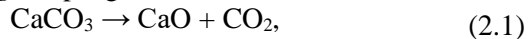
Gambar 2. 8 Rentang Temperatur Austenisasi (Campbel, 2008)

Tujuan melakukan pengerasan adalah mendapatkan struktur martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan, kekerasan martensit yang didapatkan tergantung pada kadar karbon

yang terlarut dalam austenit. Sedangkan banyaknya struktur martensit sendiri didapatkan dari austenit yang terbentuk atau bertransformasi ditemperatur austenisasi kemudian didinginkan cepat sehingga karbon tidak memiliki banyak waktu untuk berdifusi. Namun kekerasan martensit ini tidak dapat dipengaruhi secara signifikan oleh unsur paduan (Campbel, 2008).

2.5 *Energizer*

Untuk mempercepat proses karburisasi maka ditambahkan barium karbonat (BaCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3) atau natrium karbonat (NaCO_3) sebagai *energizer* yang bersama-sama material dimasukkan ke dalam kotak kedap udara untuk dipanaskan pada dapur pemanas pada temperatur *carburizing* (Suherman, 1987). *Energizer* akan menyediakan Persamaan 2.1 yang kemudian menyiapkan reaksi yang dibutuhkan untuk proses karburisasi. Dalam hal ini *energizer* akan berpengaruh terhadap peningkatan potensial karbon dalam media karburisasi. Bagaimana *energizer* melakukan hal ini masih belum diuraikan dengan jelas dan mengapa senyawa karbonat tertentu harus menjadi *energizer* yang lebih efektif masih dianggap menjadi masalah meskipun stabilitas kimia dianggap sebagai faktor yang penting. Reaksi *energizer* penghasil CO_2 ,



yang selanjutnya terjadi Persamaan 2.2,

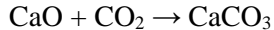


kemudian pada permukaan baja, CO akan terurai seperti pada Persamaan 2.3,



C yang terbentuk merupakan karbon atom yang aktif kemudian masuk berdifusi kedalam fasa austenite baja secara interstisi (suherman). Kemudian hasil oksida yang terbentuk dari senyawa *energizer* akan kembali bereaksi dengan CO_2 untuk kembali dalam bentuk karbonat seperti Persamaan 2.4.

(2.4)



Efisiensi dari tiap *energizer* dalam memaksimalkan karbon potensial berbeda-beda, yang punya kemungkinan bergantung pada sifat termo-kimianya, misalkan stabilitas pada temperature tinggi. Perbandingan sifat fisik dan termo-kimiaa dari beberapa mineral karbonat (*energizer*) dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Sifat Termo-Kimia Beberapa Mineral Karbonat sebagai Energizer (Okongwu, 1987)

	CaCO ₃		BaCO ₃	Na ₂ CO ₃
	Caclite	Argonite		
Decomposition				
Temperatur (°C)	898	825	1450	851
Density	2.710	2.930	4.43	2.53
Mol wt	100.09	100.09	197.35	
ΔH° (kcal)	-288.45	-269.53	-291.3	-226.42
ΔG° (cal)	-269.78	-269.53	-272.2	

2.6 Martensit

Martensit merupakan fasa dengan tingkat kekerasan yang paling tinggi di dalam baja. Fasa ini terbentuk melalui mekanisme *diffusionless* dan terjadi pada kecepatan pendinginan tinggi yang mampu menekan perubahan secara *diffusion controlled* dari austenit menjadi ferit, perlit maupun bainit. Pada baja, martensit akan tumbuh dari dalam austenit sebagai fasa induknya. Melalui mekanisme *diffusionless* ini, karbon tidak berubah menjadi ferit dan sementit, melainkan akan terperangkap di dalam bentuk oktahedral dari struktur kristal BCC. Ketika martensit terbentuk, kelarutan karbon di dalam struktur BCC akan menjadi jenuh. Ini yang akan membentuk struktur kristal baru berupa struktur bct. Martensit mulai terbentuk pada temperatur kritis atau temperatur *martensit start* (*Ms*) yang merupakan fungsi terhadap kandungan karbon dan unsur paduan yang terdapat di dalam baja dan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$M_s \text{ (}^\circ\text{C)} = 512 - 453C - 16,9\text{Ni} + 15\text{Cr} - 9,5\text{Mo} + 217(\text{C})^2 - 71,5(\text{C})(\text{Mn}) - 67,6(\text{C})(\text{Cr}) \quad (2.5)$$

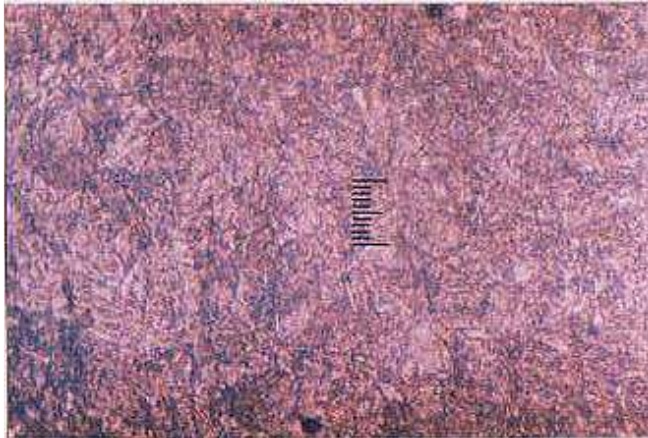
Pada baja karbon rendah, martensit akan berbentuk *lath martensit*. *Lath martensit* akan membentuk seperti bilah-bilah halus yang diantaranya terdapat sedikit austenit sisa. Struktur *lath martensit* memiliki bentuk yang sangat halus sehingga sulit untuk diamati dibawah mikroskop optik biasa (Setiawan, 2001) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



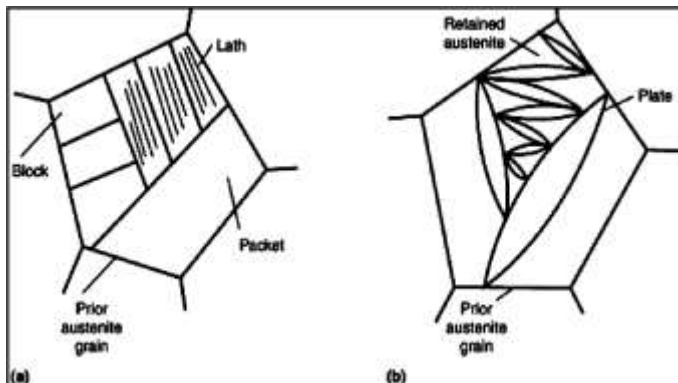
Gambar 2.9 Struktur Mikro Lath Martensit Hasil Quench.
(Calister, 2007)

Pada baja yang mengandung karbon di atas 0,6% akan terbentuk martensit yang berbentuk *plate* dengan struktur seperti jarum kembar paralel dan tersusun secara acak. *Plate* tersebut terkadang dikelilingi oleh sejumlah besar austenit sisa dikarenakan semakin tinggi kandungan karbon maka temperatur M_s akan semakin rendah sehingga transformasi dari austenit menjadi martensit

menjadi sulit. (Setiawan, 2001) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10. Perbedaan struktur antara *lath martensite* dan *plate martensite* dapat dilihat pada Gambar 2.11



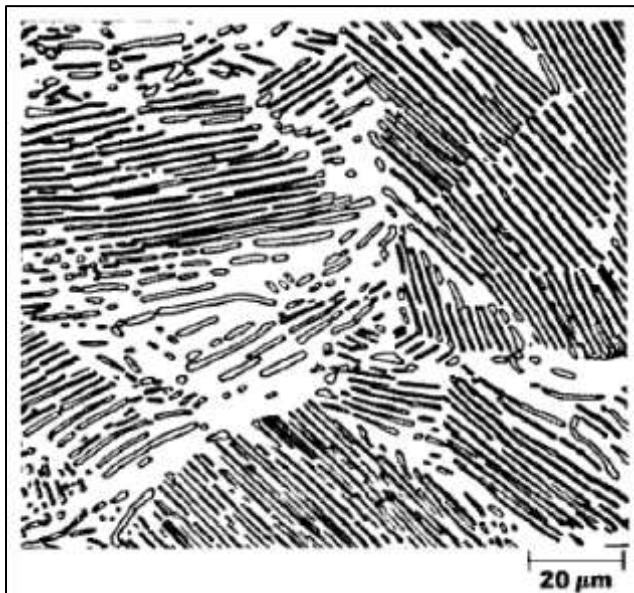
Gambar 2. 10 *Plate Martensite* pada Baja Hasil Karburisasi
(Eko Surojo, 2014)



Gambar 2. 11 Martensit (a) Lath dan (b) Plate.
(Setiawan, 2001)

2.7 Perlit

Mikrostruktur pada baja eutectoid yang mengalami pendinginan lambat disekitar temperatur eutectoid terdiri dari *alternating layers* atau lamela dari dua fasa (α dan Fe_3C) yang terbentuk secara simultan selama transformasi. Fasa ini yang disebut dengan fasa perlit. Gambar 2.12 adalah fotomikro baja eutectoid yang menunjukkan adanya perlit. Perlit muncul sebagai koloni, dimana layer pada setiap koloni mempunyai orientasi pada arah yang sama dan berbeda untuk koloni lainnya. Layer tebal dan terang merupakan fasa ferit, dan fasa sementit terlihat sebagai lamela tipis dan berwarna gelap. Secara mekanik, perlit mempunyai properti ditengah-tengah antara lunak dari ferrite yang bersifat ulet dan keras dari sementit yang getas (Calister, 2007). Hal ini yang dibutuhkan untuk inti/*core* dari baja karbon menengah.



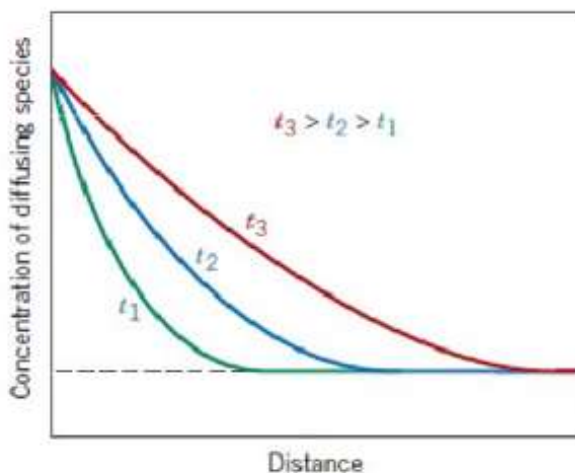
Gambar 2. 12 Struktur Mikro Perlit dengan Layer Ferit (terang) dan Fe_3C (lapisan tipis dan gelap) (Calister, 2007)

Lapisan selang-seling dari α dan Fe_3C pada perlite ini akan terbentuk pada temperatur A_1 atau sekitar 723°C . Fasa ini terbentuk ketika baja didinginkan secara normal atau lambat sampai mengenai hidung perlit. Perlit akan bernukleasi dan tumbuh dibatasi butir austenit. Mekanisme pengaturan ulang atom besi dari struktur kristal FCC austenit menjadi struktur BCC ferit terjadi pada *interface austenit-ferrite*. Sementara itu atom karbon karena kelarutannya rendah akan masuk ke dalam austenit sisa yang tidak bertransformasi menjadi sementit di dalam ferit.

2.8 Difusi Karbon

Masuknya karbon ke dalam baja melalui mekanisme difusi. Difusi dapat terjadi secara sendiri dimana atom berpindah dari satu posisi ke posisi lainnya di dalam benda padat karena adanya perbedaan konsentrasi antara dua buah medium (Guy, 1974). Mekanisme yang mungkin terjadi pada proses difusi adalah mekanisme *vacancy* dan *interstisi*. Pada mekanisme *vacancy*, kekosongan di dalam Kristal logam mengakibatkan terjadinya pergerakan atom-atom untuk mengisi tempat yang kosong tersebut. Dengan peningkatan temperature maka kekosongan tersebut akan meningkat sedang mekanisme interstisi dimungkinkan jika atom-atom yang masuk memiliki diameter yang jauh lebih kecil dibandingkan ukuran matriks logam yang dimasuki seperti carbon dan nitrogen.

Kombinasi efek dari waktu, temperature, dan konsentrasi karbon pada difusi dinyatakan dalam hukum difusi "*Fick's Second Law*". Dimana hukum difusi ini menjelaskan difusi pada keadaan *non-steady state* yaitu *diffusion flux* dan gradient konsentrasi pada beberapa titik pada suatu material padat berubah sesuai dengan waktu (Bates, 1962). Gambar 2.13 berikut menunjukkan profil konsentrasi tiga waktu difusi yang berbeda.



Gambar 2. 13 Profil Konsentrasi *Nonsteady-State* Difusi pada Tiga Waktu Berbeda (Bates, 1962)

2.9 Metalografi

Pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui fasa, bentuk dan ukuran struktur mikro pada baja carbon menengah. Selain itu juga untuk memprediksikan mikrostruktur yang terbentuk setelah proses perlakuan panas. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E3 dengan tahapan sebagai berikut ini:

a. Tahap persiapan

- *Cutting*: Pemotongan spesimen dilakukan dengan menggunakan gergaji mesin/manual.
- *Mounting*: Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan spesimen saat proses grinding
- *Grinding*: Menggosok spesimen dengan amplas silikon karbida mulai dari grade 60 hingga 2000. Sehingga akan di peroleh permukaan yang halus.

- *Polishing*: Memoles spesimen dengan pasta alumina dengan tujuan untuk memastikan tidak ada goresan pada permukaan.
- *Etching*: Mencelupkan permukaan spesimen kedalam larutan etsa. Larutan etsa yang di gunakan adalah nital dan pikral.
- b. Tahap pengamatan
 - Tahap pengamatan dilakukan untuk mengamati struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan dilakukan dengan beberapa kali perbesaran.

2.10 Pengujian Kekerasan

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material. Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan. Hal ini tergantung metode pengujian, yaitu:

- a. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
- b. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
- c. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standar terhadap indenter. Salah satu jenis uji kekerasan indentasi adalah metode Vickers. Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. (Dieter, 1987).

2.11 Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Tahun	Penelitian
Adi Noval Ihsan	2018	<p>Dalam penelitiannya dia menganalisis faktor penyebab dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada <i>shaft</i> mesin uap pabrik gula. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung analisis ini. Beberapa pengujian tersebut yaitu pengamatan visual, pengujian komposisi, pengujian <i>metallography</i>, pengujian kekerasan, SEM dan XRD. Hasil uji komposisi menunjukkan material <i>shaft</i> tersebut tidak memenuhi standar AISI 4340. Pengujian <i>metallography</i> menunjukkan pada daerah dekat patahan memiliki nilai <i>grain size</i> yang lebih tinggi dibanding daerah jauh dari patahan. Pengujian SEM dilakukan pada permukaan patahan dan hasil dari SEM menunjukkan adanya retakan dan garis striasi halus akibat adanya pembebanan berulang. Uji kekerasan dilakukan pada 3 daerah yaitu daerah <i>initial crack</i>, <i>propagation</i> dan <i>final crack</i>. Uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang dekat patahan lebih besar daripada daerah jauh patahan. Hasil XRD menunjukkan nilai regangan kristal pada daerah patahan lebih besar daripada daerah jauh patahan. Setelah dilakukannya pengujian-pengujian tersebut didapatkan faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen <i>shaft</i></p>

		<p>pada mesin uap II, yaitu kesalahan pemilihan material yang tidak sesuai standar, sehingga sifat mekanik yang ada dibawah standar. Mekanisme kegagalan komponen <i>shaft</i> pada mesin uap II diawali adanya <i>initial crack</i> pada <i>keyway</i> karena adanya pemusatan tegangan pada daerah tersebut dan kemudian retakan merambat pada permukaan sebelum terjadi <i>final crack</i> dikarenakan <i>shaft</i> tidak mampu menahan tegangan yang terjadi, sehingga menyebabkan <i>fatigue failure</i>.</p>
Umen Rumendi dan Hana Hermawan	2014	<p>Melakukan suatu penelitian yaitu perlakuan pengerasan permukaan baja AISI 1045 (baja karbon medium) dengan menggunakan metode nitridasi. Nitridasi bertujuan untuk mengeraskan permukaan baja yang bertujuan untuk meningkatkan sifat kimia dan mekanik. Nitridasi yang dilakukan adalah nitridasi padat menggunakan urea sebagai alternatif sumber nitrogen yang akan berdifusi dengan permukaan logam dan membentuk nitrida besi Fe_4N. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap tiga sampel baja dengan standar AISI 1045. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel adalah suhu nitridasi, yaitu 460°C, 510°C dan 560°C dengan <i>holding time</i> dalam tungku, selama 4 jam. Hasil sampel yang telah dinitridasi selanjutnya</p>

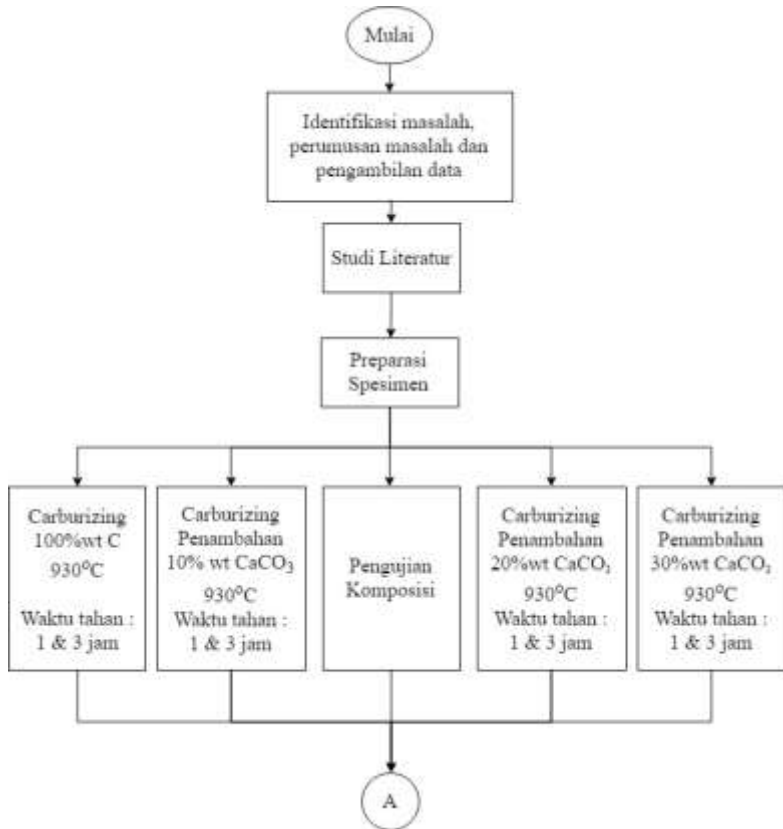
		<p>dilakukan pengujian yang meliputi pengujian kekerasan permukaan, distribusi kekerasan dan observasi struktur mikro. Dari hasil pengujian yang dilakukan, maka didapatkan kekerasan tertinggi dari ketiga sampel adalah sampel 1 yang dilakukan nitridasi pada suhu 460°C dengan harga kekerasan permukaan rata-rata 440,5 HVN kemudian posisi berikutnya berada pada sampel 2 yang dilakukan pada suhu 510°C dengan harga kekerasan permukaan 355,34 HVN, sedangkan sampel 3 yang dilakukan pada suhu 560°C dengan kekerasan permukaan 265,62 HVN. Dengan hasilnya pengerasan permukaan baja AISI 1045 dengan menggunakan media urea sebagai sumber nitrogen dapat meningkatkan kekerasan permukaan baja tersebut.</p>
Sujita	2016	<p>Melakukan penelitian mengenai <i>carburizing</i> dengan media <i>carburizer</i> serbuk arang sebagai karbon dan cangkang kerang mutiara sebagai <i>Energizer</i> karena mengandung CaCO_3. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara sebagai media <i>carburizer</i> pada proses pack <i>Carburizing</i> terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon</p>

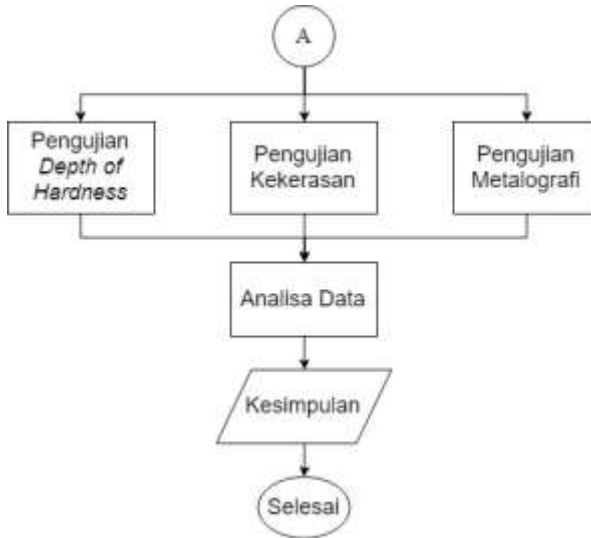
		<p>rendah yang berbentuk selinder. Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan pemotongan menjadi beberapa bagian, pemotongan dilakukan untuk memudahkan di dalam meletakkan spesimen di dalam kotak karburisasi, kemudian serbuk arang kayu dan serbuk cangkang ditimbang sesuai dengan komposisi yang diinginkan dengan pencampuran serbuk cangkang kerang mutiara 5, 10, 20 dan 25 (% berat). Spesimen dilakukan perlakuan panas pada temperature 910°C, 930°C, 950°C dengan penahanan waktu selama 90, dan 150 menit. Kemudian dilakukan Uji kekerasan Vickers, pengujian foto struktur mikro dan uji komposisi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi rata-rata pada penambahan 20% serbuk cangkang di peroleh sebesar 262,47 kg/mm² dan kekerasan material awal diperoleh sebesar 144,08 kg/mm². Dari hasil pengamatan struktur mikro dan uji komposisi diketahui bahwa terjadi pengerasan permukaan karena difusi karbon kedalam baja karbon rendah.</p>
--	--	--

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang telah diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan pencarian langsung ke lapangan yaitu Pabrik Gula Gending Probolinggo, dan berdiskusi dengan peneliti sebelumnya, dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak Pabrik Gula Gending Probolinggo yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang berkaitan dengan proses perlakuan panas pada poros pompa dan baja karbon medium.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: pengamatan struktur mikro (Metalografi) dengan mikroskop optik, uji *depth of hardness* dengan metode vickers, uji kekerasan dan kedalaman kekerasan dengan metode vickers, serta pengujian SEM jika diperlukan.

3.3 Material yang Digunakan

Dalam penelitian ini, material yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Material

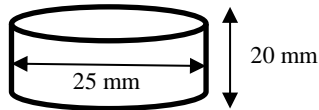
Material yang digunakan adalah baja AISI 1045, yang dijadikan sebagai material alternatif baja AISI 1040. Berdasarkan uji spektroskopi yang telah dilakukan, material ini memiliki komposisi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Shaft Mesin Uap dan Alternatif Material AISI 1045 (Ihsan, 2018)

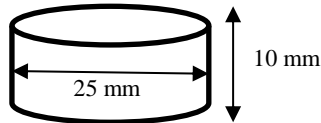
Unsur	Kadar %		
	<i>Shaft</i>	AISI 4340	AISI 1045
C	0,387	0,370 – 0,430	0,420 – 0,5
Si	0,268	0,150 – 0,3	–
Mn	0,604	0,6 – 0,8	0,6 – 0,9
P	0,0143	0,0350	≤ 0,040
S	0,0128	0,04	≤ 0,050
Cr	0,287	0,7 – 0,9	–
Mo	0,0324	0,2 – 0,3	–
Cu	0,0175	-	–
Ni	0,0490	1,65 – 2	–
Fe	98.2	95,195 – 96, 33	98 – 99

2. Dimensi spesimen

Dimensi spesimen dibentuk seperti pada Gambar 3.2. Pemilihan dimensi ini untuk mempermudah pemotongan *cross section* untuk pengujian kekerasan mikro, sehingga tampak pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen



Gambar 3. 3 Dimensi Spesimen Setelah Dipotong pada *Cross-Section*

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Mesin Pemotong
Digunakan untuk memotong material untuk dijadikan sebagai sampel penelitian
2. Mesin Grinding-Polish
Digunakan untuk preparasi permukaan material
3. *Chamber* karburisasi
Gambar 3.4 merupakan *chamber* karburisasi yang digunakan untuk wadah proses karburisasi



Gambar 3. 4 Media Karburisasi

4. Mesin Uji Kekerasan

Gambar 3.5 digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material



Gambar 3. 5 Mesin Uji Kekerasan

5. *Electric Furnace*

Gambar 3.6 digunakan untuk melakukan perlakuan panas terhadap material, khususnya pada proses pemanasan dan austenisasi



Gambar 3. 6 *Electric Furnace*

6. Larutan Etsa Nital
Digunakan untuk menampakkan struktur mikro dari material yang diuji metalografi. Etsa Nital terdiri dari 4 ml HNO_3 dan 96 ml ethanol 98%
7. Mikroskop Optik
Gambar 3.7 digunakan untuk mengobservasi fasa atau struktur mikro material yang diuji



Gambar 3. 7 Mikroskop Optik

8. *Micro Vickers*

Gambar 3.8 digunakan untuk mengetahui kedalaman kekerasan material.



Gambar 3. 8 Alat Uji *Micro Vickers*

9. Baja Pengangkut

Digunakan untuk mengangkat media karburisasi dari furnace.

10. Kertas Amplas

Digunakan untuk grinding spesimen uji metalografi.

11. Gelas Ukur

Sebagai alat pengukur bahan untuk proses pembuatan etsa.

12. Beaker Glass

Wadah pencampur bahan-bahan etsa.

13. Pasta Logam

Untuk proses polishing sebelum dilakukan pengetsaan pada logam.

14. OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi material yang diteliti.

15. Arang Batok Kelapa
Sebagai sumber karbon untuk proses karburisasi.
16. *Energizer* CaCO_3
Sebagai aktivator dalam proses karburisasi.
17. Baja AISI 1045
Sebagai bahan penelitian yang akan dilakukan proses karburisasi.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah variasi *holding time* 1 dan 3 jam serta pengaruh perbandingan carbon dengan *Energizer* yaitu 9:1, 8:2, dan 7:3.

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Review Dokumen Penelitian

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang berkaitan dengan *shaft* mesin uap sebagai pendukung proses penelitian, sehingga hasil yang diperoleh valid. Berikut adalah data-data yang diambil dari dokumen perusahaan dan penelitian sebelumnya, yaitu:

1. Data operasi
2. Spesifikasi material
3. Komposisi material

3.6.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan *shaft* mesin uap. Persiapan ini berupa proses *cutting*, *grinding* maupun *polishing*, termasuk untuk persiapan uji *depth* of hardness, uji metalografi, uji kekerasan.

3.6.3 Perlakuan Panas *Carburizing*

Langkah-langkah untuk melakukan proses *Carburizing* adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen untuk di *carburizing*
2. Menyiapkan wadah untuk proses *carburizing*
3. Memasukan carbon/campuran carbon dan *energizer* (CaCO_3) kedalam wadah *carburizing*
4. Menimbun spesimen didalam wadah *Carburizing*
5. Menutup wadah *carburizing* dan memasukkannya kedalam *furnace*
6. Menghidupkan *furnace* dan mengkondisikannya hingga temperatur 930°C
7. Setelah mencapai 930°C , kemudian dilakukan *holding* selama 1 dan 3 jam
8. Mematikan *furnace* dan mengambil wadah karburisasi dari *furnace*
9. Membuka wadah karburisasi dan segera mencari spesimen yang ditimbun untuk segera didinginkan menggunakan media air.

3.6.4 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada material. Pengujian ini menggunakan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter piramid intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan indentasi selama 10 detik (ASM International, 2000). Uji menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS.

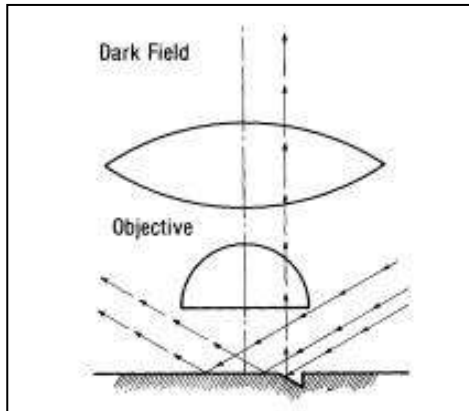
3.6.5 Uji *Depth of Hardness*

Uji *depth of hardness* bertujuan untuk mengetahui kedalaman difusi carbon ke logam yang akan di karburisasi. Pengujian ini menggunakan beban yang berkisar 100-200 gf dimana spesimen yang ingin diuji perlu di preparasi terlebih dahulu

agar mendapat permukaan yang rata. Lalu kemudian spesimen dapat diuji dengan bantuan mikroskop sebagai pengamat lapisan yang ingin diukur kekerasannya.

3.6.6 Uji Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material sebelum dan setelah diberi perlakuan panas. Pengujian diawali dengan preparasi permukaan specimen, lalu dilakukan pengetsaan dan observasi struktur mikro dengan mikroskop optik. Uji ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM E407. Untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen uji sebelum diberikan perlakuan. Tujuannya adalah untuk mengetahui properties dari spesimen tersebut, mekanismenya dilihat pada Gambar 3.9. Pengujian struktur mikro dilakukan melalui pengamatan menggunakan *Metallurgical Microscope* OLYMPUS BX51M-RF.



Gambar 3. 9 Arah Cahaya pada Pengujian Metalografi
(Kaufmann, 2003)

3.7 Rancangan

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi perlakuan dan pengujian pada tiap specimen yang diteliti. Rincian rancangan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian

No	Nama Spesimen	Waktu Tahan (Jam)	T (°C)	Penambahan (%wt) Energizer CaCO ₃	Pengujian			
					Komposisi	Metalografi	Kekerasan	Depth of Hardness
1	TP	-	-	-	√	√	√	√
2	En0/ht1	1	930	0	-	√	√	√
3	En10/ht1	1	930	10	-	√	√	√
4	En20/ht1	1	930	20	-	√	√	√
5	En30/ht1	1	930	30	-	√	√	√
6	En0/ht3	3	930	0	-	√	√	√
7	En10/ht3	3	930	10	-	√	√	√
8	En20/ht3	3	930	20	-	√	√	√
9	En30/ht3	3	930	30	-	√	√	√

Keterangan :

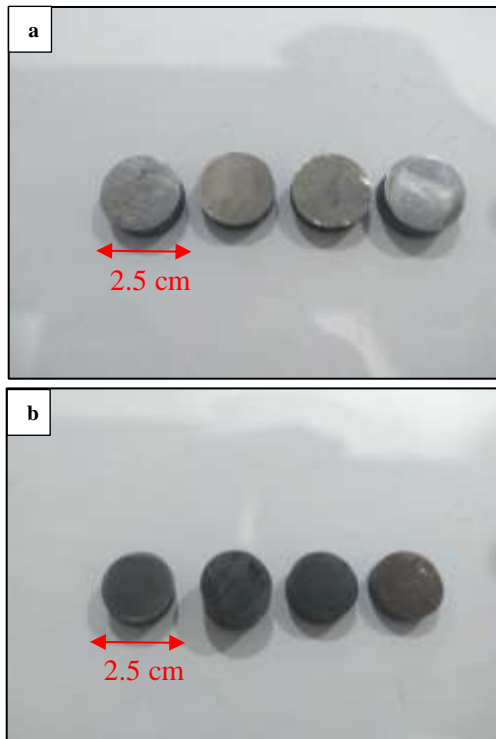
- En = Penambahan berat energizer (%)
- Ht = Waktu Tahan (jam)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesimen Hasil *Carburizing*

Pengamatan dilakukan pada spesimen baja AISI 1045 yang digunakan sebagai spesimen karburisasi. Dilakukan pengamatan secara visual pada baja AISI 1045 yang sudah dipreparasi melalui proses pemotongan.



Gambar 4. 1 Baja AISI 1045 (a) Tanpa Perlakuan (b) Hasil *Carburizing*

Pada Gambar 4.1 (a) merupakan gambar baja AISI 1045 tanpa perlakuan hasil normalizing, dimana menunjukkan bahwa baja AISI 1045 tanpa perlakuan memiliki permukaan yang terang, sementara pada Gambar 4.1 (b) merupakan baja hasil karburisasi pada temperatur 930°C dengan waktu tahan 1 dan 3 jam dan didinginkan pada media air permukaan yang terang berubah menjadi gelap/hitam. Hal ini terjadi karena adanya karbon yang berdifusi dari media karburisasi kedalam baja AISI 1045, sehingga seluruh permukaan baja cenderung lebih gelap/hitam. Hal lain yang dapat ditemukan pada baja hasil karburisasi adalah adanya warna merah seperti kerak pada selimut silinder baja yang diakibatkan oleh adanya oksida yang masuk saat proses pemanasan di temperatur tinggi.

4.2 Pengujian Komposisi

Pengujian Komposisi dilakukan dengan menggunakan OES (*Optical Emmision Spectrography*) pada spesimen AISI 1045 yang digunakan sebagai spesimen karburisasi.

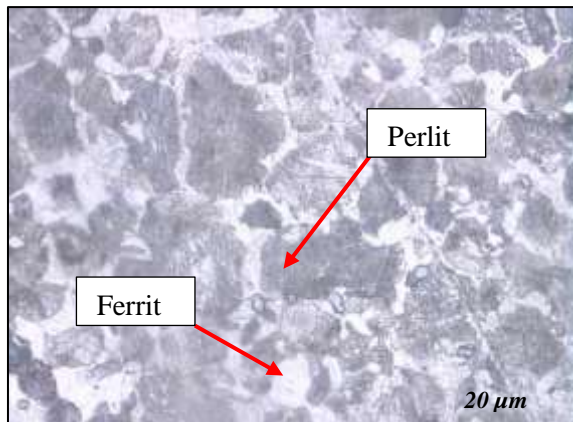
Tabel 4. 1 Hasil uji komposisi AISI 1045

Unsur	Kadar (%)	
	Standart AISI 1045	Hasil Uji
C	0.42-0.48	0.45
Mn	0.6-0.9	0.7
S	0.03 max	0.011
Si	0.15-0.35	0.156
P	0.035 max	0.017
Cr	-	0.089
Ni	-	0.041
Fe	Balance	Balance

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa material AISI 1045 memiliki kadar karbon 0.42-0.48 % yang membuktikan klasifikasinya sesuai dengan baja karbon medium yang digunakan dengan kadar karbon 0.45%. Selain itu ditemukan juga unsur-unsur lain dengan kadar yang tidak terlalu besar pada baja AISI 1045, tetapi tidak terlalu berpengaruh terhadap proses yang dilakukan karena kadarnya yang kecil.

4.3 Pengujian Metalografi

Pada pengujian metalografi dilakukan dengan preparasi spesimen sesuai standar yang ada, yaitu *mounting*, *grinding*, *polishing* dan di lakukan pengetsaan menggunakan etsa natal 4% yang kemudian di *immerse* selama 5-8 detik, kemudian spesimen di *swap* menggunakan alkohol. Spesimen yang telah di etsa diamati dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil struktur mikro baja AISI 1045 tanpa perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

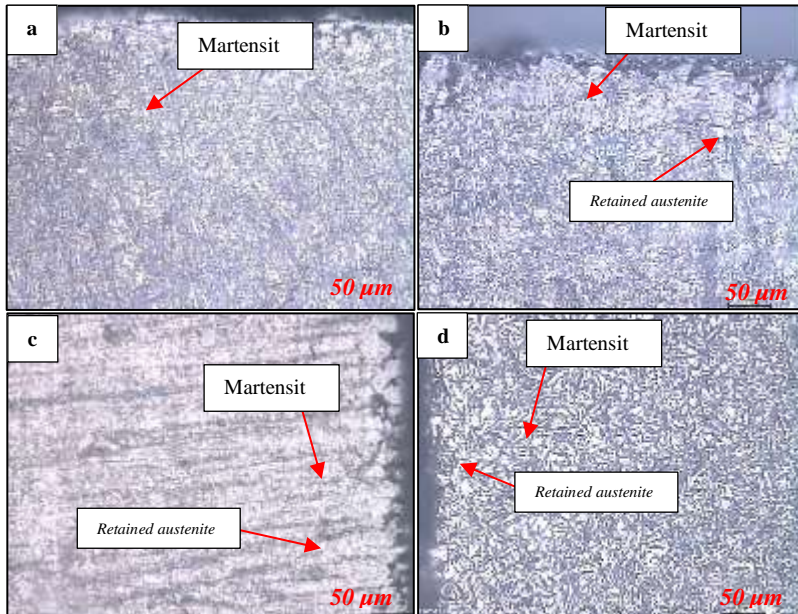


Gambar 4. 2 Struktur Mikro Baja AISI 1045 Tanpa Perlakuan

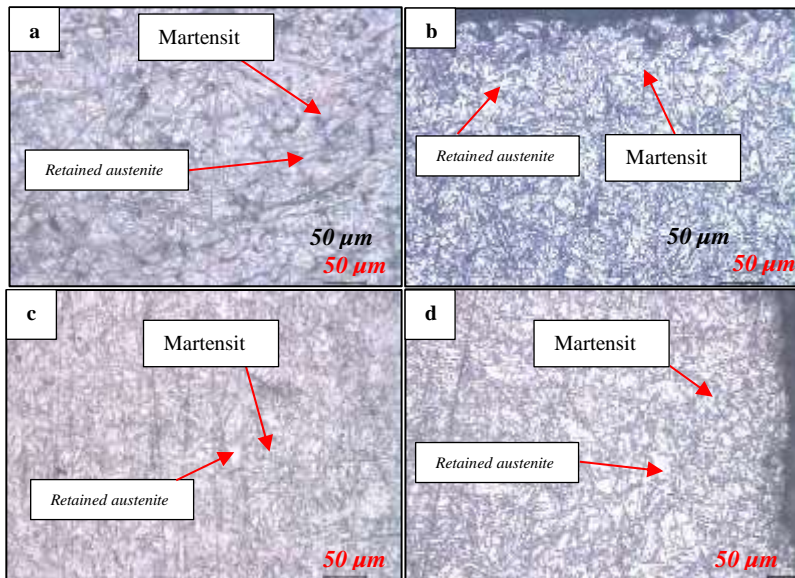
Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada baja AISI 1045 terdiri dari 2 fasa yaitu ferrit dan perlit. Hal ini sesuai dengan diagram fasa Fe-Fe₃C dimana baja dengan kadar karbon 0.42-0.48% ada pada daerah *hypoeutectoid*

yang pada temperatur kamar memiliki fasa ferrit dan perlit. Ferrit terlihat lebih terang dan perlit lebih gelap.

Pengujian metalografi juga dilakukan pada spesimen hasil carburizing pada area dekat permukaan dan pada bagian inti dari spesimen. Hasil uji metalografi dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Struktur Mikro Baja Hasil *Carburizing* dengan Waktu Tahan Satu Jam dan Penambahan *Energizer* CaCO_3 : (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%



Gambar 4. 4 Struktur Mikro Baja Hasil *Carburizing* dengan Waktu Tahan Tiga Jam dan Penambahan *Energizer* CaCO_3 : (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%

Pada Gambar 4.3 (a) menunjukkan kondisi *carburizing* tanpa energizer (100% C), (b) menunjukkan kondisi *carburizing* dengan berat masa *energizer* CaCO_3 dan karbon 90%, (c) menunjukkan kondisi *carburizing* dengan berat masa *energizer* CaCO_3 20% dan karbon 80%, (d) menunjukkan kondisi *carburizing* dengan berat masa *energizer* CaCO_3 30% dan karbon 70%, dimana semua dipanaskan pada temperatur 930°C dengan waktu tahan satu jam dan didinginkan dengan air. Sedangkan Gambar 4.4 (a) menunjukkan kondisi *carburizing* tanpa energizer (100% C), (b) menunjukkan kondisi *carburizing* dengan berat masa *energizer* CaCO_3 10% dan karbon 90%, (c) menunjukkan kondisi *carburizing* dengan berat masa *energizer* CaCO_3 20% dan karbon 80%, (d) menunjukkan kondisi *carburizing* dengan berat masa *energizer* CaCO_3 30% dan karbon 70%, dimana semua dipanaskan pada

temperatur 930°C dengan waktu tahan tiga jam dan didinginkan dengan air. Tampak struktur mikro yang berbentuk seperti jarum-jarum berwarna gelap atau biasa disebut martensit dan berwarna terang dibagian tepi yang merupakan austenit sisa. Jenis martensit yang terbentuk pada sampel ini berupa *plate martensite*. Umumnya *plate martensite* terbentuk pada baja dengan kadar karbon diatas 0.6% dimana mengandung lebih banyak karbon dalam strukturnya sehingga bersifat lebih keras dan getas daripada *lath martensite* (Karl, 1984). Struktur martensit terbentuk saat austenit didinginkan cepat dan mencapai temperatur *martensit start* (M_s). Akibat dari proses *carburizing* menyebabkan kandungan karbon yang ada pada permukaan baja meningkat sehingga saat didinginkan yang cepat, karbon bebas yang terlarut di dalam austenit tidak memiliki cukup waktu untuk berdifusi keluar dari kristal austenit sehingga bertransformasi dari FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*). Struktur BCT ini sangat rapat sehingga dikatakan keras. Semakin tinggi kadar karbon semakin tinggi pula kekerasan martensitnya. Banyaknya austenit yang bertransformasi menjadi martensit tergantung pada temperaturnya dimana semakin rendah temperaturnya semakin banyak martensit yang terbentuk (Suherman, 1987). Sehingga ketika proses pendinginan diantara temperatur *martensite start* (M_s) dan *martensite finish* (M_f) terganggu akan terbentuk *retained austenite* dikarenakan proses pembentukan dari austenit ke martensit belum selesai sepenuhnya (Björklund, 2014). Baja *carburizing* memiliki kadar karbon yang banyak sehingga pengaruh kadar karbon tersebut menyebabkan temperatur M_s dan M_f turun ketika temperatur M_f terlalu rendah pada saat pendinginan cepat memungkinkan terbentuknya *retained austenite*. Adanya *retained austenite* yang bersifat lunak dapat menyebabkan kekerasan yang diperoleh tidak maksimum (Karl, 1984).

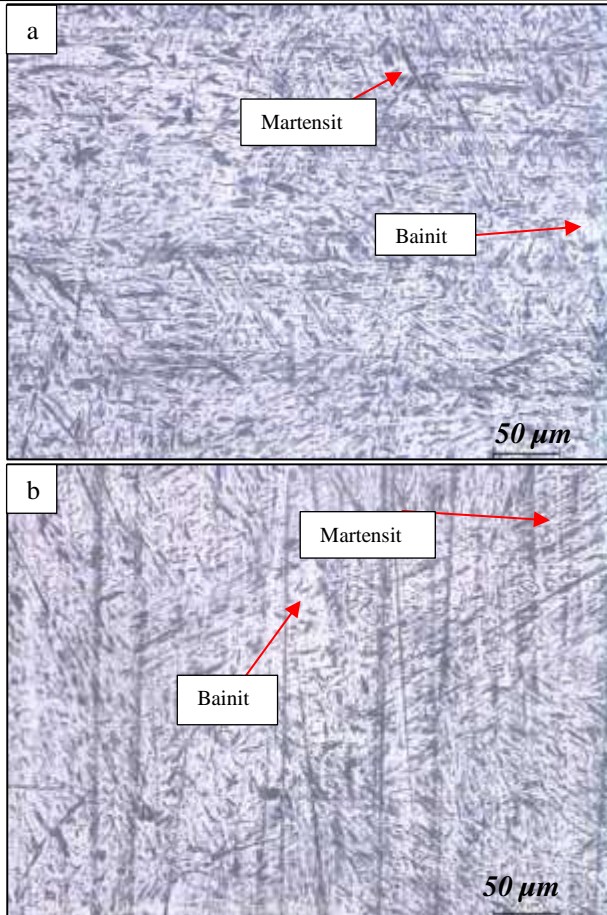
Persentase fraksi *retained austenite* di tiap-tiap spesimen dapat diukur menggunakan aplikasi ImageJ/Fiji. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Persentase Fraksi Area *Martensite* dan *Retained Austenite*

No	Label	Martensite (%)	Retained Austenite (%)
1	En0/ht1	58.115	41.885
2	En10/ht1	59.195	40.805
3	En20/ht1	57.517	42.483
4	En30/ht1	57.515	42.485
5	En0/ht3	57.684	42.316
6	En10/ht3	66.864	33.136
7	En20/ht3	57.108	42.892
8	En30/ht3	53.38	46.62

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa fraksi *retained austenite* pada spesimen En0/ht1, En10/ht1, En20/ht1, dan En30/ht1 berturut-turut adalah 41.885%, 40.805%, 42.483%, dan 43.485% sedangkan untuk spesimen En0/ht3, En10/ht3, En20/ht3, En30/ht3 berturut-turut adalah 42.316%, 33.136%, 42.892%, 46.62%. Dari hasil ini didapatkan bahwa spesimen yang memiliki fraksi *retained austenite* terbesar adalah En30/ht3. Hal ini dikarenakan penambahan *energizer* CaCO_3 sebanyak 30% akan membuat proses difusi berlangsung cepat sehingga karbon yang masuk kedalam baja akan semakin banyak. Ketika karbon yang masuk kedalam baja bertambah akan menyebabkan turunnya temperatur M_s dan M_f , sehingga saat didinginkan cepat menggunakan air, martensit tidak sempat menyentuh temperatur M_f yang menyebabkan munculnya *retained austenite*.

Sementara hasil metalografi pada bagian lebih dalam (*core*) dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Core Permukaan baja hasil *carburizing* (a) tanpa *energizer* (b) dengan *energizer* CaCO₃

Gambar 4.5 (a) merupakan baja hasil *carburizing* tanpa penambahan *energizer* (100%C), (b) merupakan baja hasil *carburizing* dengan berat masa 10% *energizer* dan 90% karbon, dimana keduanya dipanaskan pada temperature 930°C dengan waktu tahan tiga jam. Pada bagian *core* hasil *carburizing* di

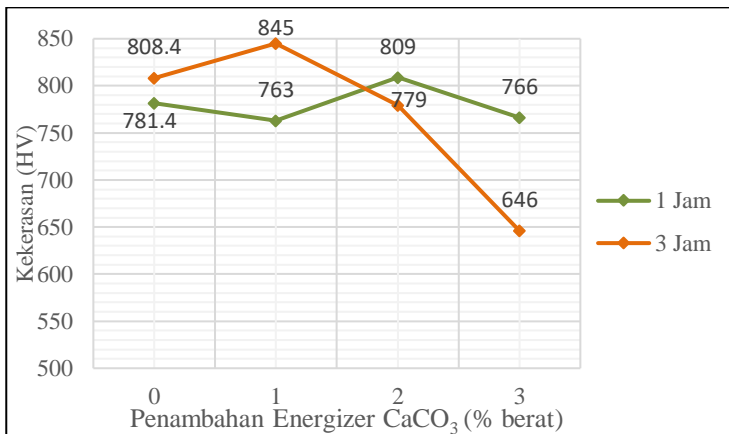
dapatkan struktur berbentuk jarum-jarum hitam juga, tetapi tidak sepadat pada permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa proses yang terjadi pada *core* berupa quenching biasa, sehingga didapatkan struktur mikro berupa martensit, bainit. Martensit yang terbentuk pada *core* adalah *lath martensite* yang memiliki bentuk jarum-jarum hitam kecil dan tersusun. *Lath martensite* terbentuk karena tidak menerima difusi karbon dari media karburisasi sehingga kadar karbon yang ada pada *core* yaitu dibawah 0.6% (persentase pembentukan *plate martensite*). Selain itu juga terdapat bainit yang ditunjukkan pada daerah putih yang memiliki bercak hitam kecil didalamnya. Bainit terbentuk karena proses pendinginan/*quench* pada media air. Saat baja karburisasi di *quenching* pada media air, proses pendinginan yang dialami baja pada permukaan dan *core* berbeda. Baja pada permukaan bertemu langsung dengan air sehingga dihasilkan pendinginan yang cepat dan bisa mencapai martensit seluruhnya. Sedangkan pada bagian *core*, pendinginan yang dialami lebih lambat dibanding permukaan yang jika dihubungkan dengan diagram CCT (*continuous cooling temperature*) pembentukan struktur bainit adalah hal yang wajar. Jika diamati dengan menggunakan aplikasi ImageJ/Fiji kita dapat mengetahui fraksi fasa dari martensit dan bainit yang terbentuk. Untuk Gambar 4.5 (a) memiliki fraksi fasa martensit sebesar 45.873%, sementara untuk Gambar 4.5 (b) memiliki fraksi fasa martensit sebesar 56.374%.

4.4 Uji Kekerasan Makro (Permukaan)

Pengujian kekerasan makro dilakukan berdasarkan standar ASTM E-92-00 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* dengan pembebanan 100kgf selama 10 detik penjeakan pada tiap spesimen. Dilakukan sebanyak lima kali penjeakan pada semua sampel lalu di nmambil nilai rata-rata dari hasil nilai kekerasan tiap-tiap spesimen. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 3 Hasil Kekerasan Rata-Rata Sampel

No	Kekerasan awal (VHN)	Holding Time	Penambahan <i>Energizer</i>	Kekerasan akhir (VHN)
1	191.2	1 jam	0% CaCO ₃	781.4
2	197.2	1 jam	10 % CaCO ₃	763
3	198.4	1 jam	20% CaCO ₃	809
4	195.8	1 jam	30% CaCO ₃	766
5	198.4	3 jam	0% CaCO ₃	808.4
6	200.2	3 jam	10% CaCO ₃	845
7	207.8	3 jam	20% CaCO ₃	779
8	206.2	3 jam	30% CaCO ₃	646



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Waktu Tahan dan Penambahan CaCO₃ Terhadap Kekerasan Permukaan

Dari Tabel 4.2 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi ada pada spesimen nomor 6 yaitu dengan holding time 3 jam dan penambahan 10% CaCO₃ dengan nilai kekerasan 845 VHN, lalu berturut-turut diikuti oleh spesimen

En10/ht3 yaitu dengan holding time 3 jam dan penambahan 10% CaCO_3 dengan nilai kekerasan 845 VHN, lalu berturut-turut diikuti oleh spesimen nomor En20/ht1, En0/ht3, En0/ht1, En20/ht3, En30/ht1, En10/ht1, dan yang terendah adalah spesimen En30/ht3 yaitu dengan waktu tahan 3 jam dan penambahan 30% CaCO_3 dengan nilai kekerasan 646 VHN. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa penambahan *energizer* CaCO_3 dan waktu tahan dapat berpengaruh terhadap kekerasan peningkatan ataupun penurunan kekerasan dari sampel yang tidak diberikan *energizer*.

Kekerasan rata-rata yang dihasilkan oleh penjejakan sampel awal (tanpa perlakuan) berkisar antara 191.2-206.2 VHN. Nilai yang dihasilkan tergolong rendah dan belum memenuhi spesifikasi untuk *shaft* pada mesin uap, oleh karena itu dilakukan karburisasi untuk meningkatkan sifat mekanik agar material dapat bekerja dengan baik. Pada hasil uji kekerasan permukaan material dapat terlihat besarnya pengaruh proses karburisasi terhadap kekerasan suatu material. Pada hal ini terlihat pengaruh penambahan *energizer* CaCO_3 terhadap kekerasan permukaan baja karbon medium. Dari Tabel 4.3 menunjukkan adanya peningkatan ataupun penurunan terhadap sampel yang diberi *energizer*. Proses karburisasi terjadi karena adanya difusi atom karbon dari lingkungan (media karburisasi) ke dalam permukaan spesimen. Difusi dimulai dari permukaan benda kerja dan selanjutnya atom-atom karbon berdifusi semakin masuk kedalam permukaan. Sehingga kadar karbon pada permukaan lebih tinggi. Sehingga didapatkan permukaan yang jauh lebih keras dari sebelumnya (Surojo, Triyono, & Eko, 2009). *Energizer* pada proses karburisasi berfungsi sebagai katalis yang mempermudah proses karburisasi. *Energizer* menghasilkan oksida dan bereaksi dengan CO_2 untuk membentuk senyawa karbonat. Sehingga *carbon potential* pada media karburisasi meningkat. Pada tabel 4.3 dengan waktu tahan satu jam spesimen yang paling optimal adalah dengan penambahan 20% CaCO_3 dengan kekerasan 809 VHN. Sementara dengan waktu tahan tiga jam, spesimen yang paling optimal adalah dengan penambahan 10% CaCO_3 . Penurunan kekerasan yang terjadi di

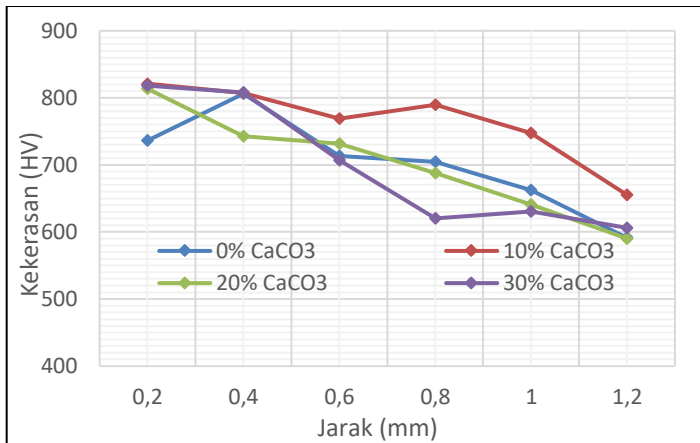
permukaan akibat penambahan energizer kemungkinan terjadi karena adanya *retained austenite* pada permukaan spesimen (Voort, 2015). Semakin banyak penambahan *energizer* dan semakin lama waktu tahannya maka semakin turun pula kekerasan permukannya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 dimana penurunan kekerasan terbesar adalah 46.62% pada spesimen En30/ht3 yaitu dengan penambahan 30%wt *energizer* CaCO₃ dengan waktu tahan tiga jam. Semakin banyak fraksi *retained austenite* yang terbentuk semakin turun pula kekerasannya.

4.3 Pengujian *Depth Of Hardness*

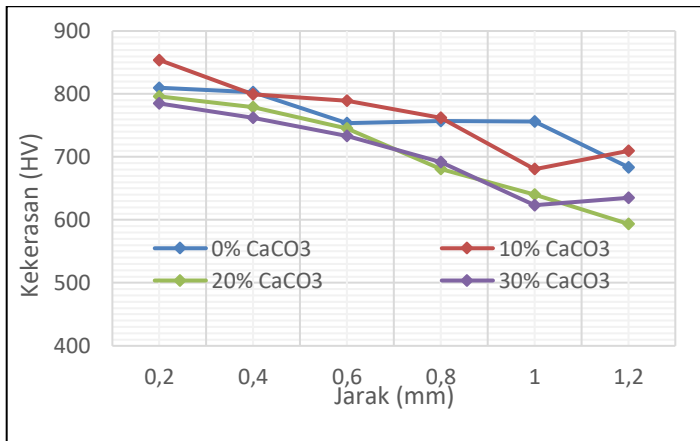
Pengujian *depth of hardness* dilakukan berdasarkan standar ASTM E 92 “*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*”. Penjejakan menggunakan beban sebesar 200 gf dalam waktu 10 detik. Penjejakan dilakukan pada semua sampel dengan jarak penjejakan sebesar 0.2 mm dimulai dari permukaan hingga bagian tengah sampel pada kedalaman 1.2 mm. Hasil pengujian *micro vickers* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian *Micro Vickers*

No	Holding Time	Energizer	Kekerasan (HV) pada jarak dari permukaan					
			0,2 mm	0,4 mm	0,6 mm	0,8 mm	1 mm	1,2 mm
1	-	-	190.1	200.2	193.5	207.9	194.9	200.4
2	1 jam	0%	736.2	806.1	713.4	704.8	662.6	591.3
3	1 jam	10%	821	807.1	769.1	789.6	747.5	655.3
4	1 jam	20%	813.5	742.5	731.3	687.9	640.9	590.3
5	1 jam	30%	818.2	807.6	706.6	620.2	630.9	606.2
6	3 jam	0%	809.9	803	753.6	757.3	755.9	683.7
7	3 jam	10%	854	799.2	789.4	761.8	724.2	709.4
8	3 jam	20%	796.2	779.4	745.3	680.5	640.4	593.6
9	3 jam	30%	785	762.3	733.2	692.1	623.4	635.2



Gambar 4. 7 Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen Waktu Tahan Satu Jam



Gambar 4. 8 Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen Waktu Tahan Tiga Jam

Pada grafik Gambar 4. 8 menunjukan bahwa semakin jauh dari permukaan cenderung terjadi penurunan kekerasan. Pada

proses ini terjadi difusi karbon dari atmosfer didalam media *carburizing* kedalam baja melalui permukaan sehingga bagian permukaan menjadi lebih keras . Grafik bergerak kebawah seiring kedalaman penjejakan. Pada hasil penjejakan terjauh (1.2 mm) spesimen dengan penambahan energizer 10% dengan *holding time* tiga jam memiliki kekerasan yang lebih keras. Hal ini dipengaruhi oleh reaksi *energizer* yang menghasilkan CO₂ sehingga reaksi dengan karbon dalam media karburisasi lebih efektif/banyak. Lamanya *holding time* mempengaruhi optimalnya difusi karbon dari permukaan sampai menuju *core*, semakin lama *holding time* semakin dalam kekerasan optimal yang bisa di dapat oleh material. Selain itu jika dilihat dari Gambar 4.5 terlihat bahwa spesimen dengan penambahan *energizer* memiliki fraksi martensit yang lebih banyak yaitu 56.374% dan lebih kasar, dibandingkan tanpa *energizer* yang memiliki fraksi martensit 45.873 sehingga dapat menyebabkan bahwa kekerasan yang didapatkan pada bagian *core* lebih keras jika dibandingkan dengan tanpa *energizer*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Penambahan *energizer* CaCO_3 dapat mempercepat proses difusi karbon sehingga dapat meningkatkan kekerasan dan membentuk struktur *plate martensite* pada permukaan baja karbon medium. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen En10/ht3 dengan penambahan berat masa *energizer* CaCO_3 10% dan 90% berat masa karbon yaitu sebesar 845 VHN pada permukaan.
2. Pemberian waktu tahan yang lama menyebabkan lebih dalamnya proses difusi terjadi sehingga karbon yang berdifusi sampe ke *core* lebih banyak dan dapat meningkatkan kekerasan *core* dan menghasilkan struktur mikro *lath martensite* dan bainit. Nilai kekerasan tertinggi pada *core* didapatkan pada spesimen En10/ht3 dengan penambahan berat masa *energizer* CaCO_3 10% dan 90% berat masa karbon yaitu sebesar 709.4 VHN pada indentasi terjauh dari permukaan.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan :

1. Membuat media karburisasi permanen yang terbuat dari alumina sehingga udara benar-benar terperangkap dalam media karburisasi.
2. Melakukan *after treatment* seperti : *tempering*, *double hardening*, agar *retained austenite* pada permukaan dapat diminimalisir.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

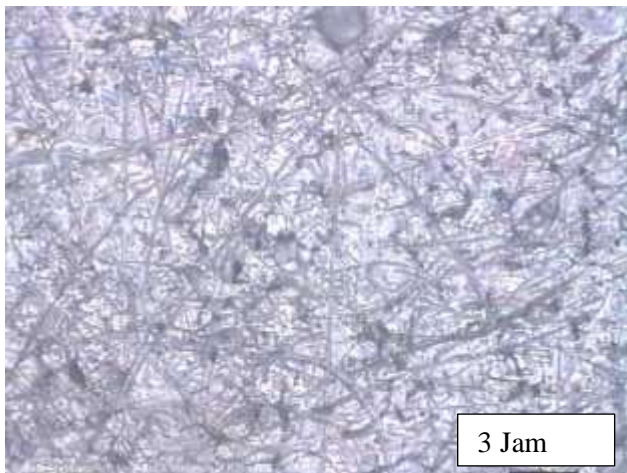
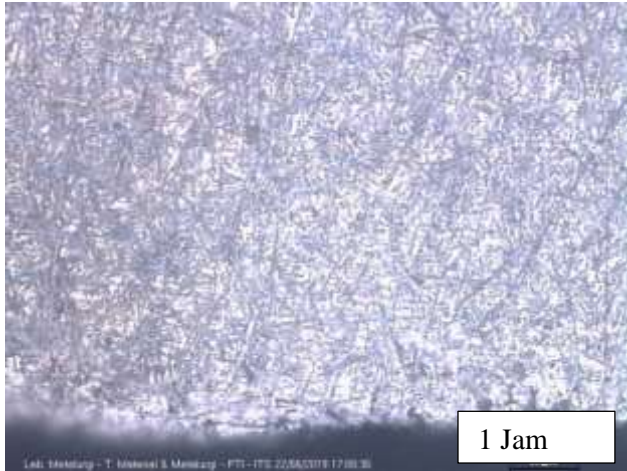
- ASM International. (1991). *ASM Handbook Vol 4 : Heat Treating*. USA: ASM International.
- ASM International. (1993). *Atlas of Isothermal Transformation Diagram*. Ohio: ASM International.
- ASM International. (1996). *Carbon and Alloy Steel*. USA: ASM International.
- ASM International. (2000). *ASTM E 92-00 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. USA: ASTM International.
- ASM International. (2004). *ASM Handbook Vol 9 : Metallography and Microstructures*. USA: ASM International.
- ASM Specialty Handbook. (1996). *Carbon and Alloy Steel*. USA: ASM International.
- ASTM International. (2002). *ASTM E23 : Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. USA: ASTM International.
- Avner, S. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bates, H. (1962). *Quenching of Steel, Metal Hand Book Heat Treating*. USA: ASM International.
- Bepari, M. (2017). *Carburizing : A Method of Case Hardening of Steel*. Dhaka: Elsevier Inc.
- Björklund, E. (2014). The Influence of Hardness and Retained Austenite on the Fatigue Limit after Shot Peening. *UPPSALA UNIVERSITET Journal*.
- Brunhuber, E. (1988). *Giesserei Lexikon*. Berlin: Fachverlag Schiele & Schoen.
- Calister, W. (2007). *An Introduction Materials Science and Engineering 7th Edition*. New York: Mc-Grawhill.
- Campbel, F. (2008). *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. New York: ASM International.

-
- Guy, A. G. (1974). *Element of Physical Metallurgy*. Philipina: Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Ihsan, A. N. (2018). Analisis Kegagalan pada Shaft Mesin Uap II Pabrik Gula Gending. *Skripsi Departemen Teknik Material ITS*.
- Karl, T. E. (1984). *Steel and Its Heat Treatment 2nd Edition*. London: Butterworths.
- Setiawan, H. (2001). Pengaruh Metode Pendinginan Quench Temper Terhadap Sifat Mekanis Plain Carbon Steel AISI 1045. *Skripsi Departemen Metalurgi*.
- Sugiarto, T. (2013). Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang AISI 1045 dengan Heat Treatment (Quenching) dengan Menggunakan Alat Rotary Bending. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung*.
- Suherman, W. (1987). *Pengetahuan Bahan Teknik cetakan*. Surabaya.
- Surojo, E., Triyono, J., & Eko, A. J. (2009). PENGARUH BAHAN ENERGIZER PADA PROSES PACK CARBURIZING TERHADAP KEKERASAN CANGKUL PRODUKSI. *FT UNS*.
- Terell, C. (1992). *Steam-Engine Principles and Practice*. New York: Mc-Grawhill Book.
- Vlank, L. V., & Djaprie, T. S. (1989). *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Voort, G. F. (2015, February). UNDERSTANDING AND MEASURING DECARBURIZATION. *Understanding the forces behind decarburization is the first step toward minimizing its detrimental effects*, hal. 22-27.
-

LAMPIRAN

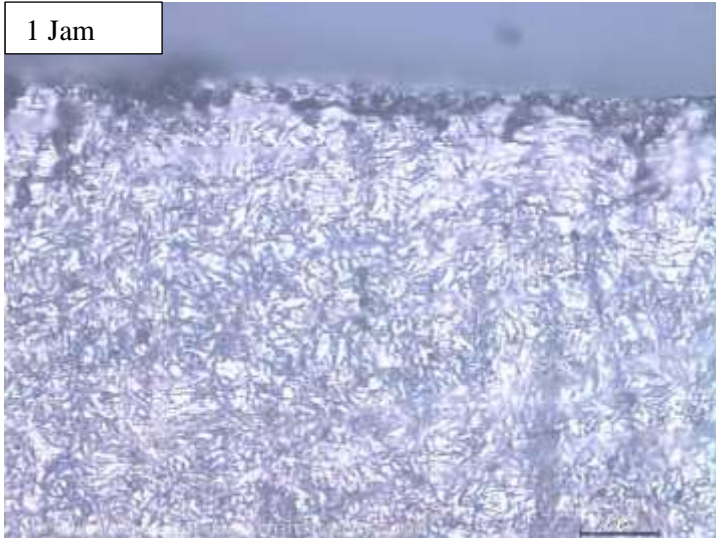
Lampiran 1 : Hasil uji Metalografi Permukaan

1. Carburizing Full Carbon Holding Time 1 jam & 3 jam

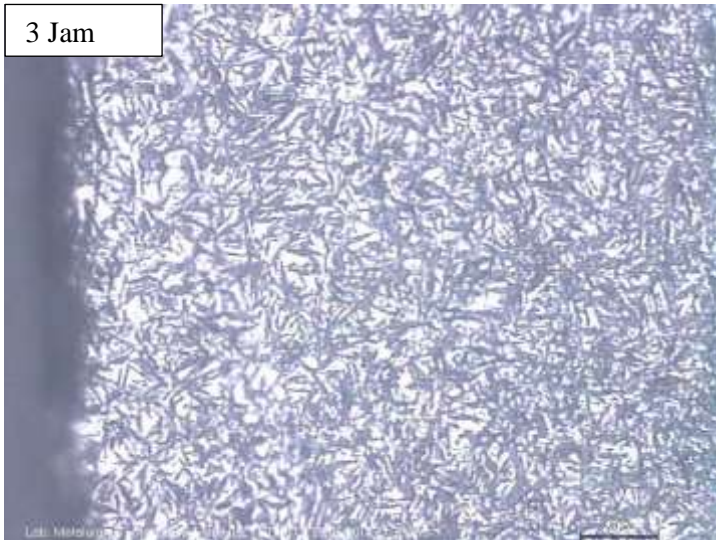


2. Carburizing 90% C + 10% CaCO₃ Holding Time 1 jam & 3 jam

1 Jam

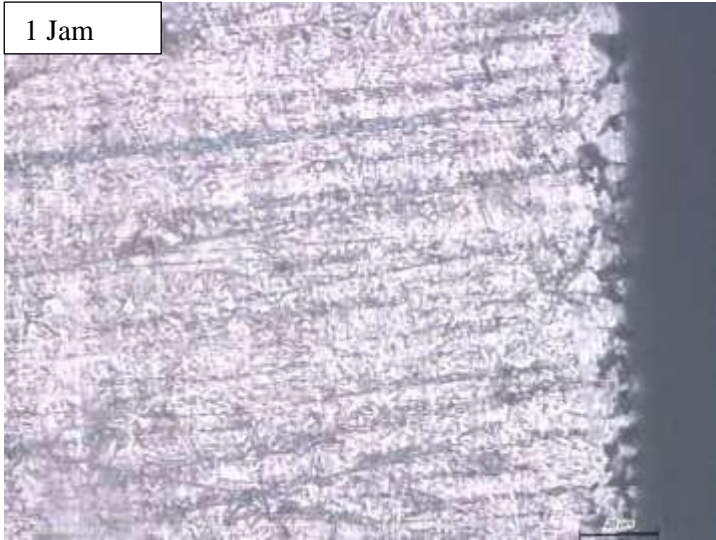


3 Jam

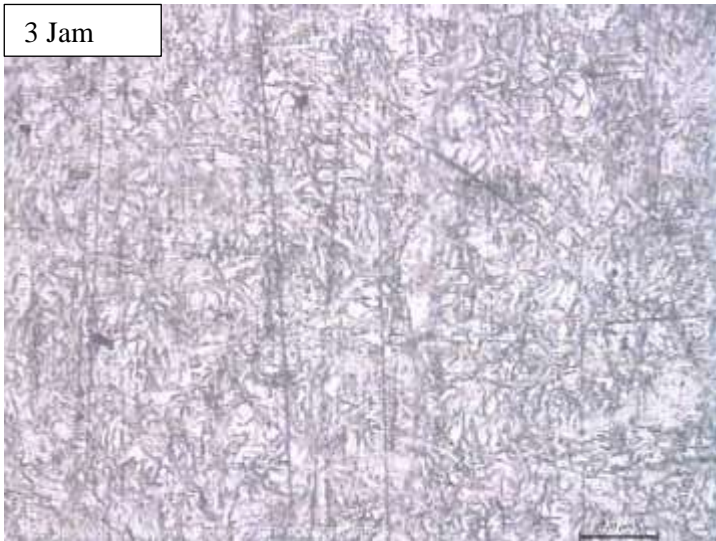


3. Carburizing 80%C + 20% CaCO₃ Holding Time 1 jam & 3 jam

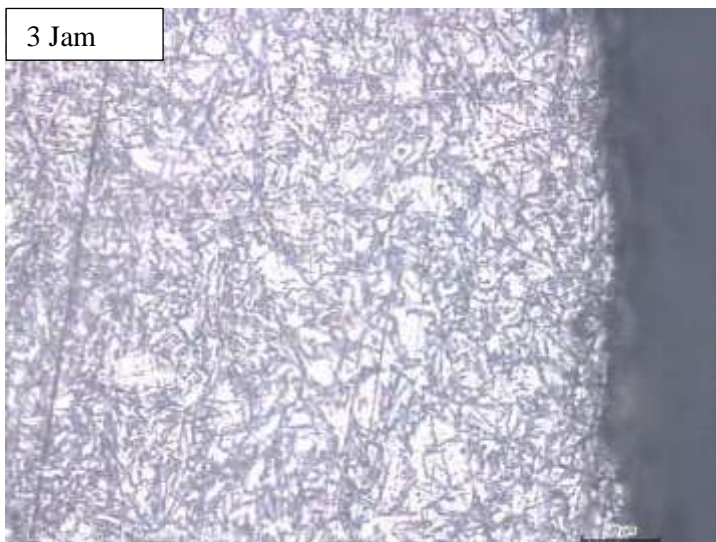
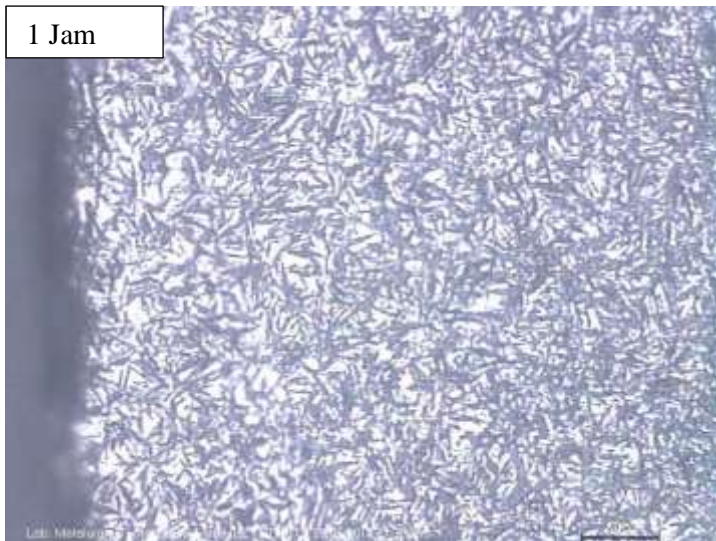
1 Jam




3 Jam



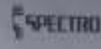
4. Carburizing 70%C + 30% CaCO₃ Holding Time 1 jam & 3 jam



Lampiran 2 : Hasil uji OES



PT. LOGABINDO SARIMULLA
IRON AND STEEL PURINITY
Telp. (02-31)944549 - 41 Fax. (02-31)944542
E-mail: Linearsedy@gsnet.com
www.logabindo.com



Method: Fe-10-F IARM 200C
Comment: Low alloy Steel
Sample Name: PORROS
Quality:

10/11/2018 3:23:22 PM
Element concentration


	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.388	0.271	0.002	0.0143	0.0168	0.289	0.0023	0.0485
2	0.390	0.270	0.010	0.0107	0.0148	0.288	0.0041	0.0481
3	0.391	0.283	0.008	0.0130	0.0191	0.283	0.0007	0.0436
*a+ (2)	0.389	0.288	0.004	0.0143	0.0128	0.287	0.0024	0.0488
sd	0.0004	0.0040	0.0101	0.0014	0.0018	0.0010	0.0017	0.0040
ref	1.4	1.7	3.3	0.7	14.1	1.1	0.2	0.8

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0091	0.0002	0.0177	< 0.0010	0.0090	0.0029	< 0.0001	< 0.0001
2	0.0027	0.0000	0.0114	< 0.0010	0.0156	0.0030	< 0.0100	< 0.0001
3	0.0008	0.0000	0.0175	< 0.0010	0.0090	0.0027	< 0.0100	< 0.0001
*a+ (2)	0.0009	0.0000	0.0175	< 0.0010	0.0116	0.0019	< 0.0100	< 0.0001
sd	0.0001	0.00014	0.0010	0.0000	0.0020	0.00018	0.00001	0.00000
ref	0.3	2.0	1.7	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0

	Sn	As	Zr	B	Ca	Ce	Se	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0011	0.0091	< 0.0010	< 0.0010	0.0010	< 0.0001	0.0004	< 0.0001
2	0.0004	0.0001	< 0.0010	< 0.0010	0.0010	< 0.0001	0.0002	< 0.0001
3	0.0010	0.0090	< 0.0010	< 0.0010	0.0004	< 0.0001	0.0004	< 0.0001
*a+ (2)	0.0010	0.0087	< 0.0010	< 0.0010	0.0010	< 0.0001	0.0004	< 0.0001
sd	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ref	11.0	24.0	0.0	0.0	40.0	0.0	12.7	0.0

	La	Pu	Sr	Ta
	%	%	%	%
1	< 0.0010	0.0	< 0.0010	0.0010
2	< 0.0010	0.0	< 0.0010	0.0001
3	< 0.0010	0.0	< 0.0010	0.0001
*a+ (2)	< 0.0010	0.0	< 0.0010	0.0001
sd	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ref	0.0	0.0	0.0	17.7

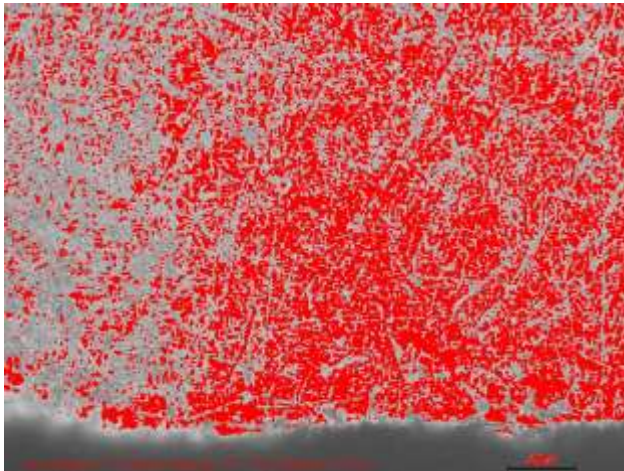
Tanda tangan



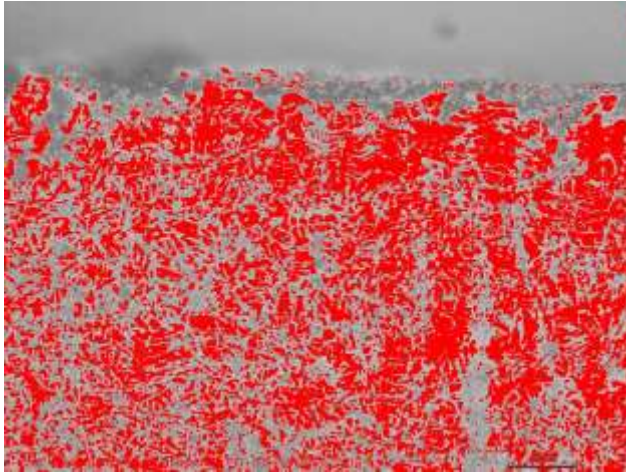
- 1 -

Lampiran 3 : Material Shaft yang Mengalami Kegagalan**Lampiran 4 : Fraksi Fasa Menggunakan ImageJ/Fiji**

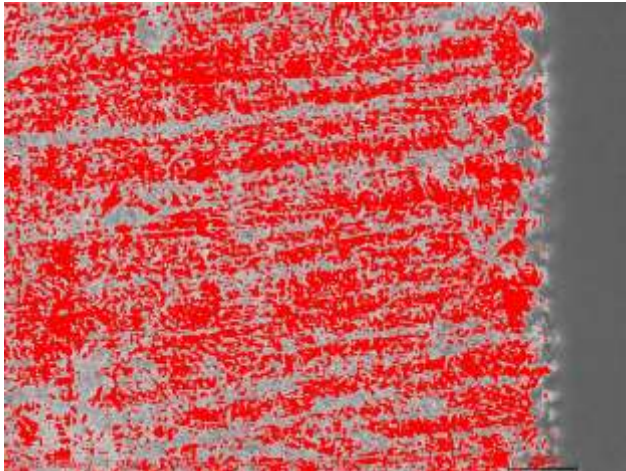
1. Spesimen En0/ht1



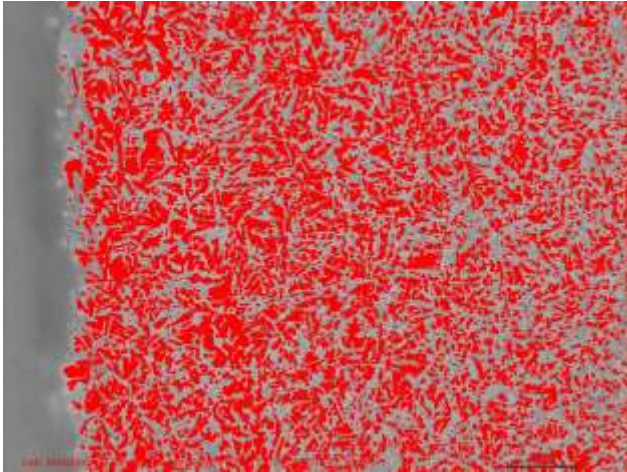
2. Spesimen En1/ht1



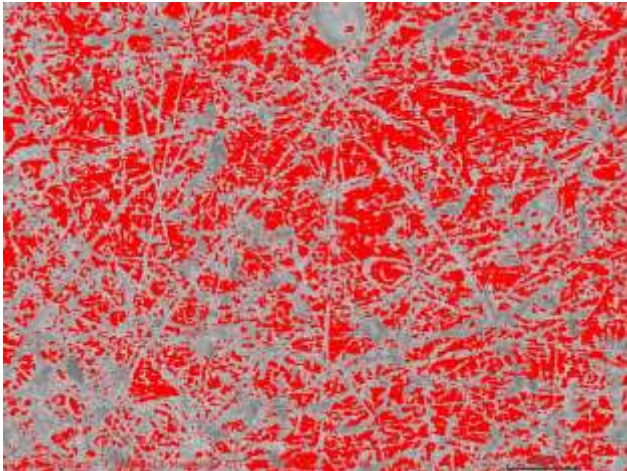
3. Spesimen En2/ht1



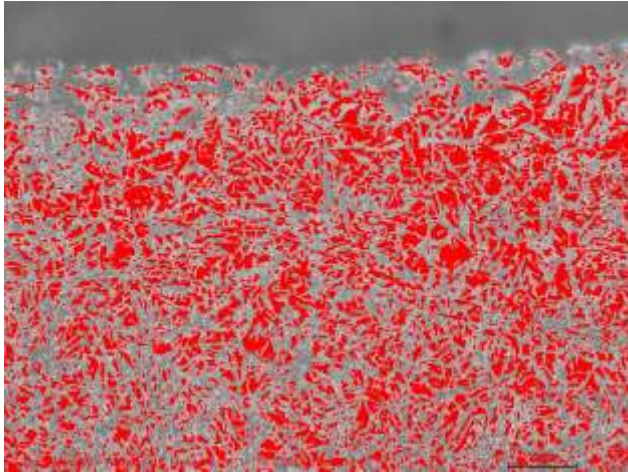
4. Spesimen En3/ht1



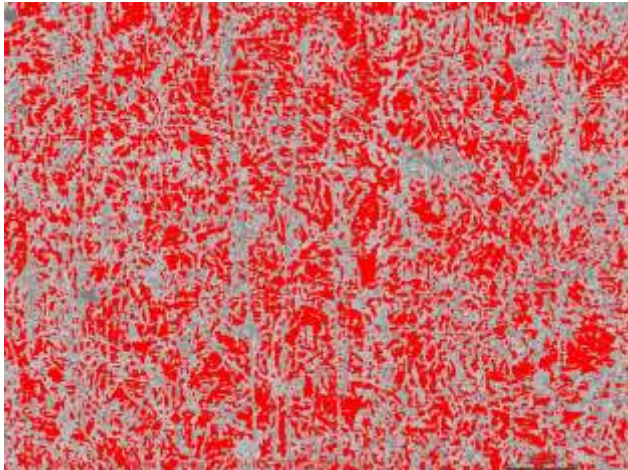
5. Spesimen En0/ht3



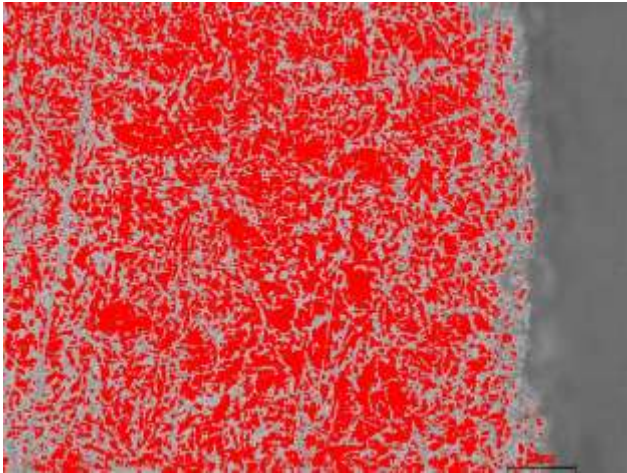
6. Spesimen En1/ht3



7. Spesimen En2/ht3



8. Spesimen En3/ht3



9. Spesimen En1/ht3 Core



10. Spesimen En0/ht3 *Core*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan adik tercinta yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, dan telah mendukung secara moril dan materiil, serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Ir. Rochman Rochiem M.Sc., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Alvian Toto Wibisono S.T., M.T, selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Dr.Sungging Pitowantoro,ST.,MT, selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI - ITS.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI - ITS.
7. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI - ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI – ITS.
9. Rekan seperjuangan Tugas Akhir, Ambay yang telah membantu, memberikan semangat, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dari awal pengerjaan Tugas Akhir ini sampai akhir.

-
10. Teman-teman Penguni Metal, Abrar, Iqbal, Bayuzen, Geri, Oca, Ghazi, Aryo, Nabil, Rafi yang telah menemani dan memberikan semangat kepada penulis dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir.
 11. Taufiq casper, teman yang mau membantu proses preparasi spesimen,.
 12. Bhimo, teman kostan yang selalu menemani dikala lapar dan suntuk.
 13. Teman-teman group wacana, Imelda, Irene, Rahel, Memed, Nimba yang telah mengisi hari-hari penulis.
 14. Teman-teman SMA, Muslim, Dion, Nadhip, Aisyah, Kevin, Fakhri, Willy, Dhanu, Ega, Meta, Jordi, Kiel, Michael, Styven.
 15. Teman menugas, Debo
 16. AKK saya, Yosi, Jeremy, Vidi, Tio, Matthew, Silaz, Jonathan, Dion, JerOs, Ara.
 17. Bapak kostan yang selalu membantu, Pak Didik.
 18. Teman – teman pembinaan PKMBK 16/17 yang telah menemani hari-hari penulis.
 19. Teman-teman di BPH-PI-DIR HMMT KONSEN
 20. Teman-teman di RISTEK HMMT KONSEN
 21. Rekan organisasi PMK ITS yang telah banyak memberikan pengalaman dan doa selama penulis berkuliah.
 22. Teman-teman Grader MT 17 yang selalu menyemangati, mencaci, mengajari, dan mengisi hari-hari penulis.
 23. Keluarga angkatan 2015, MT17, yang telah menemani dan memberikan banyak kenangan berharga, bantuan, dan semangat selama jenjang perkuliahan dan penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
 24. Dan juga seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Ronald Brian, dilahirkan di Bogor, 31 Agustus 1997, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan yang ditempuh penulis adalah TK Mardiyuana, SDN Cibuluh 6 Bogor, SMPN 5 Bogor, dan SMA Negeri 3 Bogor. Setelah lulus dari SMA Negeri 3 Bogor pada tahun 2015, penulis diterima menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Material FTI-ITS melalui jalur undangan pada tahun 2015.

Selama menempuh perkuliahan, penulis telah mengikuti beberapa pelatihan seperti Orientasi Keilmiah dan Keprofesional Berbasis Kompetensi, Latihan Kepemimpinan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar XIII, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah, Latihan Kepemimpinan Manajemen Tingkat Dasar XXI HMMT FTI-ITS, dll. Penulis aktif sebagai staff pembinaan PKMBK PMK 16/17, Staff Keilmiah HMMT FTI ITS 16/17, Koor Pembinaan PKMBK PMK ITS periode 2017/2018, Kepala Departemen Ristek HMMT FTI ITS 17/18, Ketua PMK ITS 18/19. Penulis juga pernah menjadi asisten mata kuliah Fisika Dasar 1, dan Grader Laboratorium Metalurgi.

Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT GMF AeroAsia Tbk. Tangerang sub divisi *Material Proses*, dan menyelesaikan kasus *failure analysis* pada bolt pesawat Boeing 737.

Email penulis : ronaldbr97@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)