

**SIFAT KEKERASAN DAN KOMPOSISI KIMIA PERMUKAAN
BAJA ST41 HASIL PROSES *PACK CARBURIZING*
MENGUNAKAN ARANG CANGKANG BUAH KETAPANG
SEBAGAI MEDIA KARBON PADAT**

(Skripsi)

Oleh

SINGGIH TRENGGONO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

SIFAT KEKERASAN DAN KOMPOSISI KIMIA PERMUKAAN BAJA ST41 HASIL PROSES *PACK CARBURIZING* MENGGUNAKAN ARANG CANGKANG BUAH KETAPANG SEBAGAI MEDIA KARBON PADAT

OLEH
SINGGIH TRENGGONO

Baja karbon rendah (ST41) adalah jenis baja konstruksi yang mempunyai kandungan karbon dibawah 0,3% memiliki *ferrite* yang lebih banyak dibandingkan *pearlite* dengan *tensile strength* (kekuatan tarik) sebesar 40 kg/mm². Akan tetapi, baja karbon rendah mempunyai kelemahan kualitas kekerasan yang rendah. Salah satu cara meningkatkan kualitas kekerasan baja karbon rendah dengan dilakukannya proses *pack carburizing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu penahanan dengan temperatur konstan pada proses *pack carburizing* ditinjau dari nilai kekerasan dan komposisi kimia baja ST41. Proses *pack carburizing* ini menggunakan variasi waktu penahanan 30 menit, 45 menit, dan 60 menit dengan temperatur konstan 850°C. Penelitian ini menggunakan arang cangkang buah ketapang sebagai karbon aktif dan cangkang telur sebagai katalisator. Pendinginan dilakukan dengan proses *quenching* menggunakan media air. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan *micro vickers* dan uji komposisi kimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *pack carburizing* dapat meningkatkan nilai kekerasan baja ST41. Nilai kekerasan pada baja sebelum proses *pack carburizing* adalah 137,4 HV, setelah dilakukan proses *pack carburizing* dengan peningkatan nilai kekerasan tertinggi pada saat waktu penahanan 60 menit sebesar 216,4 HV. nilai kekerasan meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu penahanan. Dari hasil uji komposisi kimia dapat diketahui bahwa kandungan karbon pada baja meningkat setelah dilakukan proses *pack carburizing*. Kandungan karbon pada baja sebelum proses *pack carburizing* sebesar 0,115 (wt.%), setelah dilakukan proses *pack carburizing* dengan peningkatan kandungan karbon tertinggi pada saat waktu penahanan 60 menit sebesar 0,353 (wt.%). Semakin lama waktu penahanan saat karburasi maka jumlah kandungan karbon pada baja semakin meningkat, seiring Semakin meningkatnya jumlah kandungan karbon maka baja akan mempunyai sifat yang lebih keras.

Kata kunci : baja karbon rendah (ST41), *pack carburizing*, waktu penahanan, uji kekerasan, uji komposisi kimia.

ABSTRACT

THE HARDNESS CHARACTERISTIC AND CHEMICAL COMPOSITION SURFACE OF STEEL ST41 RESULT PACK CARBURIZING PROCESS USED CHARCOAL KETAPANG SHELL AS ACTIVATED CARBON

By

SINGGIH TRENGGONO

Low carbon steel (ST41) is kind construction steel which has a carbon content below 0,3 % has more ferrite than pearlite with tensile strength of 40 kg/mm². However, low carbon steel has debility like low quality of hardness. One way to increase the hardness quality of low carbon steel by used pack carburizing process. The purpose of this research is to determine the effect of holding time on variation with the temperature constant of pack carburizing process reviewed from value of the hardness and chemical composition of the steel ST41. The pack carburizing process used 30 minutes, 45 minutes and 60 minutes variations of holding time while the temperature constant was at 850 °C. this research used charcoal ketapang shell as activated carbon and egg shell as catalyst. Cooling was done by quenching process used water media. This experiment was micro vickers hardness examination and chemical composition examination. The result of the research is showed that the pack carburizing process can increase the hardness value of steel ST41. Hardness value before being processing pack carburizing steel was 137,4 HV, after done a pack carburizing process with increased the highest hardness during holding time of 60 minutes which equal to 216,4 HV. Hardness value increases with the length holding time. Chemical composition of the test results also showed that the content of the carbon steel increased after pack carburizing process. Carbon content before processing pack carburizing steel was 0,115 (wt.%), after done a pack carburizing process with increased the highest carbon content during holding time of 60 minutes which equal to 0,353 (wt.%). The longer the holding time during carburizing then The amount of carbon content in steel increases, along with the increasing amount of carbon content then the higher of steel hardness will be.

Keywords : low carbon steel (ST41), pack carburizing, holding time, hardness test, test of chemical composition.

**SIFAT KEKERASAN DAN KOMPOSISI KIMIA PERMUKAAN
BAJA ST41 HASIL PROSES *PACK CARBURIZING*
MENGUNAKAN ARANG CANGKANG BUAH KETAPANG
SEBAGAI MEDIA KARBON PADAT**

Oleh

SINGGIH TRENGGONO

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

**: SIFAT KEKERASAN DAN KOMPOSISI
KIMIA PERMUKAAN BAJA ST41 HASIL
PROSES *PACK CARBURIZING*
MENGUNAKAN ARANG CANGKANG
BUAH KETAPANG SEBAGAI MEDIA
KARBON PADAT**

Nama Mahasiswa

: Singgih Trenggono

Nomor Pokok Mahasiswa

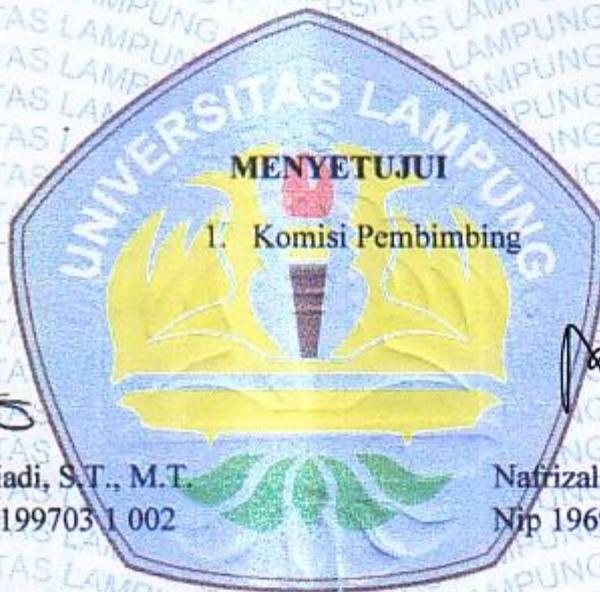
: 1015021014

Jurusan

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik



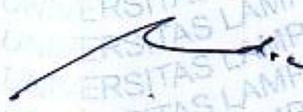
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Harnowo Supriadi, S.T., M.T.
Nip 19690909 199703 1 002


Nafizal, S.T., M.T.
Nip 19691106 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
Nip 19740816 200012 1 001

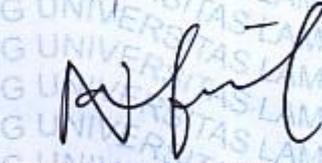
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

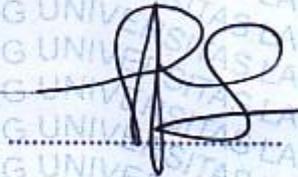
Ketua : Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



Anggota Penguji : Nafrizal, S.T., M.T.



Penguji Utama : Zulhanif, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP. 1963071-198703-1-002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 Mei 2018

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT,SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Singgih Trenggono
NPM.1015021014

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro, Lampung pada tanggal 01 September 1992, sebagai anak ke empat dari 4 bersaudara, dari pasangan Bapak Dibyo Harmoyo dan Ibu Suwarti. Pendidikan penulis diawali dari Taman Kanak-Kanak Pertiwi Teladan Metro pada tahun 1996-1998, pada tahun 1998 penulis melanjutkan di SDN Pertiwi Teladan Metro diselesaikan pada tahun 2004, kemudian pada tahun 2004 penulis melanjutkan di SMPN 3 Metro diselesaikan pada tahun 2007, kemudian pada tahun 2007 penulis melanjutkan di SMAN 5 Metro diselesaikan pada tahun 2010, dan pada tahun 2010 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Penelusuran Kemampuan Akademik dan Bakat (PKAB).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi olahraga (2012 s/d 2013), mengikuti kegiatan organisasi palang merah indonesia (PMI) sebagai anggota (2011/2012), kegiatan sepakbola, kegiatan futsal, kegiatan zumba dan kegiatan pencak silat. Penulis juga melakukan kerja praktik di PT. Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang Sumatra Selatan pada tahun 2015. Pada tahun 2017 penulis melakukan penelitian dengan judul “Sifat kekerasan dan komposisi Kimia permukaan baja ST41 hasil proses *pack carburizing* menggunakan arang

cangkang buah ketapang sebagai media karbon padat” dibawah bimbingan Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. dan Nafrizal, S.T., M.T.

MOTTO

“Niscaya Allah SWT akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”.

(QS. Al-Mujadalah : 11)

“ Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah urusan yang lain dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”.

(QS. Al-Insyirah : 6-8)

“Berbuat baik dan Hargailah sesuatu hal baik besar maupun kecil, karena dibalik itu semua ada rencana Allah SWT”.

(Penulis)

“Syukurilah semua perkara yang telah dikerjakan baik itu sedikit maupun banyak, Karena setiap yang disyukuri akan menambah nikmat serta hal-hal baik yang didapat dan Allah sangat senang dengan hamba-hambanya yang selalu bersyukur”.

(Penulis)

“Berusahalah menjadi orang yang baik, berikhtiar dan bertawakal, Insya Allah semua kesulitan akan dimudahkan”.

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur Alhamdulillah kepada sang Illahi Robbi serta kerendahan hati mengharap Ridho-Nya, kupersembahkan karya ini

Kepada :

Kedua orangtua, Bapak dan Ibuku yang tiada hentinya atas segala pengorbanan yang tak terbalaskan, perhatian, kasih sayang serta Do'a bagi kelancaran dan kesuksesan anaknya.

Kakak-kakakku yang Selalu memberikan semangat, motivasi, inspirasi bagi kelanacaran dan kesuksesan Adiknya.

Dosen-dosenku yang sangat berjasa, selalu membagi ilmu dan wawasannya tanpa kenal lelah.

Teman-teman seperjuangan dan semua keluarga teknik mesin (Abang tingkat, Adik tingkat dan Alumni) yang memberikan arahan nasehat serta semangat bagi kelangsungan penulis dalam penyelesaian permasalahan di perkuliahan.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan lafaz hamdalah penulis panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang tidak pernah berhenti mencurahkan kasih sayang, kemudahan, serta rahmat-nya. Semoga shalawat serta salam senantiasa tersampaikan atas junjungan Baginda Nabi besar Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta pengikut-Nya yang setia hingga akhir zaman.

Alhamdulillah Dalam penelitian ini penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*sifat kekerasan dan komposisi kimia permukaan baja ST41 hasil proses pack carburizing menggunakan arang cangkang buah ketapang sebagai media karbon padat*". Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana S1 Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Mama saya tercinta Suwarti dan Bapak saya tersayang Dibyo Harmoyo yang tiada hentinya memberikan dukungan moril dan materilnya serta do'a dan kasih sayangnya, kakak-kakak saya tersayang Ronggo Trikora, Dian Puspa Novianti dan Rosa Tia Yusmitasari yang menjadi sumber inspirasi, motivasi

dan semangat agar penulis dapat segera menyelesaikan kuliah di jurusan teknik mesin.

2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku dosen sekaligus ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Nafrizal, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku dosen pembahas yang telah memberikan masukan guna penyempurnaan dalam penulisan laporan ini.
6. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik.
7. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun tauladan dan motivasi sehingga dapat kami jadikan bekal untuk terjun ke tengah-tengah masyarakat.
8. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2010 yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu per satu, terimakasih atas persahabatan dan bantuannya salam "SOLIDARITY FOREVER".
9. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu per satu, yang telah ikut serta membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan tugas akhir ini untuk mencapai suatu kelengkapan dan kesempurnaan. penulis juga

mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap laporan ini memberi manfaat, baik kepada penulis pribadi khususnya maupun kepada pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar lampung, 06 Agustus 2018

Penulis

Singgih Trenggono

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SANWACANA.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Definisi <i>Carburizing</i>	7
B. Mekanisme Proses Difusi.....	9
C. Katalisator	11
1. Katalis homogen.....	12
2. Katalis heterogen.....	12
D. Baja Karbon Rendah	12
E. Baja ST41.....	14
F. Perlakuan Panas	14

G. <i>Quenching</i>	15
1. Pendinginan langsung (<i>Direct Quenching</i>).....	17
2. Pendinginan tunggal (<i>Single Quenching</i>)	18
3. <i>Double Quenching</i>	18
H. Uji Kekerasan Mikro.....	19
I. Uji Komposisi Kimia (<i>Spektrometer Emisi</i>).....	20
J. Cangkang Buah Ketapang.....	25

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
B. Bahan dan Alat	29
a. Bahan.....	29
1. Baja karbon rendah (ST41)	29
2. Arang cangkang buah ketapang	30
3. Cangkang telur	30
4. Air	30
b. Alat.....	31
1. Tungku pemanas (<i>furnace</i>)	31
2. Alat uji kekerasan (<i>micro vickers</i>)	31
3. Alat uji komposisi kimia	32
4. Gerinding listrik	32
5. Kotak sementasi	33
6. Bak air	33
7. Tang penjepit.....	34
8. Kawat baja.....	34

9. Pinset.....	35
C. Prosedur Penelitian	35
1. Persiapan spesimen	35
2. Persiapan <i>carburizing compound</i>	36
3. Pelaksanaan karburisasi	37
4. Pengujian spesimen.....	38
D. Diagram alir penelitian	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil uji kekerasan <i>micro vickers</i>	42
B. Hasil uji komposisi kimia	60
V. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	64
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1 komposisi kimia untuk spesimen baja ST41	12
3.1 Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sebelum proses <i>pack carburizing</i> / raw material	39
3.2 Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sesudah proses <i>pack carburizing</i>	39
3.3 Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sesudah proses <i>pack carburizing</i> dan <i>quenching</i>	40
3.4 Penambahan jumlah karbon (C) pada baja karbon rendah (ST41) sebelum dan sesudah proses <i>pack carburizing</i>	40
4.1 Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sebelum proses <i>pack carburizing</i>	43
4.2 Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum proses <i>quenching</i> dengan waktu penahanan 30 menit	44
4.3 Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum proses <i>quenching</i> dengan waktu penahanan 45 menit	45

4.4	Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum proses <i>quenching</i> dengan waktu penahanan 60 menit	45
4.5	Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sesudah proses <i>quenching</i> dengan waktu penahanan 30 menit	46
4.6	nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sesudah proses <i>quenching</i> dengan waktu penahanan 45 menit	47
4.7	nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sesudah proses <i>quenching</i> dengan waktu penahanan 60 menit	48
4.8	perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah <i>quenching</i> dengan variasi waktu penahanan 30 menit	49
4.9	perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah <i>quenching</i> dengan variasi waktu penahanan 45 menit	51
4.10	perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah <i>quenching</i> dengan variasi waktu penahanan 60 menit	54
4.11	hubungan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dengan waktu penahanan pada proses <i>pack carburizing</i> sebelum diberi perlakuan <i>quenching</i>	56

- 4.12 hubungan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dengan waktu penahanan saat proses *pack carburizing* sesudah diberi perlakuan *quenching*.....57
- 4.13 Hubungan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dengan waktu penahanan saat proses *pack carburizing* sebelum dan sesudah diberi perlakuan *quenching*.....57
- 4.14 penambahan jumlah karbon (C) pada spesimen baja karbon rendah (ST41) sebelum dan sesudah proses pelapisan *pack carburizing*.....60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1	Pemodelan proses difusi: (a) secara <i>Interstisi</i> , (b) Secara <i>Substitusi</i> 8
2.2	Proses <i>pack carburizing</i> 9
2.3	Grafik pendinginan langsung..... 18
2.4.	Pendinginan Tunggal (<i>Single Quenching</i>)..... 18
2.5	Karakteristik tanaman ketapang : (a) pohon ketapang, (b) buah ketapang, dan (c) cangkang ketapang28
3.1	Baja ST4129
3.2	Arang cangkang buah ketapang.....30
3.3	Cangkang telur..... 30
3.4	Tungku pemanas (<i>furnace</i>).....31
3.5	Alat uji kekerasan (<i>micro vickers</i>)..... 31
3.6	Alat uji komposisi kimia (<i>Optical Emission Spectroscopy</i>).....32
3.7	Gerinding listrik..... 32
3.8	Kotak sementasi..... 33
3.9	Bak media <i>quenching</i>33
3.10	Tang penjepit 34
3.11	Kawat baja 34
3.12	Pinset 35
3.13	Diagram alir penelitian41

4.1	Skema pengujian kekerasan mikro	43
4.2	Grafik perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah <i>quenching</i> dengan variasi waktu penahanan 30 menit.....	49
4.3	Grafik perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah <i>quenching</i> dengan variasi waktu penahanan 45 menit.....	52
4.4	Grafik perbandingan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) hasil proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah <i>quenching</i> dengan variasi waktu penahanan 60 menit.....	54
4.5	Grafik hubungan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dengan waktu penahanan pada proses <i>pack carburizing</i> sebelum diberi perlakuan <i>quenching</i>	57
4.6	Grafik hubungan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dengan waktu penahanan pada proses <i>pack carburizing</i> setelah diberi perlakuan <i>quenching</i>	58
4.7	Grafik hubungan nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dengan waktu penahanan pada proses <i>pack carburizing</i> sebelum dan sesudah diberi perlakuan <i>quenching</i>	58
4.8	Komposisi jumlah karbon baja karbon rendah (ST41) hasil proses pelapisan <i>pack carburizing</i> dengan variasi waktu penahanan	61

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
C	carbon	-
ST	<i>Tensile Strength</i>	kg/mm ²
CO ₂	karbon dioksida	-
CO	karbon monoksida	-
BaCO ₃	barium karbonat	-
CaCO ₃	kalsium karbonat	-
K ₂ CO ₃	kalium karbonat	-
Na ₂ CO ₃	natrium karbonat	-
Fe	besi	-
r	jari-jari	radius
X	tebal lapisan	mm
D	koefisien difusi	-
t	aktu proses	menit
MgCO ₃	magnesium karbonat	-
Ca ₃ PO ₄	kalsium fosfat	-

S	sulfur	-
P	fosfor	-
Si	silikon	-
Mn	mangan	-
H ₂ O	air	-
VHN	<i>Vickers Hardness Number</i>	-
P	beban yang diberikan	kgf
d ²	panjang diagonal rata-rata hasil indentasi	-
OES	<i>Optical Emission Spectroscopy</i>	-
dpl	dari permukaan laut	m
T	temperatur	°C

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Baja merupakan suatu jenis logam dari unsur kimia yang mempunyai sifat kuat, liat, keras dan mempunyai titik cair yang tinggi. Sifatnya yang kuat, liat, keras dan mempunyai titik cair yang tinggi, baja banyak digunakan sebagai bahan dalam pembuatan suatu produk (Syawaldi, Anwar Irwan, Widodo Heri, 2015).

Untuk mendapatkan sifat yang keras pada permukaan dan tetap lunak pada intinya maka dilakukan proses pengerasan permukaan (*face hardening*), sehingga produk tersebut tercapai hasil menurut fungsi yang diinginkan. Proses pengerasan permukaan (*face hardening*) dipengaruhi oleh jumlah kadar karbon yang terkandung pada baja (Hafni, 2014).

Baja karbon adalah campuran antara besi dengan karbon serta tambahan unsur-unsur sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja (Julisman, 2015).

Karakteristik baja karbon rendah adalah mempunyai ketangguhan dan keuletan yang tinggi, mudah dibentuk tetapi kekerasannya rendah dan sulit untuk dikeraskan. Apabila kekerasan baja karbon rendah dapat ditingkatkan maka baja karbon rendah sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan komponen-komponen mesin yang mengalami kelelahan disebabkan keausan permukaan akibat beban yang bekerja bolak-balik.

Dengan luasnya penggunaan baja karbon rendah, maka baja karbon rendah perlu diberi perlakuan untuk meningkatkan kualitasnya, seperti : kekuatan, tampilan (*dekoratif*), ketahanan terhadap korosi maupun kekerasannya, maka logam harus dilapisi dengan unsur lain yang dapat memberi sifat-sifat yang diinginkan. Pada dasarnya proses pelapisan pada baja karbon yaitu proses pengerasan permukaan baja karbon yang sifatnya mengeraskan permukaan dengan merubah atau menambah komposisi unsur kimia baja karbon (D.P. Stefanus, 2015).

Proses pelapisan logam dengan *carburizing* pada baja karbon rendah bertujuan untuk menambah kandungan karbon agar bisa ditingkatkan kekerasannya. *Pack carburizing* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menambah kandungan karbon didalam baja dengan menggunakan media padat. Sumber media karbon sendiri bisa didapatkan dari limbah alam yang banyak tersedia disekitar kita, seperti tempurung kelapa, cangkang sawit, kayu, cangkang buah ketapang dan sebagainya. Media-media karbon tersebut memiliki kekerasan yang baik dalam perlakuan terhadap metode *pack carburizing*. Semakin keras atau padat suatu media karbon maka semakin baik pendifusian karbon ke spesimen tersebut (Wili, 2009).

Pada penelitian ini penulis menggunakan arang cangkang buah ketapang sebagai karbon aktif yang dicampurkan dengan cangkang telur sebagai katalisator dan metodenya menggunakan karbon padat atau *pack carburizing*.

Dalam proses *pack carburizing* setiap sumber karbon aktif mempunyai nilai yang berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan karbon dalam arang, maka difusi karbon ke permukaan baja akan semakin baik juga (W.G. Satrio, 2011). Peneliti terdahulu telah melakukan percobaan untuk meningkatkan efektifitas karburisasi padat dengan optimasi ukuran serbuk arang kelapa. dari hasil penelitian diketahui bahwa peningkatan kandungan karbon terbesar pada baja adalah dengan ukuran terkecil butiran arang kelapa (Mujiono dan Arianto, 2008).

Pada cangkang buah ketapang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan briket atau arang aktif karena memiliki unsur karbon, cangkangnya juga cukup keras (Permana Indra, G.W. Rio, dan H.S. Azhary, 2011), dan relatif lambat terdegradasi. Limbah cangkang buah ketapang digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang untuk briket, dikarenakan cangkang buah ketapang mengandung unsur karbon yang terikat dalam lignoselulosa. Komposisi lignoselulosa dalam buah ketapang adalah 16,60% selulosa, 24,70% hemiselulosa, dan 43,46% lignin. penelitian tentang cangkang biji ketapang sudah pernah dilakukan oleh Inbaraj dan Sulochana (2006) serta Surest (2010). Cangkang biji ketapang oleh Inbaraj dan Sulochana (2006), diambil karbonnya untuk kemudian dibuat sebagai penyerap merkuri yang terdapat di limbah cair. Dalam penelitian tersebut, dimaksudkan untuk menghasilkan bahan dasar pembuatan karbon aktif dan didapatkan juga hasil daya serap terbaik untuk karbon aktifnya, yaitu berada pada

suhu karbonisasi 500°C. Dari percobaan didapatkan bahwa semakin tinggi suhu, maka proses pembentukan arang semakin cepat.

pada penelitian ini penulis menggunakan baja ST41 sebagai material percobaan untuk proses *pack carburizing*. Baja ST41 adalah jenis baja konstruksi yang memiliki sifat kuat dan kekerasan yang cukup tinggi (F.R. Ahmad dan Soeharto, 2013), dengan *tensile strength* (kekuatan tarik) sebesar 40 kg/mm². Baja ini memiliki kandungan karbon (C) sebesar 0,10 % memiliki *ferrite* yang lebih banyak dibandingkan *pearlite*, jadi termasuk baja karbon rendah. Kualitas baja karbon rendah dapat ditingkatkan, khususnya untuk ditingkatkan dari tidak mampu dikeraskan menjadi mampu dikeraskan (Kuswanto Bambang, 2010). Untuk mendapatkan parameter lain pada proses *pack carburizing* dengan beberapa variasi, maka sehubungan dengan uraian diatas peneliti akan meneliti mengenai,

SIFAT KEKERASAN DAN KOMPOSISI KIMIA PERMUKAAN BAJA ST41 HASIL PROSES *PACK CARBURIZING* MENGGUNAKAN ARANG CANGKANG BUAH KETAPANG SEBAGAI MEDIA KARBON PADAT

B. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh arang cangkang buah ketapang sebagai media karbon padat pada proses *pack carburizing* ditinjau dari kekerasan baja karbon rendah ST41.

2. Mengetahui pengaruh arang cangkang buah ketapang sebagai media karbon padat pada proses *pack carburizing* ditinjau dari perubahan komposisi kimia baja karbon rendah ST41.

C. Batasan masalah

Berdasarkan uraian diatas agar penelitian berjalan dengan sesuai, maka peneliti membatasi masalah penelitiannya sebagai berikut :

1. Baja yang dipakai adalah baja karbon rendah ST41.
2. Temperatur karburisasi yang digunakan adalah 850°C
3. Waktu penahanan karburisasi yang digunakan adalah 30 menit, 45 menit dan 60 menit.
4. Karbon aktif yang digunakan adalah arang cangkang buah ketapang.
5. Katalisator yang digunakan adalah cangkang telur.
6. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan *micro vickers* dan uji komposisi kimia.
7. Media *quenching* yang digunakan adalah air.
8. Tungku pemanasan yang digunakan adalah mesin *furnace*.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penulisan ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah yang akan diambil dengan jelas, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori dasar yang berkaitan dengan materi yang diangkat pada laporan tugas akhir ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan mengenai metode-metode yang dilakukan dalam mengumpulkan data dan menjabarkan tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan selama penelitian berlangsung sampai pada penyusunan laporan serta pengujian yang dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan data dari penelitian yang telah dilakukan, serta pembahasan dari hasil-hasil penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari pembahasan pengujian selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

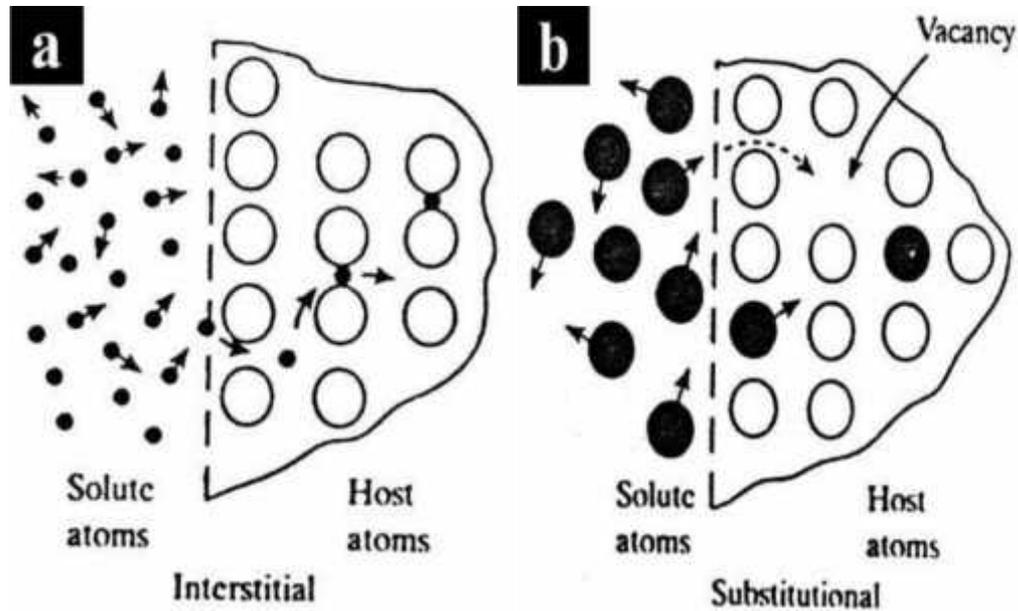
A. Definisi *Carburizing*

Penambahan karbon yang disebut *carburizing* atau karburisasi, dilakukan dengan cara memanaskan pada temperatur yang cukup tinggi yaitu pada temperatur *austenit* dalam lingkungan yang mengandung atom karbon aktif, sehingga atom karbon aktif tersebut akan berdifusi masuk ke dalam permukaan baja dan mencapai kedalaman tertentu. Setelah proses difusi, diikuti perlakuan pendinginan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh permukaan yang lebih keras, tetapi liat dan tangguh bagian tengahnya.

Difusi adalah gerak spontan dari atom atau molekul didalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam. Hukum pertama Fick's menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan *substrat* merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi. Gradien konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat disekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi yaitu, temperatur, komposisi, dan waktu (Smallman, Bishop, 2000).

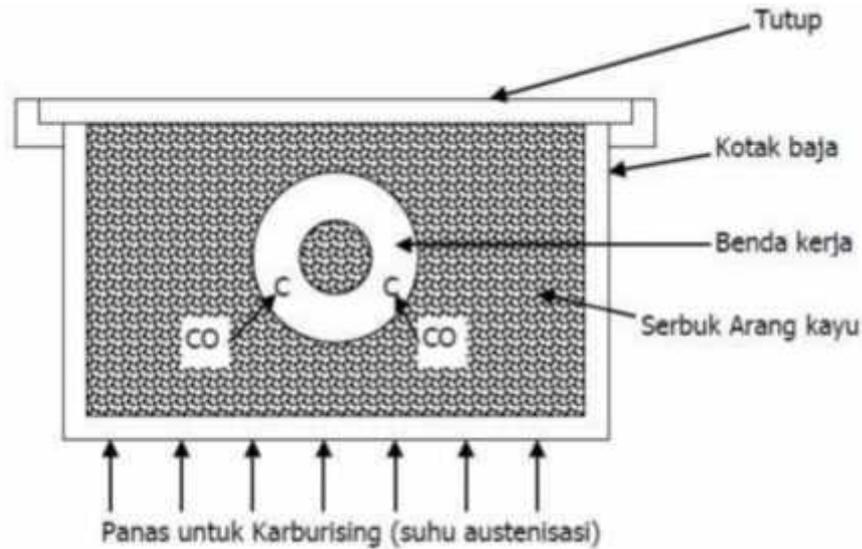
Pendinginan cepat dalam proses *carburizing* bertujuan untuk memperoleh permukaan yang lebih keras akibat perubahan struktur mikro pada permukaan baja yang telah dikarburisasi. Dari bermacam-macam struktur mikro,

martensit merupakan yang paling keras dan kuat namun paling getas (Callister, 2007).



Gambar 2.1. pemodelan proses difusi: (a) secara *Interstisi*, (b) Secara *Substitusi*.

Metode proses *carburizing* dibedakan berdasarkan media karburisasinya, yaitu gas, cair dan padat. *Pack carburizing* adalah metode *carburizing* yang paling sederhana dibanding metode cair dan gas, karena dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana. Pada metode ini, komponen ditempatkan dalam kotak berisi media karburisasi yang saat pemanasan pada suhu *austenisasi* (842-953) $^{\circ}$ C akan mengeluarkan gas CO_2 dan CO . Pembentukan karbon monoksida ditingkatkan oleh *energizer* atau katalis, seperti barium karbonat (BaCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3), kalium karbonat (K_2CO_3), dan natrium karbonat (Na_2CO_3), yang hadir di kompleks karburisasi. Kandungan karbon dari setiap jenis arang adalah berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan karbon dalam arang, maka penetrasi karbon ke permukaan baja akan semakin baik pula (Y. Lakhtin, 1975).



(Sumber: ASM Handbook volume 4, *heat treating* (ASM International), 1990)

Gambar 2.2. proses *pack carburizing*

Gas CO ini bereaksi dengan permukaan baja karbon rendah membentuk atom karbon yang kemudian terdifusi masuk ke dalam baja mengikuti persamaan :

$$2\text{CO} + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}(\text{C}) + \text{CO}_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

B. Mekanisme Proses Difusi

Mekanisme difusi dapat terjadi dengan dua cara yaitu *interstisi* dan *substitusi*. Pada proses *pack carburizing*, pembentukan dan pertumbuhan lapisannya merupakan proses difusi dengan mekanisme kekosongan (*vacancy*) dimana prinsip dari mekanisme kekosongan ini adalah jika suatu atom mengisi kekosongan yang terdapat pada susunan atom-atomnya maka akan terjadi kekosongan baru pada susunan atom tersebut. Kekosongan baru ini dapat diisi oleh atom lain yang letaknya berdekatan dengan lubang yang ditinggalkan oleh atom yang pertama tadi. Gerakan keseluruhan dari atom-atom disebut sebagai difusi dengan mekanisme kekosongan. Atom mampu

bergerak didalam kisi-kisi kristal dari satu atom ke atom lainnya apabila (Van Vlack, Lawrence, 2004),

1. memiliki cukup energi aktivasi,
2. memiliki agitasi panas yang cukup dari atom-atom,
3. terdapat kekosongan atau cacat kristal lainnya pada kisi-kisi kristal,
4. ukuran atom, dimana perbedaan atom terlarut dan pelarut kurang dari 15%.

Hal tersebut menyebabkan atom dapat bergerak pada kisi-kisi kristalnya. kekosongan dalam logam atau paduan akan menghasilkan ketidakstabilan yang mengakibatkan terjadinya pergerakan dari atom-atom untuk mengisi kekosongan itu dengan mekanisme *interstisi* dan *substitusi*. Selain itu, temperatur sangat berpengaruh pada proses difusi. Hal ini dikarenakan kenaikan temperatur akan memperbanyak terjadinya kekosongan dalam logam.

1. *Interstisi solid solution*

Pada gambar 2.1-a, terjadi jika atom dari elemen paduan memiliki ukuran yang lebih kecil daripada atom dari matriks logamnya. untuk menggambarkan energi aktivasi secara skematik. Atom karbon berukuran cukup kecil ($r = 0,07$ nm) atau atom logam terlarut akan dapat menempati posisi *interstisi* di antara sejumlah atom besi atau atom-atom logam pelarut. Pada atom karbon ini, jika memiliki cukup energi, atom tersebut dapat berpindah dari posisi diantara atom besi ke lokasi interstitial berikutnya apabila bergetar dalam arah itu.

2. *Substitusi solid solution*

mekanisme difusi lain yang digambarkan secara skematik pada gambar 2.1-b, terjadi jika atom dari logam terlarut dan logam pelarut memiliki ukuran yang sama atau hampir sama (tidak lebih dari 15%). Bagian dari atom pelarut akan

disubstitusi oleh atom dari elemen paduan (terlarut) seperti pada gambar 2.1-b, maka mekanisme kekosongan menjadi dominan. Kekosongan dapat terjadi sebagai bagian dari suatu struktur yang cacat (Van Vlack, Lawrence, 2004).

3. Kedalaman difusi

Pada proses pendifusian karbon ke permukaan akan menghasilkan suatu lapisan. Lamanya waktu proses akan sangat berpengaruh pada ketebalan lapisan yang dihasilkan. Ketebalan lapisan yang terbentuk akan sebanding dengan *difusivitas* karbon. Hubungan antara waktu dan proses dengan ketebalan lapisan dirumuskan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$X = \sqrt{D \cdot t} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana : X = tebal lapisan

D = koefisien difusi

t = waktu proses

dari persamaan 2.2, pertumbuhan ketebalan lapisan oksida merupakan fungsi akar dari waktu oksidasi (difusi). Hubungan ketebalan lapisan hasil proses difusi dengan waktu difusi tidak hanya berlaku pada peristiwa oksidasi logam saja, tetapi juga dapat digunakan pada proses difusi lainnya.

C. Katalisator

Katalis merupakan suatu zat atau *substansi* yang dapat mempercepat reaksi (mengarahkan atau mengendalikannya) tanpa dikonsumsi oleh reaksi, namun bukannya tanpa bereaksi. Katalis bersifat mempengaruhi kecepatan reaksi, tanpa mengalami perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi. Peristiwa / fenomena / proses yang dilakukan oleh katalis ini disebut katalisis. Istilah

negative catalyst (inhibitor) merujuk kepada zat yang berperan menghambat atau memperlambat berlangsungnya reaksi (stadelman, 2000).

Katalis dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. katalis homogen

katalis homogen merupakan katalis yang mempunyai fasa sama dengan reaktan dan produk. Penggunaan katalis homogen ini mempunyai kelemahan yaitu mencemari lingkungan dan tidak dapat digunakan kembali. Selain itu, katalis homogen juga umumnya hanya digunakan pada skala laboratorium ataupun industri bahan kimia tertentu, sulit dilakukan secara komersil, operasi pada fase cair dibatasi pada kondisi suhu dan tekanan sehingga peralatan lebih kompleks dan diperlukan pemisahan antara produk dan katalis.

2. Katalis heterogen

Katalis heterogen merupakan katalis yang fasanya tidak sama dengan reaktan dan produk. Katalis heterogen secara umum berbentuk padat dan banyak digunakan pada reaktan berbentuk cair dan gas. Salah satu sumber katalis yang mudah diperoleh disekitar kita adalah cangkang telur. cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) sebanyak 94%, magnesium karbonat (MgCO_3) sebanyak 1%, kalsium fosfat (Ca_3PO_4) sebanyak 1%, dan bahan organik sebanyak 4% (stadelman, 2000).

D. Baja Karbon Rendah

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu, baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si),

mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan presentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja.

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, salah satunya adalah baja karbon rendah. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur *martensit* (Purwanto, 2012). Baja karbon rendah memiliki ciri khusus antara lain:

- a. Tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk *martensit*.
- b. Metode penguatannya dengan “*cold working*” struktur mikronya terdiri *ferrite* dan *pearlite*.
- c. Relatif lunak, ulet dan tangguh.
- d. Mampu las dan mampu mesin yang baik
- e. Harga murah.

E. Baja ST41

Baja ST41 termasuk baja karbon rendah. Baja ini mempunyai kandungan karbon dibawah 0,3% yaitu sebesar 0,10 %. Pada bentuk struktur mikro, baja ST41 memiliki *ferrite* yang lebih banyak dibandingkan *pearlite*. Setiap 1 ton baja karbon rendah memiliki 10-30 kg karbon. ST41 ini menunjukkan bahwa baja tersebut memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) kurang lebih 40 kg/mm² (diawali dengan ST dan diikuti bilangan yang menunjukkan kekuatan tarik minimumnya dalam kg/mm²) (Purwanto, 2012).

Baja ST41 adalah jenis baja konstruksi yang memiliki sifat kuat dan kekerasan yang cukup tinggi (F.R. Ahmad dan Soeharto, 2013). Berikut tabel 2.1. komposisi kimia untuk spesimen baja ST41,

No.	Nama Unsur (simbol)	Persentase (%)
1	Besi (Fe)	98,985
2	Mangan (Mn)	0,6
3	Karbon (C)	0,10
4	Silikon (Si)	0,25
5	Fosfor (P)	0,03
6	Belerang (S)	0,035

(sumber : A. Nizam, 2014)

F. Perlakuan Panas

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik *furnace* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik sangat

dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda jika struktur mikronya diubah (Van Vlack, Lawrence, 2004).

Adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Van Vlack, Lawrence, 2004).

G. *Quenching*

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai batas *austenit* yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka *austenit* perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase *austenit* tidak sempat berubah menjadi *ferrite* atau *pearlite* karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam *austenit* untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk *sementit*. Oleh karena itu, terjadi fase lalu yang *martensit*, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon. Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam, diantaranya :

1. Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O , Artinya satu molekul air tersusun atas dua atom *hydrogen* terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak terasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku $0\text{ }^{\circ}C$ dan titik didih $100\text{ }^{\circ}C$ (Halliday dan Resnick, 1985). Air juga memiliki *koefisien viskositas* sebesar $0,001\text{ Pa}$ pada temperatur $20\text{ }^{\circ}C$ (Giancoli, 1998). Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, *distorsi* dan retak.

2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai *fluida* pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau oli. *Viskositas* oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai *viskositas* lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai *viskositas* lebih tinggi, karena penyerapan panas akan lebih lambat. Untuk oli mesin SAE 10 pada temperatur $30\text{ }^{\circ}C$ memiliki *koefisien viskositas* $200 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ (Giancoli, 1998).

3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut, udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan memungkinkan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Udara memiliki titik didih $-194\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan nilai *koefisien viskositasnya* $0,018 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ (Giancoli, 1998).

4. Garam

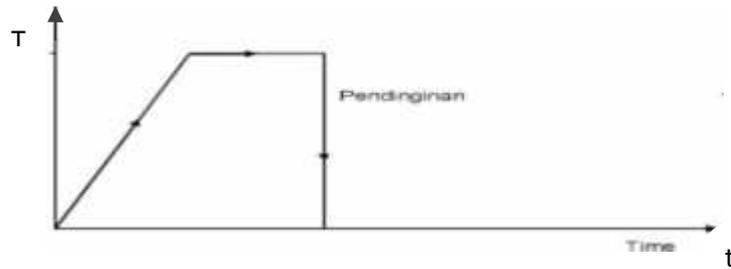
Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan secara teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang.

Proses pengerasan (*quenching*) dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

1. Pendinginan langsung (*Direct Quenching*)
2. Pendinginan tunggal (*Single Quenching*)
3. *Double Quenching*

1. Pendinginan langsung (*Direct Quenching*)

Pendinginan secara langsung dari media *karburisasi*, efek yang timbul adalah kemungkinan adanya pengelupasan benda kerja. Pada pendinginan langsung ini diperoleh permukaan benda kerja yang getas.

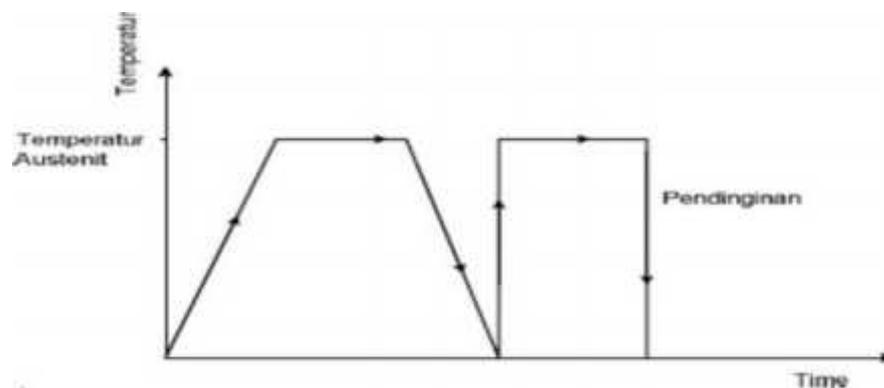


Gambar 2.3. Grafik pendinginan langsung

Diagram diatas merupakan pendinginan secara langsung dimana material yang telah diberikan perlakuan panas atau *heat treatment* langsung dimasukkan ke dalam pendingin, dengan media yang digunakan untuk pendinginannya adalah air.

2. Pendinginan tunggal (*Single Quenching*)

Single Quenching merupakan pendinginan dari benda kerja setelah benda kerja tersebut *dikarburisasi* dan telah didinginkan pada suhu kamar.



Gambar 2.4. Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

Tujuan dari metode ini adalah untuk memperbaiki *difusisitas* dari atom-atom karbon, dan agar *gradien komposisi* lebih halus.

3. *Double Quenching*

Double Quenching adalah proses pendinginan atau pengerasan pada benda kerja yang telah *dikarburisasi* dan didinginkan pada temperatur kamar

kemudian dipanaskan lagi di luar kotak karbon pada temperatur kamar lalu dipanaskan.

H. Uji Kekerasan Mikro

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap *deformasi* dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap *deformasi plastis* atau *deformasi permanen* (Dieter, 1998). Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa (Callister, 2001). Kekerasan mikro menggunakan indenter piramida intan dengan beban antara 100-1000 g. Pengukuran kekerasan mikro digunakan untuk permukaan benda yang sempit dan ketebalan yang tipis, serta daerah kritis. Jenis metode pengukuran kekerasan mikro:

1. Metode *Vickers*

Mirip dengan metode *vickers* namun *vickers* untuk *micro hardness test* menggunakan beban yang lebih kecil. Pengujian kekerasan dengan *vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indenter intan dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid.

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana: VHN = *Vickers Hardness Number*,

P = Beban yang diberikan (kgf),

d^2 = Panjang diagonal rata-rata hasil indentasi.

2. Metode *Knoop*

Geometri indenter *knoop* yang memiliki alas dengan perbandingan diameter 7 : 1 memungkinkan indenter *knoop* menjangkau daerah-daerah yang lebih sempit dan tipis dari *vickers*.

I. Uji Komposisi Kimia (*Spektrometer Emisi*)

Uji komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam suatu material tersebut. *Spektrometer emisi* atau *Optical Emission Spectrometer* (OES) adalah suatu nama alat uji yang digunakan sebagai alat untuk menganalisa unsur-unsur logam dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Alat uji *spektrometer* ini di industri pengecoran logam memiliki *fleksibilitas* tinggi karena dapat digunakan untuk mengembangkan produknya dari satu komposisi ke komposisi lain maupun membuat paduan logam yang bervariasi dengan tepat.

Alat uji *spektrometer* mendeteksi komposisi atau kadar unsur-unsur yang terkandung dalam suatu logam, hasil dapat diketahui melalui panjang gelombang dan *intensitas* sinar yang terpancar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya dan *intensitas* sinar yang terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsurnya (BBLM Bandung, 1997).

Proses pengujian *spektrometer* diperlukan persiapan sampel yang akan diuji untuk mendapatkan hasil analisa dengan komposisi yang tepat. Persiapan yang kurang baik tentunya akan berakibat pada sampel yang akan diuji. Persiapan sampel tersebut adalah :

1. Logam cair yang diambil untuk sampel uji bebas dari *slag* atau oksida dan dituang ke dalam cetakan logam,
2. Permukaan sampel uji harus rata,
 - Baja memakai *belt sander*,
 - *Cast iron* memakai *grinder*,
 - *Non ferrous* memakai mesin bubut.
3. Sampel uji memiliki *homogenitas* yang cukup baik,
4. Memiliki area yang cukup untuk di-*spark* (dianalisa) lebih dari satu kali pada titik yang berbeda.

Beberapa keuntungan dalam analisa komposisi logam menggunakan *spektrometer* khususnya pengecoran logam, antara lain : (Zaenal H. George, 1997)

1. Waktu analisa cepat

Waktu analisa berlangsung sekitar 1 menit, kecepatan ini dapat membantu dalam proses *alloying* logam cair sebelum dituang ke *ladle* atau cetakan sehingga lebih menghemat panas dan waktu.

2. Produk coran berkualitas tinggi

Spektrometer memiliki keakurasian yang tinggi dalam analisisnya. sebelum dituang logam cair diuji dengan *spektro*, dimaksudkan apakah sudah masuk standart yang dikehendaki. *Spektrometer* akan mengontrol ketepatan komposisi ini sehingga didapatkan logam coran yang berkualitas tinggi.

3. Bahan baku tambahan dapat dihemat
dengan adanya kontrol yang baik maka proses *alloying* dapat dipantau dengan cepat dan tepat sehingga pemakaian bahan baku lebih efisien.
4. *Spektrometer* dapat menguji bermacam-macam jenis logam
Macam dan jenis logam yang dapat diuji tergantung *basic* atau kebutuhan pemakai *spektrometer*. *Basic spektrometer* mempunyai *range* analisa standarisasi dan *kalibrasi* yang baku untuk mendapatkan keakurasian hasil ujinya.

Cara kerja *Optical Emission Spectroscopy* (OES) :

Semua OES analisa mengandung 3 (tiga) komponen utama, yaitu :

- a. Sumber listrik .

Sumber listrik tersebut berfungsi untuk merangsang atom dalam sampel logam sehingga mereka memancarkan cahaya karakteristik atau *emisi optik* dan garis. Memerlukan sebagian kecil dari sampel yang akan dipanaskan untuk ribuan derajat Celcius, hal ini dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan tinggi listrik di *spektrometer* melalui *elektroda*. Perbedaan potensial listrik antara sampel dan *elektroda* menghasilkan *debit* listrik, *debit* ini melewati sampel saat pemanasan dan penguapan material di permukaan dan menarik atom dari material, yang kemudian memancarkan garis *emisi* unsur karakteristik. Dua bentuk *debit* listrik dapat dihasilkan, baik busur yang merupakan *on/off event* serupa dengan sambaran petir, atau percikan. Rangkaian *multi-discharge* pada tegangan *elektroda* dinyalakan dan

dimatikan. Kedua mode operasi yang digunakan tergantung pada elemen, diukur dan akurasi yang diperlukan.

b. Sistem optik

Cahaya, garis ganda *emisi optik* dari sampel menguap dikenal sebagai *plasma* masuk ke *spektrometer*. Sebuah *gradasi difraksi* di *spektrometer* memisahkan cahaya yang masuk ke dalam panjang gelombang unsur spesifik dan *detektor* yang sesuai pengukuran *intensitas* cahaya setiap panjang gelombang. *Intensitas* dapat diukur bila sebanding dengan konsentrasi yang mengimbangi unsur dalam sampel.

c. sistem komputer

Sistem komputer mengakuisisi *intensitas* diukur dan memproses datanya melalui *kalibrasi* yang telah ditetapkan untuk menghasilkan konsentrasi unsur. *User interface* (pengguna antarmuka) memastikan intervensi operator minimal dengan hasil yang ditampilkan jelas, dapat dicetak atau disimpan untuk referensi di masa mendatang.

untuk menghasilkan garis *emisi optik elemen spesifik* dari sampel logam yaitu, Ketika energi pelepasan listrik berinteraksi dengan atom, beberapa elektron di kulit terluarnya, dikeluarkan. Elektron kulit terluar kurang erat, terikat pada inti atom karena mereka lebih jauh dari inti dan membutuhkan energi masukan, dan mengalami pengeluaran pada kekurangan tersebut. *Electron* yang dikeluarkan membuat kekosongan dan menjadikan atom tidak stabil. Untuk memulihkan *stabilitas*, *electron* dari *orbit* yang lebih tinggi, lebih jauh dari inti *drop down* untuk mengisi kekosongan tersebut. Kelebihan energi dilepaskan sebagai *electron* bergerak antara dua tingkat energi atau kulit yang dipancarkan dalam bentuk

cahaya *elemen spesifik* atau *emisi optik*. setiap elemen memancarkan serangkaian garis *spektrum* yang sesuai dengan *transisi elektron* yang berbeda antara tingkat energi yang berbeda. Setiap transisi menghasilkan garis *emisi optik* khusus, dengan panjang gelombang tetap atau energi radiasi Untuk sampel logam khas yang mengandung zat besi, mangan, kromium, nikel, vanadium, dll. setiap elemen memancarkan banyak panjang gelombang yang mengarah ke spektrum kaya *line*. Misalnya, besi memancarkan lebih 8000 panjang gelombang yang berbeda sehingga memilih garis *emisi* yang optimal untuk suatu unsur tertentu dalam sampel. Lampu karakteristik yang dipancarkan oleh atom dalam sampel tersebut dipindahkan ke *sistem optik* dimana dibagi menjadi panjang gelombang *spektral* dengan *gradasi* teknologi tinggi, *grading* berisi hingga 3600 alur per milimeter.

Berikutnya individu garis *spektral* sinyal puncak dikumpulkan oleh *detektor* dan diproses untuk menghasilkan *spektrum* yang menunjukkan puncak *intensitas* cahaya terhadap panjang gelombang mereka. Ini berarti bahwa OES memberikan informasi kualitatif tentang sampel diukur, namun OES juga merupakan teknik kuantitatif.

Puncak gelombang mengidentifikasi elemen, dan daerah puncaknya atau *intensitas* memberikan indikasi kuantitas dalam sampel. *Analyzer* yang kemudian menggunakan informasi ini untuk menghitung komposisi unsur sampel tersebut berdasarkan pada *kalibrasi* dengan materi referensi bersertifikat. Seluruh proses, dari menekan tombol *start* atau pemicu untuk mendapatkan hasil analisis, dapat secepat 3 detik atau dapat memakan waktu hingga 30 detik untuk analisis kuantitatif yang penuh akurat, itu semua tergantung pada analisis yang digunakan, kisaran elemen diukur dan konsentrasi elemen-elemen. Dibandingkan dengan

teknik analisis lainnya, OES memiliki banyak keuntungan diantaranya, cepat dan relatif, mudah digunakan, mengukur berbagai elemen dan konsentrasi dalam berbagai jenis bahan, termasuk unsur-unsur penting seperti karbon, sulfur, fosfor, boron, dan nitrogen. OES sangat akurat ketika mengukur tingkat rendah jejak dan pinggiran elemen, dan itu cukup murah dibandingkan dengan teknik lain. Untuk analisis jejak logam OES adalah metode yang disukai. OES juga saat ini satu-satunya metode yang dapat menganalisis karbon dan nitrogen di situs, dan keluar dari laboratorium (<https://www.oxford-instruments.com>).

J. Cangkang Buah Ketapang

Ketapang (*Terminalia Catappa L*) merupakan tumbuhan asli dari Asia Tenggara, dan tersebar hampir di seluruh daerah di Asia Tenggara termasuk di Indonesia. Tumbuhan ini juga biasa ditanam di Australia, India, Madagaskar 5 hingga Amerika Tengah dan Amerika Selatan. Pohon ketapang mempunyai ciri khas, yaitu cabangnya tumbuh ke samping dan tersusun secara bertingkat-tingkat sehingga mirip seperti pagoda. Habitat yang disukai oleh pohon ketapang adalah daerah dataran rendah termasuk daerah pantai hingga ketinggian 500 meter dpl (dari permukaan laut). Pohon ini menggugurkan daunnya hingga dua kali dalam setahun sehingga tanaman ini mampu bertahan menghadapi bulan-bulan yang kering. Sebagian besar, ketapang akan berubah 3 - 5 tahun setelah ditanam, dan akan berbuah teratur sekali atau dua kali dalam satu tahun, tergantung pada lokasi dan kesehatan pohon. Pohon ketapang yang baru berbuah dapat menghasilkan 5 kg biji per

pohon dalam sekali panen, dengan 500 – 800 biji per kilo atau 24 buah segar per kilo, namun jumlah tersebut bisa dua kali lipat apabila ketapang tumbuh di tempat yang tepat (thomson dan Evans, 2006; Orwa et al, 2009; Balai Perbenihan Tanaman Hutan Jawa dan Madura, 2012).

Pada tanaman ketapang memiliki kandungan yang bermanfaat bagi kebutuhan hidup sehari-hari, seperti biji ketapang yang banyak mengandung *fatty acid oil*, yang bisa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *biodiesel*, daun dan bijinya juga banyak dimanfaatkan dalam dunia medis karena kandungan *tanin* dan anti bakterinya, dan juga cangkang buah ketapang yang mempunyai tekstur yang keras, dan memiliki unsur karbon. Kegunaan sendiri sebagai bahan dasar briket. Cangkang biji ketapang mengandung unsur karbon yang terikat dalam *lignoselulosa*. Komposisi *lignoselulosa* dalam cangkang buah ketapang adalah 16,60% *selulosa*, 24,70% *hemiselulosa*, 43,46% *lignin*. peranan masing-masing dari ketiga komposisi tersebut diantaranya:

1. *Selulosa*

Selulosa adalah senyawa *karbonhidrat kompleks* yang tersusun atas banyak rantai *glukosa a.k.a polisakarida*, yang berperan sebagai penyusun utama dinding sel tumbuhan dan beberapa organisme lainnya. *selulosa* memiliki sifat kuat dan kaku yang memungkinkan tumbuhan untuk tumbuh tegak diatas permukaan bumi.

2. *Hemiselulosa*

Hemiselulosa adalah suatu *polisakarida* lain yang terdapat dalam tanaman dan tergolong *senyawa organik*. (casey, 1960) menyatakan bahwa *hemiselulosa* bersifat *non-kristalin*, tidak bersifat serat dan mudah

mengembang karena itu *hemiselulosa* sangat berperan terhadap bentuknya jalinan antara serat pada saat pembentukan lembaran pendukung dinding sel. Selain itu, *hemiselulosa* lebih mudah larut dalam pelarut *alkali* dan lebih mudah *dihidrolisis* dengan asam.

3. *Lignin*

Lignin adalah komponen penyusun utama dari dinding sel tumbuhan dan beberapa *algae*. *Lignin* juga masih berikatan erat dengan *selulosa* dan *hemiselulosa*. Struktur dari *lignin* adalah kompleks, tidak teratur, acak dan penyusun utamanya dari *senyawa aromatik*, yang mana menambah *elastisitas Matrik selulosa dan hemiselulosa* (<http://www.dosenpendidikan.com/penjelasan-selulosa-beserta-struktur-dan-manfaatnya/>). *lignin* berperan sebagai bahan pengikat penyusun komponen lainnya (<http://iandrumer.blogspot.co.id/2011/12/lignin-atau-zat-kayu-adalah-salah-satu.html>).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.4. karakteristik tanaman ketapang : (a) pohon ketapang, (b) buah ketapang, dan (c) cangkang ketapang.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Januari 2017 sampai Maret 2018 di Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pengujian kekerasan di Laboratorium Teknologi Material Pusat Teknologi Material BPPT, gedung 224 kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan. Pengujian komposisi kimia di UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung, LIPI Tanjung Bintang, Lampung.

B. Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bahan

1. Baja karbon rendah (ST41)

Baja dipotong dengan ukuran (4 x 3 x 2) cm sebanyak 11 spesimen, setiap variasi pengujian 3 spesimen, dan 2 spesimen untuk *raw* material



Gambar 3.1. Baja ST41

2. Arang cangkang buah ketapang

Sebagai sumber karbon aktif pada proses *pack carburizing*.



Gambar 3.2 Arang cangkang buah ketapang

3. Cangkang telur

Sebagai katalisator (CaCO_3) untuk mempercepat laju reaksi (difusi) saat proses karburisasi.



Gambar 3.3 Cangkang telur

4. Air

Sebagai media pendinginan proses *quenching*

b. Alat1. Tungku pemanas (*furnace*)

Sebagai dapur pemanas saat proses *karburisasi*.



Gambar 3.4. Tungku pemanas (*furnace*)

2. Alat uji kekerasan (*micro vickers*)

Sebagai alat uji yang digunakan untuk mengukur kekerasan baja.



Gambar 3.5 Alat uji kekerasan (*micro vickers*)

3. Alat uji komposisi kimia

Sebagai alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur kimia pada material logam.



Gambar 3.6 *Optical Emission Spectroscopy*

4. Gerinding listrik

Sebagai alat yang digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen baja.



Gambar 3.7 Gerinding listrik

5. Kotak sementasi

Kotak sementasi terbuat dari plat baja berukuran (8 x 12 x 10) cm sebagai tempat untuk menimbun baja dengan campuran arang cangkang buah ketapang dan cangkang telur saat proses karburisasi.



Gambar 3.8 Kotak sementasi

6. Bak air

Sebagai tempat penampungan air untuk media pendingin proses *quenching*.



Gambar 3.9 Bak media *quenching*

7. Tang penjepit

Sebagai alat untuk membentuk kawat baja yang akan dipasang di spesimen baja.



Gambar 3.10 Tang penjepit

8. Kawat baja

Sebagai alat yang akan dipasang di spesimen baja agar mempermudah dalam pengambilan baja dalam keadaan panas.



Gambar 3.11 kawat baja

9. Pinset

Sebagai alat dalam pengambilan kawat yang menempel pada baja dalam keadaan panas.



Gambar 3.12 pinset

C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian pada tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa tahapan antara lain sebagai berikut :

1. Persiapan spesimen

Material yang akan diuji pada penelitian ini adalah baja karbon rendah ST41. Berikut adalah tahapan proses pembuatan spesimen :

a. Pemotongan spesimen

Pemotongan spesimen ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong. Dengan ukuran spesimen (4 x 3 x 2)cm.

b. Proses *polishing*

Proses ini menggunakan amplas ukuran 500, 800 dan 1200. dimaksudkan untuk menghilangkan kontaminasi, kotoran dan membentuk struktur permukaan spesimen yang baik.

c. Proses pembilasan

Proses pembilasan dengan menggunakan air yang berfungsi untuk membersihkan sisa bekas pengamplasan.

2. Persiapan *carburizing compound*

Berikut adalah tahapan proses pembuatan *carburizing compound*

a. Menyiapkan karbon aktif

Sumber karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang cangkang buah ketapang. Karbon aktif ini diperoleh dengan cara menghaluskan arang cangkang buah ketapang yang kemudian diayak sampai mendapatkan butiran yang paling halus.

b. Menyiapkan katalisator (CaCO_3)

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang telur, katalis ini diperoleh dengan cara menghaluskan cangkang telur dengan alat penggiling listrik (*blander*) yang sebelumnya sudah dikeringkan.

c. Proses pencampuran (*compound*)

Setelah karbon aktif dan katalis tersedia, tahap selanjutnya adalah mencampurkan karbon aktif dan katalis sampai merata didalam wadah yang telah disediakan dengan komposisi 70% karbon dan 30% katalis.

3. Pelaksanaan karburisasi

Berikut adalah tahapan proses karburisasi :

- a. benda uji (ST41) sebelumnya diambil data kekerasan dan komposisi kimia awal, kemudian benda uji dililitkan dengan kawat baja sebagai tempat pengait untuk mempermudah proses pengangkatan benda uji (ST41) dalam keadaan panas.
- b. Benda uji (ST41) diletakkan ke dalam kotak sementasi lalu ditimbun dengan campuran antara karbon dari arang cangkang buah ketapang dengan bubuk katalis dari cangkang telur (CaCO_3), hingga menutupi permukaan seluruhnya.
- c. Masukkan kotak sementasi ke dalam *furnace*, dan *furnace* ditutup, nyalakan *furnace* dan lihat temperatur awal ($27 - 30$) $^{\circ}\text{C}$. Tunggu sampai temperatur akhir pemanasan 850°C dengan waktu penahanan 30 menit. Kemudian setelah proses tersebut, Matikan *furnace*, lalu buka *furnace*, dan keluarkan kotak sementasi dari dalam dengan menggunakan tang penjepit.
- d. Angkat benda uji (ST41) dari dalam kotak sementasi dengan menggunakan gancu dan salah satu spesimen di masukkan ke dalam media pendingin berupa air, biarkan hingga dingin.
- e. Angkat benda uji (ST41) dari dalam media pendingin tersebut, bersihkan dari sisa-sisa proses karburisasi, lalu amplas salah satu sisi hingga bersih untuk proses pengujian kekerasan dan komposisi kimia.
- f. Untuk penahanan waktu 45 menit dan 60 menit, gunakan langkah-langkah proses *pack carburizing* dengan cara yang sama.

4. Pengujian spesimen

a. Pengujian kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat *Micro Hardness Vickers Testing Machine* di Laboratorium Teknologi Material Pusat Teknologi Material BPPT, gedung 224 kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, dengan skala *micro vickers*. Uji kekerasan *micro vickers* menggunakan indentor piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Pengujian kekerasan ini dilakukan tidak pada bagian atas permukaan, melainkan dengan arah melintang sebanyak 5 titik untuk tiap masing-masing spesimen dengan beban indentor 300 gram dan lama indentasi selama 15 detik.

b. Pengujian komposisi kimia

uji komposisi kimia ini dilakukan di UPT. Balai Pengolahan Mineral LIPI, Tanjung Bintang, Lampung, dengan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui perubahan dan peningkatan unsur karbon (C) sebelum dan sesudah proses karburisasi. Titik pengujian komposisi kimia dilakukan pada permukaan baja.

Data-data yang ditampilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1. Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sebelum proses *pack carburizing*.

Raw material ST41

Titik	Kekerasan (HV)
1	
2	
3	
4	
5	

Tabel 3.2. Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sesudah proses *pack carburizing*.

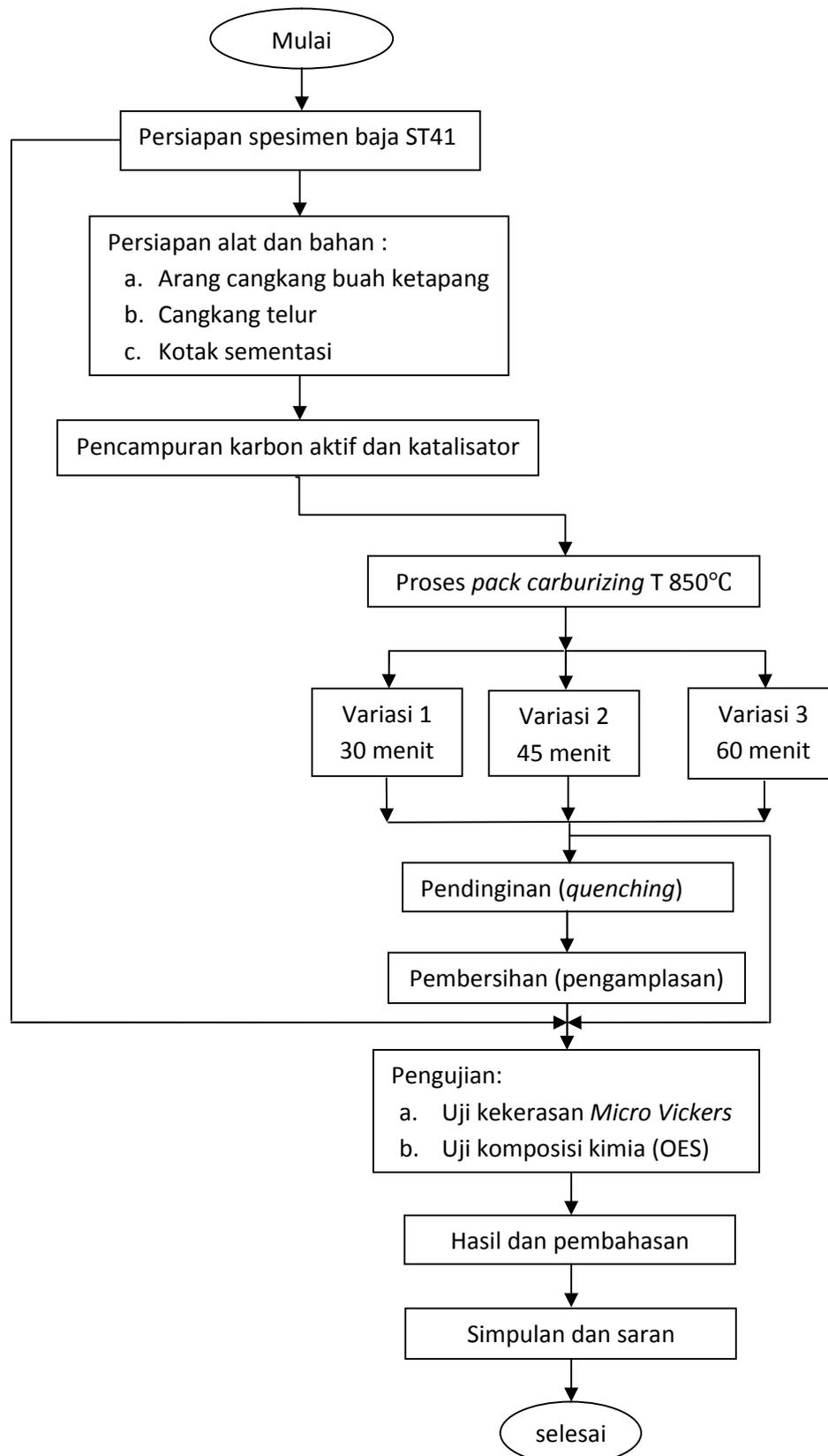
Jarak (mm)	Kekerasan (HV)
0	
0,5	
1	
1,5	
2	

Tabel 3.3. Nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) sesudah proses *pack carburizing* dan *quenching*.

Jarak (mm)	Kekerasan (HV)
0	
0,5	
1	
1,5	
2	

Tabel 3.4. Penambahan jumlah karbon (C) pada baja karbon rendah (ST41) sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*.

No	Sampel uji	Unsur utama baja (wt.%)					
		C	Si	Mn	P	S	Fe
1	Tanpa pelapisan						
2	30 menit						
3	45 menit						
4	60 menit						

D. diagram alir penelitian

Gambar 3.13 diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan jumlah karbon terbanyak dihasilkan dari baja karbon rendah (ST41) hasil proses pelapisan *pack carburizing* dengan waktu penahanan 60 menit yaitu sebesar 0,353 (wt.%).
2. Dari data pengujian komposisi kimia dan kekerasan dapat diketahui bahwa waktu penahanan saat proses karburasi sangat berpengaruh terhadap jumlah karbon dan kedalaman difusi karbon pada baja karbon rendah (ST41). Semakin lama waktu penahanan saat karburasi, maka jumlah kandungan karbon pada baja akan semakin meningkat.
3. Besarnya nilai kekerasan baja karbon rendah (ST41) dari hasil proses pelapisan *pack carburizing* yang diteruskan dengan perlakuan *quenching* menggunakan media air mengalami peningkatan nilai kekerasan antara 4 HV sampai 43 HV. sedangkan untuk nilai kekerasan sebelum diberi perlakuan *quenching* mengalami peningkatan kekerasan yang tidak begitu besar hanya berkisar antara 3 HV sampai 7 HV.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki penelitian ini antara lain :

1. Waktu penahanan saat proses *pack carburizing* sebaiknya divariasikan lebih lama, agar mendapatkan hasil difusi karbon yang lebih maksimal.
2. Kotak sementasi sebaiknya dibuat dengan ukuran yang lebih besar, agar saat proses karburasi semua spesimen dapat dimasukkan dalam satu kali proses setiap variasinya.
3. Dalam penelitian ini, jika akan melakukan proses pemanasan (*Furnace*) yang dikhususkan pada bagian 1 sisi saja, sisi yang tidak digunakan pada pengujian ditutup menggunakan pelat atau sebagainya, agar nilai karbon yang didapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Nizam. 2014. *Struktur Mikro Baja Konstruksi ST41 Normalizing*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- AlfaniWili. 2016. *PengaruhVariasiTemperaturPada Proses Pack Carburizing TerhadapLajuKeausan Baja ST41*.UniversitasLampung: Lampung.
- ASM Metals Handbook. (1990-1, 2005-2), “*Vol 01 : Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloy*”, ASM International.
- ASM Metals Handbook. (2005), “*Vol 04 : Heat Treating*”, ASM International.
- ASM Metals Handbook. (2005), “*Vol 09 : Metallography and Microstructures*”, ASM International.
- B. S. Inbaraj dan N. Sulochana. 2006. *Mercury Adsorption on a Carbon Sorbent Derived from Fruit Shell of Terminalia Catappa*. National Institute of Technology. Tiruchirappalli : India.
- Callister Jr, W. D. 2001. *Fundamentals Of Materials Science and Engineering*. John Willey and sons : New York.
- Callister, William D. 2007.*Material Science and Engineering an Introduction*. John Willey sons : New York.
- Casey, J. P. 1960. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Third Edition.Vol. I, II, III. A Willey Interscience Publisher inc. New York.
- D.P. Stefanus.2015. *PengaruhVariasiWaktuPenahananPada Proses Pack Carburizing TerhadapKekerasandanKomposisi Kimia Baja ST41*.UniversitasLampung: Lampung.

- Dieter, G. E. 1998. *Mechanical Metallurgy*. Second Edition. John Willey and Sons : New York.
- F. R. Ahmad dan S. Soeharto. 2013. *Pengaruh Waktu Temper Perlakuan Panas Quench-Temper terhadap Umur Lelah Baja ST41 pada Pembebanan Lentur Putar Siklus Tinggi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Giancoli, D. C. 1998. *Fisika*. Penterjemah Yuhisa Hanum. Erlangga : Jakarta.
- Hafni dan Nurzal. 2014. *Pengujian Tungku Pack Carburizing Untuk Pengerasan Permukaan Baja Karbon Rendah Dengan Media Karburisasi Campuran Arang Tempurung Kelapa ($BaCo_3$)*. Institut Teknologi Padang : Padang.
- Halliday, D dan Resnick, R. 1985. *Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga*. Erlangga : Jakarta.
- Kuswanto Bambang. 2010. *Perlakuan Pack Carburizing pada Baja Karbon Rendah sebagai Material Alternatif untuk Pisau Potong pada Penerapan Teknologi Tepat Guna*. Politeknik Negeri Semarang : Semarang
- Lawrence, H. Van Vlack. 2004. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Sixth Edition. Penterjemah Sriati Djaprie. Erlangga : Jakarta.
- M.Si, M.Eng, Kadir, Ir., MT, ST, Arman Rizky dan Julisman. 2015. *Analisa Sifat Mekanik Permukaan Baja ST37 Dengan Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Kelapa Sawit Sebagai Media Karbon Padat*. Universitas Bung Hatta Padang : Padang.
- Mujiono dan Arianto. 2008. *Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat pada Baja Karbon Rendah dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa*. Jurnal Teknik Mesin.
- Purwanto, H. 2012. *Diktat Material Teknik*. Teknik Mesin UNWANAS: Semarang.

Stadelman, J. W and O. J. Cotterill. 1995. *Egg Science and Technology*. Fourth Edition. Food Product Press. An Imprint of The Haworth Press : New York.

Syawaldi., Anwar IrwandaWidodoHeri. 2015. *Pengaruh Double Hardening di Media Pendingin Air TerhadapKetangguhan Material Baja SCM440 Yang TelahMengalami Proses Carburizing*.Universitas Islam Riau: Riau.

W.G. Satrio. 2011. *Studi Eksperimental Peningkatan Mutu Cangkul Pada Industri Kecil Logam di Kabupaten Pringsewu*.UniversitasLampung: Lampung.

Y. Lakhtin. 1975. *Engineering Physical Metallurgy*. Second Edition. Foreign Language Publishing House. Moscow.

Zaenal, H. George, B. E. 1997.*Aplikasi Metalurgical spectrometer*. Balai Besar Industri Logam dan Mesin : Bandung.

(<https://www.oxford-instruments.com>).

(<http://www.dosenpendidikan.com/penjelasan-selulosa-beserta-struktur-dan-manfaatnya/>).

(<http://iandrumer.blogspot.co.id/2011/12/lignin-atau-zat-kayu-adalah-salah-satu.html>).

(Thomson dan Evans, 2006; Orwa et al, 2009; *Balai Perbenihan Tanaman HutanJawa dan Madura*, 2012).