

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES *PACK*
CARBURIZING TERHADAP KETAHANAN AUS BAJA ST 41**

(Skripsi)

**Oleh
Wili Alfani**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES *PACK CARBURIZING* TERHADAP KETAHANAN AUS BAJA ST 41

Oleh
Wili Alfani

Pack carburizing merupakan proses termokimia atau *chemical heat treatment* yang dilakukan dengan mengubah komposisi kimia permukaan baja untuk memperkaya unsur karbon pada permukaan baja pada temperatur 850–950°C, 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. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *pack carburizing* terhadap laju keausan baja ST 41.

Baja karbon rendah yang digunakan pada penelitian adalah jenis baja ST 41 dan temperatur yang digunakan dalam proses *pack carburizing* adalah 850, 900, dan 950 °C, sedangkan sumber karbon yang digunakan adalah arang tempurung kelapa dan cangkang telur sebagai katalis. Pengujian keausan menggunakan mesin uji Ogoshi tipe OAT-U. Dari pengujian keausan sebelum proses *pack carburizing* diperoleh spesifik abrasi sebesar $3.27 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan setelah proses *pack carburizing* untuk masing-masing temperatur 850, 900, dan 950 °C adalah 1.87×10^{-6} , 1.44×10^{-6} , dan $1.83 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Hasil terbaik diperoleh pada temperatur 900 °C.

Kata kunci: *pack carburizing*, uji keausan, *quenching*, difusi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION ON SOLID CARBURIZING PROCESS AGAINST SHRINKAGE RESISTANCE STEEL ST 41

by
Wili Alfani

Pack carburizing is a thermochemical process or chemical heat treatment is done by changing the chemical composition of the steel surface to enrich the carbon elements on the surface of the steel at a temperature of 850-950°C, so that the active carbon atoms will diffuse into the steel surface and reaches a certain depth. After the diffusion process, followed by treatment of rapid cooling (quenching), in order to obtain a harder surface, but tough and resilient middle. This study aims to determine the effect of temperature variation on the rate of wear pack carburizing steel ST 41.

Low carbon steel used in the research is the type of steel ST 41 and the temperatures used in the process of pack carburizing is 850, 900, and 950 ° C with a holding time for 30 minutes followed by quenching, while the carbon source used is coconut shell charcoal and shells eggs as a catalyst. Wear testing using the test machine Ogoshi type of OAT-U. From the testing of wear before the pack carburizing process specific abrasion obtained by $3.27 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$ and after pack carburizing process for each temperature of 850, 900, and 950 ° C is 1.87×10^{-6} ; 1.44×10^{-6} ; and $1.83 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$. Best results are obtained at temperatures of 900 ° C.

Keywords: *pack carburizing, shrinkage testing, quenching, diffuse.*

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES *PACK CARBURIZING* TERHADAP LAJU KEAUSAN BAJA ST 41

Oleh

WILI ALFANI

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

**: PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES
PACK CARBURIZING TERHADAP KETAHANAN
AUS BAJA ST 41**

Nama Mahasiswa

: Wili Aldani

Nomor Pokok Mahasiswa : 0915021013

Program Studi

: Teknik Mesin

Fakultas

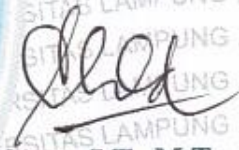
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

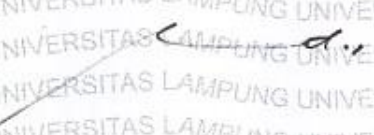


Harsono Supriadi, S.T., M.T.
NIP 19691106 200003 1 001



Tarkono, S.T., M.T.
NIP 19700415 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

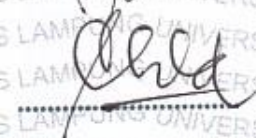
Ketua

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



Anggota

: Tarkono, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Zulhanif, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

NIP. 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Agustus 2016

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



WILI ALFANI
0915021013

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Gunung Sugih, Pesawaran pada tanggal 23 Juni 1991, anak pertama dari 3 bersaudara dengan orang tua Amrulloh dan Sarnawati. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 5 Gunung Sugih pada tahun 2003, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Way Lima pada tahun 2006, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Kedondong pada tahun 2009, pada saat menduduki kelas XI penulis ikut serta dalam ajang Olimpiade Sains Nasional (OSN) yang mana Makassar sebagai tuan rumah, namun hanya lolos dalam tingkat Kabupaten. Sejak tahun 2009 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik di Universitas Lampung yang pada saat itu jalur PKAB.

Selama menjadi Mahasiswa, penulis aktif dalam kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM), yang menjabat sebagai Kepala Biro Kesekretariatan. Pengalaman lapangan penulis diantaranya melakukan Kerja Praktik pada Divisi Design & Technical Engineering di PT. Krakatau Steel pada tahun 2012, melakukan Kuliah Kerja Nyata di Desa Kedaton Kec. Kasui-Way Kanan pada tahun 2013 dengan program kerja “Pembuatan dan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)”, melakukan Kerja Praktik di PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Sub Divisi Regional III.2 Tanjung Karang-Bandar Lampung pada tahun 2014 yang mengambil studi kasus “Perhitungan Laju Keausan Dan Prediksi Sisa Usia Pakai Roda Lokomotif CC 202”. Penulis mengambil konsentrasi kuliah bidang Material dan melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Pada Proses *Pack Carburizing* Terhadap Ketahanan Aus Baja ST 41” untuk syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu di Universitas Lampung.

MOTTO

TAK ADA GADING YANG TAK RETAK

MAN JADDA WA JADA

(Barang siapa sungguh-sungguh maka ia akan mendapat)

No Result No Process

Persembahan

Dengan Kerendahan Hati Mengharap Ridho Ilahi Ku
Persembahkan Karya Kecilku Ini Untuk Orang-Orang Aku Sayang

Ibunda dan Ayahanda

Atas segala pengorbanan yang tak terbalaskan, doa, kesabaran, ketulusan,
cinta kasih sayang

My Big Family M. Nurdin

Sumber motivasi dan inspirasi dalam hidupku

My special people Reni, S.Si

Atas semangat yang telah diberikan padaku

Sahabat Mesin '09

Yang turut memberikan dukungan dan semangat ketika semangat hampir
padam

Almamater tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa mencurahkan nikmat, rahmat, dan karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Alhamdulillah penulisan skripsi dapat diselesaikan yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar "Sarjana Teknik" pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penyusunan laporan skripsi ini.

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada:

1. Orang tua tercinta Amrulloh dan Sarnawati yang selalu aku sayangi serta keluarga besar Bapak M. Nurdin. Terima kasih atas dedikasinya baik dukungan moril maupun materil serta selalu mendoakan yang terbaik untuk penulis.
2. Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Unila.
3. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, pengetahuan, saran, serta nasehat selama proses penyelesaian skripsi ini.

4. Bapak Tarkono, S.T., M.T. selaku Pembimbing Pendamping atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, masukan, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku dosen pembahas pada laporan tugas akhir yang penulis seminarkan.
6. Bapak Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah membantu kelancaran skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin atas ilmu yang diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik maupun teladan dan motivasi untuk masa yang akan datang.
8. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Seluruh keluarga besar Teknik Mesin 2009 (Aditya Eka P, Solihin, Ronal Yaki, Ari Ardianto, Tunas Dewantara, M. Irvan, Erick Irham S, Ikbal Debi P, Lingga Aditya Y, Ardian Prabowo, Anisa Rachman, Ahmad Adi, Tri Wibowo, Mei Hartanto, Rizal Ahmad F, M. Todaro, Gunawan Efendi, Juni Eko P, Eko Hermawan, Rizky Rizdianto, Adi Nuryansyah), yang tidak henti-hentinya memberikan motivasi. serta tanpa menghilangkan jasa – jasa kawan yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih untuk motivasi yang telah kalian berikan.
10. Untuk Reni, S.Si. terima kasih untuk doa, dukungan dan kasih sayang yang telah diberikan hingga menjadi motivasi bagi penulis.
11. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan namanya satu persatu, yang telah ikut serta membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis sadar bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis pribadi mohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan dan kekhilafan tersebut. Saran dan masukan yang sifatnya membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kebaikan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis pribadi, dan umumnya bagi semua yang membacanya.

Bandar Lampung, Desember 2016
Penulis

Wili Alfani

DAFTAR ISI

	halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK	viii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	4
D. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Definisi <i>Carburizing</i>	6
B. Katalis	8
C. Baja Karbon Rendah	9
D. Perlakuan Panas	11
E. <i>Quenching</i>	11
F. Keausan	15
G. Laju Keausan	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	22
B. Alat dan Bahan	22
C. Prosedur Penelitian	

1. Persiapan spesimen uji	26
2. Persiapan <i>carburizing compound</i>	26
3. Proses <i>pack carburizing</i>	27
4. Pengujian keausan	28
D. Diagram Alir Penelitian	31

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Uji Keausan	32
B. Pembahasan	33

V. KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	halaman
1. Komposisi baja karbon rendah baja ST 41	10
2. Laju keausan spesimen sebelum proses <i>pack carburizing</i>	30
3. Laju keausan spesimen setelah proses <i>pack carburizing</i> dan <i>quenching</i>	30
4. Data hasil uji keausan sebelum proses <i>pack carburizing</i>	33
5. Data hasil uji keausan setelah proses <i>pack carburizing</i> dan <i>quenching</i>	33
6. Data hasil rata-rata uji keausan sebelum proses <i>pack carburizing</i>	34
7. Data hasil rata-rata uji keausan setelah proses <i>pack carburizing</i> dan <i>quenching</i>	34
8. Data hasil uji keausan permukaan atas pada temperatur 850° C	36
9. Data hasil uji keausan permukaan bawah pada temperatur 850° C	36
10. Data hasil uji keausan permukaan atas pada temperatur 900° C	36
11. Data hasil uji keausan permukaan bawah pada temperatur 900° C	37
12. Data hasil uji keausan permukaan atas pada temperatur 950° C	37
13. Data hasil uji keausan permukaan bawah pada temperatur 950° C	37

DAFTAR GAMBAR

	halaman
1. Pemodelan proses difusi	7
2. Proses <i>pack carburizing</i>	7
3. Skema keausan adhesive	16
4. Mekanisme keausan abrasif	17
5. Mekanisme keausan lelah	18
6. Mekanisme keausan oksidasi	19
7. Mekanisme keausan erosi	20
8. Baja ST 41	22
9. Arang tempurung kelapa	23
10. Cangkang telur	23
11. Mesin pemanas (<i>furnace</i>)	24
12. Alat uji keausan <i>Ogoshi high speed universal wear testing machine type</i> <i>OAT-U</i>	24
13. Ampelas listrik	24
14. Kotak sementasi	25
15. Bak media <i>quenching</i>	25
16. Ilustrasi pengujian keausan	29
17. Diagram alir penelitian	31
18. Lokasi titik pengujian	32

DAFTAR GRAFIK

	halaman
1. Pendinginan langsung	14
2. Pendinginan Tunggal (<i>Single Quenching</i>)	15
3. Rata-rata laju keausan sebelum dan setelah <i>pack carburizing</i>	35
4. Hubungan antara posisi pengujian terhadap laju keausan	38

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat, membuat industri memegang peranan penting di dalamnya. Dengan adanya industri-industri baru, akan memungkinkan terciptanya produk-produk baru yang lebih inovatif, sehingga dapat mendorong munculnya penemuan baru baik di bidang ilmu pengetahuan maupun teknologi (Schonmetz dan Gruber, 1994).

Industri-industri yang telah ada tidak akan lepas dari pemanfaatan logam terutama baja. Hal ini terbukti dengan banyaknya penggunaan baja pada berbagai komponen-komponen mesin, bahan kerja, konstruksi bangunan, baik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang profil dan sebagainya. Baja merupakan campuran antara besi (Fe) dan karbon (C) sekitar 0,1% sampai 1,7%. Selain itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase yang kecil (Amanto, 1999).

Baja mempunyai karakterisasi dari yang paling lunak sampai yang paling keras, dari bahan baja berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat. Hal ini yang menyebabkan baja disebut material yang kaya dengan sifat-sifat, dimana unsur paduan utamanya adalah karbon. Karbon merupakan unsur utama untuk

menguatkan baja, sehingga baja harus mengandung karbon sampai kadar tertentu. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: (1) baja karbon rendah ($C < 0,3\%$), (2) baja karbon sedang ($C \ 0,3-0,7\%$), (3) baja karbon tinggi ($0,7-1,7\%$) (Smallman dan Bishop, 1999).

Dalam aplikasinya, keausan merupakan fenomena yang tidak dapat dihindarkan akibat pengaruh dari gaya luar berupa tegangan gesek. Keausan adalah perubahan dimensi material yang disebabkan perpindahan permukaan material akibat pengikisan sebagai hasil dari aksi mekanik, hal ini terjadi pada komponen-komponen yang bagian permukaannya saling bergesekan dalam gerak meluncur (Faraq, 1997).

Keausan merupakan faktor yang paling dominan dalam kerusakan fungsi permesinan, yang mengakibatkan berkurangnya usia pakai dan performa berbagai komponen mesin dan secara tidak langsung akan meningkatkan biaya maintenance. Menurut (Rabinowicz, 1995) pengurangan fungsi suatu komponen mesin 70% disebabkan oleh kerusakan pada permukaan logam yang meliputi keausan (55%), korosi (15%). Mekanisme keausan yang dominan adalah keausan adhesif (25%) dan abrasif (20%), sedangkan sisanya disebabkan oleh mekanisme keausan yang lain.

Mengingat keausan merupakan penyebab utama pengurangan fungsi suatu komponen mesin, maka perlu usaha untuk meningkatkan sifat mekanik terutama ketahanan terhadap keausan, di antaranya adalah melalui pengerasan

permukaan dan perlakuan panas. Peningkatan kekerasan permukaan spesimen baja salah satunya diperoleh melalui metode *carburizing*, sehingga menghasilkan laju keausan yang rendah serta meningkatkan ketahanan aus (Selcuk et al, 2003).

Dalam penelitian (Malau dan Khasani, 2008) menyatakan bahwa penambahan barium karbonat sebesar 20% menghasilkan peningkatan dan kekerasan baja AISI 1020 yang paling tinggi. Penelitian sebelumnya yang dilakukan Suryanto (2005), menyatakan bahwa peningkatan suhu karburasi dengan arang kayu pada baja karbon rendah akan meningkatkan kedalaman efektif lapisan karburisasi, namun peningkatan suhu karburasi akan menurunkan laju keausan.

Penggunaan baja karbon rendah banyak sekali ditemukan pada komponen mesin maupun komponen suatu konstruksi. Komponen mesin yang terbuat dari baja karbon rendah dapat berupa roda gigi dan poros dengan beban relatif kecil. Dengan memberi lapisan *pack carburizing*, maka kekuatan *fatigue* dan kekerasan akan mengalami kenaikan, sehingga laju keausan akan mengalami penurunan (Malau dan Khasni, 2008).

Salah satu baja karbon rendah adalah baja ST 41 yang memiliki kandungan karbon (C) sebesar 0,10 %. Baja ST 41 banyak digunakan untuk kawat, paku, wire mesh, peralatan otomotif, dan kawat elektroda berlapis keperluan pengelasan. Untuk mendapatkan parameter proses *pack carburizing* pada proses baja karbon rendah dengan menggunakan arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon aktif dan cangkang telur sebagai katalisator.

Berdasarkan uraian di atas maka peneliti perlu melakukan penelitian mengenai “**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES PACK CARBURIZING TERHADAP KETAHANAN AUS BAJA ST 41**”.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *pack carburizing* terhadap laju keausan baja ST 41.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baja yang digunakan adalah baja karbon rendah ST 41.
2. Waktu penahanan temperatur adalah 30 menit dan variasi suhu temperatur 850 °C, 900 °C, 950 °C.
3. Karbon aktif yang digunakan adalah arang tempurung kelapa.
4. Katalisator yang digunakan adalah cangkang kulit telur.
5. Pengujian yang dilakukan adalah uji keausan.
6. Pendinginan dilakukan secara cepat dengan media pendingin air.
7. Tungku yang digunakan adalah mesin *furnace*.

D. Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah yang diambil dengan jelas, tujuan batasan masalah, dan sistematika penulisan dalam penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung pembahasan dalam penelitian.

BAB III. METODE 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 dalam penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil dan data dari penelitian yang telah dilakukan, serta pembahasan dalam hasil penelitian.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

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.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung pada penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

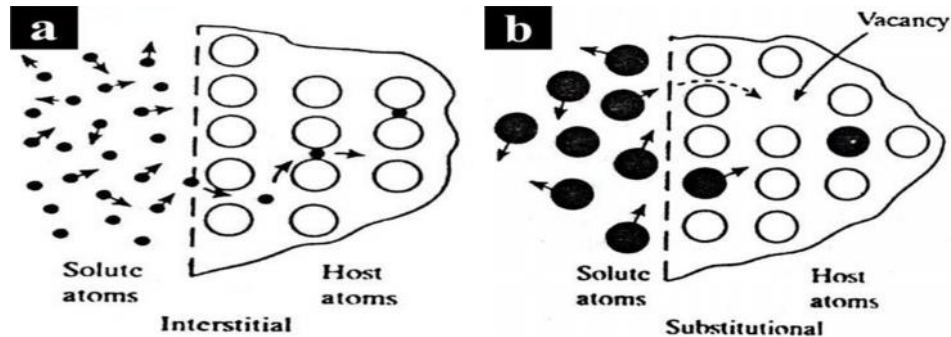
A. Definisi *Carburizing*

Carburizing merupakan proses termokimia atau *chemical heat treatment* yang dilakukan dengan mengubah komposisi kimia permukaan baja untuk memperkaya unsur karbon pada permukaan baja pada suhu 850–950°C (Malau, 1999), 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 di dalam 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 di sekitar substrat dibandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat (Schonmetz dan Gruber, 1994). Skema difusi ditunjukkan pada Gambar 1.

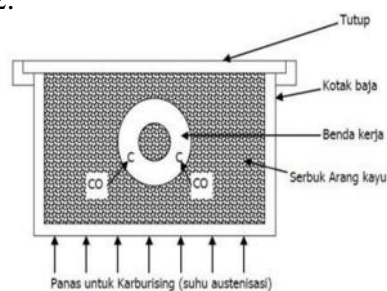
Pendinginan cepat bertujuan memperoleh permukaan yang lebih keras akibat perubahan struktur mikro pada permukaan baja yang telah dikarburasi. Dari

bermacam-macam struktur mikro, martensit merupakan yang paling keras dan kuat namun paling getas (William and Callister, 1997).



Gambar 1. Pemodelan proses difusi:
(a) Secara Intersitisi, (b) Secara Substitusi.

Metode proses karburasi dibedakan berdasarkan media karburasi yaitu gas, cair, dan padat. *Pack carburizing* adalah metode karburasi yang paling sederhana dibanding metode cair dan gas, karena dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana. Pada metode ini, komponen ditempatkan dalam kotak berisi media karburasi yang saat pemanasan pada suhu austenisasi ($842-530^{\circ}\text{C}$) 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 terjadi pada proses karburasi. Skema proses ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 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:



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 (Lathkin, 1965).

B. Katalis

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.

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 komersial, 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 atau gas.

Salah satu sumber katalis yang mudah diperoleh di sekitar kita adalah kulit telur. Kulit telur memiliki kandungan CaCO_3 (kalsium karbonat) sebanyak 94%, MgCO_3 (magnesium karbonat) sebanyak 1%, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (kalsium fosfat) sebanyak 1% dan bahan organik sebanyak 4% (Stadelman, 2000).

C. 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 karbida yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. 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 rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto dan Daryanto, 1999).

Baja karbon rendah juga memiliki ciri khusus antara lain :

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

Tabel 1. Komposisi baja karbon rendah baja ST 41 (PT. Growth Sumatera).

Komposisi kimia (%)				
C	Si	Mn	P	S
0,1277	0,1597	0,5689	0,0156	0,0273

Baja ST 41 termasuk baja karbon rendah dikarenakan mempunyai kandungan karbon di bawah 0,3 %. ST 41 ini menunjukkan bahwa baja ini dengan kekuatan tarik kurang lebih 40 kg/mm² (diawali dengan ST dan diikuti bilangan yang menunjukkan kekuatan tarik minimumnya dalam kg/mm²). Baja ST 41 biasanya digunakan untuk kawat, paku, wire mesh, peralatan otomotif, dan kawat elektroda berlapis keperluan pengelasan.

D. 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.

Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan akan terjadi perubahan pada struktur material tersebut. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Schomentz and Gruber, 1994).

E. 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 ferit atau perlit 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. Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antar lain:

1. Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen 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 memiliki koefisien viskositas sebesar $0,001\text{ Pa}\cdot s$ pada temperatur $20\text{ }^{\circ}C$ (Giancoli, 1999). 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 (Soedjono, 1978). Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak (Gary, 2011).

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 pada 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 (Soedjono,1978). Untuk oli mesin SAE 10 pada temperatur 30°C memiliki koefisien viskositas 200×10^{-3} Pa.s (Giancoli, 1999).

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 kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara (Soedjono,1978). Udara memiliki titik didih -194°C dan nilai koefisien viskositasnya $0,018 \times 10^{-3}$ Pa.s (Giancoli, 1999).

4. Garam

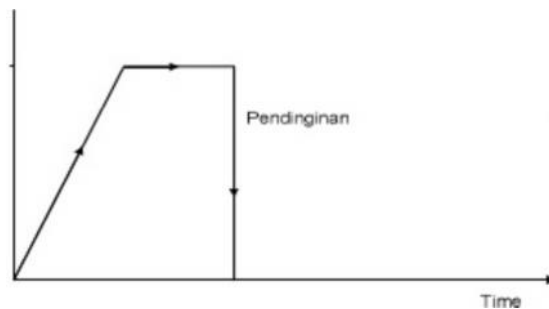
Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan

garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang (Soedjono,1978).

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

1. Pendinginan langsung (*Direct Quenching*)

Pendinginan secara langsung dari media karburasi Efek yang timbul adalah kemungkinan adanya pengelupasan pada benda kerja Pada pendinginan langsung ini diperoleh permukaan benda kerja yang getas.

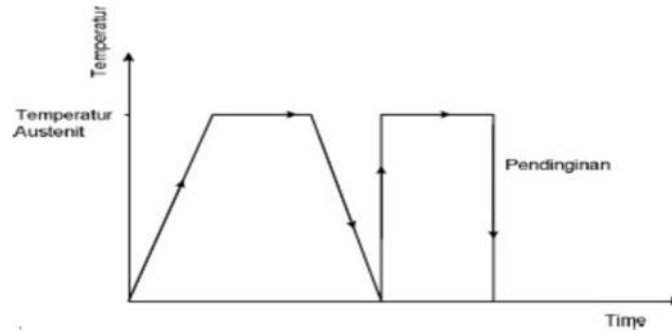


Grafik 1. Pendinginan langsung

Grafik 1 merupakan pendinginan secara langsung dimana material yang telah diberikan perlakuan panas atau *heat treatment* langsung dimasukkan ke dalam pendingin dimana media yang digunakan untuk pendinginannya adalah air.

2. Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

Single quenching merupakan pendinginan benda kerja setelah benda kerja tersebut di karburasi dan telah didinginkan pada suhu kamar.



Grafik 2. Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

Tujuan dari metode ini adalah untuk memperbaiki difusivitas 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 di karburasi dan didinginkan pada temperatur kamar kemudian dipanaskan lagi di luar kotak karbon pada temperatur kamar lalu dipanaskan.

F. Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai lepasnya atom dari permukaan material dan pengurangan sebagai akibat dari aksi mekanik atau dapat didefinisikan sebagai bagian yang hilang dari permukaan yang padat. Keausan terjadi apabila dua buah benda yang saling menekan dan saling bergesekan. Keausan yang lebih besar terjadi pada bahan yang lebih lunak. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Semakin besar kecepatan relatif benda yang bergesekan, maka semakin material akan mudah aus. Demikian pula semakin besar tekanan pada permukaan kontak benda, material akan cepat aus, begitu pula

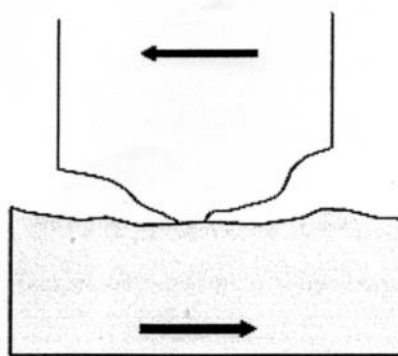
sebaliknya.

Fenomena keausan biasanya terjadi pada bagian yang mengalami gesekan lurus ataupun gesekan berputar dengan permukaan lain. Keausan juga dapat disebabkan oleh gesekan dengan cairan atau gas yang bergerak, terutama jika cairan ataupun gas tersebut mengandung partikel yang keras. Keausan yang disebabkan deformasi plastis, akan menyebabkan lepasnya atom dari permukaan bahan sehingga berat dan ukuran bahan secara terus menerus akan berkurang. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

Jenis-jenis keausan adalah sebagai berikut:

1. Keausan adhesive (*adhesive wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya gaya tarik menarik satu sama lainnya (*adhesive*), dan deformasi plastis, yang pada akhirnya terjadi pelepasan salah satu material yang saling bergesekan. Skema keausan adhesive ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema keausan adhesive.

Faktor yang menyebabkan terjadinya *adhesive wear*:

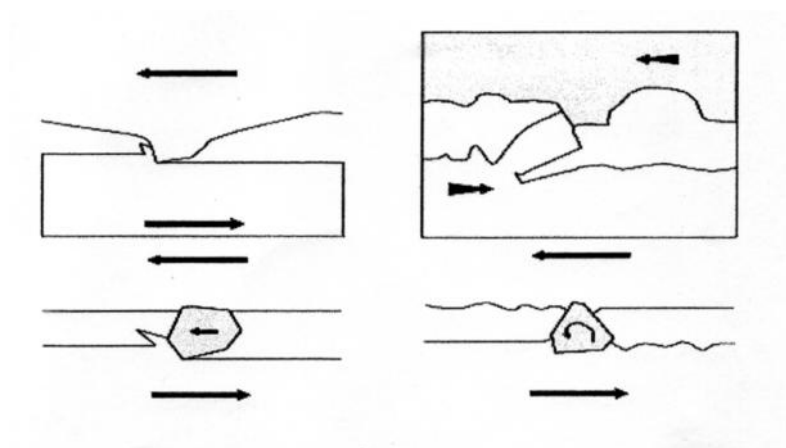
1. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat.
2. Kebersihan permukaan.

Mekanisme keausan adhesive dapat dikurangi dengan cara, antara lain:

- a. Menggunakan material keras,
- b. Material dengan jenis yang berbeda. Misalkan dua buah material yang berbeda struktur kristalnya.

2. Keausan Abrasif (*abrasive wear*)

Keausan abrasif dapat terjadi bila suatu partikel keras seperti dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau seperti tersebut. Gambar 4 menunjukkan mekanisme keausan abrasive.



Gambar 4. Mekanisme keausan abrasive.

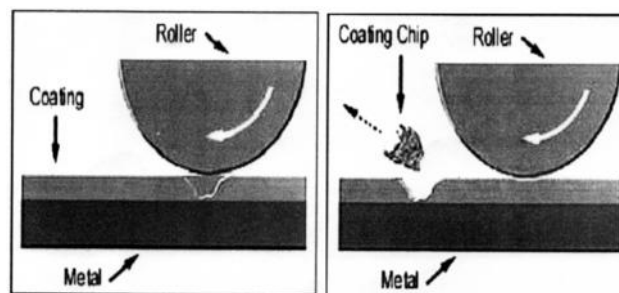
Faktor yang mempengaruhi ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

1. Kekerasan material,
2. Kondisi struktur mikro,
3. Ukuran abrasif,
4. Bentuk abrasif.

Bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear*, antara lain: *scratching*, *scoring*, dan *gouging*.

3. Keausan lelah (*fatigue wear*)

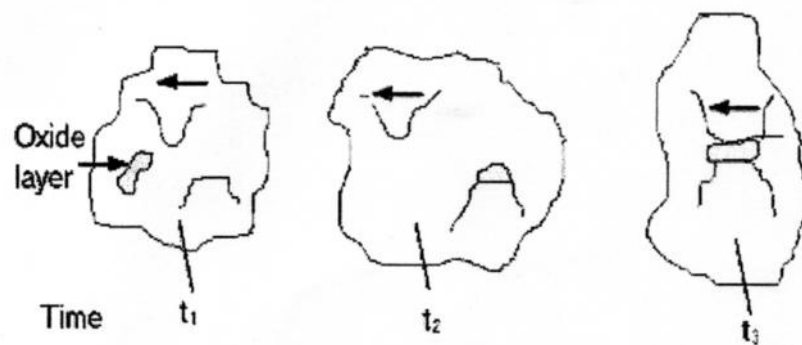
Merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adhesif maupun abrasif hanya melibatkan satu interaksi, sementara pada keausan lelah banyak melibatkan interaksi. Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan, di mana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Tingkat keausan sangat bergantung pada tingkat pembebanan. Mekanisme keausan lelah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme keausan lelah.

4. Keausan oksidasi (*corrosive wear*)

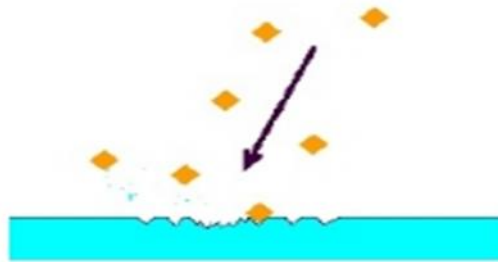
Keausan jenis ini timbul akibat adanya perubahan kimiawi di permukaan material yang berinteraksi dengan lingkungan. Interaksi ini yang akan menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan material dengan sifat yang berbeda dengan material induknya. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan penghubung antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan terlepas. Mekanisme keausan oksidasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme keausan oksidasi.

5. Keausan erosi (*erosion wear*)

Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil, keausan yang dihasilkan analog dengan abrasif. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut normal (90°), maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan *brittle failure* pada permukaannya. Gambar 7 menunjukkan mekanisme keausan erosi.



Gambar 7. Mekanisme keausan erosi (Setiaji, 2009).

Temperatur permukaan yang bergesekan akan mempengaruhi keausan bahan, karena:

1. Mengubah sifat-sifat bahan yang bergesekan. Pada umumnya kekerasan bahan dipengaruhi oleh temperatur. Jika bahan temperatur suatu bahan, maka laju keausan bahan tersebut akan meningkat.
2. Mempengaruhi pembentukan lapisan kontaminasi pada permukaan gesekan. Pada udara normal, permukaan logam terselubung oleh lapisan oksida. Pembentukan lapisan oksida tersebut tergantung pada temperatur pembentukannya.
3. Mengubah sifat pelumasan. Penggunaan pelumasan cair pada temperatur tinggi akan menurunkan viskositas pelumas.

Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi keausan:

1. Bahan perantara (butir debu, butir pasir, pecahan beling, kandungan asam, udara, suhu).
2. Pergerakan (kecepatan, getaran).
3. Faktor Internal.

Merupakan faktor yang dimiliki oleh material atau bahan itu sendiri, seperti: komposisi kimia, sifat mekanis atau struktur mikro.

4. Faktor Eksternal

Merupakan faktor yang menyebabkan keausan karena faktor luar dari bahan tersebut. Contohnya: kecepatan, beban yang diterima, kekerasan, permukaan awal, kondisi lingkungan.

G. Laju Keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan pengujian laju keausan. Pengujian laju keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan/ pengurangan spesimen tiap satuan luas bidang kontak dan lama pengausan. (ASM, 1990)

Laju keausan ini dinyatakan dengan :

Rumus uji keausan yaitu sebagai berikut:

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 r \cdot p \cdot l} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

B = lebar piringan pengaus (mm)

b^3 = lebar keausan pada benda uji (mm)

r = jari-jari piringan pengaus (mm)

P = gaya tekan pada proses keausan berlangsung (kg)

l = jarak tempuh pada proses pengausan (mm)

W_s = harga keausan spesifik (mm^2/kg)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan April 2015 sampai selesai di Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung dan pengujian keausan di lakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Indonesia.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baja ST 41



Gambar 8. Baja ST 41

2. Arang Tempurung kelapa

Sebagai sumber karbon aktif pada proses *pack carburizing*.



Gambar 9. Arang tempurung kelapa

3. Cangkang telur

Sebagai katalisator (CaCO_3) untuk mempercepat laju reaksi (difusi) saat proses *pack carburizing*.



Gambar 10. Cangkang telur

4. Furnace



Gambar 11. Mesin pemanas (*furnace*)

5. Alat uji keausan



Gambar 12. Alat uji keausan *Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U*

6. Polisher/ampelas



Gambar 13. Ampelas listrik

7. Kotak sementasi



Gambar 14. Kotak sementasi

8. Bak Air



Gambar 15. Bak media *quenching*

9. Air

Sebagai media pendinginan proses *quenching*.

C. Prosedur penelitian

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

1. Persiapan spesimen uji

Material yang akan diuji pada penelitian ini adalah baja karbon rendah ST 41 .

Berikut adalah tahap proses pembuatan spesimen uji

a. Pemotongan spesimen uji

Pemotongan spesimen uji ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong blander. Dengan ukuran spesimen (3 x 4 x 1,5 cm) sebanyak 24 buah.

b. Proses *polishing*

Proses ini menggunakan ampelas 500 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 pengampelasan.

2. Persiapan *carburizing compound*

Berikut adalah tahap proses pembuatan *carburizing compound* :

a. Menyiapkan karbon aktif

Sumber karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang tempurung kelapa, karbon aktif ini diperoleh dengan cara menghaluskan tempurung kelapa 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 yang sebelumnya sudah dikeringkan dengan alat penggiling listrik (*blander*).

c. Proses pencampuran (*compound*)

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

3. Proses *pack carburizing*

- a. Benda uji (ST 41) setelah diambil data laju keausan awal, benda uji dililitkan dengan kawat baja sebagai tempat pengait untuk mempermudah proses pengangkatan benda uji (ST 41) dalam keadaan panas.
- b. Benda uji (ST 41) diletakkan ke dalam kotak sementasi ditimbun dengan karbon (arang tempurung kelapa) dan bubuk cangkang telur (CaCO_3) hingga menutupi permukaan seluruhnya.
- c. Masukkan kotak sementasi ke dalam *furnace*, dan *furnace* ditutup, nyalakan *furnace* lihat temperatur awal 27 – 30 °C. Tunggu sampai

temperatur akhir pemanasan 850 °C, dengan waktu penahanan 30 menit.

- d. Matikan *furnace* lalu buka *furnace* keluarkan kotak sementasi dari dalam dengan menggunakan tang penjepit.
- e. Angkat benda uji (ST 41) dari dalam kotak sementasi dengan menggunakan gancu dan dimasukkan ke dalam media pendingin berupa air, biarkan hingga dingin.
- f. Angkat benda uji (ST 41) dari dalam media pendingin tersebut, bersihkan dari sisa-sisa proses *pack carburizing* hingga bersih untuk proses pengujian keausan.
- g. Untuk temperatur 900 dan 950 °C gunakan langkah-langkah proses *carburizing* dengan cara yang sama.

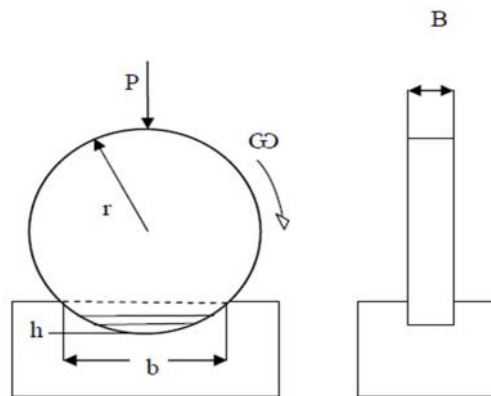
Setelah proses *carburizing* semua benda uji (ST 41) selesai, dilanjutkan dengan pengujian laju keausan.

4. Pengujian keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari piringan yang berputar (*revolving disc*). Ilustrasi pengujian keausan Ogoshi ditunjukkan pada Gambar 18.

Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material

tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji. (Novianto, 2013)



Gambar 16. Ilustrasi pengujian keausan

Keterangan :

P : Beban

h : Kedalaman bekas injakan

r : jari- jari *revolving disc*

b : Lebar bekas injakan

B : Tebal *revolving disc*

: Kecepatan putar

Rumus uji keausan yaitu sebagai berikut :

$$W_S = \frac{B \cdot b^3}{8 r \cdot p \cdot l} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

B = lebar piringan pengaus (mm)

b = lebar keausan pada benda uji (mm)

r = jari-jari piringan pengaus (mm)

P = gaya tekan pada proses keausan berlangsung (kg)

l = jarak tempuh pada proses pengausan (mm)

W_s = harga keausan spesifik (mm^2/kg)

Pengujian keausan dilakukan pada spesimen yang belum mengalami proses *pack carburizing* dan *quenching* sebanyak 3 buah spesimen dan setelah mengalami proses *pack carburizing* dan *quenching* untuk temperatur 850° , 900° , dan 950° C masing-masing sebanyak 6 buah spesimen.

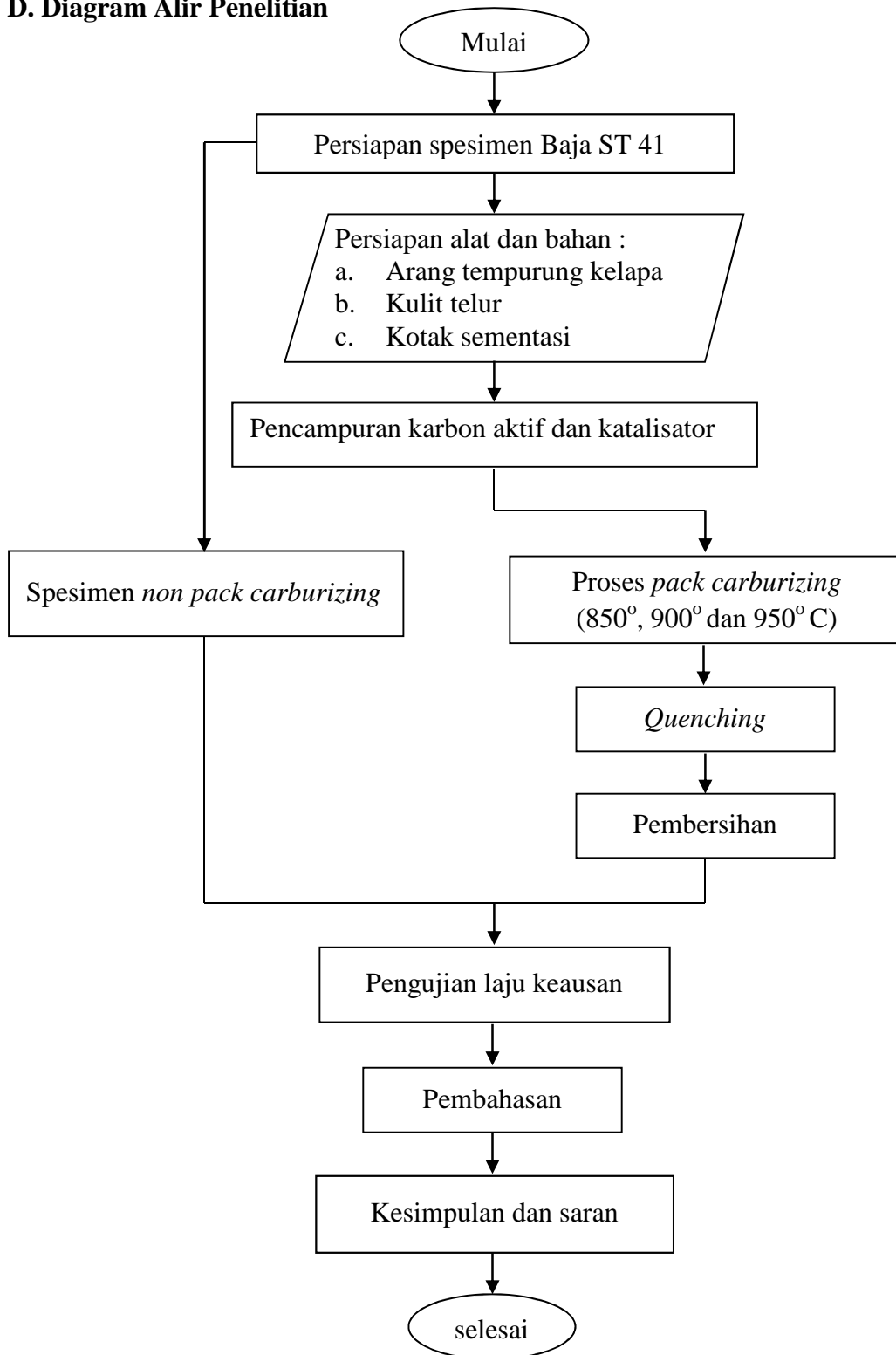
Data-data yang ditampilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Laju keausan spesimen sebelum proses *pack carburizing*

Spesimen	Laju keausan (mm^2/kg)
Y_1	
Y_2	
Y_3	
Rata- rata	

Tabel 3. Laju keausan spesimen setelah proses *pack carburizing* dan *quenching*

Spesimen	Laju keausan (mm^2/kg)						Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
A							
B							
C							

D. Diagram Alir Penelitian

Gambar 17. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Terjadi penurunan laju keausan yang signifikan pada material antara sebelum proses *pack carburizing* dengan setelah proses *pack carburizing* dan *quenching*.
2. Variasi temperatur pada proses *pack carburizing* mempengaruhi nilai laju keausan material.
3. Nilai laju keausan terbaik terjadi pada proses *pack carburizing* temperatur 900 °C, baik permukaan atas maupun permukaan bawah dengan nilai rata-rata laju keausan sebesar $1.44 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$.

B. Saran

1. Melakukan pengujian keausan spesimen setelah proses *pack carburizing* sebelum spesimen dilakukan *quenching*.
2. Melakukan pengujian komposisi kimia terhadap spesimen baik sebelum proses *pack carburizing* maupun setelah proses *pack carburizing* dan *quenching*.

DAFTAR PUSTAKA

- Armanto, H., Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT. Bina Aksara.
- ASM Handbook, 1990. *Friction Lubrication and Wear Technology*. ASM International Volume 18, USA.
- Faraq, M. 1997. *Material Selection for Engineering Design*, Prentice Hall.
- Gary, M. 2011. *Heat Treatment*. (Makalah Proses Produksi). Universitas Sriwijaya.
- Giancoli, D. C. 1999. *Fisika Jilid 1 Edisi Kelima*. Erlangga. Jakarta.
- Halliday, D. dan Resnick, R. 1985. *Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga*. Erlangga. Jakarta.
- Lathkin, Y. 1965. *Engineering Physical Metallurgy*. Foreign Language Publishing House, Moscow.
- Malau, V. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik dan Manufaktur*. (Diktat Bahan Kuliah S2). Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Malau, V. dan Khasani. 2008. *Karakterisasi Laju Keausan dan Kekerasan dari Pack Carburizing Pada Baja Karbon AISI 1020*. Media Teknik. Media Teknik. No 3 Hal 367-374.
- Rabinowicz, E., 1995. *Friction and Wear of Material*. John Willey & Sons, Inc. Singapore.

- Schonmetz A. dan Gruber K. 1994. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam* (Alih Bahasa: Dip-Ing. Eddy D. Hardjapamekas). Bandung: Penerbit Angkasa.
- Selcuk, B., Ipek, R. dan Karamis M.B. 2002. *A Study on Friction and Behaviour of Carburized, Carbonitrided and Borided AISI 1020 and 5115 Steel*. Journal of Materials Processing Technology. Vol 141 (2003) Page 189 - 196.
- Setiaji, R. 2009. *Laporan Awal Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Keausan*. Universitas Indonesia. Depok.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Oxford, Butterworth-Heinemann. Hal 298.
- Soejdono. 1978. *Pengetahuan Logam 1*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Soffiyudin A. A., 2007. *Pengaruh Suhu Carburizing Menggunakan Media Arang Batok Kelapa Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Roda Gigi Baja AISI 4140*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- William, D and Callister, J.R. 1997. *Material Sciene and Engineering an Introduction fourth Edition*. USA: John Willey and Sons, Inc.