SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1005 DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR

Disusun dan diajukan oleh:

FALAH RADITYA
D021 17 1307

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1005 DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR

Disusun dan diajukan oleh

Falah Raditya
D021 17 1307

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 26 : 09 : 23
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,	Pembimbing Pendamping,
Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T.	Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.
NIP. 195709141987031001	NIP. 197707072005111001

Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP. 197208252000031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama	: Falah Raditya
NIM	: D021 17 1307
Program Studi	: Teknik Mesin
Jenjang	: S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1005 DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Oktober 2023

Yang Menyatakan

Falah Raditya

ABSTRAK

FALAH RADITYA. *Analisis Pengaruh Karburisasi Cair Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 1005 dengan Media Pendingin Air* (dibimbing oleh Ilyas Renreng dan Muhammad Syahid)

Salah satu proses perlakuan panas yang dapat mengeraskan permukaan baja adalah dengan cara karburisasi. Karburisasi cair adalah proses pengerasan permukaan baja dengan cara mencelupkan baja yang telah ditempatkan ke dalam larutan garam cair untuk memperkaya unsur karbon pada permukaan baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair terhadap peningkatan nilai kekerasan, ketahanan aus, dan struktur mikro pada baja AISI 1005. Proses karburisasi cair ini menggunakan variasi waktu karburisasi 2 jam, 3 jam, dan 3,5 jam pada temperatur 850℃ dengan pendinginan air. Media karburisasi yang digunakan adalah campuran a) 50% Na_2CO_3 (250 gram), 45% NaCl (225 gram), 5% SiC (25 gram) dan b) 75% Na_2CO_3 (375 gram), 15% NaCl (75 gram), 10% SiC (50 gram). Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan Vickers, uji keausan, dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses karburisasi cair dapat meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus pada baja AISI 1005. Nilai kekerasan material sebelum diproses karburisasi adalah 108.7 HV. Peningkatan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada karburisasi cair yang menggunakan komposisi kimia B dengan waktu karburisasi 3,5 jam yaitu senilai 827.93 HV. Nilai laju keausan material sebelum diproses karburisasi adalah 0.21 mg/s. Nilai laju keausan terendah terjadi pada karburisasi cair yang menggunakan komposisi kimia B dengan waktu karburisasi 3,5 jam yaitu senilai 0.025 mg/s. Hasil yang didapatkan dapat diketahui bahwa semakin banyak komposisi SiC dan semakin lama waktu karburisasi yang diikuti dengan pendinginan cepat menyebabkan peningkatan nilai kekerasan dan ketahanan aus material. Hasil pengamatan struktur mikro sebelum dikarburisasi menunjukkan fasa ferit dan perlit sedangkan setelah dikarburisasi menunjukkan fasa ferit, perlit, sementit, dan martensit, dimana jumlah perlit dan martensit terlihat lebih banyak dibandingkan ferit yang menyebabkan tingkat kekerasan semakin tinggi searah dengan meningkatnya variasi waktu karburisasi.

Kata Kunci: Baja AISI 1005, Karburisasi Cair, Kekerasan, Keausan, Struktur Mikro

ABSTRACT

FALAH RADITYA. *Analysis of the Effect of Liquid Carburizing on the Mechanical Properties and Microstructure of AISI 1005 Steel with Water Cooling Media* (supervised by Ilyas Renreng and Muhammad Syahid)

One of the heat treatment processes that can harden the surface of steel is carburizing. Liquid carburizing is a process of hardening the steel surface by dipping the steel that has been placed into a molten salt solution to enrich the carbon element on the steel surface. This study aims to determine the effect of liquid carburizing on increasing the hardness value, wear resistance, and microstructure of AISI 1005 steel. This liquid carburizing process uses a variation of carburizing time of 2 hours, 3 hours, and 3.5 hours at a temperature of 850 ℃ with water cooling. The carburizing media used are a mixture of a) 50% Na_2CO_3 (250 grams), 45% NaCl (225 grams), 5% SiC (25 grams) and b) 75% Na_2CO_3 (375 grams), 15% NaCl (75 grams), 10% SiC (50 grams). The tests conducted were Vickers microhardness test, wear test, and microstructure observation. The results show that the liquid carburizing process can increase the hardness value and wear resistance of AISI 1005 steel. The hardness value of the material before carburizing processing is 108.7 HV. The highest increase in hardness value occurred in liquid carburizing using chemical composition B with a carburizing time of 3.5 hours, which was 827.93 HV. The wear rate value of the material before carburizing processing was 0.21 mg/s. The lowest wear rate value occurs in liquid carburizing using chemical composition B with a carburizing time of 3.5 hours, which is 0.025 mg/s. The results obtained can be seen that the more SiC composition and the longer the carburizing time followed by rapid cooling cause an increase in the hardness value and wear resistance of the material. The microstructure observation before carburizing shows ferrite and pearlite phases while after carburizing shows ferrite, pearlite, cementite, and martensite phases, which the amount of pearlite and martensite looks more than ferrite which causes the hardness level to get higher in the direction of increasing variation in the carburizing time.

Keywords: AISI 1005 Steel, Liquid Carburizing, Hardness, Wear, Microstructure

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI i
PERNYATAAN KEASLIAN ii
ABSTRAK iii
ABSTRACT iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR TABEL ix
KATA PENGANTAR x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Baja 5
2.1.1 Diagram fasa besi-karbon 6
2.1.2 Baja AISI 1005 7
2.2 Karburisasi 8
2.2.1 Difusi 14
2.2.2 *Quenching* 14
2.3 Pengujian Mekanik 16
2.3.1 Pengujian kekerasan *Vickers* 16
2.3.2 Keausan 19
2.4 Struktur Mikro 22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 25
3.2 Alat dan Bahan 25
3.3 Langkah-Langkah Penelitian 32
3.3.1 Kaburisasi cair 32
3.3.2 Pengujian kekerasan *Vickers* 33
3.3.3 Pengujian keausan 33
3.3.4 Pengamatan struktur mikro 34
3.4 Metode Pengambilan Data 34
3.5 Diagram Alir 36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 37
4.1 Hasil Pengujian Komposisi 37
4.2 Hasil Pengujian Kekerasan 37
4.3 Hasil Pengujian Keausan 41
4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro 45
4.4.1 Pengamatan struktur mikro karburisasi komposisi A 47
4.4.2 Pengamatan struktur mikro karburisasi komposisi B 50
BAB V PENUTUP 54
5.1 Kesimpulan 54
5.2 Saran 54

DAFTAR PUSTAKA 55
LAMPIRAN 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fasa besi-karbon 7
Gambar 2.2 Skema proses karburisasi padat..... 10
Gambar 2.3 Skema proses karburisasi cair 11
Gambar 2.4 Skema proses karburisasi gas 13
Gambar 2.5 Pemodelan terjadinya proses difusi secara interstisi dan substitusi ...14
Gambar 2.6 Skema pengujian *Vickers* 17
Gambar 2.7 Luas permukaan jejak 17
Gambar 2.8 Indentor intan berbentuk piramid 19
Gambar 2.9 Bentuk-bentuk jejak 19
Gambar 2.10 Macam-macam mekanisme keausan.....20
Gambar 2.11 Mekanisme keausan adhesif.....20
Gambar 2.12 Mekanisme keausan abrasif 21
Gambar 2.13 Mekanisme keausan korosif.....21
Gambar 2.14 Mekanisme keausan lelah 21
Gambar 2.15 Struktur austenit 22
Gambar 2.16 Struktur ferit dan perlit.....23
Gambar 2.17 Struktur bainit.....23
Gambar 2.18 Struktur martensit.....23
Gambar 2.19 Struktur sementit 24
Gambar 3.1. *Furnace* 25
Gambar 3.2 *Optical emission spectroscopy*.....26
Gambar 3.3 Alat uji kekerasan *Vickers*.....26
Gambar 3.4 Alat uji keausan.....26
Gambar 3.5 Mikroskop 27
Gambar 3.6 Gerinda.....27
Gambar 3.7 Ember 27
Gambar 3.8 Wadah karburisasi 28
Gambar 3.9 Penjepit wadah 28
Gambar 3.10 Penjepit spesimen.....28
Gambar 3.11 Gergaji besi 29
Gambar 3.12 Alat pelindung diri 29
Gambar 3.13 Timbangan digital 29
Gambar 3.14 Gelas ukur 30
Gambar 3.15 Baja AISI 1005.....30
Gambar 3.16 Natrium klorida 30
Gambar 3.17 Natrium karbonat.....31
Gambar 3.18 Silikon karbida 31
Gambar 3.19 Kertas amplas 31
Gambar 3.20 Resin dan *hardener* 32
Gambar 3.21 Diagram alir penelitian.....36
Gambar 4.1 Grafik hubungan kekerasan rata-rata karburisasi cair komposisi A dan B (*quenching*) dengan waktu karburisasi pada temperatur 850℃.....41
Gambar 4.2 Grafik hubungan kekerasan rata-rata *quenching* tanpa karburisasi dan karburisasi cair komposisi A dan B (*normalizing*)

dengan waktu 2 jam pada temperatur 850℃.....43
Gambar 4.3 Grafik hubungan laju keausan karburisasi cair komposisi A dan B (*quenching*) dengan waktu karburisasi pada temperatur 850℃ 44
Gambar 4.4 Grafik hubungan laju keausan karburisasi cair komposisi A dan B (*normalizing*) dengan waktu karburisasi pada temperatur 850℃ 46
Gambar 4.5 Struktur mikro a) *raw material*, b) karburisasi 2 jam, c) karburisasi 3 jam, d) karburisasi 3,5 jam dengan pembesaran 200 X 47
Gambar 4.6 Struktur mikro a) *raw material* pembesaran 1000 X, b) karburisasi 2 jam pembesaran 500 X, c) karburisasi 3 jam pembesaran 1000 X, dan d) karburisasi 3,5 jam pembesaran 1000 X.....48
Gambar 4.7 Struktur mikro a) karburisasi 2 jam, b) karburisasi 3 jam, c) karburisasi 3,5 jam dengan pembesaran 200 X 50
Gambar 4.8 Struktur mikro a) karburisasi 2 jam pembesaran 1000 X, c) karburisasi 3 jam pembesaran 500 X, dan d) karburisasi 3,5 jam pembesaran 1000 X 50
Gambar 4.9 Struktur mikro karburisasi 2 jam dengan pembesaran 500 X 53
Gambar 4.10 Struktur mikro karburisasi 2 jam dengan pembesaran 1000 X 53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 1005.....8
Tabel 2.2 Komposisi dan variabel proses dari rendaman karburisasi cair.....12
Tabel 4.1 Komposisi kimia baja AISI 1005.....37
Tabel 4.2 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 2 jam.....37
Tabel 4.3 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 3 jam.....38
Tabel 4.4 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 3,5 jam.....38
Tabel 4.5 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 2 jam.....38
Tabel 4.6 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 3 jam.....38
Tabel 4.7 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 3,5 jam.....39
Tabel 4.8 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 2 jam.....39
Tabel 4.9 Komposisi kimia untuk waktu karburisasi 2 jam.....39
Tabel 4.10 Titik dan nilai kekerasan *raw material*, karburisasi cair komposisi A dan B (*quenching*) pada temperatur 850℃ 40
Tabel 4.11 Titik dan nilai kekerasan quenching tanpa karburisasi dan karburisasi cair komposisi A dan komposisi B (*normalizing*) dengan waktu 2 jam pada temperatur 850℃.....42
Tabel 4.12 Nilai laju keausan *raw material*, karburisasi cair komposisi A dan komposisi B (*quenching*) pada temperatur 850℃ 44
Tabel 4.13 Nilai laju keausan karburisasi cair komposisi A dan komposisi B (*normalizing*) pada temperatur 850℃.....45
Tabel 4.14 Nilai kedalaman difusi karbon pada karburisasi cair komposisi A (*quenching*).....50
Tabel 4.15 Nilai kedalaman difusi karbon pada karburisasi cair komposisi B (*quenching*).....50

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas segala limpahan rahmat dan karunia Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1005 DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR"**. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan para sahabatnya. Penulisan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.

Selama penyusunan skripsi ini penulis banyak mengalami hambatan, namun banyak pihak yang membantu demi kelancaran penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda Syamsuriadi Sarimin dan Ibunda Vera Triana serta keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dan meluangkan waktunya dalam memberikan bimbangan dan arahan selama proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T., dan Bapak Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
6. Bapak Edi Iskandar, S.T., selaku Laboran Laboratorium Metalurgi Fisik dan Bapak Rudi S.T., M.T., selaku Laboran Laboratorium Pengecoran yang telah memberikan bantuan dan arahan selama di Laboratorium.

7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama menempuh studi di dunia perkuliahan.
8. Seluruh teman-teman ZYNCROMEZH Angkatan 2017 yang telah memberikan bantuan dan dukungan atas penyelesaian skripsi ini.
9. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga skripsi ini dapat membantu untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Gowa, 10 Oktober 2023

Penulis

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan material untuk aplikasi di bidang teknik secara berkelanjutan terus dikembangkan untuk menemukan sifat-sifat yang lebih unggul. Baja merupakan material yang terus dikembangkan karena sifat fisik dan mekaniknya yang dapat diperbaiki dengan penambahan unsur paduan ataupun dengan perlakuan panas sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang teknik.

Salah satu sifat mekanik baja yang berhubungan dengan ketahanan aus adalah kekerasan. Selama ini sering dijumpai komponen-komponen yang mengalami gesekan terus-menerus dalam fungsi kerjanya, sehingga cepat mengalami keausan. Komponen-komponen itu antara lain roda gigi, piston dan poros. Komponen-komponen tersebut kerjanya bersinggungan dengan komponen lain, sehingga permukaannya akan mengalami keausan dan menyebabkan komponen tersebut mudah rusak. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan suatu proses yang berguna untuk mengeraskan permukaan komponen sehingga tahan terhadap gesekan (Waluyo, 2010).

Salah satu proses perlakuan panas yang dapat mengeraskan permukaan baja adalah dengan cara karburisasi. Pada umumnya, karburisasi terbagi menjadi 3 metode yaitu karburisasi padat, cair, dan gas. Karburisasi adalah metode perlakuan panas untuk memperkaya unsur karbon di permukaan baja dengan mekanisme difusi atom karbon ke dalam baja. Untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat yang diinginkan pada baja dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan pendinginan pada temperatur tertentu. Oleh karena itu untuk mendapatkan kekerasan yang maksimal maka dilakukan pendinginan cepat yaitu dengan media air (*quenching*).

Pada penelitian ini karburisasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode karburisasi cair, dimana karburisasi cair adalah proses pengerasan permukaan baja dengan cara mencelupkan baja yang telah ditempatkan ke dalam larutan garam cair (*salt bath*) yang terdiri dari campuran

natrium sianida (NaCN) atau kalsium sianida (KCN) yang berfungsi sebagai karbon aktif dan natrium karbonat (Na_2CO_3) yang berfungsi sebagai katalisator (sebagai media yang mempercepat difusi karbon ke dalam permukaan baja) (Waluyo, 2010).

Kasus pengerasan permukaan logam telah dilakukan selama bertahun-tahun melalui proses difusi karbon yang memanfaatkan senyawa natrium sianida yang sangat beracun dan berbahaya. Meskipun bagian logam yang diolah dalam rendaman natrium sianida menunjukkan tingkat kekerasan permukaan yang tinggi, kesulitan penanganan yang aman dan pembuangan limbah telah menimbulkan masalah yang parah (Jones dkk, 1986).

Karburisasi cair tanpa sianida dilakukan agar mendapatkan kualitas yang sama atau lebih baik daripada karburisasi cair yang menggunakan cairan sianida dan juga untuk mengembangkan rendaman garam cair tanpa sianida yang mampu menghasilkan kedalaman karbon yang seragam, bebas nitrogen pada permukaan logam. Keuntungan lain dari karburisasi cair tanpa sianida ini juga untuk memberikan proses karburisasi yang menggunakan bahan yang mudah didapat dan tidak perlu memerlukan penanganan khusus dan juga tidak menimbulkan masalah pembuangan limbah.

Oleh karena itu, penelitian ini memberikan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas pada baja karbon rendah dengan metode karburisasi cair tanpa harus menggunakan natrium sianida.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap tingkat kekerasan pada baja AISI 1005?
2. Bagaimana pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap keausan pada baja AISI 1005?
3. Bagaimana pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap struktur mikro pada baja AISI 1005?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, terdapat pula tujuan dalam penelitian ini, yakni:

1. Untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap tingkat kekerasan pada baja AISI 1005.
2. Untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap ketahanan aus pada baja AISI 1005.
3. Untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap struktur mikro pada baja AISI 1005.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui dan memahami karakteristik dan sifat mekanik material baja AISI 1005.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh karburisasi cair natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida terhadap kekerasan, ketahanan aus, dan struktur mikro pada baja AISI 1005.
3. Sebagai acuan untuk pembuatan produk-produk dari material baja karbon rendah yang lebih baik.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun hal-hal yang membatasi penelitian ini di antaranya sebagai berikut:

1. Spesimen yang digunakan adalah baja AISI 1005.
2. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah karburisasi cair pada temperatur 850℃.
3. Karburisasi cair akan dilakukan pada variasi waktu 2 jam, 3 jam, dan 3,5 jam.

4. Media karburisasi menggunakan:
   a. Komposisi A : 50% Na_2CO_3 (250 gram), 45% NaCl (225 gram), dan 5% SiC (25 gram).
   b. Komposisi B : 75% Na_2CO_3 (375 gram), 15% NaCl (75 gram), dan 10% SiC (50 gram).
5. Spesimen akan dikarburisasi dengan menggunakan *furnace*.
6. Pendinginan dilakukan secara cepat dengan media pendingin air.
7. Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*.
8. Pengujian keausan menggunakan *pin on disk tribometer*.
9. Pengamatan struktur mikro menggunakan miksroskop.
10. Pengujian akan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik dan Pengecoran Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan beberapa unsur tambahan berupa sulfur (S), fosfor (P), mangan (Mn), dan silikon (Si). Baja karbon memiliki kandungan karbon maksimum 1.7%. Sifat baja karbon tergantung pada besarnya kadar karbon, semakin tinggi kadar karbonnya maka kekuatan dan kekerasannya akan semakin tinggi. Dalam bidang material, terdapat beberapa cara untuk meningkatkan nilai kekerasan baja, diantaranya yaitu perlakuan panas dan deformasi plastis. Baja karbon yang dipanaskan hingga mencapai suhu austenit kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari struktur perlit maupun ferit. Berdasarkan standar ASTM (*American Society for Testing and Material*) paduan besi dan karbon merupakan unsur utama pembentuk baja. Baja juga dapat mengandung unsur campuran lainnya, yang disebut paduan, misalnya karbon (C), sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn) dalam jumlah terbatas.

Berdasarkan karbonnya baja terbagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

   Baja karbon yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0.3% (Smallman, 2000). Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah maka sifat baja ini sangat lunak, tetapi mempunyai tingkat keuletan yang tinggi. Struktur dari baja karbon rendah berupa ferit dan sedikit perlit. Baja ini dapat dituang, dikeraskan permukaannya (*case hardening*), mudah dilas, dan ditempa. Baja karbon rendah ini biasanya banyak digunakan untuk kontruksi jembatan, mur, baut, pelat, pipa, dan lain-lain.

2. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

   Baja karbon yang mempunyai kandungan karbon antara 0.3 sampai 0.7% (Smallman, 2000). Baja karbon ini lebih kuat dan keras dibanding baja karbon rendah, namun getas. Sifat-sifat dari baja ini adalah dapat

dikeraskan, ditempa, dilas, dikerjakan pada mesin dengan baik. Struktur dari baja karbon sedang berupa ferit dan lebih banyak perlit. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah. Perancangan konstruksi pembebanan yang lebih berat yang memerlukan kekuatan dan kekerasan tinggi, maka baja karbon sedang lebih tepat.

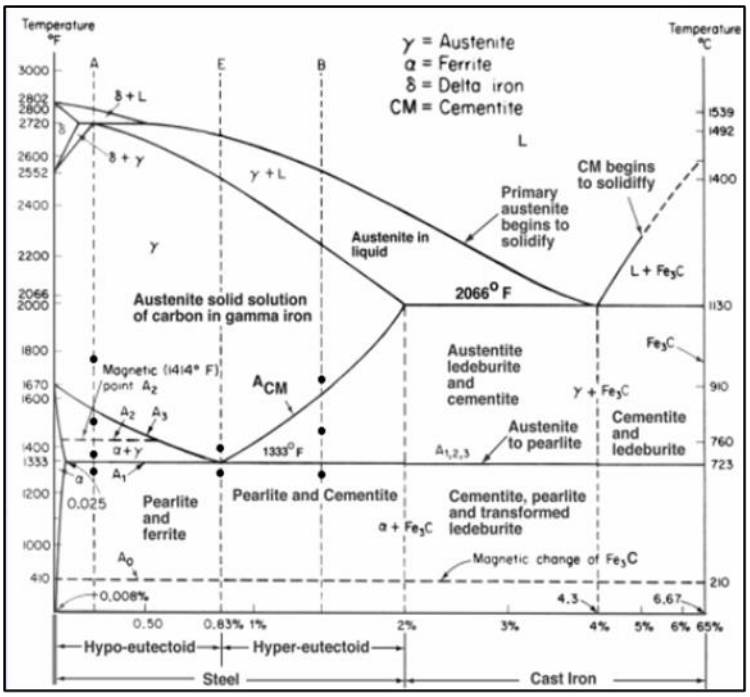
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

   Baja karbon yang mempunyai kandungan karbon antara 0.7 sampai 1.7% (Smallman, 2000). Baja karbon tinggi lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang, namun keuletan dan ketangguhannya lebih rendah. Baja karbon ini digunakan untuk konstruksi mesin yang memerlukan kekuatan lebih tinggi dan untuk perkakas dengan sifat tahan aus. Contoh dari baja karbon tinggi yaitu gunting, mata bor, kapak, alat pemotong logam, dan lain-lain.

2.1.1 Diagram fasa besi-karbon

Diagram fasa adalah diagram yang digunakan untuk perlakuan panas bagi logam dan diagram fasa besi-karbon diberlakukan untuk baja. Pada gambar 2.1 menunjukkan korelasi antara temperatur pemanasan lambat dan pendinginan lambat dengan karbon yang dibatasi sampai 6.7%. Diagram fasa Fe-C biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja.

Besi karbon terbagi atas dua bagian yaitu baja (*steel*) dan *cast iron*. Baja adalah paduan besi dengan karbon maksimal sampai sekitar 2%, sedangkan *cast iron* adalah paduan besi dengan karbon di atas 2%. Dalam diagram fasa besi-karbon, baja dibagi menjadi dua bagian, yaitu baja *hypo-eutectoid* atau baja yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0.8% dan baja *hyper-eutectoid* atau baja yang mempunyai kandungan karbon di atas 0.8% (Bani, 2013).



Gambar 2.1 Diagram fasa besi-karbon (Kumari dkk, 2015)

Pemanasan pada suhu 723℃ dengan komposisi 0.8% C disebut dengan titik *eutectoid*. Apabila dilakukan pemanasan sebelum mencapai titik *eutectoid*, pada titik *hypo-eutectoid* terbentuk fasa ferit dan perlit. Sedangkan di bawah *hyper-eutectoid* mempunyai fasa perlit dan sementit. (Bani, 2013). Pada gambar di atas dapat dilihat batas-batas temperatur kritis pada diagram fasa besi-karbon adalah sebagai berikut.

1. A_1 adalah reaksi *eutectoid* yaitu perubahan fasa γ menjadi α+Fe_3C untuk baja *hypo-eutectoid*.
2. A_2 adalah titik *currie*, dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3. A_3 adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi α (ferit) yang ditandai juga dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring turunnya temperatur.
4. A_{CM} adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe_3C (sementit) yang ditandai juga dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

2.1.2 Baja AISI 1005

Baja AISI 1005 merupakan baja karbon rendah dengan komposisi karbon berkisar ≤0.06%. Baja AISI 1005 adalah salah satu jenis baja yang paling umum digunakan di dunia dan sering digunakan dalam industri otomotif untuk produksi suku cadang seperti *fender*, *braket*, dan komponen lainnya. Baja AISI 1005 dengan kadar paduannya memungkinkan baja ini untuk dikeraskan dengan perlakuan panas yang bisa mengalami perubahan sifat mekaniknya. Baja AISI 1005 mengandung sejumlah elemen kimia, termasuk karbon, mangan, fosfor, belerang, dan besi. Komposisi kimia baja karbon AISI 1005 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 1005

Element	Chemical Symbol	Range
Carbon	C	0.06% (max)
Manganese	Mn	0.35% (max)
Phosphorus	P	0.04% (max)
Sulfur	S	0.05% (max)
Iron	Fe	Balance

Sumber: Material Welding (2023)

2.2 Karburisasi

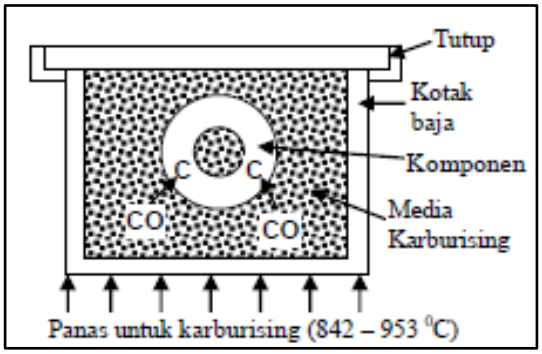
Proses karburisasi dikenal dengan proses pengerasan permukaan. Pada suatu komponen mesin dari baja adakalanya diperlukan keras dan tahan aus pada permukaannya saja, sedangkan pada inti atau bagian dalam tetap dalam keadaan lunak dan ulet. Hal ini akan memberikan kombinasi yang serasi antara bagian luar atau permukaan benda kerja yang keras dan tahan menerima beban, serta tahan aus dengan inti yang lunak dan ulet. Karburisasi atau *carburizing* adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan benda yang

dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja dalam lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, sehingga karbon berdifusi masuk ke permukaan baja (Suherman, 1998). Proses karburisasi dilakukan dengan memanaskan baja di sekitar temperatur $816℃ - 983℃$ tergantung kadar karbon dari material tersebut, dapat dilihat pada diagram fasa baja karbon di dalam lingkungan yang kaya akan kadar karbon. Bahan sebagai sumber karbon diantaranya arang, *coal*, sianida, sodium karbonat, atau barium karbonat, dan lain-lain.

Pada umumnya proses karburisasi diikuti dengan perlakuan pendinginan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasnnya sehingga permukaan logam menjadi lebih tahan aus. Selama proses karburisasi, karbon terurai menjadi karbon aktif yang dapat berdifusi masuk ke dalam material dan menaikkan kadar karbon pada permukaan material. Berdasarkan bentuk fisik media karburisasi dikenal dengan tiga cara yaitu:

1. Karburisasi padat (*pack carburizing*)

   Karburisasi padat adalah proses karburisasi pada permukaan benda kerja dengan menggunakan karbon yang didapat dari bubuk arang. Bahan karburisasi ini biasanya adalah arang tempurung kelapa, arang kokas, arang kayu, arang tulang, dan lain-lain. Benda kerja dimasukkan ke dalam kotak yang berisi bubuk karbon dan ditutup rapat kemudian dipanaskan pada temperatur austenit, yaitu antara $825℃ - 925℃$ selama waktu tertentu. Bahan karburisasi terdiri dari bubuk karbon aktif 60% ditambah $BaCO_3$ (*Barium Carbonat*) atau $NaCO_3$ (*Natrium Carbonat*) sebanyak 40% sebagai energizer atau *activator* yang mempercepat proses karburisasi. Namun biasanya $BaCO_3$ yang dipakai karena lebih mudah terurai dari pada $NaCO_3$. Akan tetapi ada pendapat lain yang menyatakan bahwa tanpa energizer atau *activator* pun juga dapat terjadi karburisasi karena temperatur yang tinggi, maka karbon teroksidasi oleh oksigen dari udara yang terperangkap dalam kotak menjadi CO_2 (Suherman, 1998).



Gambar 2.2 Skema proses karburisasi padat (Budinski, 1999)

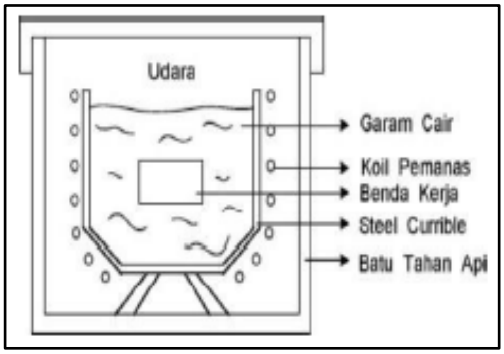
Kotak karburisasi yang dipanaskan harus dalam keadaan tertutup rapat, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya reaksi antara media kaburisasi dengan udara luar. Salah satu cara untuk menghindari masalah tersebut adalah dengan memberikan lapisan tanah liat antara tutup dengan kotak karburisasi. Menurut (Amstead, 1979) bahwa proses karburisasi padat banyak diterapkan untuk memperoleh lapisan yang tebal antara 0.75 – 4 mm.

2. Karburisasi cair (*liquid carburizing*)

Karburisasi cair adalah proses pengerasan permukaan baja dengan cara mencelupkan baja yang telah ditempatkan ke dalam larutan garam cair (*salt bath*) yang terdiri dari campuran natrium sianida (NaCN) atau kalsium sianida (KCN) yang berfungsi sebagai karbon aktif dan natrium karbonat (Na_2CO_3) yang berfungsi sebagai katalisator (sebagai media yang mempercepat difusi karbon ke dalam permukaan baja). Garam tersebut sangat beracun dan berbahaya, selain mengandung karbon, garam ini juga mengandung nitrogen. Oleh karena itu proses ini menyerupai *cyaniding*, namun karbon yang dihasilkan lebih tinggi dan nitrogen yang dihasilkan memiliki kadar lebih rendah (Waluyo, 2010).

Pada karburisasi cair, baja dimasukan bersama larutan garam cair dan dipanaskan hingga temperatur austenit sehingga karbon dan sedikit nitrogen dapat berdifusi ke dalam permukaan baja (Irwan, 2020). Larutan garam cair untuk karburisasi cair biasanya mengandung 40-50% garam sianida. Selama pemakaian kandungan sianida akan berkurang, karena itu komposisi garam cair harus sering-sering diperiksa. Pada garam cair proses difusi

berlangsung dengan sangat cepat dan permukaan benda kerja tetap bersih sehingga dapat langsung didinginkan, namun setelah selesai proses, benda kerja harus dibersihkan dari sisa-sisa garam untuk menghindari terjadinya korosi. NaCN lebih banyak digunakan karena relatif lebih murah dan lebih banyak mengandung karbon.



Gambar 2.3 Skema proses karburisasi cair (Nurhilal, 2017)

Karburisasi cair telah dikenal selama bertahun-tahun, metode konvensional melibatkan penggunaan sejumlah besar garam sianida dalam penangas klorida cair. Meskipun bagian logam yang diolah dalam rendaman sianida menunjukkan tingkat kekerasan permukaan yang tinggi, kesulitan penanganan yang aman dan pembuangan limbah telah menimbulkan masalah yang parah (Jones dkk, 1986).

Perendaman karburasi cair terdiri dari berbagai klorida, karbonat, dan sianida dalam berbagai proporsi. Tergantung pada suhu karburasi, rendaman ini dapat dibagi menjadi dua kelompok, rendaman suhu tinggi dan suhu rendah. Komposisi bahan kimia rendaman karburasi cair adalah kompleks. Beberapa reaksi terjadi secara bersamaan, tergantung pada komposisi rendaman. Baru-baru ini, beberapa rendaman karburasi cair tanpa sianida juga telah dikembangkan. Tabel 2.2 memberikan komposisi rendaman karburisasi cair ini.

Tabel 2.2 Komposisi dan variabel proses dari rendaman karburasi cair (Agrawal, 1988)

Sl. No.	Constituents or Process Variables	Composition of bath, %	
		Low temperature bath	High temperature bath
1.	*Constituents*		
	(i) Sodium cyanide	10-23	6-16
	(ii) Barium chloride	0-40	30-55
	(iii) Calcium chloride	0-10	0-10
	(iv) Potassium chloride	0-25	0-20
	(v) Sodium chloride	20-40	0-20
	(vi) Sodium carbonate	30 max.	30 max.
	(vii) Accelerators (e.g. MnO_2, SiC, NaF etc.)	0-5	0-2
2.	*Process Variables*		
	(i) Operating temperature, °C	840-900	900-1030
	(ii) Case depth, mm	0.075-0.75	0.50-3.0
	(iii) Time of carburizing	30 min. to 15 h.	

Banyak upaya telah dilakukan untuk mengembangkan proses karburisasi tanpa sianida. Sebagai contoh, Freudenberg, Paten AS 1.796.248, menjelaskan suatu proses menggunakan penangas garam klorida leburan yang diaduk secara mekanis dengan soda dan karbon yang dipecah halus untuk memasukkan karbon ke dalam bagian logam besi yang direndam di dalamnya. Perendaman karburisasi tanpa sianida lainnya menggunakan karbida logam dalam garam cair dijelaskan pada Albrect, Paten A.S. 1.992.931; Solakian, Paten AS 2.249.581; Steigerwald, Paten AS 2.254.328 dan Paten Inggris No. 1.223.952 di antara karbida logam yang dijelaskan, silikon karbida lebih disukai untuk karburisasi yang baik. (Jones dkk, 1986). Suatu komposisi yang baik untuk melakukan karburisasi dapat terdiri dari 45% natrium klorida, 50% natrium karbonat, dan 5% silikon karbida. Ukuran butir silikon karbida yang lebih halus lebih baik dan dapat divariasikan untuk menghasilkan efek yang diinginkan dengan menambah atau mengurangi berbagai ukuran persentase relatif (Solakian dkk, 1938).

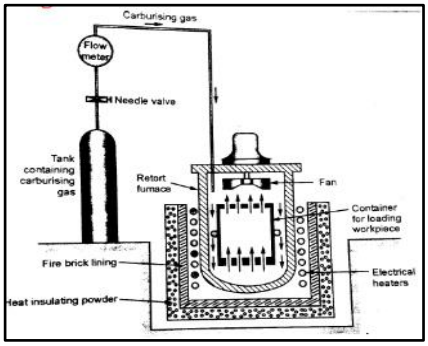
Beberapa studi dan penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon rendah dan menengah. Peneliti (Savrai dkk,2020) menggunakan campuran garam cair yang mengandung 80% Na_2CO_3 + 10% NaCl + 10% SiC pada suhu 780°C selama 15 jam. Pengaruh karburisasi cair meningkatkan kekerasan mikro permukaan baja dari 200 HV menjadi 800 $HV_{0.025}$ dan parameter kekasaran Ra menjadi 1.35 m.

Karbonat dalam proses rendaman cair terjadi dalam larutan garam cair yang mengandung (75–95)% natrium karbonat, dan (10–15)% natrium klorida dan (10-15)% silikon karbida. Pada penangas garam ini, efek karbonisasi disebabkan timbulnya karbon dioksida. Dalam proses ini, komponen baja direndam dalam rendaman garam cair kaya karbon yang dicairkan. Garam cair mengandung campuran natrium karbonat, natrium klorida dan silikon karbida yang menjenuhkan logam dengan karbon (Hasan dkk, 2019).

3. Karburisasi gas (*gas carburizing*)

Karburisasi gas adalah proses pengerasan permukaan benda dengan menggunakan bahan karbon berbentuk gas. Proses pengerasan ini dilakukan dengan cara memanaskan baja dalam tungku dengan tekanan (atmosfer) yang banyak mengandung gas CO dan gas hidrokarbon yang mudah berdifusi pada temperatur karburisasi $900℃ - 950℃$. Gas-gas pada temperatur karburisasi itu akan bereaksi menghasilkan karbon aktif yang nantinya berdifusi ke dalam permukaan baja.

Pada proses ini lapisan *hypereuctectoid* yang menghalangi pemasukan karbon dapat dihilangkan dengan memberikan *diffusion period*, yaitu dengan menghentikan pengaliran gas tetapi tetap mempertahankan temperatur pemanasan. Dengan demikian, karbon akan berdifusi lebih ke dalam dan kadar karbon pada permukaan akan semakin naik (Nurhilal, 2017). Menurut Amstead (1979) karburisasi gas dilakukan untuk memperoleh lapisan tipis antara 0.1 – 0.75 mm.

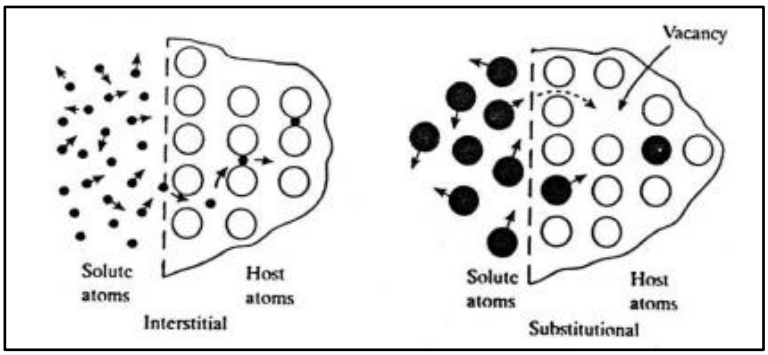


Gambar 2.4 Skema proses karburisasi gas (Dhore, 2022)

2.2.1 Difusi

Peningkatan kadar karbon di permukaan baja pada proses karburisasi terjadi dengan adanya proses difusi atom karbon pada temperatur karburisasi. Difusi adalah gerak spontan atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam (Budinski, 1999). Selama proses karburisasi, terjadi tiga proses penting yaitu pelepasan karbon dari media karburisasi, penguraian karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan karbon aktif serta difusi atom ke dalam permukaan baja.

Mekanisme yang mungkin terjadi pada proses difusi adalah mekanisme substitusi (*vacancy*) dan interstisi. Pada mekanisme substitusi, kekosongan di dalam kristal logam mengakibatkan terjadinya pergerakan atom-atom untuk mengisi tempat yang kosong tersebut. Sedangkan mekanisme interstisi dimungkinkan jika atom-atom yang masuk memiliki diameter yang jauh lebih kecil dibandingkan ukuran matrik logam yang dimasuki seperti karbon dan nitrogen (Rina, 2012).



Gambar 2.5 Pemodelan terjadinya proses difusi secara interstisi dan substitusi (Budinski, 1999)

Aliran dari difusi atom karbon di dalam baja pada saat proses karburisasi dapat ditentukan dengan persamaan dengan menggunakan Hukum Fick's I untuk kondisi *steady state* sebagai berikut:

$$J = -D\frac{dC}{dx} \quad (1)$$

dimana,

J = Laju difusi (kg/m^{2}s)

D = koefisien difusi, $D = D_o \exp\left(-\frac{Qd}{RT}\right)$

$\frac{dc}{dx}$ = gradien kosentrasi

D_O = temperatur *independent preexponential* (m^2/s)

Q_d = energi aktivasi untuk berdifusi (J/mol, cal/mol)

R = konstanta gas = 8.31 (J/mol K)

T = temperatur absolut (K)

Untuk menentukan waktu yang digunakan karbon berdifusi pada temperatur tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Fick's II (*non-steady state*) sebagai berikut:

$$\frac{C_x - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2)$$

dimana,

C_o = konsentrasi karbon awal pada baja

C_x = konsentrasi karbon pada kedalaman tertentu

C_s = konsentrasi karbon di permukaan

x = jarak dari permukaan (mm)

D = koefisien difusi (m^2/s)

t = waktu difusi (s)

erf = *error function*

2.2.2 *Quenching*

Setelah proses karburisasi maka dilakukan proses pencelupan untuk menghasilkan fasa martensit. *Quenching* adalah proses pendinginan setelah mengalami perlakuan panas baja yang langsung didinginkan secara cepat dengan cara dicelupkan ke dalam media pendingin air atau oli. Pada *quenching*, proses yang paling cepat akan menghasilkan kekerasan tertinggi. Struktur, kekerasan, dan kekuatan yang dihasilkan oleh perlakuan panas ditentukan oleh laju pendinginan aktual yang dicapai selama proses *quench* (Rina, 2012).

Quenching merupakan proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat. Melalui proses *quenching*, dapat mencegah adanya proses yang dapat terjadi pada pendinginan lambat seperti

pertumbuhan ukuran butir matriks yang akan berdampak negatif terhadap kekerasan suatu material besi atau baja. Secara umum, *quenching* akan menyebabkan menurunnya ukuran butir dan dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu paduan logam. Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli, sedangkan pendinginan dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil (Bramfitt dan Anil, 1991). Pendinginan yang cepat menyebabkan pembentukan martensit, struktur kristal baja yang kuat dan keras. Tinggi rendah suhu mulai terbentuknya martensit bergantung pada komposisi unsur paduan, jika paduan yang strukturnya mengandung 80% martensit pada keseluruhan penampang, maka memiliki sifat mampu keras yang tinggi.

Pada saat proses perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenit menjadi bainit dan martensit agar menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dilakukan pada baja yang di *quench* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama ataupun lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut (Siahaan, 2019).

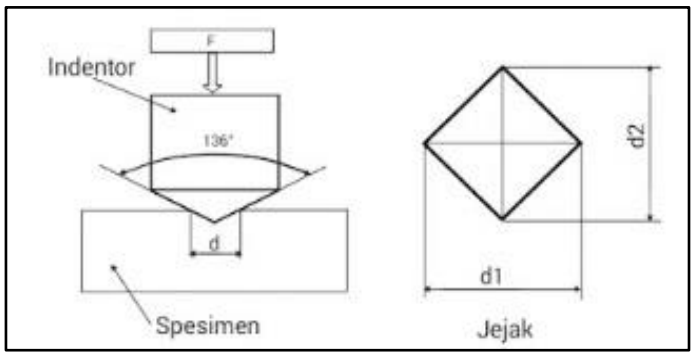
2.3 Pengujian Mekanik

2.3.1 Pengujian kekerasan *Vickers*

Kekerasan adalah ketahanan suatu benda terhadap penetrasi dari benda lain yang lebih keras (penetrator). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur paduannya (Waluyo, 2010). Kekerasan suatu bahan dapat diketahui dengan pengujian kekerasan dengan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*). Ada tiga cara metode yang telah banyak dilakukan yaitu metode *Brinnel, Rockwell, dan Vickers.*

Pengujian dengan metode *Vickers* merupakan pengujian kekerasan yang dilakukan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan

indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136°. Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.

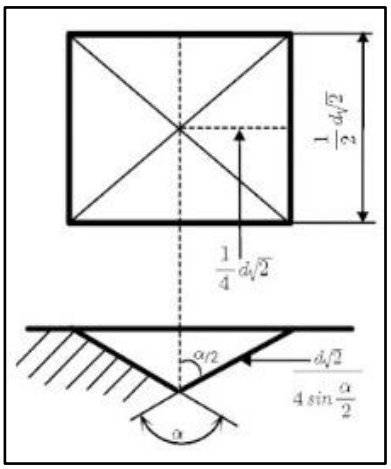


Gambar 2.6 Skema pengujian *Vickers* (Dicky, 2019)

Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak tersebut harus diukur terlebih dahulu dengan menggunakan mikroskop. Nilai kekerasan *Vickers* bisa didapatkan dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan bekas tekanan pada benda yang diuji.

$$\mathrm{HV} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{A}} \tag{3}$$

Jika d merupakan diagonal rata-rata dari jejak, maka luas permukaan jejak dapat ditentukan sebagai berikut.



Gambar 2.7 Luas permukaan jejak (Abdul dkk, 2018)

$$\mathrm{A} = 4 \times \frac{1}{2}\mathrm{d}\sqrt{2} \times \frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{d}\sqrt{2}}{4\sin\frac{\alpha}{2}}\right) \tag{4}$$

atau

$$A = \frac{\frac{P}{d^2}}{2 \sin \frac{136°}{2}} \quad (5)$$

Jadi angka/nilai kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan rumus berikut.

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136°}{2}}} \quad (6)$$

$$HV = 1854 \left(\frac{P}{d^2}\right) \quad (7)$$

dimana,

HV = kekerasan *Vickers*

P = beban yang digunakan (kg)

A = luas permukaan jejak (mm^2)

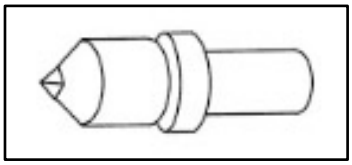
d = panjang diagonal rata-rata (mm)

Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan *Vickers* berkisar antara 1 kgf sampai 120 kgf, dan beban uji yang umum digunakan adalah 5, 10, 30 dan 50 kgf. Sedangkan waktu penerapan beban uji (*dwell time*) standar biasanya dilakukan selama 10-15 detik.

Dalam pengujian kekerasan *Vickers* harus memperhatikan jarak minimal dari titik pusat jejak ke sisi samping benda uji, di mana menurut standar ASTM adalah sebesar 2.5 diagonal jejak. Jarak minimal antara jejak-jeak yang berdekatan juga 2.5 kali diagonal jejak. Sedangkan menurut standar ISO, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir benda uji adalah 2.5d untuk baja dan paduan tembaga dan 3d untuk logam ringan, sementara jarak minimal antara jeak adalah 3d untuk baja dan paduan tembaga, dan 6d untuk logam - logam ringan.

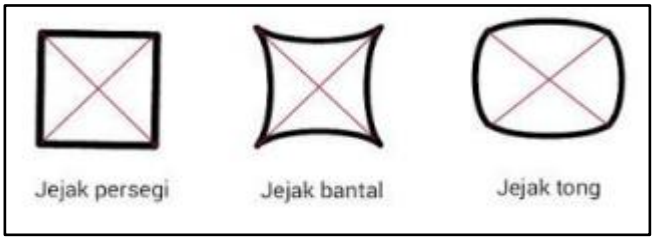
Berbeda dengan pengujian kekerasan *Brinell* dan pengujian kekerasan *Rockwell* yang menggunakan lebih dari satu jenis atau ukuran indentor, pengujian kekerasan *Vickers* hanya menggunakan satu jenis indentor, yaitu indentor intan berbentuk piramid yang dapat digunakan

untuk menguji hampir semua jenis logam mulai dari yang lunak hingga yang keras.



Gambar 2.8 Indentor intan berbentuk piramid (Abdul dkk, 2018)

Pada umumnya ada 3 jenis bentuk jejak (lekukan) yang dihasilkan oleh penekanan indentor, yaitu bentuk persegi sempurna, bentuk bantal dan jejak berbentuk tong.

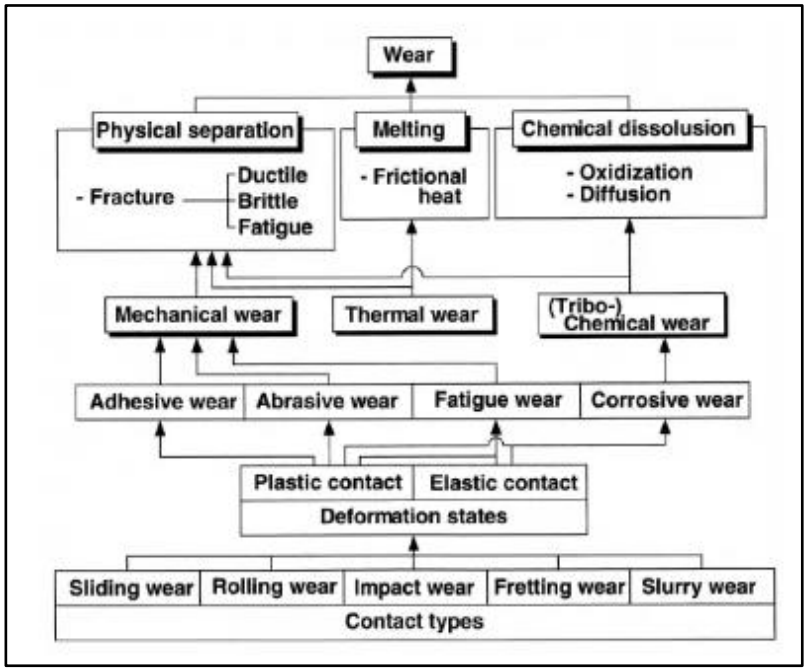


Gambar 2.9 Bentuk-bentuk jejak (Dicky, 2019)

Jejak dengan bentuk persegi dihasilkan oleh indentor intan piramid yang sempurna. Jejak yang berbentuk bantal biasanya terjadi karena pengerutan logam di sekitar permukaan. Jejak bentuk tong biasanya dihasilkan pada logam-logam yang dikerjakan dingin (*cold working*) sehingga menghasilkan bentuk seperti bubungan.

2.3.2 Keausan

Keausan (*wear*) adalah hilangnya material dari permukaan benda padat pada saat terjadi gesekan, perputaran atau efek dari gerakan relatif antara satu sama lain. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang bergesekan dengan material lain. Keausan bukan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap aksi mekanik (gesekan) sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan keandalan (*reliability*) dari material yang aus akan berkurang karena perubahan dimensi dari material tersebut (Bhushan, 2001).

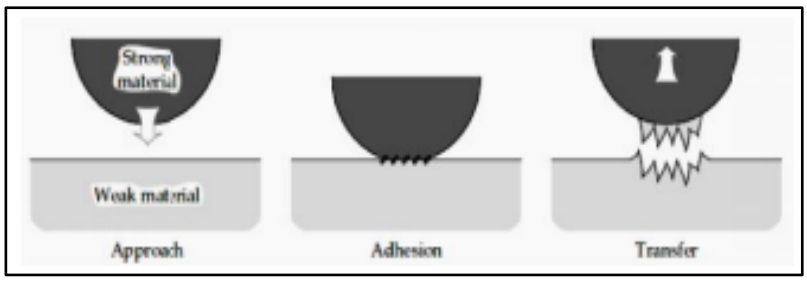


Gambar 2.10 Macam-macam mekanisme keausan (Kato, 2001)

Secara umum dikenal 4 jenis keausan (Stachowiak dan Batchelor, 2006) yaitu:

1. Keausan adhesif (*adhesive wear*)

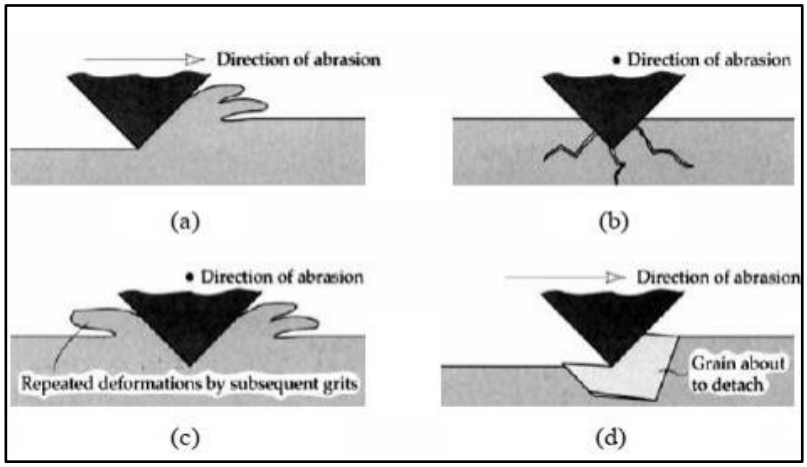
   Keausan adhesif merupakan keausan yang dapat disebabkan karena permukaan dari suatu material yang lebih lunak menempel atau melekat pada permukaan material yang lebih keras.



Gambar 2.11 Mekanisme keausan adhesif (Kato, 2001)

2. Keausan abrasif (*abrasive wear*)

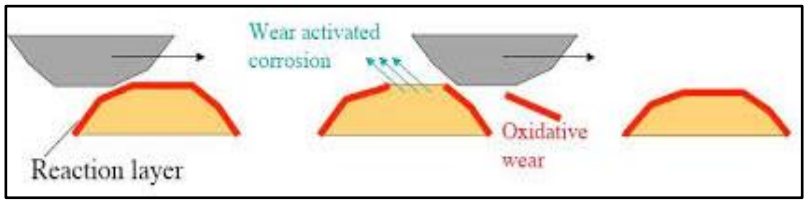
   Keausan abrasif dapat terjadi karena apabila permukaan dari suatu material yang keras dan kasar bergesekan dengan permukaan yang lebih lunak dan menghasilkan goresan pada permukaan lunak (Kato, 2001).



Gambar 2.12 Mekanisme keausan abrasif (Kato, 2001)

3. Keausan korosif (*corrosive wear*)

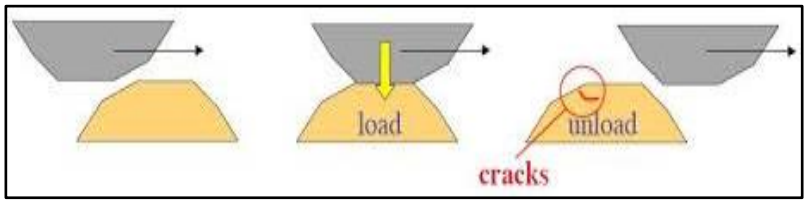
   Keausan korosif terjadi setiap kali gas atau cairan kimia mengenai permukaan yang dibiarkan terbuka oleh proses pergeseran. Biasanya permukaan produk korosi cenderung tinggal di permukaan, sehingga memperlambat laju korosi. Tapi jika pergeseran terus menerus terjadi maka aksi geser menghilangkan endapan permukaan yang seharusnya melindungi terhadap korosi lebih lanjut, keausan akan terjadi lebih cepat (Stachowiak dan Batchelor, 2006).



Gambar 2.13 Mekanisme keausan korosif (Kato, 2001)

4. Keausan lelah (*fatigue wear*)

   Keausan ini terjadi akibat kondisi permukaan yang mengalami beban berulang-ulang sehingga terjadi pembentukan retak-retak mikro dan biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar.



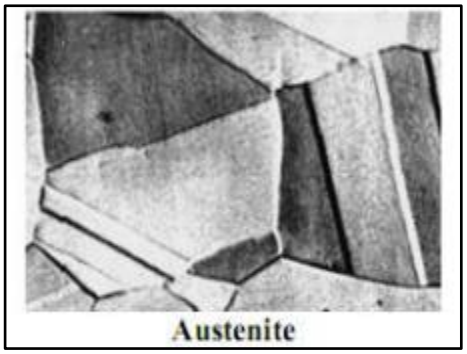
Gambar 2.14 Mekanisme keausan lelah (Kato, 2001)

2.4 Struktur Mikro

Lely Susita dkk (1996) menyatakan bahwa struktur mikro adalah struktur yang hanya bisa diamati melalui mikroskop. Informasi yang bisa diperoleh dari struktur mikro antara lain identifikasi fasa-fasa yang ada, persentase fasa, distribusi fasa, inklusi, presipitat maupun ukuran butir. Dalam mengetahui struktur mikro suatu material perlu dilakukan pengujian struktur mikro. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur sebelum perlakuan panas dan sesudah perlakuan panas suatu material. Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon:

1. Austenit

   Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit, perlit, dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa.



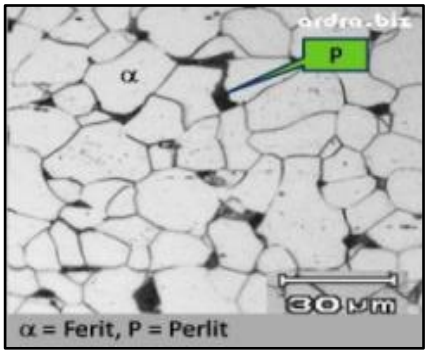
Gambar 2.15 Struktur austenit

2. Ferit

   Fasa ini disebut alpha, ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah. Ferit bersifat magnetis dan lunak sampai suhu 768℃. Ferit berwarna putih.

3. Perlit

   Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan karbon 0.025% dan sementit dalam bentuk lapisan dengan kadar karbon 6.67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Sifat perlit adalah lebih keras dan lebih kuat daripada ferit tetapi tidak magnetis. Perlit berwarna hitam.



Gambar 2.16 Struktur ferit dan perlit

4. Bainit

   Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu $250℃ - 550℃$ dan ditahan pada suhu tersebut (isotermal). Sifat dari bainit adalah lunak.

Gambar 2.17 Struktur bainit

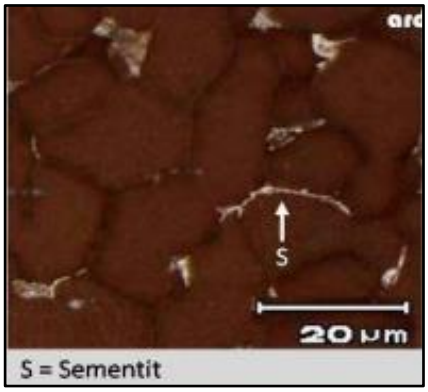
5. Martensit

   Martensit merupakan fasa dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam bentuk lapisan, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Sifat dari martensit adalah getas dan keras. Martensit berbentuk seperti jarum.

Gambar 2.18 Struktur martensit

6. Sementit

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Sifat sementit adalah keras, getas, dan magnetis.



Gambar 2.19 Struktur sementit