

SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP
LAJU KOROSI BAJA AISI 1045

Disusun dan diajukan oleh:

ALFRYAN WIRA WICAKSANA BUSTAN
D021 17 1522



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP LAJU
KOROSI BAJA AISI 1045

Disusun dan diajukan oleh

Alfryan Wira Wicaksana Bustan

D021 17 1522

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Hasanuddin pada Tanggal 25 Juli 2024

Pembimbing Utama,



Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.
NIP. 19770707 200501 1 001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng M.T
Nip. 19570914 1987 03 1001

Ketua Program Studi,



Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Alfryan Wira Wicaksana Bustann
NIM : D021171522
Departemen : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045”

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

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

Gowa, Juli 2024

Yang membuat Pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow 10000 Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SPESIAL BRU BUSTAN', '10000', 'METERAI TEMPEL', and the serial number 'C3494ALX326588470'.

Alfryan Wira Wicaksana Bustan

ABSTRAK

ALFRYAN WIRA WICAKSANA BUSTAN. *Analisis pengaruh karburisasi cair terhadap laju korosi Baja AISI 1045* (dibimbing oleh Muhammad Syahid dan Ilyas Renreng)

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, laju korosi, dan struktur mikro pada Baja AISI 1045. Proses karburisasi cair ini menggunakan variasi media pendingin air, oli, dan udara dengan temperatur 900°C selama 3 jam. Media karburisasi menggunakan 45% natrium klorida NaCl (225 gram), 45% Na₂CO₃ (225 gram) dan 10% SiC (50 gram). Dan temper pada suhu 900°C selama 3 jam, kemudian didinginkan dengan media air, lalu dimasukkan kembali pada suhu 450°C selama 2 jam. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan Vickers, laju korosi, dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses karburisasi cair dapat meningkatkan nilai kekerasan dan dapat mengurangi laju korosi Baja AISI 1045. Nilai kekerasan material sebelum dikarburisasi cair adalah 242,9 HV. Peningkatan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada karburisasi cair menggunakan media pendingin air dengan nilai kekerasan adalah 846,3 HV. Nilai laju korosi material sebelum proses karburisasi cair dan temper adalah 6,478 mmpy. Nilai laju korosi terendah yang didapatkan dari hasil pengujian laju korosi menggunakan media pendingin air adalah 0,349 mmpy. Hasil yang didapatkan dapat diketahui bahwa semakin cepat pendinginan menyebabkan peningkatan nilai kekerasan dan menurunkan nilai laju korosi. Hasil pengamatan struktur mikro sebelum dikarburisasi menunjukkan fasa ferit dan perlit sedangkan setelah dikarburisasi menunjukkan fasa ferit, perlit, dan martensit, dimana jumlah perlit dan martensit terlihat lebih banyak dibandingkan ferit yang

ebabkan tingkat kekerasan semakin tinggi.

Kunci: Baja AISI 1045, Karburisasi Cair, Kekerasan, Laju Korosi , Struktur)



ABSTRACT

ALFRYAN WIRA WICAKSANA BUSTAN. *Analysis of the effect of liquid carburization on the corrosion rate of AISI 1045 Steel* (supervised by Muhammad Syahid and Ilyas Renreng)

One of the heat treatment processes that can harden the surface of steel is carburization. Liquid carburization is a process of surface hardening steel by immersing it in a molten salt solution to enrich the carbon content on the steel surface. This study aims to determine the effect of liquid carburization on the increase in hardness value, corrosion rate, and microstructure of AISI 1045 Steel. The liquid carburization process used variations of cooling media such as water, oil, and air at a temperature of 900°C for 3 hours. The carburization media consisted of 45% sodium chloride NaCl (225 grams), 45% Na₂CO₃ (225 grams), and 10% SiC (50 grams). After carburization at 900°C for 3 hours, the steel was cooled using water and then re-entered at 450°C for 2 hours. Testing conducted included Vickers hardness test, corrosion rate measurement, and microstructure observation. The research results indicate that the liquid carburization process can increase the hardness value and reduce the corrosion rate of AISI 1045 Steel. The hardness value of the material before liquid carburization was 242.9 HV. The highest increase in hardness value was found in the liquid carburization using water as the cooling medium, with a hardness value of 846.3 HV. The corrosion rate of the material before the liquid carburization process and tempering was 6.478 mmpy. The lowest corrosion rate obtained from testing using water as the cooling medium was 0.349 mmpy. The results show that faster cooling leads to increased hardness value and decreased corrosion rate. Microstructure observations before carburization showed ferrite and pearlite phases, while after carburization, ferrite, pearlite, and martensite phases were observed, with more pearlite and martensite than ferrite, resulting in higher hardness levels.



Keywords: AISI 1045 Steel, Liquid Carburization, Hardness, Corrosion Rate, Microstructure

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Baja	5
2.1.1. Diagram Fasa Besi-Karbon.....	6
2.1.2. Baja AISI 1045	7
2.2. Temper	8
2.2.1. Self Tempering	9
2.3. Karburisasi	9
2.3.1. Difusi	15
2.3.2. Quenching	17
2.4. Korosi	17
2.4.1. Laju Korosi.....	18
2.4.2. Metode Kehilangan Berat	19
. Pengujian Mekanik	20
.1. Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	20
. Struktur Mikro.....	23
III METODOLOGI PENELITIAN.....	26



3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2.	Alat dan Bahan	26
3.3.	Langkah-Langkah Penelitian.....	31
3.3.1.	Karburisasi Cair	31
3.3.2.	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	32
3.3.3.	Uji Korosi	33
3.3.4.	Metode Pengambilan Data.....	33
3.4.	Diagram Alir.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1.	Hasil Pengujian Komposisi	35
4.1.1.	Pengujian Komposisi RAW Material.....	35
4.1.2.	Pengujian komposisi karburisasi cair dengan media pendingin air	35
4.2.	Hasil Pengujian Kekerasan.....	36
4.2.1.	Perbandingan Kekerasan Karburisasi Cair, Temper, dan RAW Material	36
4.3.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	39
4.4.	Hasil Pengujian Laju Korosi	41
BAB V PENUTUP		45
5.1.	Kesimpulan.....	45
5.2.	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN		48
	Pengujian Komposisi Baja.....	48
	Proses Karburisasi	49
	Proses Pendinginan	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Diagram Fasa Besi-Karbon.....	7
Gambar 2. 2. Skema Proses Karburisasi padat (budinski, 1999).....	11
Gambar 2. 3. Skema Proses Karburisasi Cair (Nurhilal, 2017).....	12
Gambar 2. 4. Skema Proses Karburisasi Gas (Nurhilal, 2017).....	15
Gambar 2. 5. Skema Proses Karburisasi Gas (Nurhilal, 2017).....	16
Gambar 2. 11. Skema Pengujian Vickers (Dicky, 2019)	20
Gambar 2. 12. Luas Permukaan Jejak (Dicky, 2019).....	21
Gambar 2. 13. Indentor intan berbentuk piramid (Dicky. 2019)	22
Gambar 2. 14. Bentuk-Bentuk Jejak (Dicky, 2019).....	22
Gambar 2. 15. Struktur Austenit	23
Gambar 2. 16. Struktur Ferrit dan Pearlit	24
Gambar 2. 17. Struktur Bainit.....	24
Gambar 2. 18. Struktur Martensit	25
Gambar 2. 19. Struktur Sementit.....	25
Gambar 3. 1. Furnace	26
Gambar 3. 2. Alat Uji Kekerasan Vickers	26
Gambar 3. 4. Mikroskop.....	27
Gambar 3. 5. Gerinda	27
Gambar 3. 6. <i>Timer</i>	27
Gambar 3. 7. Ember	28
Gambar 3. 8. Amplas.....	28
Gambar 3. 9. Graphite Crucible	29
Gambar 3. 10. Penjepit	29
Gambar 3. 11. Baja AISI 1045.....	29
Gambar 3. 12. Natrium Klorida	30
Gambar 3. 13. Natrium Karbonat.....	30
Gambar 3. 14. Silikon Karbida	30
Gambar 3. 15. Oli.....	31
Gambar 3. 16. Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 4. 1. Gambar grafik kekerasan rata-rata raw material, temper, dan karburisasi cair.....	38
Gambar 4. 2. Struktur mikro Raw Material.....	39
Gambar 4. 3. Gambar struktur mikro karburisasi cair.....	39
Gambar 4. 4. Struktur mikro karburisasi media pendingin oli	39
Gambar 4. 5. Struktur mikro karburisasi media pendingin udara	40
Gambar 4. 6. Struktur mikro Temper	40
Gambar 4. 7. Kurva laju korosi Raw material Baja AISI 1045	42
Gambar 4. 8. Kurva laju korosi karburisasi cair media pendingin air	42
Gambar 4. 9. Kurva laju korosi karburisasi cair media pendingin udara	43
Gambar 4. 10. Laju korosi proses temper.....	43
Gambar 4. 11. Grafik rata-rata laju korosi pada proses karburisasi cair, temper, raw material	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Diagram Fasa Besi-Karbon	7
Tabel 2. 2. Komposisi dan Variabel Proses dari Rendaman Karburasi Cair (Agrawal, 1988).....	13
Tabel 4. 1. komposisi baja AISI 1045	35
Tabel 4. 2. Komposisi Kimia untuk Karburisasi Cair Media Pendingin Air	35
Tabel 4. 3. Titik dan nilai kekerasan <i>raw material</i> , temper,.....	36
Tabel 4. 4. Hasil Pengujian Laju Korosi Temper,.....	41



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas segala limpahan karuniat Allah SWT, dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS PENGARUH KARBURISASI CAIR TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1045”. 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 ditulis banyak mengalami hambatan, namun banyak pihak yang membantu demi kelancaran penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda Bustan dan Ibunda Andi Bumbeng 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 Dr. Muhammad Syahid, 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 Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T., Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dan meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan dan arahan selama proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T., dan Bapak Rudi S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.



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. Seluruh teman-teman KKN 108 Desa Wisata Pajukukang yang telah memberikan bantuan dan dukungan atas penyelesaian skripsi ini.
10. 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, 25 Juli 2024

Penulis



Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan perkembangan zaman dan semakin meningkat pesatnya dunia perindustrian, jenis-jenis logam yang ditemukan pun semakin banyak dan aplikasinya semakin beragam. Logam banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan hidup sehari-hari, mulai dari transportasi, rumah tangga, hingga urusan pertahanan negara. Salah satu logam yang umum dan banyak digunakan ialah baja karbon. Material baja terbilang unggul jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya. Penggunaan baja pada masa sekarang ini mengalami kemajuan sangat pesat dan umumnya banyak digunakan untuk alat-alat permesinan, konstruksi, pipa minyak / gas, poros-poros mesin, dsb. Namun penggunaan baja ini menjadi kurang maksimal jika logam tersebut mengalami korosi dan aus baik dari segi kekuatan fisik/mekanik dan dari segi keindahan, karena parameter mutu baja tidak hanya diukur dari tingkat kekerasan dan kekuatan saja, namun juga tahan lama (Irwanto, 2010). Sehingga perlu dilakukan pelapisan pada permukaan baja yaitu untuk meningkatkan sifat teknis/mekanis dan melindungi logam dari korosi.

Baja adalah campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon menjadi dasar campurannya. Dengan penambahan atau pengurangan kadar karbon atau unsur paduan lainya akan diperoleh kekuatan baja sesuai yang diinginkan.(Fitri, Ginting.Ediman, dan Karo.Pulung, 2013).Secara garis besar baja dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan.

Baja paduan dibagi menjadi dua yaitu baja paduan rendah (dengan kandungan C yang sama dan jumlah unsur paduan sampai 5%) dan baja paduan tinggi (dengan kandungan C hingga 2,6% dan jumlah unsur paduan lebih dari 5%).(Schonmetz.Alois, 2013). Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi.(Hadi.Syamsul, 2016). Sifat bajayang sangat bervariasi yang diperoleh dari pepaduan dan penerapan proses



perlakuan panas. Sifat mekanik dari baja sangat bergantung pada struktur mikro. Sedangkan Struktur Mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja.(anrinal,2013).Baja karbon banyak digunakan untuk membuat alat-alat perkakas, konstruksi, dan alat-alat rumah tangga. Agar memperoleh baja yang baik, maka baja karbon perlu diberi perlakuan panas seperti pengerasan, penempaan, penormalan, yang bertujuan memperbaiki sifat-sifat baja karbon tersebut.

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 (Zakarov, 1997). 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) (Joko, 2010).

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode karburisasi cair untuk memperoleh nilai kekerasan, laju korosi dan struktur mikro dengan pengaruh karburisasi cair tanpa sianida (natrium klorida, natrium karbonat, dan silikon karbida) untuk material baja karbon sedang agar diperoleh kualitas yang lebih baik.



1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh karburisasi cair natrium klorida terhadap tingkat kekerasan pada baja AISI 1045 ?
2. Bagaimana pengaruh karburisasi cair terhadap laju korosi baja AISI 1045?
3. Bagaimana pengaruh karbubrisasi cair terhadap struktur mikro baja AISI 1045?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, terdapat pula tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair natrium klorida terhadap tingkat kekerasan pada baja AISI 1045.
2. Untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair terhadap laju korosi baja AISI 1045.
3. Untuk mengetahui pengaruh karburisasi cair terhadap struktur mikro baja AISI 1045.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini di antaranya sebagai berikut:

1. Benda uji yang digunakan adalah AISI 1045
2. Proses perlakuan panass yang digunakan adalah karburisasi pada suhu 900°C
3. Proses karburisasi ini akan dilakukan selama 3 jam.
4. Media karburisasi menggunakan 45% natrium klorida (NaCl), 45% natrium karbonat (Na_2CO_3) dan 10% silikon karbida (SiC).
5. Benda uji yang akan dikarbirisasi diberikan perlakuan panas menggunakan *furnace*.
6. Pendinginan dilakukan secara cepat dengan media pendingin air, oli, dan udara.

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*.

Uji korosi menggunakan metode *quenching* dengan air, oli, dan udara.

Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop



10. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik dan Pengecoran Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.5. 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 1045.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh karburisasi cair natrium klorida terhadap kekerasan, laju korosi, dan struktur mikro pada baja AISI 1045.
3. Sebagai acuan untuk pembuatan produk-produk dari material baja karbon sedang yang lebih baik.



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% (Bishop, 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% (Bishop, 2000). Baja karbon ini lebih kuat dan keras dibanding baja karbon rendah, namun getas. Sifat-sifat dari baja ini adalah dapat 5 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% (Bishop, 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

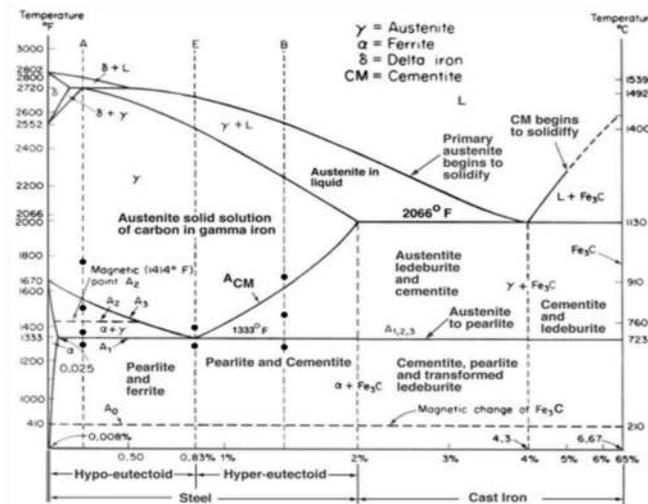
Diagram fasa adalah diagram yang digunakan untuk perlakuan panas bagi logam dan diagram fasa besi-karbon diberlakukan untuk baja. Diagram fasa mempunyai tujuan untuk menunjukkan hubungan sifat-sifat mekanis suatu material (Saputra dkk, 2016). Diagram fasa Fe-C biasa disebut diagram kesetimbangan besi 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 hypoeutectoid atau baja yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,8% dan baja hypereutectoid atau baja yang mempunyai kandungan karbon di atas 0,8% (Sahir, 2013).

Pemanasan pada suhu 723°C dengan komposisi 0,8% C disebut dengan titik eutectoid. Apabila dilakukan pemanasan sebelum mencapai titik eutectoid, pada titik hypoeutectoid terbentuk fasa ferrit dan pearlit. Sedangkan di bawah hypereutectoid mempunyai fasa pearlit dan sementit.



Pada pemanasan melewati garis eutektoid, terjadi perubahan fasa pearlit menjadi austenit. (Sahir, 2013).



Gambar 2. 1. Diagram Fasa Besi-Karbon

2.1.2. Baja AISI 1045

AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah (Glyn.et.al, 2001). Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen

Tabel 2. 1. Diagram Fasa Besi-Karbon

Kode	C %	Si %	Mn %	Mo %	P %	S %
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04 max	0,05 max

automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari pada baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (Society of Automotive Engineers). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan plain carbon kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon (Glyn.et.al, 2001). Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau plain carbon steel yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada



aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (Avner, 1974). Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan.

2.2. Temper

Proses temper adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, duktilitas dan ketangguhan yang tinggi. Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan memudakan (tempering). Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur tempering (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses tempering kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (annealing) karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk sementit.

Menurut tujuannya proses tempering dibedakan sebagai berikut:

- a. Tempering pada suhu rendah (150° s.d 300°C). Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.



- b. Tempering pada suhu menengah (300° s.d 550°C). Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas.
- c. Tempering pada suhu tinggi (550° s.d 650°C). Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

2.2.1. Self Tempering

Tempering berdasarkan metode ini, terjadi karna panas yang terdapat dibagian dalam benda kerja, pada saat mendingin belum sempat mencapai temperatur kamar. Setelah diaustenisasi pada temperatur tertentu, benda kerja didinginkan dengan cara yang lazim ke dalam tangki *quench* sampai temperatur M_s atau temperatur sedikit di bawahnya tercapai. Benda kerja kemudian dikeluarkan dari tangki *quench* kemudian didinginkan di udara. Jadi tidak ada proses temper, namun panas yang tersisa di bagian dalam benda kerja secara bertahapakan memanaskan permukaan hasil *quench* dan menemper martensit yang diperoleh pada saat *quench*.

2.3. 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 $816^{\circ}\text{C} - 983^{\circ}\text{C}$



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.

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 $816^{\circ}\text{C} - 983^{\circ}\text{C}$ 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.

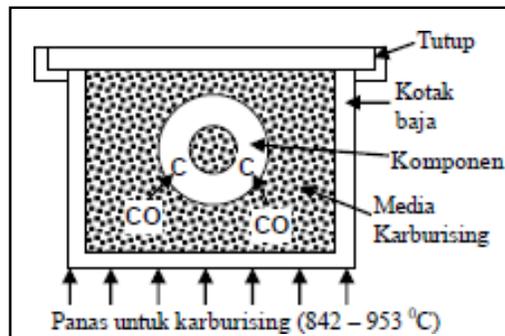
Pada umumnya proses karburisasi diikuti dengan perlakuan pendinginan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasannya sehingga permukaan logam menjadi lebih tahan aus. Selama proses karburisasi, karbon terurai menjadi karbon aktif yang dapat berdifusi masuk ke dalam material dan menaikkan kadar karbon 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°C – 925°C 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 karburisasi 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.

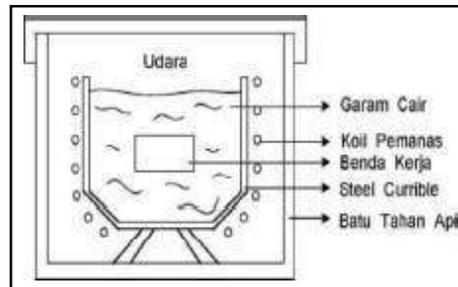
2. Karburisasi cair (*Liquid Carburizing*)

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. (Joko, 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 (Yusril, 2012). 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, 1985)

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. (Agrawal, 1988)

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

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.	<i>Constituents</i>		
	(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.	<i>Process Variables</i>		
	(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.	



lebih disukai untuk karburisasi yang baik. (Jones, dkk, 1985). 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. (Halg, dkk, 1938).

Beberapa studi dan penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon rendah dan menengah. Peneliti, (Savrai, dkk, 2007) 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 menjadi 800 HV 0,025 dan parameter kekasaran Ra menjadi 1,35 m.

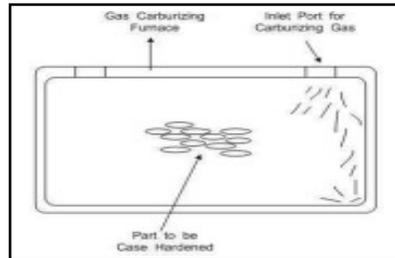
Karbonat dalam proses rendaman cair terjadi dalam larutan garam cair yang mengandung (75–95) % natrium karbonat, dan (10–15) % natrium klorida dan (10-15) % silikon karbida. Pada penangas garam ini, efek karbonisasi disebabkan timbulnya karbon dioksida. Dalam proses ini, komponen baja direndam dalam rendaman garam cair kaya karbon yang dicairkan. Garam cair mengandung campuran natrium karbonat, natrium klorida dan silikon karbida yang menjenuhkan logam dengan karbon. (Mohamed, 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°C – 950°C . 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



Gambar 2. 4. Skema Proses Karburisasi Gas (Nurhilal, 2017)

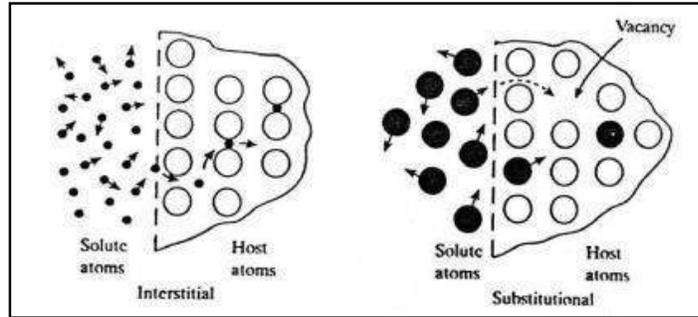
period, yaitu dengan menghentikan pengaliran gas tetapi tetap mempertahankan temperatur pemanasan. Dengan demikian, karbon akan berdifusi lebih ke dalam dan kadar karbon pada permukaan akan semakin naik (Nurhilal, 2017). Menurut (Amstead, 1979) karburisasi gas dilakukan untuk memperoleh lapisan tipis antara 0,1 – 0,75 mm.

2.3.1. Difusi

Masuknya karbon ke dalam baja melalui mekanisme difusi. Difusi dapat terjadi secara sendiri dimana atom berpindah dari satu posisi ke posisi lainnya di dalam benda padat karena adanya perbedaan konsentrasi antara dua buah medium (Vidya, 2012). Difusi adalah gerakan atom atau berpindahnya atom dalam larutan padat. Jika suhu material naik, maka atomnya akan bergetar dengan energi yang cukup besar yang memungkinkan sejumlah atom dapat berpindah dari kisi ke kisi yang lainnya. Energi yang diperlukan untuk berpindah ini disebut energi aktivasi (Ikram, 2010)

Mekanisme yang mungkin terjadi pada proses difusi adalah mekanisme vacancy dan intersisi. Pada mekanisme vacancy, kekosongan di dalam kristal logam mengakibatkan terjadinya pergerakan atom-atom untuk mengisi tempat yang kosong tersebut. Sedangkan mekanisme intersisi dimungkinkan jika atom-atom yang





Gambar 2. 5. Skema Proses Karburisasi Gas (Nurhilal, 2017)

masuk memiliki diameter yang jauh lebih kecil dibandingkan ukuran matrik logam yang dimasuki seperti karbon dan nitrogen (Vidya, 2012).

Konsentrasi massa karbon yang dapat berpindah pada difusi intersisi dapat dihitung dengan persamaan Fick's I: (Ikram, 2010)

$$J = -D \frac{C_A - C_B}{X_A - X_B} \text{ (kg/m}^2\text{s)}$$

Dimana:

D = koefisien difusi, $D = D_0 \exp\left(\frac{Q_d}{RT}\right)$

X_A = jarak posisi perpindahan karbon pada keadaan A (μm)

X_B = jarak posisi perpindahan karbon pada keadaan B (μm)

C_A = jumlah karbon yang berdifusi dari posisi A ($\text{kg}/\mu\text{m}^3$)

C_B = jumlah karbon yang berdifusi dari posisi B ($\text{kg}/\mu\text{m}^3$)

D_0 = temperatur independent preexponential (m^2/s)

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

R = konstanta gas = $8,31 \text{ (J/mol } ^\circ\text{K)}$

T = temperatur absolut ($^\circ\text{K}$)

Untuk menentukan waktu yang digunakan karbon berdifusi pada temperatur tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Fick's II sebagai berikut: (Ikram, 2010)

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{erf}\left(\frac{X}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

Dimana:

C_0 = konsentrasi karbon awal pada baja



C_x = konsentrasi karbon pada kedalaman tertentu

C_s = konsentrasi karbon di permukaan

X = kedalaman difusi yang diinginkan (m)

t = koefisien difusi (m^2/s)

erf = *error function*

2.3.2. 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* (Vidya, 2012).

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 (Liyando, 2019).

2.4. Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam karena reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan. Adapun lingkungan yang dimaksud dapat berupa larutan asam, udara, air dan uap yang masing-masing mempunyai daya hantar listrik yang berbeda-beda. Penurunan mutu logam yang dimaksud adalah berkurangnya nilai logam baik dari segi ekonomi maupun teknik. Logam yang udah menurun kualitasnya bisa menimbulkan akibat yang lebih serius pada ifat fisik bahan. Disamping itu logam yang mengalami korosi juga erpenampilan kurang menarik sehingga memerlukan biaya perawatan yang mahal. Air merupakan pelarut yang istimewa sehingga biasanya sedikit



maupun banyak mengandung zat-zat yang terlarut didalamnya. Korosi dalam air terbentuk karena penggabungan besidan oksigen didalam air. Kebanyakan dari penggunaan logam di air laut terserang korosi, Laju korosi untuk baja lunak dalam lingkungan laut terjadi di daerah hempasan gelombang, karena di daerah itu banyak terdapat oksigen. Di daerah hempasan gelombang ini laju korosi dari logam bisa lebih cepat dibandingkan dengan logam yang terendam air seluruhnya. Penyebab korosi udara adalah air yang berwujud embun atau kabut akibat kelembaban yang relatif tinggi. Kabut atau embun bisa mendatangkan bahaya korosi karena bisa membasahi seluruh permukaan logam, termasuk permukaan yang tersembunyi. Lapisan-lapisan tipis air dari embun atau kabut tidak akan mengalir dan akan tetap disitu sampai menguap oleh hembusan angin atau meningkatnya temperatur. (Kurniawan, 2006)

2.4.1. Laju Korosi

Laju korosi sangat dipengaruhi oleh jumlah oksigen terlarut, semakin banyak oksigen yang terlarut maka laju korosi akan semakin cepat. Pada umumnya dengan meningkatnya temperatur maka laju korosi akan semakin cepat, dan sebaliknya laju korosi akan turun bila temperatur menurun. Asam merupakan larutan korosif yang sangat agresif untuk baja. Beberapa jenis material logam justru akan mengakibatkan kepasifan jika berada pada lingkungan asam. Kelembaban udara diatas 60% dan akan bertambah besar jika udara mengandung SO₂. Konsentrasi elektrolit yang terlalu pekat akan menghambat laju korosi. Kecepatan aliran yang kuat akan mempercepat korosi erosi pada logam. (Kurniawan, 2006)

Pada penelitian sebelumnya pada 2019, untuk mengetahui pengaruh temperatur dan media pendingin pada proses heat treatment terhadap laju korosi baja AISI 1045. Spesimen dipanaskan menggunakan tungku pemanas dengan temperatur 750°C, 850°C, dan 950°C dengan *holding time* selama 30 menit dengan menggunakan media air mineral, dan oli. Dengan menggunakan metode merendam material padacairan H₂SO₄ selama 22 jam. Dimana hasil yang didapatkan media pendingin oli mempunyai laju korosi yang lebih tinggi daripada air mineral pada temperatur 750°C, 850°C, mapun temperatur 950°C. Dimana laju korosi tertinggi air mineral adalah



3,998 ipy terjadi pada temperatur *quenching* 950°C dan 4,086 ipy untuk air terjadi pada temperatur *quenching* 950°C. Ini dikarenakan oli bisa menghasilkan zat pengotor di permukaan logam pada saat oli tersebut terbakar ketika proses *quenching* menyebabkan terjadinya reaksi reduksi tambahan sehingga lebih banyak atom logam yang teroksidasi.

2.4.2. Metode Kehilangan Berat

Metode kehilangan berat adalah dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Mendapatkan kehilangan berat persatuan luas tergantung pada teknik pengukuran yang digunakan dan dinyatakan dalam satuan *mils per year* (mpy) dan besarnya laju korosi dinyatakan dengan persamaan dibawah ini (Fontana, 1967):

$$CR (mpy) = \frac{K \times W_{loss}}{\rho \times A \times T}$$

Dengan:

CR = Laju korosi (*mpy*)

K = konstanta laju korosi

W = selisih massa(gram)

T = waktu perendaman (jam)

A = luas permukaan (cm²)

ρ = massa jenis (gram/cm³)

Efisiensi baja karbon mengindikasikan sejauh mana laju korosi diperlambat oleh kehadiran perlakuan pack carburizing. Efisiensi laju korosi dapat ditulis dalam persamaan berikut (Fontana, 1967):

$$\eta (\%) = \frac{CR_{tanpa perlakuan} - CR_{perlakuan}}{CR_{tanpa perlakuan}} \times 100\%$$



Dengan:

η = efisiensi laju korosi (%)

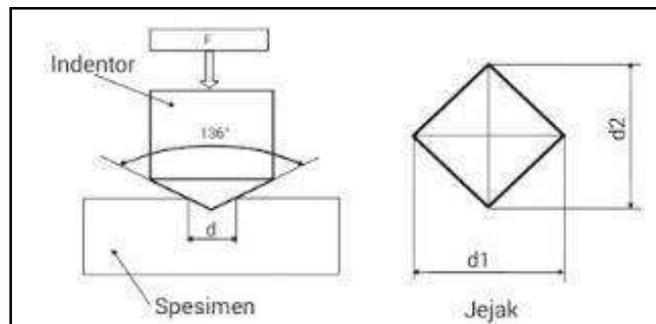
CR = laju korosi (*mpy*)

2.5. Pengujian Mekanik

2.5.1. 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 (Joko, 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 *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers*.

Pengujian dengan metode *Vickers* merupakan pengujian kekerasan yang dilakukan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang



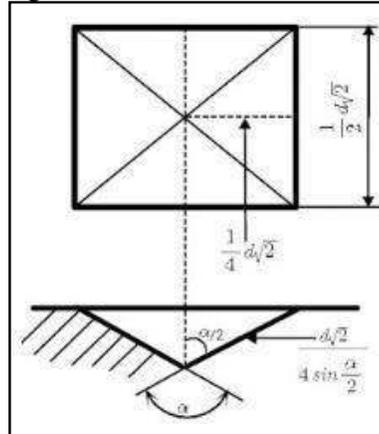
Gambar 2. 6. Skema Pengujian Vickers (Dicky, 2019)

berhadapan 136° . Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji. 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.

$$HV \frac{P}{A}$$



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



Gambar 2. 7. Luas Permukaan Jejak (Dicky, 2019)

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

Atau

$$A = \frac{\frac{P}{d^2}}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}$$

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

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}}$$

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

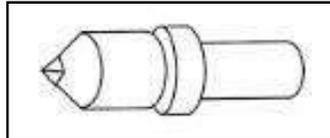
Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan *Vickers* berkisar antara 1 kgf sampai 120 kgf, dan beban uji yang umum digunakan adalah 5, 10, 30 dan 50 kgf. Sedangkan waktu penerapan beban uji (*dwell time*) standar biasanya dilakukan selama 10-15 detik.

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-jejak yang berdekatan juga 2,5 kali diagonal jejak. Sedangkan menurut



standar ISO, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir benda uji adalah $2,5 d$ untuk baja dan paduan tembaga dan $3d$ untuk logam ringan, sementara jarak minimal antara jeak adalah $3 d$ untuk baja dan paduan tembaga, dan $6 d$ untuk logam - logam ringan.

Berbeda dengan pengujian kekerasan *Brinell* dan pengujian kekerasan *Rockwell* yang menggunakan lebih dari satu jenis atau ukuran indenter, pengujian kekerasan *Vickers* hanya menggunakan satu jenis



Gambar 2. 8. Indentor intan berbentuk piramid (Dicky. 2019)

indentor, yaitu indentor intan berbentuk piramid yang dapat digunakan untuk menguji hampir semua jenis logam mulai dari yang lunak hingga yang keras.

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



Gambar 2. 9. Bentuk-Bentuk Jejak (Dicky, 2019)

Jejak dengan bentuk persegi dihasilkan oleh indenter 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 bubungan.

Pada penelitian sebelumnya pada 2019 didapatkan, nilai kekerasan tertinggi pada baja AISI 1045 yang telah diberikan heat treatment kemudain di *quenching* menggunakan air mineral berada di temperatur 850°C mengalami kenaikan yang sangat signifikan yaitu sekitar 510% yang



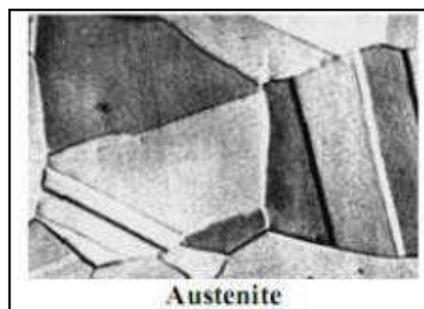
awalnya 11,4 HRC menjadi 58,2 HRC. Sedangkan pada media *quenching* oli nilai kekerasan tertinggi berada pada temperatur 950°C yaitu yang awalnya 11,4 HRC menjadi 33,4 HRC atau naik sekitar 290%. Media pendingin air cenderung menghasilkan nilai kekerasan yang lebih dibandingkan dengan media pendingin oli ini dikarenakan air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Karena laju pendinginan yang begitu cepat, maka atom tersebut terperangkap dalam larutan sehingga membentuk struktur *martensite*.

2.6. Struktur Mikro

Menurut (Lely Susita, dkk, 1996) 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



Gambar 2. 10. Struktur Austenit

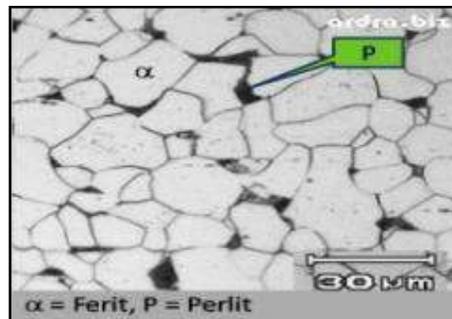
pembekuan, pada proses pendingina selanjutnya austenit berubah menjadi ferrit, pearlit, dan sementi. Sifat austenit adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa.



2. Ferrit

Fasa ini disebut alpha, ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferrit rendah. Ferrit bersifat magnetik dan lunak sampai suhu 768°C. Ferrit berwarna putih.

3. Pearlit Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferrit dengan karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk lapisan dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Sifat pearlit adalah lebih keras dan lebih kuat daripada ferrit tetapi tidak magnetis. Pearlit berwarna hitam.



Gambar 2. 11. Struktur Ferrit dan Pearlit

4. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa aistenit ke suhu 250°C-550°C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Sifat dari bainit adalah lunak.



Gambar 2. 12. Struktur Bainit



5. Martensit

Martensit merupakan fasa dimana ferrit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam bentuk lapisan, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini

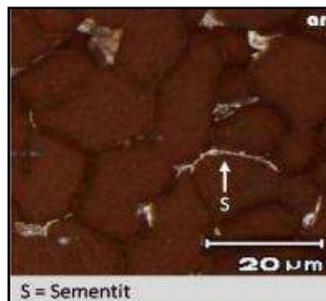


Gambar 2. 13. Struktur Martensit

terbentuk dari austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Sifat dari martensit adalah getas dan keras. Martensit berbentuk seperti jarum.

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. 14. Struktur Sementit

