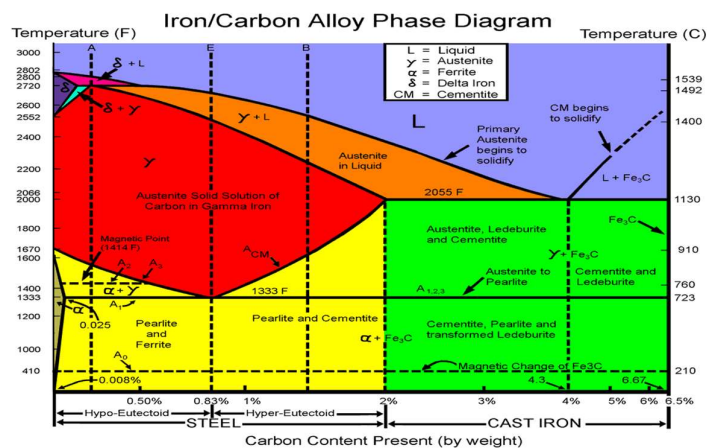


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan paduan antar besi (Fe) dan karbon (C) dengan penambahan paduan lainnya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai dengan grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur lain yang sering dimasukkan bersama karbon meliputi mangan, krom, vanadium, dan nikel. Dengan mencampur berbagai kadar karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai kualitas baja yang berbeda dapat dihasilkan. Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Menambahkan karbon ke baja meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik, tetapi juga membuatnya rapuh dan kurang ulet (Konsinyawan, 2023).



Gambar: 2.1 Diagram fase Fe - FeC

Sumber: Novadany (2015)

Baja biasanya banyak dipakai sebagai produk jadi seperti komponen otomotif, transformator listrik, dan dalam berbagai proses manufaktur

seperti pembuatan lembaran besi, ekstrusi, dan lain sebagainya. Dasar pemilihan pemakaian baja ini seiring dengan terus berkembangnya industri otomotif dan kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor, komponen permesinan, ban konstruksi, dan bidang lainnya terutama didasarkan pada sifat mekaniknya. Jika sifat logam sangat, keras, sangat sulit dalam pembentukannya.

2.2 Klasifikasi Baja

Adapun klasifikasi baja berdasarkan komposisi kimianya adalah sebagai berikut :

1. Baja Karbon

Baja karbon disebut juga plain karbon steel yang merupakan kombinasi antara karbon, sedikit silicon, belerang dan pospor. Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon meningkat maka kekuatan dan kekerasan baja juga akan meningkat secara signifikan. Baja karbon dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)

Baja karbon rendah mengandung karbon dalam campuran baja dari 0,1%- 0,3%C. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas. Sifat mekaniknya sangat lembut dan rapuh. Memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Bisa dikerjakan dengan baik oleh mesin dan mudah dilas, sehingga sangat cocok digunakan untuk material dalam konstruksi gedung dan jembatan.



Gambar: 2.2 Baja Karbon Rendah
Sumber: Chandro (2024)

b. Baja Karbon Sedang (Medium Carbon Steel)

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,31% - 0,70%C. Kandungan karbon yang agak tinggi ini bisa meningkatkan kekerasannya dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti poros, rel kereta api, ataupun baut.



Gambar: 2.3 Baja Karbon Sedang
Sumber: Chandro (2025)

c. Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)

Baja karbon tinggi mengandung karbon di atas 0,715- 1,17%C. Kekerasan dan kekuatannya sangat tinggi, namun keuletannya kurang. Baja karbon memiliki tahan panas yang tinggi dan mempunyai kekuatan tarik paling tinggi. Baja karbon ini dapat digunakan untuk pembuatan kawat baja dan kabel baja.



Gambar: 2.4 Baja Karbon Tinggi
Sumber: Nobel Riggindo Samudra (2024)

2. Baja Paduan

Baja dapat dikatakan paduan jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus dan memiliki komposisi unsur yang sangat spesifik. Unsur yang biasa digunakan untuk baja ini yaitu: Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti. Paduan dari beberapa unsur ini akan memberikan sifat yang khas pada baja. Baja paduan dibagi menjadi 3 macam yaitu:

a. Baja Paduan Rendah (Low Alloy Steel)

Baja paduan ini unsur paduannya memiliki kandungan di bawah 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Dengan menambahkan unsur paduan, kekuatan dapat dinaikkan tanpa mengurangi keuletannya, kekuatan fatik, daya tahan terhadap korosi, aus dan panas. Biasanya banyak digunakan pada kapal, ketel uap, tangki gas dan sebagainya.

b. Baja Paduan Menengah (Medium Alloy Steel)

Baja paduan ini unsur paduannya memiliki kandungan antara 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Biasanya

banyak digunakan untuk membuat alat pengukur, cetakan penarikan, mata gunting untuk plat tebal dan sebagainya.

c. Baja Paduan Tinggi (High Alloy Steel)

Baja paduan ini unsur paduannya memiliki kandungan lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Biasanya digunakan pada perkakas, baja pegas, frog rel kereta api dan sebagainya.

Berdasarkan (Amstead, 1993), baja paduan umumnya memiliki keunggulan tertentu bila dibandingkan dengan baja karbon biasa. Berikut beberapa keunggulannya yaitu:

- a. Keuletan tinggi tanpa mengurangi kekuatan daya tarik;
- b. Tahan korosi dan keausan tergantung jenis paduannya;
- c. Tahan perubahan suhu;
- d. Mempunyai butiran halus dan homogen.

2.3 Baja ST 37

Baja ST37 merupakan baja karbon dengan kualitas yang setara dengan AISI 1006. Baja ini memiliki sifat mekanik dan fisik yang khas, sehingga sangat sesuai untuk berbagai aplikasi struktural. ST37 diproduksi melalui hot-rolling, yaitu proses yang mengurangi ketebalan pelat baja dan meningkatkan kualitas permukaannya. Meski begitu, ST37 tetap memiliki kelebihan dan kekurangan.

Baja ini menawarkan kemampuan las dan kemampuan mesin yang sangat baik, sehingga sangat serbaguna. Dalam dunia konstruksi, keuletan

dan kemampuan membentuk ST37 sangat berharga dalam membuat elemen-elemen struktural seperti balok, pipa, dan sudut. ST37 mentah cenderung terkena korosi, pelapisan permukaan seperti galvanisasi atau pengecatan dapat meningkatkan ketahanannya terhadap korosi, sehingga meningkatkan kegunaannya dalam konstruksi luar ruangan.

1. Karakteristik Baja ST37

Baja ST37 adalah baja karbon yang memiliki komposisi kimia Karbon 0.5%, Mangan 0.8%, Silikon 0.3% ditambah unsur lainnya. Dengan kekerasan ± 170 HB dan kekuatan tarik 650-800 N/mm². Secara umum baja ST37 dapat digunakan langsung tanpa perlakuan panas, kecuali diperlukan pemakaian khusus. Karakteristik baja ST37 yang meliputi sifat mekanik dan fisiknya membuatnya sebagai pilihan optimal untuk berbagai aplikasi konstruksi dan struktural. Baja ST37 memberikan keseimbangan yang unik antara kekuatan, keuletan, dan keterjangkauan. Hal ini menjadikannya material yang ideal untuk aplikasi yang membutuhkan daya tahan dan efektivitas biaya. Dibandingkan dengan baja karbon lainnya, baja ST37 cenderung lebih lunak membuatnya lebih mudah untuk dibentuk dan disesuaikan dengan desain dan konstruksi. Fleksibilitasnya dalam desain dan konstruksi membuatnya sesuai untuk berbagai aplikasi, mulai dari rangka bangunan hingga suku cadang otomotif. Namun, baja ST37 tidak memiliki ketahanan korosi yang kuat seperti baja karbon lainnya. Baja ini mampu menahan tekanan yang tinggi dan regangan tanpa mengalami

deformasi yang signifikan. Hal ini sangat penting dalam pembangunan konstruksi dan infrastruktur.

2. Sifat Fisik Baja ST37

Sifat fisik baja ST37 seperti kepadatan, titik leleh, konduktivitas termal, dan konduktivitas listrik memiliki pengaruh yang besar pada kinerjanya dalam berbagai aplikasi. Dengan kepadatan 7.8 g/cm^3 , baja ini memiliki kapasitas menahan beban yang substansial yang penting untuk komponen struktural. Titik leleh sekitar 1.470°C menciptakan stabilitas saat berada di lingkungan bersuhu tinggi. Konduktivitas termalnya sebesar 53 W/mK dapat memperlancar pembuangan panas, sementara kemampuan konduksinya dalam listrik sebanyak 6,9% IACS yang memungkinkan arus untuk mengalir.

Namun, baja ST37 kurang tahan terhadap korosi yang bisa merugikan ketika digunakan di lingkungan yang keras. Kelemahan ini memerlukan perawatan permukaan, seperti galvanisasi atau pra-pengecatan, untuk meningkatkan perlindungan terhadap karat. Perawatan ini tidak hanya meningkatkan ketahanan terhadap korosi tetapi juga meningkatkan daya tarik estetika dari produk baja ST37. Dalam hal toleransi dimensi, baja St37 menampilkan konsistensi yang sangat baik, penting sekali dalam aplikasi yang memerlukan ketepatan. Stabilitas dimensinya yang dipadukan dengan kapasitas menahan beban, membuatnya menjadi opsi yang lebih disukai untuk beragam jenis aplikasi struktural.

3. Sifat Mekanik Baja ST37

Baja ST 37 memiliki berbagai sifat mekanik yang menjadikannya pilihan utama dalam berbagai aplikasi teknik. Beberapa sifat mekanik utama dari baja ST 37 adalah sebagai berikut:

- a. Kekuatan tarik baja ST 37 berkisar antara 301-327 MPa dengan elongasi rata-rata 9.3% (Jayanti, T.R., 2021). Meskipun nilai kekuatan tariknya lebih rendah dibandingkan baja karbon tinggi atau baja paduan lainnya, baja ST 37 tetap memiliki kekuatan yang cukup untuk aplikasi struktural yang tidak memerlukan kekuatan ekstrem.
- b. Baja ST 37 memiliki ketangguhan yang baik, yang memungkinkannya untuk menahan beban dinamis dan perubahan beban secara tiba-tiba tanpa mudah retak atau patah.

Meskipun, baja ST 37 menawarkan banyak keuntungan, ia juga memiliki beberapa kelemahan:

- a. Ketahanan terhadap Keausan: Baja ST 37 memiliki kekerasan permukaan yang relatif rendah, sehingga rentan terhadap keausan dalam aplikasi yang melibatkan gesekan berat atau kondisi operasional yang keras. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang melibatkan gesekan tinggi, baja ST 37 sering memerlukan perlakuan tambahan seperti pelapisan permukaan atau perlakuan panas untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan (Hamzah & Iqbal, 2008).
- b. Ketahanan terhadap Suhu Tinggi: Baja ST 37 memiliki keterbatasan dalam ketahanan terhadap suhu tinggi. Pada suhu tinggi, baja ini

cenderung kehilangan kekuatan dan ketangguhannya (Darmanto, 2006).

4. Pengaplikasian Baja ST37

Baja ST37 sering digunakan dalam berbagai aplikasi yaitu sebagai berikut:

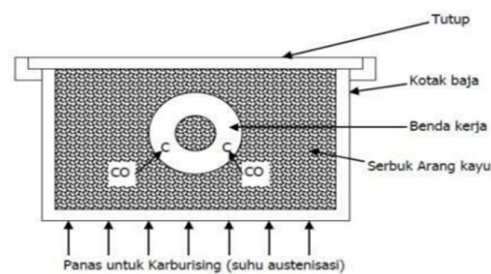
- a. Baja ST37 sangat ideal untuk digunakan dalam industri otomotif, suku cadang mesin bahkan dapat digunakan dalam produksi barang-barang konsumen karena keserbagunaannya dan ketahanannya.
- b. Baja ST37 sering digunakan dalam konstruksi jembatan, gedung dan pekerjaan struktural berskala besar karena mampu menahan beban yang signifikan.
- c. Baja ST37 dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam desain dan bentuk dalam bidang arsitektur karena fleksibilitasnya.

2.4 Pack Carburizing

Carburizing adalah suatu proses perlakuan permukaan dengan menambahkan unsur karbon. Suhu yang dicapai 800°C. Setelah itu dipertahankan selama waktu tertentu untuk memperoleh kekuatan atau kekerasan material tersebut. Sehingga atom karbon aktif berdifusi ke seluruh permukaan baja dan mencapai kedalaman tertentu. Setelah proses difusi, dilanjutkan dengan perlakuan pendinginan, yang menghasilkan permukaan medium yang lebih keras dan lebih tangguh.

Metode proses *carburizing* dibagi berdasarkan media karburasinya, yakni gas, cair, dan padat. *Pack carburizing* merupakan metode carburizing

yang paling sederhana jika dibandingkan dengan metode cair dan gas. Proses ini bisa dilakukan dengan peralatan yang sederhana. Pada metode ini, komponen ditempatkan dalam kotak yang berisi media karburasi. Saat pemanasan pada suhu austenisasi ($842 - 953^{\circ}\text{C}$), akan dihasilkan gas CO_2 dan CO . Pembentukan karbon monoksida dapat ditingkatkan dengan penambahan energizer atau katalis, seperti barium karbonat (BaCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) (Sundari et al., 2018).



Gambar: 2.5 Proses *pack carburizing*

Sumber: Dewa, 2016

2.5 Pengaruh Gas Atmosfer pada Proses Carburizing

Atmosfer gas yang digunakan dalam proses *carburizing* memiliki pengaruh besar terhadap laju difusi karbon ke dalam baja. Pada umumnya, atmosfer ini terdiri dari campuran gas seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), atau gas hidrogen (H_2), yang digunakan untuk mengontrol laju difusi karbon serta mencegah oksidasi baja selama proses *carburizing*.

a. Gas Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida adalah salah satu gas yang sering digunakan dalam proses *carburizing* karena kemampuannya untuk menghasilkan karbon aktif yang terlarut dalam baja. Ketika CO₂ terurai pada suhu tinggi, ia menghasilkan gas karbon monoksida (CO) yang sangat reaktif, yang kemudian dapat membantu dalam proses difusi karbon ke dalam baja. Gas CO memfasilitasi pembentukan lapisan karbon yang lebih stabil dan merata pada permukaan baja, yang meningkatkan kualitas lapisan karbon yang terbentuk.

b. Gas Metana (CH₄)

Metana sering digunakan dalam *carburizing* karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi dan mampu menyediakan sumber karbon yang stabil. Metana dapat terurai pada suhu tinggi untuk menghasilkan karbon yang difusikan ke dalam baja. Metana dapat digunakan untuk menghasilkan lapisan karbon yang lebih dalam dan lebih stabil, serta lebih menguntungkan dari segi efisiensi energi dalam proses *carburizing*.

c. Gas Hidrogen (H₂)

Gas hidrogen sering digunakan dalam atmosfer *carburizing* karena sifatnya yang dapat mengurangi oksidasi pada permukaan baja, sehingga membantu menciptakan permukaan baja yang lebih bersih dan bebas oksidasi. Selain itu, hidrogen dapat mempengaruhi reaksi kimia yang terjadi di dalam proses *carburizing*, memastikan bahwa karbon

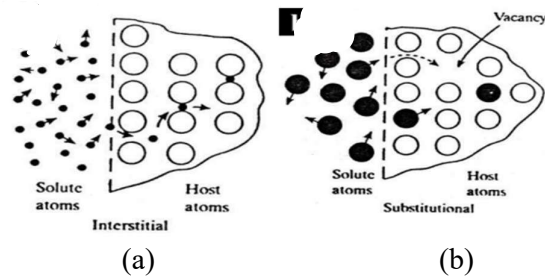
terlarut dengan baik ke dalam baja tanpa mengganggu kualitas lapisan karbon. Penggunaan hidrogen dalam atmosfer gas juga dapat meningkatkan kecepatan difusi karbon dan ketahanan terhadap pengendapan karbon yang tidak merata.

2.6 Difusi

Interstitial dan substitusi adalah dua cara mekanisme difusi dapat terjadi. Prinsip difusi mekanisme kekosongan (*vacancy*) terjadi selama proses pembentukan dan pertumbuhan lapisan dalam proses *pack carburizing*. Jika suatu atom mengisi kekosongan pada susunan atomnya, maka akan terjadi kekosongan baru pada susunan atom, yang dapat dipenuhi oleh atom lain yang berada di dekat lubang yang ditinggalkan oleh atom yang pertama. Difusi dengan mekanisme kekosongan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan gerakan total atom.

Dalam kisi-kisi kristal, atom dapat berpindah dari satu atom ke atom lainnya jika, memiliki energi aktivasi yang cukup, agitasi panas atom yang cukup, atau cacat kristal lainnya pada kisi kristalnya. ukuran atom di mana perbedaan antara atom terlarut dan pelarut tidak melebihi 15%.

Ketidakstabilan dalam logam atau paduan menyebabkan atom bergerak, menghasilkan mekanisme interstisi dan substitusi. Selain itu, karena kenaikan suhu akan menyebabkan lebih banyak kekosongan dalam logam, temperatur sangat memengaruhi proses difusi.



Gambar: 2.6 Proses difusi: (a) Secara Interstisi, (b) Secara Substitusi.
 Sumber: Pratama, M. R. (2023)

2.7 Arang Cemara

Proses *carburizing* adalah salah satu metode perlakuan panas yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja dengan menambahkan karbon ke dalam lapisan luar material. Salah satu bentuk proses *carburizing* yang paling umum adalah *pack carburizing*, di mana baja ditempatkan dalam sebuah wadah yang berisi media padat yang kaya akan karbon (Pambudi, 2019). Dalam proses ini, sumber karbon memainkan peran yang sangat penting salah satunya yaitu arang cemara.

Arang merupakan residu dari proses peruraian panas terhadap bahan yang mengandung karbon sebagian besar komponennya adalah karbon. Arang cemara memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sumber karbon lain yang biasa digunakan dalam proses *carburizing*. Salah satu alasan utama pemilihan arang cemara adalah kandungan karbonnya yang tinggi dan kemampuan untuk melepaskan karbon secara bertahap ke dalam baja selama proses *carburizing*. Selain itu, arang cemara lebih mudah didapat dan lebih murah dibandingkan dengan bahan karbon lain.

2.8 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Heat treatment juga dikenal sebagai perlakuan panas artinya proses yang mengubah sifat fisik baja dengan menggunakan teknik seperti *quenching*, *annealing*, dan karburasi. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keuletan, mengurangi tegangan internal, menghaluskan ukuran kristal dan meningkatkan tegangan atau kekerasan logam. Suhu pemanasan, waktu yang diperlukan untuk memanaskan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer adalah beberapa variabel yang mempengaruhi perlakuan panas. Menurut Handoyo (2015) ada beberapa tujuan heat treatment yaitu:

1. Meningkatkan keuletan;
2. Mengurangi tekanan internal;
3. Meningkatkan kekerasan atau kekuatan tarik;
4. Mencapai perubahan komposisi kimia pada permukaan logam saat terpengaruh pengerasan.

Menurut Handoyo (2015), *heat treatment* memiliki beberapa manfaat termasuk meningkatkan kemudahan pengoperasian, perubahan sifat magnetic, peningkatan ketangguhan dan pembentukan struktur rekristalisasi pada *cool-worked metal*. Ada beberapa faktor atau variabel yang dapat mempengaruhi proses perawatan panas antara lain: temperatur perawatan panas, waktu penyimpanan, laju pemanasan dan proses pendinginan.

2.9 Waktu Penahanan

Tingkat perubahan kedalaman kasus pada suhu carburizing tertentu sebanding dengan akar kuadrat waktu. Tingkat karburisasi demikian tertinggi di awal siklus dan menurun seiring lamanya siklus. Hal ini sebanding dengan bagaimana struktur fasa yang terbentuk berkembang secara lurus seiring dengan lamanya proses. Fasa yang terbentuk selama proses akan semakin cepat, yang mengarah pada pengerasan baja karena laju difusi atom karbon menuju permukaannya meningkat. Waktu tahan proses *carburizing* langsung mempengaruhi kedalaman penetrasi karbon ke dalam bahan. Dengan waktu tahan yang lebih lama, tingkat kemampuan carbon untuk meresap ke permukaan material meningkat. Artinya, material akan memiliki lapisan yang lebih dalam dengan lebih banyak karbon. Yang akan membuat permukaan bahan menjadi lebih keras. Selain itu, lama waktu tahan mempengaruhi bagaimana karbon difusi ke dalam material. Dalam proses *carburizing*, karbon harus difusi secara merata ke dalam material untuk mencapai hasil yang diinginkan. Waktu tahan yang cukup akan memungkinkan karbon untuk difusi secara merata, yang menghasilkan lapisan *carburizing* yang konsisten di seluruh permukaan material. Lama waktu tahan yang tepat dapat mempengaruhi ketahanan aus material. Selain meningkatkan kekerasan permukaan, lama waktu tahan yang cukup memungkinkan karbon meresap lebih dalam ke dalam material, meningkatkan kekerasan dan ketahanan ausnya.

Material yang telah mengalami proses *carburizing* dengan lama waktu tahan yang ideal akan mampu menahan beban dan gesekan yang lebih besar tanpa mengalami keausan yang signifikan. Terbentuknya struktur mikro dan fasa pada paduan juga dipengaruhi oleh waktu penahanan. Proses *carburizing* dapat mengubah struktur mikro dan sifat baja. Beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan struktur mikro selama proses *carburizing* adalah waktu, waktu penahanan, dan siklus pendinginan. Struktur mikro yang terbentuk setelah pendinginan bergantung pada laju pendinginan. Proses *carburizing* meningkatkan ketahanan aus dengan meningkatkan kekerasan permukaan dan karakteristik fatik baja karbon. Dalam proses pengerasan permukaan dengan metode *carburizing*, karbon berdifusi melalui permukaan baja sehingga jumlah karbon di permukaan baja memungkinkan pengerasan melalui pendinginan. Selama waktu penahanan ini, cenderung terjadi peningkatan fasa *pearlite* pada mikrostruktur dan penurunan fasa *ferrite*. Penetrasi *case depth* adalah parameter yang mengukur sejauh mana unsur karbon dapat menembus permukaan benda kerja.

Waktu adalah faktor penting dalam proses *carburizing* yang mempengaruhi penetrasi *case depth*. Meningkatkan waktu paparan benda kerja selama proses *carburizing* dapat menghasilkan penetrasi yang lebih dalam. Dengan kata lain, *case depth* meningkat seiring dengan waktu. *carburizing* Ini disebabkan oleh reaksi difusi yang terjadi antara karbon dalam atmosfer gas *carburizing* dan permukaan benda kerja selama proses

carburizing. Karbon berdifusi melalui permukaan benda kerja sehingga meningkatkan komposisi karbon pada lapisannya. Selama proses *carburizing*, molekul karbon dapat bergerak lebih jauh ke dalam, yang menghasilkan penetrasi *depth case* yang lebih besar. Nilai *depth case* ini juga akan mempengaruhi kekerasan dan pembentukan fasa dari material. Waktu tahan juga berpengaruh terhadap kekerasan dan fasa yang terbentuk pada material. Diketahui bahwa menurunnya waktu tahan menyebabkan fasa pearlite tersebar lebih menyeluruh. Ini akan meningkatkan kekerasan karena difusi yang terjadi cenderung lebih tinggi seiring dengan waktu tahan. Akibatnya, jika bahan atau logam tertentu dikenai waktu tahan yang lebih lama, fasa *pearlite* akan tersebar lebih luas. Peningkatan ini meningkatkan kekerasan bahan tersebut. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat difusi selama proses waktu tahan yang lebih lama, di mana partikel bahan memiliki lebih banyak waktu untuk bergerak dan berinteraksi satu sama lain. Dengan demikian, struktur fase *pearlite* yang terbentuk lebih padat dan merata, meningkatkan kekerasan bahan.

Carburizing adalah proses perlakuan panas di mana bahan logam ditempatkan dalam atmosfer yang kaya akan karbon untuk meningkatkan kadar karbon di permukaannya. Waktu tahan dalam proses ini sangat penting untuk menentukan laju difusi karbon ke dalam bahan logam. Disebabkan oleh perbedaan konsentrasi karbon antara permukaan bahan logam dengan kandungan karbon rendah dan atmosfer carburizing, bahan logam biasanya memiliki laju difusi karbon yang lebih tinggi seiring

dengan waktu tahannya dalam atmosfer *carburizing* yang memiliki kandungan karbon tinggi. Atom karbon akan berdifusi secara bertahap dari atmosfer *carburizing* ke permukaan bahan logam seiring bertambahnya waktu tahan. Koefisien difusi akan meningkat seiring bertambahnya waktu tahan.

2.10 Keausan Baja

1. Definisi Keausan

Keausan merupakan salah satu fenomena yang dapat merusak material logam seperti baja, yang mengakibatkan penurunan kualitas permukaan dan pengurangan ketahanan serta kinerja material tersebut dalam aplikasi industri. Keausan yang terjadi pada baja umumnya berpengaruh pada masa pakai komponen-komponen baja yang terlibat dalam proses-proses yang melibatkan kontak fisik dengan material lain, terutama dalam kondisi beban dinamis dan suhu yang beragam. Keausan sering kali menyebabkan perubahan mikrostruktur baja yang berdampak pada sifat mekaniknya, seperti kekerasan, ketahanan terhadap kelelahan, dan ketahanan terhadap gesekan. Beberapa faktor yang memengaruhi terjadinya keausan pada baja antara lain:

a. Suhu Operasional

Ketahanan baja terhadap keausan sangat dipengaruhi oleh suhu di mana material beroperasi. Pada suhu rendah, baja bisa menjadi lebih rapuh dan mudah retak akibat keausan. Sebaliknya, pada suhu tinggi, baja dapat kehilangan ketahanannya terhadap keausan (Darmanto, 2006).

b. Beban dan Tekanan

Peningkatan beban atau tekanan pada permukaan baja akan mempercepat proses keausan. Proses ini terjadi karena adanya interaksi antara permukaan baja dengan material lain yang menyebabkan deformasi dan pengikisan lapisan baja yang terpapar. Pada aplikasi yang melibatkan getaran atau beban berulang, seperti pada kendaraan atau mesin industri, keausan dapat terjadi lebih cepat yang mengakibatkan kegagalan dalam proses operasinya (Hamzah & Iqbal, 2008).

Pengujian keausan yang akan dilakukan menggunakan mesin uji *pin on disc* dengan rumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{v_i - v_t}{t} = \frac{\Delta v}{t} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

W = wear rate (mm^3/menit) atau (gram/menit)

v_i = volume awal spesimen sebelum uji aus (mm^3) atau (gram)

v_t = volume akhir spesimen setelah uji aus (mm^3) atau (gram)

t = waktu lama pengausan

Δv = volume yang hilang (mm^3) atau (gram)

2. Jenis-Jenis Keausan pada Baja

Keausan pada baja dapat terjadi dalam beberapa mekanisme yang berbeda, tergantung pada jenis interaksi yang terjadi di permukaan material.

Beberapa jenis keausan yang umum pada baja meliputi:

a. Keausan Abrasif

Keausan abrasif terjadi jika suatu partikel keras dari amterial tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak Contohnya, kontak langsung baja dengan material keras lainnya, seperti pasir, batu, atau partikel keras lainnya. Pada keausan jenis ini, material keras tersebut menggores atau mengikis permukaan baja. Jenis keausan ini sangat umum terjadi pada aplikasi baja yang terpapar kondisi berdebu atau keras, seperti pada alat berat, roda gigi, dan alat pertambangan. Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap keausan abrasif adalah *material hardness*, kondisi struktur mikro, ukuran abrasif dan bentuk abrasif.

b. Keausan Aditif (Erosi)

Keausan ini terjadi ketika partikel keras yang terlarut dalam cairan atau gas terpapar pada permukaan baja dan menyebabkan pengikisan material. Erosi lebih sering terjadi pada baja yang digunakan dalam sistem aliran fluida, seperti pada pompa, turbin, dan pipa. Partikel seperti pasir atau material abrasif lainnya yang terbawa oleh aliran fluida akan mengikis permukaan baja, menyebabkan penurunan massa dan kerusakan.

c. Keausan Gesekan

Keausan gesekan terjadi ketika dua permukaan baja bergesekan secara langsung di bawah tekanan yang cukup tinggi. Gesekan antara dua komponen baja yang bergerak dapat menyebabkan pemanasan lokal

pada permukaan dan mengakibatkan pengikisan material. Baja yang digunakan dalam roda gigi, bantalan, atau komponen kendaraan bermotor sering kali mengalami jenis keausan ini.

d. Keausan *Fretting*

Keausan *fretting* adalah keausan yang terjadi akibat getaran kecil atau pergeseran antara dua permukaan baja yang saling bersentuhan. Meskipun pergerakannya kecil, getaran yang berulang dapat menyebabkan kerusakan mikro pada permukaan baja dan mengikis material. Keausan ini sering terjadi pada komponen-komponen seperti baut, mur, dan sambungan yang mengalami getaran.

2.11 Pengaruh Ketahanan Keausan terhadap Aplikasi Baja

Ketahanan terhadap keausan adalah salah satu faktor yang sangat penting dalam pemilihan baja untuk berbagai aplikasi industri. Baja yang memiliki ketahanan keausan yang baik akan memiliki umur pakai yang lebih lama dan lebih mampu bertahan dalam kondisi operasional yang melibatkan gesekan atau kontak berulang.

1. Industri Otomotif

Pada industri otomotif, baja digunakan untuk komponen-komponen seperti mesin, transmisi, dan roda gigi. Komponen-komponen ini sering terpapar pada kondisi gesekan yang berat dan membutuhkan baja dengan ketahanan keausan yang tinggi agar tidak cepat rusak. Baja yang digunakan untuk bagian transmisi, harus tahan terhadap gesekan yang

tinggi, dan karenanya sering kali dilapisi dengan bahan yang meningkatkan ketahanan terhadap keausan.

2. Industri Alat Berat

Dalam industri alat berat, seperti konstruksi dan pertambangan, baja sering terpapar partikel abrasif dan beban yang berat. Komponen baja seperti bucket, pisau pemotong, dan roda penggerak harus memiliki ketahanan terhadap keausan agar dapat bertahan dalam kondisi kerja yang keras. Baja paduan seperti baja mangan dan baja paduan krom sering digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan abrasif.

3. Industri Energi

Baja yang digunakan dalam industri energi, seperti pada turbin dan pompa, juga harus memiliki ketahanan terhadap erosi dan keausan aditif. Baja yang digunakan dalam aplikasi seperti pembangkit listrik atau alat pengolahan energi harus dapat mengatasi lingkungan yang penuh dengan fluida abrasif tanpa cepat aus.

2.12 Analisa Korelasi

Korelasi adalah teknik statistik yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam penelitian, dua variabel yang sering diselidiki hubungannya biasanya diberi simbol variabel X (variabel independen/bebas) dan variabel Y (variabel dependen/terikat).

1. Hubungan positif, jika kenaikan nilai variabel X selalu diikuti oleh kenaikan nilai variabel Y, dan sebaliknya, penurunan nilai X diikuti oleh penurunan nilai Y.
2. Hubungan negatif, jika kenaikan nilai variabel X selalu diikuti oleh penurunan nilai variabel Y, dan sebaliknya, penurunan nilai X diikuti oleh kenaikan nilai Y.
3. Tidak ada hubungan, jika perubahan pada satu variabel tidak menunjukkan pola yang konsisten terhadap perubahan pada variabel lainnya.

Besar kecilnya hubungan antara dua variabel kuantitatif dinyatakan dengan suatu bilangan yang disebut koefisien hubungan atau koefisien korelasi. Koefisien korelasi ini, khususnya koefisien korelasi Pearson (Product Moment), mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara dua variabel kontinu. Rumus untuk menghitung koefisien korelasi Pearson (r) adalah sebagai berikut:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana: r = Koefisien korelasi

n = Jumlah spesimen

x = Nilai variabel x

Y = Nilai variabel Y

Selain koefisien korelasi (r), penting juga untuk menghitung koefisien determinasi (R). Koefisien determinasi adalah kuadrat dari koefisien korelasi yang menunjukkan seberapa besar proporsi (persentase) variasi dalam variabel dependen (Y) dapat dijelaskan oleh variasi dalam variabel independen (X). Sisa persentase variasi ($1 - R$) dijelaskan oleh faktor-faktor lain di luar variabel X yang diteliti.

2.13 Jurnal Rujukan

Penelitian oleh Darmanto (2006) yang berjudul “Pengaruh Holding Time terhadap Sifat Kekerasan dengan Refining The Core pada Proses Carburizing Material Baja Karbon Rendah”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu tahan terhadap sifat kekerasan baja karbon rendah yang mengalami proses *carburizing* serta untuk memahami bagaimana perlakuan panas (*refining the core*) dapat mempengaruhi sifat mekanis material tersebut. Metode penelitian menggunakan desain eksperimen dengan dua kelompok yaitu kelompok kontrol (*raw material*) dan kelompok eksperimen (baja karbon rendah yang mengalami *carburizing*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanis (kekerasan) material baja karbon rendah berkurang sebanding dengan kedalaman dari permukaan. Semakin lama waktu penahanan (*holding time*), kekerasan pada titik yang sama cenderung meningkat.

Penelitian oleh Nitha,dkk (2022) yang berjudul “Efektivitas Pengaruh Holding Time terhadap Ketangguhan dan Struktur Makro Baja Karbon Rendah Akibat Pack Carburizing Arang Cemara”. Penelitian ini

bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengaruh variasi holding time arang cemara dengan media pendingin oli SAE 20 terhadap ketangguhan baja karbon rendah ST 37 akibat proses *pack carburizing*. Metode penelitian menggunakan dua pendekatan utama yaitu uji impact untuk mengukur ketangguhan baja karbon rendah ST 37 dan observasi struktur makro untuk menganalisis perubahan struktur material setelah *pack carburizing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *holding time* memiliki pengaruh signifikan terhadap ketangguhan baja karbon rendah ST 37 yang diproses melalui *pack carburizing*. Semakin lama waktu penahanan, ketangguhan baja semakin menurun dan observasi struktur makro menunjukkan bahwa struktur baja menjadi semakin longgar seiring bertambahnya waktu penahanan.

Penelitian oleh Kirono & Amri (2011) yang berjudul “Pengaruh Tempering pada Baja ST 37 yang Mengalami Karburasi dengan Bahan Padat terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas (karburasi dan tempering) terhadap sifat mekanis baja ST 37 serta menganalisis perubahan struktur mikro baja ST 37 setelah mengalami proses karburasi dan tempering pada berbagai temperatur. Penelitian dilakukan dengan serangkaian perlakuan panas terhadap baja ST 37 seperti karburasi menggunakan bahan padat pada temperatur 900°C selama 2 jam, diikuti dengan proses quenching dan tempering pada 3 temperatur berbeda. Untuk mengukur sifat mekanis, dilakukan uji tarik untuk menentukan nilai kekuatan tarik maksimum dan

uji kekerasan. Analisis struktur mikro dilakukan dengan pengamatan metalografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas yang diterapkan memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanis baja ST 37. Material yang ditemper pada suhu 150°C memiliki kekuatan tarik tertinggi dan kekerasan tertinggi. Analisis struktur mikro mengungkapkan adanya struktur ferit, pearlit dan martensit yang menunjukkan dampak perlakuan panas terhadap perubahan sifat mekanis dan struktur mikro baja.

Penelitian oleh Hamzah & Iqbal (2008) yang berjudul “Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah dengan Metode Carburizing”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur proses carburizing terhadap ketahanan aus baja karbon rendah, serta untuk mengevaluasi peran austenit sisa dalam meningkatkan performa keausan material. Penelitian dilakukan dengan menguji keausan spesifik pada baja SAE 8620 yang melalui proses *carburizing* pada temperatur bervariasi, diikuti dengan proses pengerasan dan tempering. Media pendinginan juga divariasikan untuk mengamati efeknya terhadap kekerasan dan ketahanan aus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keausan spesifik terendah diperoleh pada temperatur *carburizing* 950°C, dengan peningkatan ketahanan aus tertinggi mencapai 836% dibandingkan dengan material awal setelah proses pengerasan pada temperatur 840°C penelitian juga menemukan bahwa kandungan austenit sisa yang tepat berkontribusi pada peningkatan ketahanan aus, sementara perlakuan tempering pada suhu 200°C menyebabkan penurunan ketahanan aus.