

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian *Heat treatment*

Perlakuan panas, yang dikenal juga sebagai *heat treatment*, adalah salah satu metode yang dilakukan dengan tujuan merubah karakteristik yang ada pada baja, khususnya karakteristik mekanis. Proses perlakuan panas ini mencakup kombinasi antara pendinginan dan pemanasan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan. Praktik *heat treatment* ini akan menghasilkan perubahan dalam mikrostruktur logam baja, yang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik yang terkandung di dalam struktur baja.

Perlakuan panas dapat diartikan sebagai proses interaksi atau kombinasi antara pendinginan dengan kecepatan tertentu dan pemanasan yang sesuai pada material logam yang berada dalam keadaan padat, yang bertujuan untuk mencapai karakteristik yang diinginkan. Perubahan karakteristik tersebut dapat terjadi sebagai akibat dari perubahan mikrostruktur yang terjadi selama proses pemanasan maupun pendinginan. Hal ini akan berdampak pada perubahan mikrostruktur tersebut (Yudo, 2024). Tanpa mengubah komposisi kimia logam, perlakuan panas dapat mengubah sifat-sifatnya dengan mengubah mikrostrukturnya melalui pemanasan dan pengaturan laju pendinginannya. (Syaifullah, 2021) menyatakan tujuan dari proses perlakuan panas adalah untuk mendapatkan sifat-sifat logam yang diinginkan seperti meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*) menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan dan tegangan tarik logam. Proses perlakuan panas dapat mengubah sifat-sifat seluruh logam atau hanya sebagian saja.

B. Macam – macam *Heat treatment*

Menurut Adipura, 2022 menyatakan bahwa ada beberapa proses-proses pada perlakuan panas pada *heat treatment* yaitu, sebagai berikut:

1. *Hardening*

Untuk memperkuat dan mengeraskan baja, pendinginan adalah metode

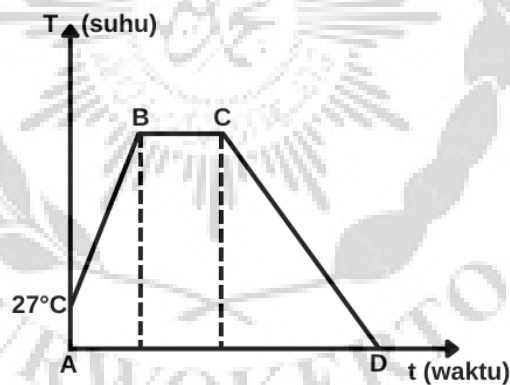
perlakuan panas yang melibatkan pemanasan, pengerasan, dan pendinginan lambat menggunakan pendingin. Air atau oli SAE 40 dapat digunakan sebagai media pendingin.



Gambar 2. 1 Proses *Hardening* (Adipura, 2022)

2. *Normalizing*

Normalizing adalah proses penghangatan besi baja menuju tahap austenit dan kemudian mendinginkannya. demi mendapatkan struktur *mikroaustenit* secara bertahap dalam kondisi pendinginan di luar ruangan..



Gambar 2. 2 Proses *Normalizing* (Adipura, 2022)

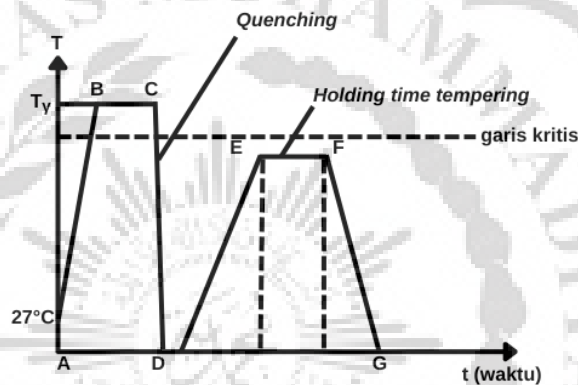
3. *Tempering*

Pendinginan dan pemanasan ulang logam yang dikeraskan dikenal sebagai *tempering*. Jika suhu tetap berada di bawah suhu kritis untuk jangka waktu yang lama, proses tempering dibagi menjadi tiga tahap.

- Pendinginan pada suhu rendah (150–300°C). Tujuannya adalah mengurangi kegetasan baja serta menghilangkan tegangan yang terjebak. Contoh alat kerja yang belum terlatih termasuk bor dan alat potong, yang mengalami

banyak ketegangan.

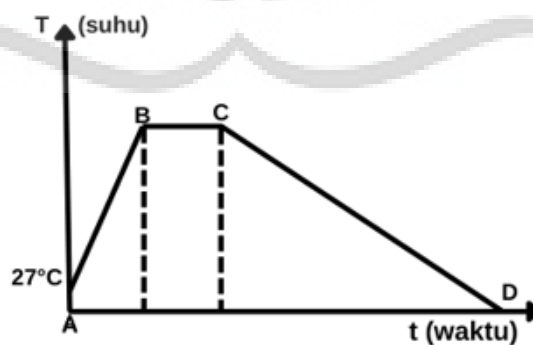
- b. Pendinginan pada suhu menengah ($300-500^{\circ}\text{C}$). Tujuan dari tahap ini adalah untuk meningkatkan ketangguhan sekaligus mengurangi kekerasan. Metode ini diterapkan pada alat kerja yang memerlukan daya tahan tinggi seperti palu, pahat, dan pegas.
- c. Pengerasan pada suhu tinggi ($500-650^{\circ}\text{C}$). Tujuan dari proses ini adalah menjaga kemulusan sambil mencapai tingkat ketangguhan yang tinggi. Cara ini digunakan pada komponen seperti roda gigi, poros, dan batang penggerak, serta lainnya.



Gambar 2. 3 Proses *Tempering* (Adipura, 2022)

4. *Annealing*

Annealing Dengan cara memanaskan logam cor atau baja di atas suhu tertentu, anil merupakan metode perlakuan panas yang menjadikan benda kerja lebih lembut serta meningkatkan sifat plastisitasnya. Dinginkan secara perlahan hingga mencapai suhu yang merata dan hampir serupa baik di bagian luar maupun dalam.



Gambar 2. 4 Proses *Annealing* (Adipura, 2022)

C. Jenis-jenis *Heat treatment*

Menurut Dede, 2022 adapun jenis perlakuan panas dikategorikan menjadi 2 bagian, sebagai berikut:

1. *Softening* (pelunakan)

Pelunakan adalah proses di mana bahan yang dipanaskan didinginkan di udara atau dipanaskan dalam tungku untuk mengurangi sifat mekanisnya dan membuatnya lebih lembut.

2. *Hardening* (pengerasan)

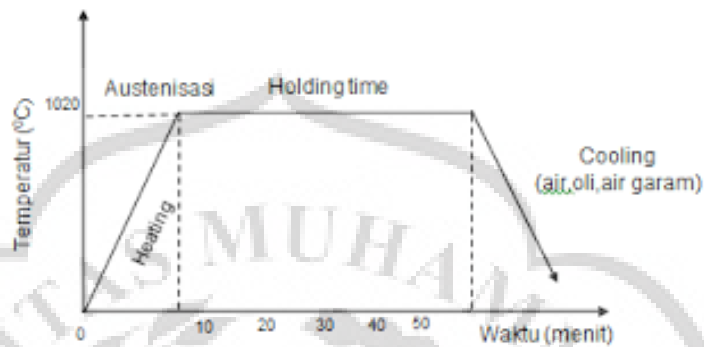
Hardening adalah proses di mana material yang dipanaskan dengan cepat direndam dalam media pendingin (misalnya air, air garam, atau minyak) untuk meningkatkan sifat-sifat material, terutama kekerasannya. Teori perlakuan panas melibatkan pemanasan atau pendinginan baja dalam kondisi padat untuk memodifikasi sifat mekaniknya. Dengan melunakkan baja, hal ini dapat memudahkan pemesinan, meningkatkan ketahanan aus, dan meningkatkan kemampuan pemotongan. Perlakuan panas yang tepat dapat menghilangkan tekanan internal dan memodifikasi ukuran butir..

Hal ini juga dapat memperkuat ketangguhan atau membentuk permukaan keras di sekitar inti yang mempertahankan keuletan. Perlakuan panas yang berhasil membutuhkan pemahaman tentang komposisi kimia baja. Sifat fisik bervariasi dengan perubahan komposisi kimia, terutama kandungan karbon. Berbagai tingkat kekerasan dan elastisitas diperlukan dalam bidang teknik.

D. *Holding time*

Waktu penahanan merupakan jangka waktu yang diperlukan untuk mencapai tingkat kekerasan maksimum dari suatu bahan selama proses pengerasan dengan menjaga suhu pengerasan agar distribusi panasnya merata. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa struktur austenitnya seragam atau untuk memungkinkan karbida terlarut dalam austenit serta mendukung difusi karbon dan elemen paduan. Dalam proses pelemahan baja, penahanan waktu sering kali diperlukan, karena pada fase ini austenit masih berada dalam bentuk butiran halus, dan komposisi karbon serta elemen paduan masih tidak merata, serta terdapat karbida yang belum larut. Menjaga baja pada suhu austenit sangat

penting agar karbida mampu larut dan struktur austenit menjadi lebih seragam. Penahanan waktu dapat dilaksanakan setelah suhu oven mencapai titik yang diinginkan, untuk memberikan kesempatan pada perbaikan struktur kristal yang terjadi selama proses transformasi (Rahman et al., 2022).



Gambar 2.5 *Holding Time* (Rahman et al., 2022)

Dalam proses pemanasan besi, lama yang diperlukan untuk perlakuan panas bervariasi tergantung pada jenis besi yang dipakai. Berikut adalah rincian berbagai jenis tersebut:

1. Besi konstruksi yang terbuat dari baja karbon dan baja paduan rendah yang memiliki karbida larut, memerlukan waktu yang relatif singkat yaitu sekitar 5 hingga 15 menit setelah mencapai temperatur yang diinginkan.
2. Baja paduan rendah memerlukan waktu yang tepat untuk memastikan tingkat kekerasan yang diinginkan tercapai. Waktu yang direkomendasikan adalah 0,5 menit untuk setiap milimeter ketebalan benda, dengan total berkisar antara 10 hingga 30 menit.
3. Baja krom paduan tinggi umumnya memerlukan waktu tahan yang paling lama dibandingkan jenis lainnya, juga tergantung pada suhu pemanasannya. Kombinasi dari suhu dan waktu yang tepat sangatlah penting, dengan waktu sekitar 0,5 menit per milimeter ketebalan benda, minimal 10 menit dan maksimal 1 jam.
4. Baja alat *Hot-Work*, yang dikenal karena mengandung karbida yang sulit larut, baru akan mulai larut pada suhu mencapai 1000°C. Pada suhu ini, terdapat risiko tinggi terhadap pertumbuhan butir, sehingga disarankan agar waktu tahan dibatasi antara 15 hingga 30 menit.

5. Baja kecepatan tinggi biasanya dipanaskan hingga suhu yang sangat tinggi, biasanya 1200°C hingga 1300°C. Waktu penahanan yang direkomendasikan adalah beberapa menit untuk mencegah pertumbuhan butir (Permana et al., 2020).

E. Media Pendingin

Proses pendinginan secara cepat dapat dilakukan melalui quenching dengan menggunakan udara, air, minyak, dan larutan garam sebagai media. Efektivitas suatu media dalam mendinginkan spesimen dapat bervariasi, dan perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor seperti temperatur, tingkat kekentalan, konsentrasi larutan, serta komposisi bahan dari media pendinginan. Terdapat berbagai jenis media pendinginan yang dapat diterapkan untuk mendinginkan baja. Dalam kajian ini, media pendingin yang digunakan adalah oli mesran SAE 40 (Santoso, 2019).

F. Klasifikasi Baja

Baja karbon adalah jenis paduan besi yang mengandung besi (Fe) dan karbon (C). Paduan ini sebagian besar terdiri dari besi, dengan karbon sebagai elemen penting dalam proses pepaduan. Unsur kimia lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) sering ditambahkan selama produksi baja. Unsur-unsur kimia ini digunakan untuk mencapai sifat baja yang ideal. Kandungan karbon pada baja karbon berkisar antara 0,2% hingga 2,14%, dengan karbon yang berfungsi untuk memperkuat struktur baja. Persentase karbon dalam baja menentukan jenis baja. Kawat, profil baja, sekrup, ulir, dan baut semuanya terbuat dari baja karbon rendah. Baja karbon sedang digunakan untuk rel kereta api, poros roda gigi, dan komponen yang membutuhkan daya tahan tinggi atau kekerasan sedang hingga tinggi. Baja karbon tinggi sering digunakan untuk alat pemotong seperti pisau, pemotong *frais*, *reamers* dan keran, serta untuk bagian yang tahan gesekan. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dapat diklasifikasikan sebagai berikut

1. Baja Karbon Rendah. Jenis baja ini memiliki proporsi karbon di dalamnya kurang dari 0,3% C.
2. Baja Karbon Sedang. Baja ini memiliki kadar karbon antara 0,3% C hingga

0,59% C.

3. Baja Karbon Tinggi. Jenis baja ini mengandung karbon dalam rentang 0,6% C hingga 1,4% C (Agung Prayogi, 2019).

G. Klasifikasi Baja ST 37

Baja dengan kandungan karbon antara 0,1% dan 1,7% disebut sebagai baja karbon. Kandungan karbon baja diklasifikasikan menjadi baja karbon tinggi, baja karbon sedang dan baja karbon rendah. Baja ST 37 diklasifikasikan dalam kelompok baja karbon rendah karena kandungan karbonnya kurang dari 0,30% Baja ST 37 setara dengan baja karbon sedang AISI 1045. Komposisi kimianya meliputi 0,5% karbon, 0,8% mangan, 0,8% silikon, 0,3% silikon dan elemen tambahan lainnya. Kekuatan tarik 650-800 N/mm² dan kekerasan 170 HB. Baja ST 37 biasanya tidak memerlukan perlakuan panas dan dapat digunakan secara langsung; lembaran baja ST 37 memiliki struktur butiran halus dan dapat diproses pada suhu tinggi atau rendah. Ini adalah bahan konstruksi yang sangat kuat dan tahan lama. Batas tarik bawahnya adalah 37 kg/mm² dan ST adalah singkatan dari 'baja'. Baja struktural (khususnya baja ST 37) didefinisikan sebagai.

1. ST melambangkan baja (dalam bahasa Jerman: *stahl*; dalam bahasa Inggris: *steel*).
2. ST 37 menunjukkan kemampuan tarik sebesar 37 kg/mm² atau sekitar 360-370 N/mm².
3. Dengan demikian, ST menunjukkan baja struktural, sementara dua angka di belakangnya menandakan kemampuan tarik dalam kg/mm² (Aminuddin, 2020).

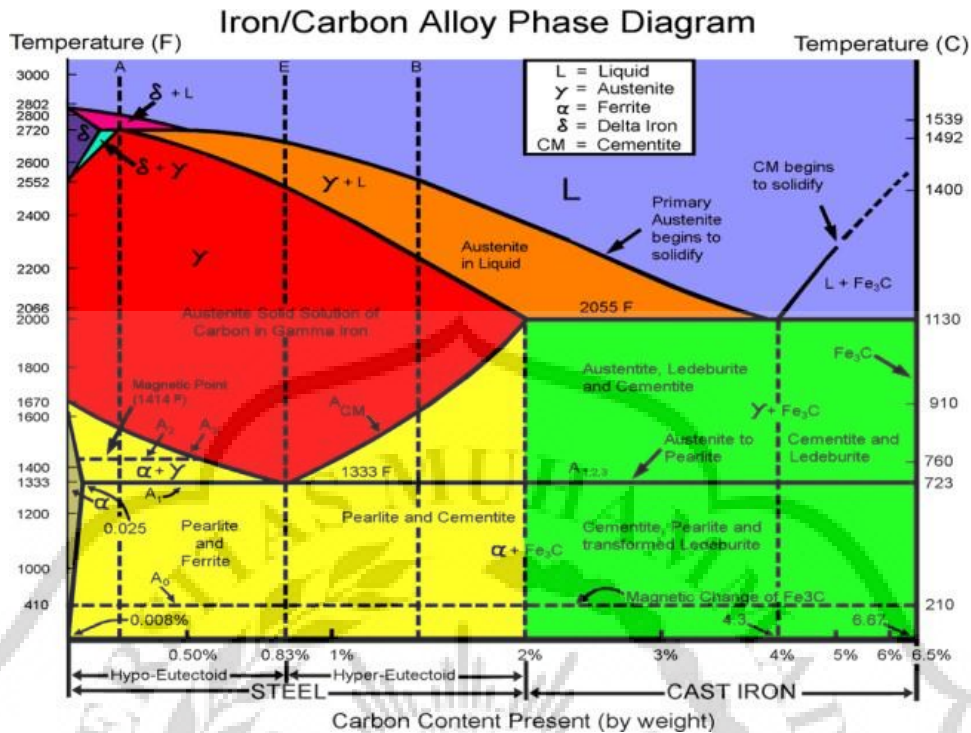


Gambar 2. 6 Baja ST 37 (Aminuddin, 2020)

H. Diagram Fasa Fe-C

Fasa adalah sekelompok material dengan susunan dan komposisi tertentu. Diagram keseimbangan karbon-besi (juga disebut diagram fase Fe-C) membantu untuk memahami berbagai jenis fase yang ditemukan dalam baja dan berbagai perlakuan yang digunakan. Diagram fasa menunjukkan bagaimana besi dan paduan berinteraksi dalam keseimbangan. Komposisi dan suhu menunjukkan interaksi tersebut, dengan perbedaan suhu dan komposisi yang mempengaruhi struktur mikro.

Diagram fasa Fe-C yang ditunjukkan menunjukkan campuran padat (α , γ) dari δ -besi (δ), γ -austenit (γ), dan ferrit (α). Ferrit memiliki morfologi kristal BCC (*Body Centred Cubic*) dan austenit memiliki morfologi kristal FCC (*Face Centred Cubic*), sedangkan besi δ (δ) menunjukkan struktur FCC pada temperatur tinggi. Ketika kandungan karbon melebihi batas leleh, fase kedua yang disebut karbida besi atau sementit terjadi. Rumus kimia karbida besi adalah Fe_3C dan cenderung keras dan rapuh. Dengan karakteristik endapan sementit yang kuat, peningkatan kadar karbon dalam baja karbon akan meningkatkan sifat mekaniknya, terutama kekerasan, seperti yang ditunjukkan oleh diagram fasa Fe_3C di bawah ini (ichsan, 2021).



Gambar 2.7 Diagram Fasa Fe₃C (ichsan, 2021)

Diagram ini menunjukkan proses transformasi dari fasa *austenit* ke fasa *perlit*, kombinasi fasa *ferrit* dan *cementit*, pada temperatur mendekati 727°C. Reaksi pengendapan bersama adalah proses transformasi yang mendasari perlakuan panas pada baja. Selanjutnya, wilayah gamma-iron (gamma-iron) atau austenit terdapat pada kisaran suhu 912°C hingga 1394°C. Austenit dengan struktur kristal FCC (*face-centred cubic*) biasanya lunak, ulet, mudah dibentuk, dan stabil pada kondisi ini. Pada suhu sekitar 1148°C, besi gamma ini dapat melarutkan karbon hingga 2,11%, besi BCC memiliki tingkat larutan karbon yang sangat rendah; pada suhu 727°C, tingkat larutan maksimumnya adalah 0,77%.

I. Uji Kekerasan *Rockwell*

Ujian Kekerasan *rockwell* merupakan metode untuk menganalisis karakteristik material uji melalui penekanan pada permukaan objek yang diuji dengan menggunakan sebuah indentor. Proses ini dimulai dengan penerapan beban awal (beban minor), yang kemudian akan ditambah dengan beban utama (beban mayor). Setelah beban mayor dihentikan, beban minor masih harus tetap dipertahankan. Metode pengujian kekerasan *rockwell* berguna untuk mengetahui

tingkat kekerasan pada logam atau polimer. Dalam prosedur ini, digunakan bola atau kerucut untuk menekan objek yang diuji, sehingga menghasilkan bekas berupa lekukan (indentasi). Pada metode *rockwell*, selama proses pengujian, spesimen akan ditangani dengan alat yang dikenal sebagai penetrator, yang bisa berupa bola baja, berlian, dan lain-lain. Tingkat kekerasan ditentukan berdasarkan seberapa dalam indentor dapat menembus dan hasilnya bisa dibaca langsung di alat *rockwell* (Zulfandy, 2019).

Dengan memanfaatkan alat pengukur kekerasan, seseorang dapat mengukur tingkat kekerasan suatu bahan, contohnya baja. Tiga teknik utama yang umum digunakan dalam metode penekanan adalah *vickers*, *rockwell*, dan *brinell*. Setiap teknik tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Dalam pembahasan ini, metode *rockwell* yang akan digunakan untuk pengujian. Uji kekerasan *rockwell* dikenal luas karena sifatnya yang tidak merusak, tidak memerlukan lensa pembesar untuk membaca hasil, serta mudah dan cepat dilakukan. Selama proses pengujian, tekanan dilakukan pada permukaan objek yang diuji. Setelah beban awal (beban kecil) diterapkan, beban utama (beban besar) ditambahkan. Dengan rumus berikut, hasil pengujian dapat digunakan untuk menghitung nilai kekerasan melalui metode *rockwell*:

$$HR = E - e$$

Dimana :

HR = nilai kekerasan *rockwell* (HRC)

E = jarak antara penekatan saat diberi beban minor dengan garis acuan nol (*zero reference line*) untuk tiap jenis penekan.

e = perbedaan kedalaman pada permukaan material uji sebelum dan sesudah penambahan beban mayor dan beban minor.



Gambar 2. 8 Mesin Uji Kekerasan (Zulfandy, 2019)

J. Uji Tarik

Uji tarik adalah teknik yang umum digunakan untuk menilai ketahanan material dengan menempatkan tekanan dalam satu arah. Metode ini memberi tahu kita tentang kekuatan material, jadi hasilnya sangat penting untuk desain dan pengaturan barang. Pengujian tarik ini juga dapat digunakan untuk mengukur ketahanan material terhadap beban statis yang diterapkan secara bertahap (Julian, 2019).



Gambar 2. 9 Mesin Uji Tarik (Julian, 2019)

Rumus:

$$\sigma = \frac{f}{A}$$

Dimana:

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya(N)

A = Luas Penampang (mm²)

Regangan adalah persentase peningkatan panjang yang diperoleh dengan membagi panjang awal pengukuran objek uji dengan panjang yang telah diperpanjangnya (Irvan Septyan Mulyana, 2023).

Rumus :

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Dimana:

E = Regangan(%)

L_o = Panjang Awal (mm)

L_f = Panjang Akhir(mm)

Dalam kondisi beban tarik yang berkelanjutan, beban ditambahkan pada objek dengan cara yang menyebabkan perubahan bentuk, peningkatan panjang, pengurangan luas permukaan, hingga beban mengalami keruntuhan. Formula berikut dapat diterapkan untuk menggambarkan persentase penurunan yang terjadi.:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

σ = tegangan tarik (MPa)

E = modulus elastisitas (MPa)

ε = regangan (%)

K. Uji Struktur Mikro

Metalografi adalah disiplin ilmu yang berfokus pada logam dengan menggunakan mikroskop untuk mempelajari dan menggambarkan mikrostruktur dan topografinya, termasuk fase, ukuran, dan distribusi butiran, serta karakteristik dan sifat logam dan aloynya. Teknik metalografi memungkinkan untuk

mendapatkan data tentang struktur butiran logam. Metalografi dapat diuji dengan mikroskop optik (ASM, 1985). Struktur mikro merupakan kombinasi dari berbagai fase yang bisa dilihat melalui metode metalografi, menggunakan mikroskop optik dan juga mikroskop elektron.

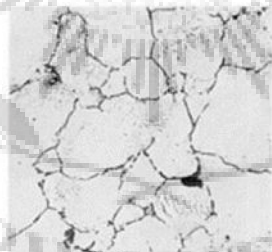
Menurut Toda, 2023 fasa yang terkandung dalam baja yaitu:

1. Ferrit

Ferrit merupakan larutan karbon yang berbentuk padat dan memiliki struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*). Ciri-ciri *ferrit* adalah tetap stabil pada suhu di bawah 98°C, tidak dapat dikeraskan karena kadar karbon yang relatif rendah, dengan kandungan karbon maksimum sebesar 0,0255, serta memiliki tingkat kekerasan 60-100 HBN.

2. Austenite

Austenit merupakan campuran karbon yang terdapat dalam bentuk padat dengan struktur kristal FCC. Beberapa karakteristiknya termasuk stabilitas pada suhu 1350°C, kemampuan untuk diperkeras, dapat ditempa, dan memiliki volume spesifik yang lebih kecil daripada struktur mikro lainnya. Di samping itu, *austenit* juga menunjukkan tingkat kekerasan antara 170 hingga 200 HBN.



Gambar 2. 10 Strukur Mikro *Austenit* (Toda, 2023)

3. Perlit

Perlit adalah gabungan *ferrit* dan *cementit* yang dilapisi dalam bentuk butiran dan memiliki tingkat kekerasan (10–30) HRC. *Perlit* kasar dihasilkan oleh pendinginan yang lambat, sedangkan pendinginan yang cepat menghasilkan *perlit* yang lebih halus. Baja dengan struktur mikro perlit kasar lebih lemah.



Gambar 2. 11 Struktur Mikro *Perlit* (Toda, 2023)

4. *Bainite*

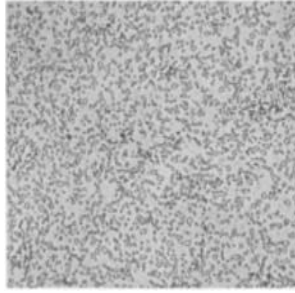
Produk transformasi austenit merupakan campuran *ferrit* dan sementit yang menyerupai *lath*, yang muncul dalam kondisi transisi dari situasi yang menghasilkan *perlit* dan martensit. *Bainit* biasanya dibedakan menjadi *bainit* atas dan *bainit* bawah. *Bainit* atas terbentuk secara isothermal atau selama proses pendinginan berkelanjutan pada suhu sedikit di bawah titik yang menghasilkan bainit. *Bainit* bawah kemudian terbentuk pada suhu yang lebih rendah sampai suhu M_s atau sedikit di bawah titik tertentu. Mengingat bahwa baja dengan suhu 0,8% C perlahan didinginkan dari daerah austenit dan bahwa kelarutan maksimum karbon dalam *ferrit* sangat kecil pada suhu kamar, fraksi volume *ferrit* dan *perlit* dapat diperkirakan. Pada baja karbon rendah, *ferrit* terbentuk sebelum reaksi eutektoid yang menghasilkan *perlit*, dan disebut sebagai *ferrit proeutektoid*. Di bawah sekitar 0,4% C, *ferrit proeutektoid* muncul sebagai bercak yang sama sumbu dan berfungsi sebagai fase kontinu.



Gambar 2. 12 Struktur Mikro *Bainite* (Toda, 2023)

5. *Sementit*.

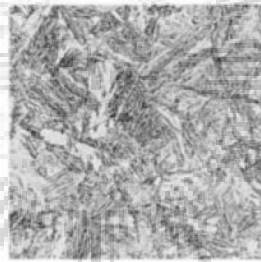
Senyawa Besi dan 6,67% karbon membentuk *sementit*, juga dikenal sebagai karbida. kerapuhan magnetik, karakteristik stabil di bawah 150°C.



Gambar 2. 13 Struktur Mikro *Sementit* (Toda, 2023)

6. *Martensit*

Ketika *austenit* yang memiliki struktur kristal BCT (tetragonal berpusat badan) mengalami pendinginan mendadak, *martensit* terbentuk, yang merupakan larutan padat antara karbon dan besi. *Martensit* ditandai dengan sifat-sifat seperti keras secara magnetis, rapuh, memiliki kadar karbon lebih dari 0,2%, stabil pada suhu di bawah 150°C, tidak efisien dalam menghantarkan panas dan listrik, serta memiliki tingkat kekerasan antara 700 hingga 850 HBN.



Gambar 2. 14 Struktur Mikro *Martensit* (Toda, 2023)