

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi Baja S45C

Standar JIS dikembangkan oleh Komite Standar Industri Jepang, yang merupakan bagian dari Kementerian Perdagangan dan Industri Internasional di Tokyo. Spesifikasi baja JIS dimulai dengan huruf besar JIS dan diikuti dengan huruf besar (G untuk baja karbon dan baja paduan rendah) yang menunjukkan pembagian (bentuk produk) standar.

Baja merupakan material yang mudah berubah bentuk dan harga yang relatif terjangkau; oleh karena itu, baja adalah yang paling banyak digunakan. Berbagai jenis baja berbeda menurut kekuatan, kekerasan, elastisitas, ketangguhan, kemampuan las, sifat mampu bentuk dingin dan panas, serta ketahanan terhadap korosi. Baja konstruksi menyumbang 90% dari seluruh pembuatan baja; baja konstruksi digunakan untuk memproduksi batang baja Untuk segala jenis konstruksi seperti jembatan, tower, gedung tinggi, dll (Firmansyah & Irfa'i, 2014).

Baja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja JIS S45C. JIS S45C Ini adalah baja karbon menggunakan standar JIS. JIS atau Jepang Industrial Standard merupakan standar kegiatan industri di Jepang. JIS Baja S45C merupakan baja karbon yang termasuk dalam baja karbon sedang S45C berarti baja memiliki kode S diikuti dengan nomor unsur kimianya, 45C menunjukkan bahwa baja mengandung unsur $\pm 0,45\%$ karbon di dalamnya. Dengan kandungan karbon 0,3-0,6% Memungkinkan baja S45C dikeraskan perlakuan panas yang tepat (Ishida & Kida, 2016).

Baja S45C banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan poros dan komponen mesin lainnya. Bahan ini banyak digunakan karena harganya murah dibandingkan bahan lainnya. Baja S45C adalah baja yang diproduksi oleh Bohler. Baja ini mirip dengan beberapa baja lainnya seperti AISI 1045, DIN C45W, HITACI NS1045, ASSAB7 760, dan THYSSEN 1730. Baja karbon ini memiliki sejumlah elemen karbon, silium, dan mangan yang sama, tetapi diproduksi oleh pabrik dan menggunakan standar yang berbeda satu sama lain (Golwa et al., 2022).

Tabel 2. 1 Komposisi Unsur Kimia Baja S45C (Ishida & Kida, 2016)

No	Unsur Kimia	Jumlah Kandungan
1	Carbon (C)	0,42 % - 0,50 %
2	Iron (Fe)	97,74 %
3	Mangan (Mn)	0,50 % - 0,80 %
4	Fosfor (P)	0,035 %
5	Sulfur (S)	0,035 %

Tabel 2. 2 Data Mekanik Baja S45C (Ishida & Kida, 2016)

No	Data	Nilai
1	<i>Hardness Brinnel</i> (HB)	137 – 170
2	temperatur Kritis AC	720 – 780°C
3	temperatur Kritis Ar	689 – 750°C

Dari data tersebut terlihat dengan kandungan karbon sebesar 0,42% hingga 0,50% maka baja S45C tergolong baja karbon sedang. Karena ini tergolong baja karbon sedang, oleh karena itu proses pemanasannya dapat dilakukan dilakukan pada baja karbon S45C untuk menyesuaikan sifat mekanik material dengan kebutuhan elemen mesin. Perbaiki karakteristik ini dilakukan untuk memudahkan pemesinan, perakitan, ketahanan dan kerusakan fatal pada material. Baja S45C banyak digunakan dalam dunia industri khususnya pada bidang otomotif sebagai bahan baku pembuatan komponen-komponen seperti roda gigi, poros, *conecting rod*, *piston pin*, *crankshaft* (Ishida & Kida, 2016)

Huruf ini diikuti dengan rangkaian angka dan huruf yang menunjukkan baja tertentu dibawah ini merupakan komposisi dari baja karbon (ASM International, 1933):

Tabel 2. 3 Komposisi Baja Karbon (ASM International, 1933)

Nearest SAE grade	JIS number	Composition

		C	Si	Mn	P	S	
1045	S45C	0,42 - 0,48	0,15-0,45	0,60-0,90	0,030	0,035	

Perbedaan presentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi kedalam tiga macam yaitu (ASM International, 1933) :

1. Baja Karbon Rendah

Baja jenis ini mempunyai kandungan karbon di bawah 0,25%. Baja karbon rendah tidak merespon pada perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk mengubah struktur mikronya menjadi *martensit*. Penguatan (*strengthening*) dapat dilakukan dengan perlakuan dingin Struktur mikro baja karbon rendah terdiri dari unsur pokok ferit dan perlit, karena itu baja ini relatif lunak dan lemah tapi sangat bagus pada kelenturannya dan kekerasannya serta baja jenis ini machinable dan kemampuan yang baik (Ishida & Kida, 2016).

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon antara 0,25 dan 0,60%. Baja jenis ini dapat diberi perlakuan panas *austenizing*, *quenching*, dan *tempering* untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Baja karbon sedang memiliki kemampuan keras yang rendah serta dapat berhasil diberi perlakuan panas hanya di bagian-bagian yang sangat tipis dan dengan rasio *quenching* yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel dan molybdenum dapat memperbaiki kapasitas logam ini untuk diberikan perlakuan panas, untuk menaikkan kekuatankelenturannya yang berdampak pada penurunan nilai kekerasannya. Baja karbon ini dipakai untuk gears, crankshafts, dan bagian-bagian mesin lainnya yang membutuhkan kombinasi dari kekuatan tinggi, tahan aus dan keras (Ishida & Kida, 2016) .

3. Baja Karbon Tinggi

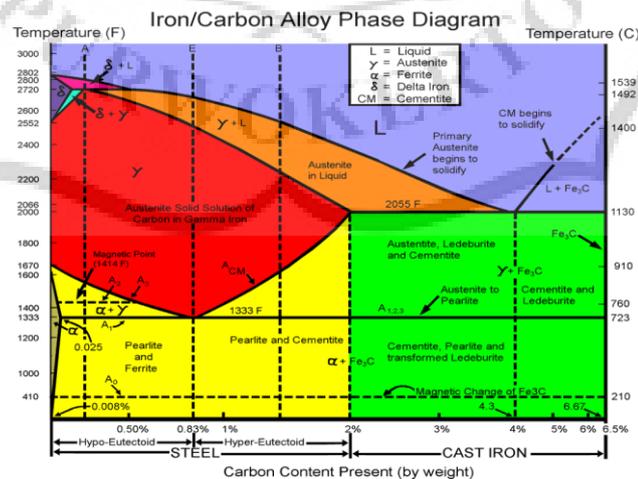
Baja karbon tinggi biasanya memiliki kandungan karbon antara 0,60 dan 1,40%. Baja karbon tinggi adalah baja yang paling keras dan kuat serta paling rendah kelenturannya di antara baja karbon lainnya. Baja ini mempunyai tegangan

tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah pembuatan kawat baja dan kabel baja (Ishida & Kida, 2016) .

Baja karbon biasanya mengandung kandungan karbon kurang dari 1,5% dengan sedikit kandungan Mn, Si, P dan S. Berdasarkan persentase karbonnya, klasifikasinya dibagi lagi menjadi tiga bentuk, yaitu baja karbon rendah (<0,25% C), baja karbon sedang (0,25–0,70% C) dan baja karbon tinggi (0,70– 1,05% C). Variasi persentase kandungan karbon memungkinkan untuk mencapai sifat mekanik yang berbeda seperti kekuatan, keuletan, kekerasan, dll. Berdasarkan sifat baja, terkait dengan kandungan karbon, baja karbon polos dibagi lagi menjadi grade tertentu, seperti grade 1008 (0,08 wt% C), yang baik untuk dibentuk dan memiliki keuletan yang baik; grade 1018 (0,18 wt% C), berguna untuk aplikasi umum dan baik untuk pengelasan; grade 1030 (0,30 wt% C), yang memiliki kemampuan pengerasan rendah; grade 1045 (0,45 wt% C), yang dapat digunakan dalam transmisi dan transmisi daya; dan X-65, yang merupakan grade mulus dan dapat dilas (Dwivedi et al., 2017).

4. Diagram Fasa Fe-C

Diagram Fe-C atau diagram keseimbangan besi karbon adalah diagram parameter yang digunakan untuk mengetahui semua jenis fasa yang ada pada baja dan mengetahui faktor-faktor yang terdapat pada baja paduan dengan segala perlakuan.



Gambar 2. 1 Diagram Fasa Fe-C (Aliffiansyah, 2020)

Seperti terlihat pada Gambar di atas, pada temperatur 723 °C, fasa austenit berubah menjadi fasa perlit. Transisi fase ini disebut reaksi eutektoid dan adalah langkah perlakuan panas. Kemudian, pada temperatur antara 910°C dan 1400°C, terdapat daerah gamma (γ -Fe) atau austenitik. Pada kondisi tersebut fasa austenitik mempunyai struktur kristal yang stabil, lunak, ulet, dan mudah dibentuk yang disebut FCC (face-centered cube). Unsur karbon maksimum yang dapat larut dalam besi gamma mencapai 2,14% C pada temperatur 1147 °C. Selain itu, BCC dapat menggabungkan karbon hingga 0,02% C pada temperatur yang sama. Pembentukan besi delta (δ -Fe) terjadi ketika struktur besi gamma berubah dari FCC menjadi BCC dengan meningkatnya temperatur dari 1400°C menjadi 1539 °C. Oleh karena itu, besi delta kehilangan kemampuannya pada tahap ini hanya menyerap 0,05% C.

Berikut ini adalah istilah yang sering digunakan pada diagram fasa Fe-C antara lain :

- a. Sementit (besi karbida) adalah senyawa interstisial 6.67%C. yang memiliki kekuatan rendah dan sangat keras dan rapuh.
- b. Austenit merupakan larutan padat karbon dalam besi gamma, yang memiliki ketangguhan tinggi dan biasanya tidak stabil pada temperatur kamar.
- c. Ledeburit merupakan campuran eutektik austenit dan sementit yang mengandung 4,3% C dan terbentuk pada temperatur 1130 °C.
- d. Ferit adalah larutan padat karbon dalam besi alfa. Kelarutan maksimum karbon adalah 0,025% pada 723 °C, tetapi hanya 0,008% pada temperatur kamar. Kekuatan rendah, keuletan tinggi, kekerasan sedang.
- e. Perlit merupakan campuran eutektoid dari sementit dan ferit yang mengandung 0,8% C dan terbentuk pada 723 °C.
- f. temperatur kritis bawah (lower critical temperatur) merupakan eutektoid dari temperatur dan tampak sebagai garis horizontal pada diagram Fe-C pada temperatur 723°C. Pada temperatur ini terjadi reaksi eutektoid.
- g. Superkritis adalah temperatur awal di mana perubahan alotropik dari gamma ke alfa terjadi saat pendinginan atau, sebaliknya, saat pemanasan. (Ambiyar dan Putra, Z.A.2007).
- h. Garis *solvus* adalah batas kelarutan karbon pada *austenite*

- i. Bainit merupakan fasa tidak stabil yang terbentuk dari austenit. Ketika temperatur turun di bawah temperatur transformasi, bainit menjadi perlit. Jika temperatur lebih tinggi dari temperatur transformasi maka menjadi martensit. Ada dua jenis bainit. Bainit yang terbentuk pada temperatur rendah disebut bainit bawah, dan bainit yang terbentuk pada temperatur lebih tinggi disebut bainit atas.
- j. Martensit adalah larutan karbon padat, dan karbon jenuh dengan besi alfa, mengakibatkan deformasi kisi sel satuan. Sifat ini sangat keras dan dicapai selama proses pendinginan pada laju pendinginan yang sangat cepat di atas temperatur kritis temperatur austenit .

Dengan mempelajari diagram ini, Anda dapat memeriksa struktur mikro dari paduan tersebut dan dari sana menentukan sifat-sifat baja .

B. Heat Treatment

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah kombinasi operasi pemanasan pada logam di bawah temperatur lebur logam tersebut dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh sifat yang diinginkan dengan merubah struktur mikronya. Struktur yang terjadi pada akhir suatu proses laku panas, selain ditentukan oleh komposisi kimia dari material dan proses laku panas yang dialami juga ditentukan oleh struktur awal material. Paduan dengan komposisi kimia yang sama, dan mengalami proses laku panas yang sama, mungkin akan menghasilkan struktur mikro dan sifat yang berbeda bila struktur awal materialnya berbeda. Struktur awal ini banyak ditentukan oleh pengerjaan dan laku panas yang dialami sebelumnya. Disamping itu dasar-dasar semua proses laku panas melibatkan transformasi dan dekomposisi austenit (ASM International, 1933).

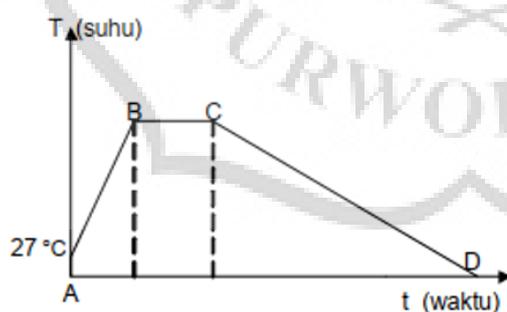
Langkah pertama dalam proses laku panas baja adalah memanaskan material sampai temperatur tertentu atau di atas temperatur daerah kritis untuk membentuk fasa austenit. Kemudian diberi waktu penahanan agar austenit dapat lebih homogen baru setelah itu dilakukan proses pendinginan. Proses pendinginan dilakukan dengan cermat agar benda kerja tidak mengalami cacat retak setelah mengalami proses ini. Variasi tipe proses perlakuan panas di atas adalah sama karena seluruh

proses perlakuan panas hanya melibatkan proses pemanasan yang membedakannya adalah temperatur pemanasan dan laju pendinginannya. Proses pemanasan dan kecepatan laju pendinginan ini sangat mempengaruhi hasil akhir dari proses perlakuan panas, dalam proses perlakuan panas ada tiga tahapan yang paling utama di antaranya tahap pemanasan, tahap penahanan, dan tahap pendinginan (Pramono, 2011)

a. Annealing

Annealing adalah suatu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dilakukan terhadap logam atau paduan. Prinsip *annealing* adalah memanaskan baja sampai diatas temperatur kritis, kemudian dilakukan *holding time*, dan proses pendinginan didalam tungku dilakukan dengan lambat hingga temperatur kamar. Jenis *annealing* itu beraneka ragam, tergantung pada kondisi benda kerja, temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (*cooling rate*), dan lain sebagainya. Tujuan dari *heat treatment annealing* adalah untuk (Rohman, 2014) :

1. Memperbaiki keuletan dan machineability.
2. Menurunkan ketidak homogenan stuktur.
3. Memperhalus ukuran butir.
4. Mengurangi tegangan sisa



Keterangan:

- A-B = Proses pemanasan awal hingga temperatur.
- B-C = Waktu tahan pada temperatur isothermal
- C-D = Proses full annealing

Gambar 2. 2 Siklus *annealing* (Anom Yogantoro, 2010)

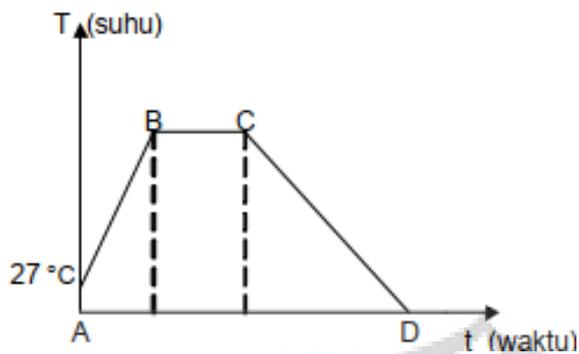
Ketika kekerasan baja meningkat selama pengerjaan dingin, keuletan menurun dan reduksi dingin tambahan menjadi sangat sulit sehingga material harus dianil untuk mengembalikan keuletannya. Anil antara langkah-langkah pemrosesan

disebut sebagai dalam proses atau hanya proses anil. Ini mungkin terdiri dari pengobatan yang tepat. Namun dalam sebagian besar kasus, perlakuan subkritis sudah memadai dan paling murah, dan istilah anil proses tanpa kualifikasi lebih lanjut biasanya mengacu pada anil subkritis yang sedang dalam proses (ASM International, 1990).

Menunjukkan kisaran temperatur yang biasanya digunakan untuk proses anil. Seringkali diperlukan untuk menentukan proses anil untuk bagian-bagian yang dibentuk dingin dengan cara dicap, diposkan, atau diekstrusi. Baja karbon tinggi dan baja paduan yang dikerjakan dengan panas juga melalui proses anil untuk mencegah retak dan melunakkannya untuk dicukur, diputar, atau diluruskan. Proses anil biasanya terdiri dari pemanasan hingga temperatur di bawah A_{c1} , perendaman selama waktu tertentu, dan kemudian pendinginan, biasanya di udara. Dalam kebanyakan kasus, pemanasan hingga temperatur antara 10 dan 20 °C (ASM International, 1990).

2. Normalizing

Normalisasi baja adalah proses perlakuan panas yang sering dipertimbangkan dari sudut pandang pemrosesan termal dan mikrostruktur. Secara istilah pemrosesan termal, normalisasi didefinisikan sebagai pemanasan paduan besi hingga temperatur yang sesuai di atas kisaran transformasi dan kemudian mendinginkannya di udara hingga mencapai temperatur yang signifikan di bawah rentang transformasi. Praktik normalisasi yang baik mensyaratkan bahwa: potongan yang sedang dirawat dipanaskan secara merata butiran ferit primer. Hal ini disebabkan oleh kisaran temperatur yang lebih rendah, itu akan lebih halus dan pada temperatur yang cukup tinggi untuk menyebabkan transformasi lengkap ferit menjadi austenit. Ia bertahan pada temperatur ini cukup lama untuk mencapai temperatur yang seragam di seluruh massanya. Diiijinkan mendingin di udara tenang atau dengan cara yang terkendali (seperti terowongan dengan kipas pendingin) untuk menghasilkan struktur mikro yang diinginkan (Rajan et al., 2011)



Keterangan:

A-B = Proses pemanasan awal hingga temperatur

B-C = austenit. Waktu tahan pada

C-D = temperatur isothermal

Proses *normalizing*

Gambar 2. 3 Proses *normalizing* (Anom Yogantoro, 2010)

3. Hardening

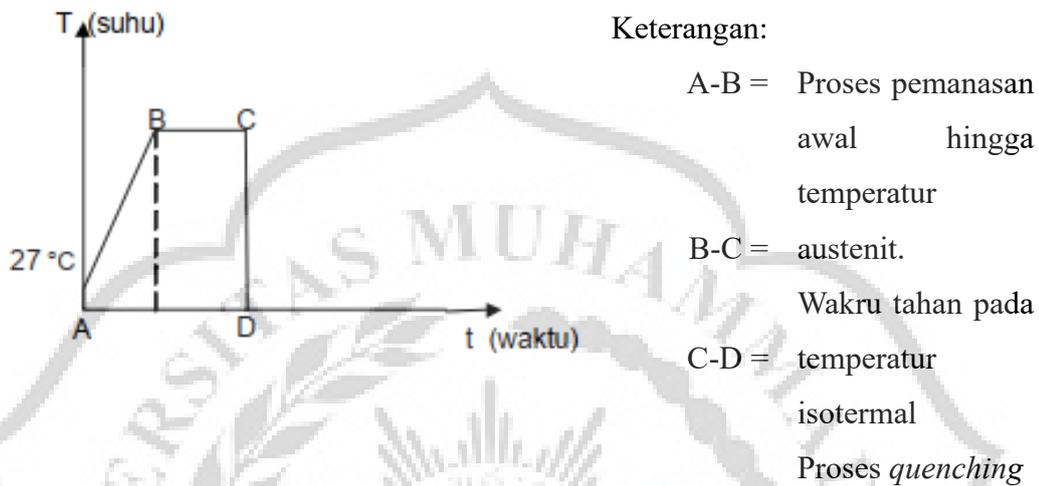
Hardening adalah proses pemanasan dengan tujuan mendapatkan kekerasan dari material. Dalam proses ini, baja pertama-tama dipanaskan sampai temperatur kritis atau lebih, dan kemudian didinginkan dengan cepat. Dalam setiap proses perlakuan panas, kecepatan pendinginan merupakan faktor penting (Pramono, 2011).

Metode ini dapat digunakan agar kekerasan pada baja meningkat tanpa mengubah komposisi kimia secara menyeluruh. Proses tersebut melibatkan pemanasan hingga austenisasi yang kemudian didinginkan pada kecepatan tertentu agar sifat yang diinginkan dapat tercapai. Proses pendinginan tergantung pada media *quenching* yang digunakan dan kecepatan pendinginan. Untuk tingkat pendinginan yang cepat, maka dapat diperoleh kekerasan yang tinggi tetapi getas, sebaliknya tingkat pendinginan yang lambat akan diperoleh sifat yang lunak tetapi ulet (ASM International, 1990).

4. Quenching

Dalam proses *quenching* terdapat dua faktor yang terlibat dan saling terkait. Pertama yaitu proses yang digunakan dan jenis media pendingin, kedua adalah kekerasan logam (Czerwinski, 2012). *quenching* merupakan proses mendinginkan logam dengan kecepatan yang sangat tinggi. Dalam proses *quenching* terjadi pendinginan yang sangat cepat dan terjadi perubahan dari fasa *austenite* menjadi *bainite* dan *martensite* sehingga diperoleh tingkat kekerasan dan ketangguhan yang

tinggi. Proses pengerasan dengan cara *quenching* hampir sepenuhnya tergantung dengan kadar karbon dan laju pendinginan tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis. Media yang digunakan yaitu air, air garam, oli, air-polymer dan lain-lain (Pramono, 2011).



Gambar 2. 4 Proses *quenching* (Anom Yogantoro, 2010)

5. Tempering

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah temperatur kritis), yang kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan (Handoyo, 2015). Logam yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui perlakuan ini kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedangkan keuletan dan ketangguhan logam akan meningkat (Pramono, 2011).

Keterangan:

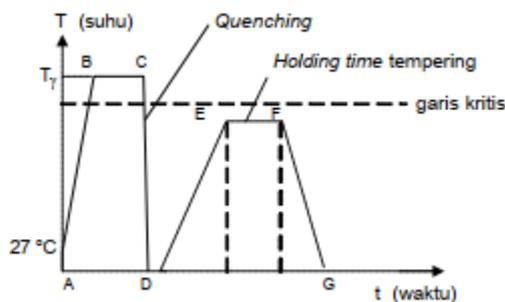
A-B-C-D = Proses *quenching*.

D-E = Proses pemanasan awal hingga temperatur di bawah kritis.

Waktu tahan pada

E-F = temperatur isoterma

Temperatur isothermal.



F-G = Proses pendinginan normal.

Gambar 2. 5 Proses *tempering* (Anom Yogantoro, 2010)

Tempering baja adalah suatu proses dimana baja yang telah dikeraskan atau dinormalisasi sebelumnya dipanaskan ke temperatur di bawah temperatur kritis yang lebih rendah dan didinginkan pada laju yang sesuai, terutama untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan tetapi juga untuk meningkatkan ukuran butir matriks *tempering* biasanya mengikuti quench *hardening* dan secara historis dikaitkan dengan perlakuan panas martensit pada baja; namun, *tempering* juga digunakan untuk menghilangkan stres dan mengurangi kekerasan yang timbul selama pengelasan dan untuk menghilangkan stres yang disebabkan oleh pembentukan dan permesinan proses *tempering* sangat bergantung pada hubungan waktu-temperatur. Tidak pantas pemilihan parameter proses ini mempengaruhi sifat mudah marah, penghilangan stres yang tidak optimal, sifat mekanik, dan transformasi mempertahankan austenit. temperatur dan waktu juga adalah variabel yang saling bergantung dalam *tempering* proses (ASM International, 1990).

6. Holding Time

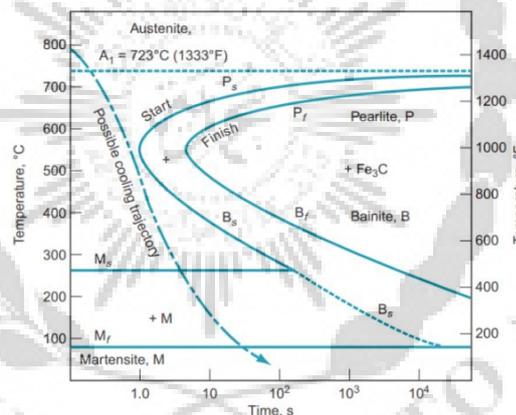
Holding time merupakan proses menahan temperatur dengan jangka waktu yang ditentukan agar perubahan struktur dan temperaturnya merata. Proses ini bertujuan agar menghasilkan tingkat kekerasan yang tinggi dari spesimen ketika proses pemanasan dengan memberikan waktu tahan pada temperatur tertentu agar panas merata sehingga struktur *austenitenya* homogen dan terjadi kelarutan karbida. *Holding time* sangat mempengaruhi masa transisi, dikarenakan apabila waktu tahan yang diberikan tidak tepat maka transisi yang dihasilkan tidak sempurna dan tidak merata. Waktu penahanan yang terlalu cepat juga menyebabkan kekerasan menjadi rendah karena jumlah karbida terlarut tidak mencukupi (Yaksa, 2019).

C. Diagram Time-Temperatur-Transformation (TTT)

Tujuan utama pemanasan suatu bahan adalah untuk memperoleh struktur bahan yang sesuai dengan penggunaan bahan tersebut. Struktur yang diperoleh merupakan

transformasi dari struktur awal bahan yang dipanaskan. Beberapa transformasi dapat dilihat pada diagram fase. Diagram Fe3C dapat digunakan untuk memperkirakan transformasi pada kondisi seimbang. Untuk kondisi tidak seimbang diagram tidak dapat digunakan.

Diagram *Time temperature Transformation* Pada setiap kondisi transformasi fasa sebaiknya menggunakan diagram TTT (*Time temperature Transformation*). Diagram ini menunjukkan transformasi austenit per satuan waktu pada temperatur tertentu dan juga dapat melihat sifat dan struktur material yang telah *diquenching* pada diagram ini. Laju pendinginan yang mempengaruhi transformasi austenit dapat digambarkan dalam diagram ini untuk baja tertentu. Diagram TTT menunjukkan kombinasi beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari perlakuan panas yang dilakukan pada spesimen yang dipanaskan hingga temperatur austenit kemudian didinginkan dengan cepat (Behrens et al., 2018).



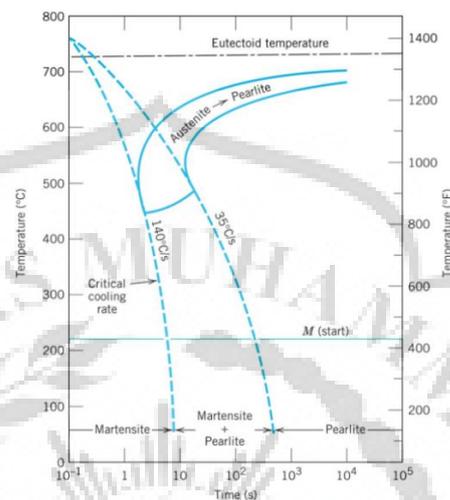
Gambar 2. 6 Diagram *Time temperature Transformation* (Behrens et al., 2018)

Struktur yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan struktur yang lebih besar atau lebih kasar. Struktur cenderung lebih kasar akan menghasilkan nilai kekuatan yang lebih besar rendah dibandingkan dengan struktur yang lebih halus (Behrens et al., 2018).

D. Continuous Cooling Transformation

Perlakuan panas bukanlah sesuatu yang praktis untuk dilakukan tetapi perlu didinginkan hingga temperatur kamar. Biasanya pendinginan ini kontinu sehingga diagram harus dimodifikasi sesuai dengan transformasi ketika temperatur terus

berubah. Demikian kurvanya isothermal bergeser ke arah waktu yang lebih lama dengan temperatur yang lebih tinggi kurva modifikasi rendah yang menunjukkan kondisi dan kondisi awal tujuan ini disebut diagram transformasi pendinginan berkelanjutan. (Halmešová et al., 2022)



Gambar 2. 7 Diagram *Continuous Cooling Transformation* (Halmešová et al., 2022)

Mendinginkan bahan dengan kecepatan tinggi hingga mencapai temperatur kamar menyebabkan transformasi austenit menjadi martensit yang benar-benar terstruktur (Halmešová et al., 2022)

E. Pengujian Logam

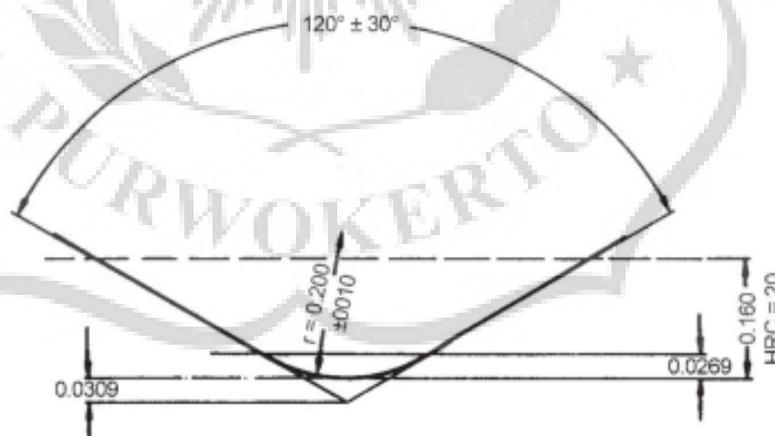
1. Pengujian Kekerasan

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketangguhan suatu material ketika diberikan pembebanan. Kekerasan suatu material dapat dianalisis dengan jumlah beban yang diterapkan ke area yang dibebani. Kekerasan (*Hardness*) yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa penetrasi dan kekuatan (*Strength*) yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa tegangan tanpa mengalami patah. Kedua sifat mekanik logam tersebut diatas merupakan sifat mekanik yang menyatakan kemampuan suatu logam atau material dalam menerima suatu beban atau gaya tanpa mengalami kerusakan pada logam tersebut. Untuk mengetahui konsep-konsep sifat mekanik diatas dilakukan uji-uji mekanik yang terdiri dari uji kekerasan (*Hardness Test*) yang berupa uji kekerasan micro vickers dimana dalam pengujian kekerasan mikro itu digunakan indentor Vickers dan

dilaksanakan berdasarkan standar ASTM E384 (Rauf et al., 2018). Pengujian dilakukan dengan menekan spesimen uji dengan pembebanan tertentu kemudian hasil tekanan yang terbentuk dipermukaan spesimen diukur. Uji kekerasan sering digunakan untuk industri pemesinan karena prosesnya yang mudah untuk mendapatkan nilai kekerasan suatu material. Uji kekerasan dengan metode penekanan dapat dibagi menjadi 3 jenis sebagai berikut (ASTM E384-17, 2017):

a. Metode *Rockwell*

Karena kesederhanaan realisasinya dan sedikit waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengukuran, prosedur ini (masing-masing Referensi 5 dan 8) adalah metode yang paling banyak diterapkan di dunia. Indentor berupa kerucut lingkaran siku-siku dengan ujung berlian bulat (kerucut lingkaran, 120° ; jari-jari kelengkungan, 0,200 mm, atau 0,008 inci), ditunjukkan pada Gambar 2, atau bola yang terbuat dari logam keras (diameter bola, 1,5875 mm, atau 0,0625 inci, dan 3,175 mm, atau 0,125 inci, dan, jika diwajibkan oleh spesifikasi produk, juga 6,350 mm, atau 0,25 inci, dan 12,70 mm, atau 0,5 inci) (Herrmann, 2011).



Gambar 2. 8 Indentor berbentuk kerucut menurut *Rockwell* (Herrmann, 2011).

Dengan persamaan berikut pengujian dapat menentukan besarnya nilai kekerasan dari metode *Rockwell* :

$$HR = E - e \quad (2.1)$$

Keterangan :

- HR = nilai Kekerasan *Rockwell* (HRC)
- E = jarak antara penekan 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.

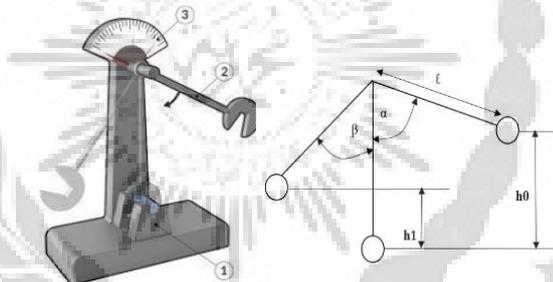
b. Pengujian Impact

Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas perlu adanya pengujian serta mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, antara lain kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa dan lain-lain. Ketangguhan (impak) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan. Pada pengujian tarik dan kekerasan pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan, sedangkan pada pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material dimana pembebanan datang secara tiba-tiba (Saragi et al., 2023).

Ketangguhan suatu material terhadap beban tiba-tiba (kejut) penting dalam proses produksi untuk mengetahui sejauh mana material tersebut digunakan dalam pemakaian di kehidupan sehari-hari. Pengujian logam dan non-logam dapat dilakukan dengan pengujian standar dan tentunya ini belumlah cukup hingga diperlukan pengujian sesungguhnya dalam pemakaiannya. Untuk pengujian standar dapat dilakukan di laboratorium untuk melihat dan mensimulasikan kondisi-kondisi yang diinginkan maupun kondisi buatan termasuk didalamnya takikan, lubang, karat, dan retak tarik dan penentuan sifat mekanis ini haruslah memenuhi syarat kimia, teknologi, dan ekonomi sehingga bisa lebih menguntungkan (Saragi et al., 2023). *Impact test* atau pengujian tumbukan adalah salah satu cara mengetahui dan menganalisa sifat mekanik material, dalam hal ini ketangguhan material dan dalam penggunaannya dalam dunia industri nantinya. Material dapat

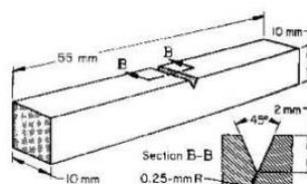
diseleksi sebelum melakukan kegiatan produksi sehingga dalam pemakaian sudah dapat diketahui material itu layak digunakan atau tidak (Boangmanalu et al., 2023)

Ada dua jenis standar pengujian impak yang didesain dan masih digunakan sampai sekarang untuk mengukur energi impak yang biasa disebut dengan ketangguhan akibat takikan (*notch toughness*) yakni cara *Charpy* dan cara *Izod*. Pada cara *Izod*, banyak digunakan di Eropa terutama Inggris dan merupakan cara dimana spesimen berada pada posisi vertikal pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Tumbukan pada spesimen dilakukan tidak tepat pada pusat takikan melainkan pada posisi agak di atas dari takikan. Pada metode ini banyak digunakan di Amerika Serikat dan merupakan cara pengujian dimana spesimen dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada spesimen diletakkan di tengah-tengah dengan arah pembebanan tepat di atas takikan (Boangmanalu et al., 2023).



Gambar 2. 9 Ilustrasi uji impak(Boangmanalu et al., 2023).

Untuk mendapatkan hasil yang menguatkan, maka batang uji harus distandarisasi terlebih dahulu, baik ukuran dan tipe takikannya. Standar yang digunakan yaitu ASTM E 23 yang mempunyai luas penampang melintang berupa bujursangkar (10 x 10 mm) dan memiliki *notch* $V=45^\circ$, dengan jari-jari dasar 0.25 mm dan kedalaman 2 mm, seperti yang tampak pada gambar berikut ini (ASTM, 1982):



Gambar 2. 10 Bentuk spesimen ASTM E23 (ASTM, 1982)

a. Impack *Charpy*

Pengujian impak akan mengetahui energi yang diserap, energi tersebut biasanya dinyatakan dalam satuan joule dan dapat diketahui secara pada dial (skala) yang sudah dikalibrasi. Pada pengujian impak, terdapat dua metode, yang bisa digunakan yaitu *charpy* dan *izod*. Untuk mengetahui energi yang diserap dan harga impak (HI) dapat kita lihat pada persamaan berikut:

$$\text{Energi yang Diserap (E)} = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (J)} \quad (2.2)$$

Keterangan

m = Massa Pendulum (kg)

g = Gravitasi 9,81 m/s

R = Jarak lengan pendulum (m)

α = Sudut posisi awal pendulum

β = Sudut posisi akhir pendulum

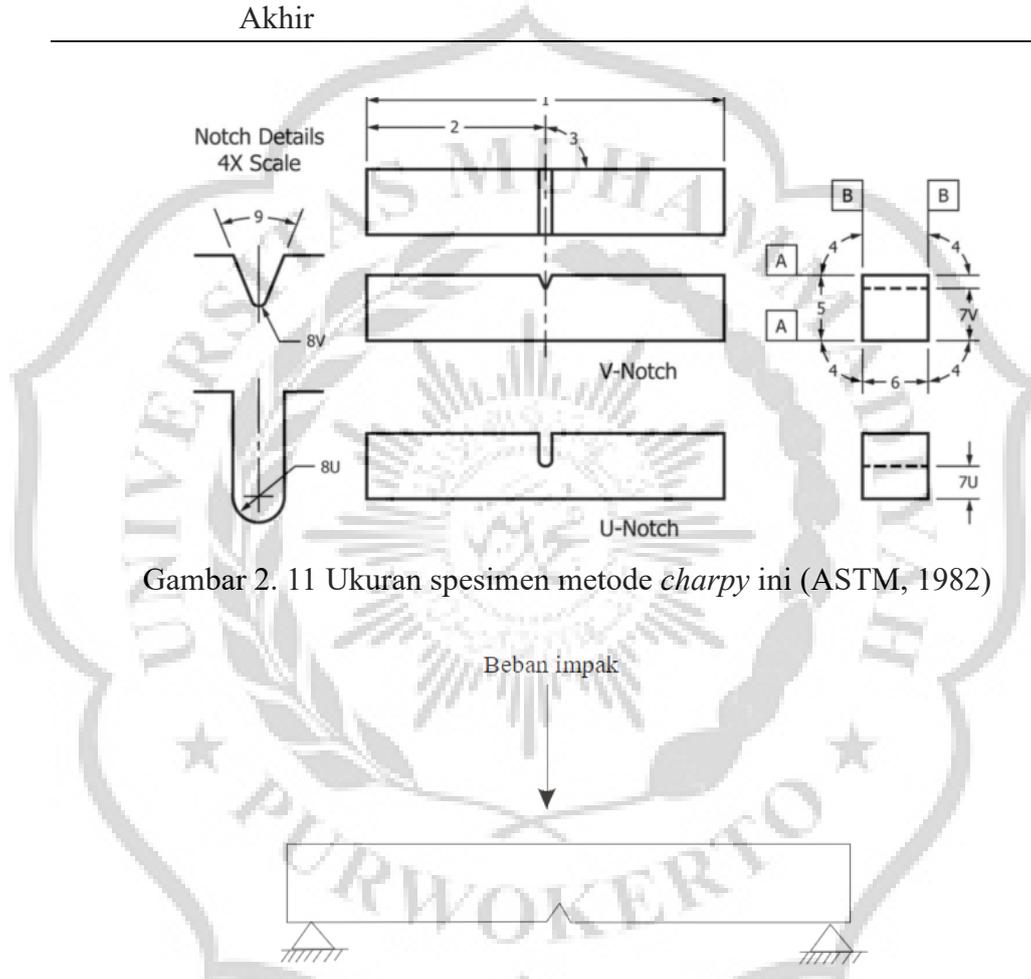
$$\text{Harga Impak (HI)} = \frac{\text{Energi yang diserap (E)(J)}}{\text{Luas penampang di bawah takik (A)(mm}^2\text{)}} \quad (2.3)$$

Specimen uji impak memiliki 2 jenis standart, yaitu ASTM E-23 pengujian yang digunakan adalah *Charpy* dimana pengujian tersebut dikembangkan oleh Amerika. Kemudian standart yang kedua Metode *Izod* yang dikembangkan oleh peneliti dari Eropa. Secara umum benda uji impak dikelompokkan ke dalam dua golongan sampel standar yaitu : batang uji *charpy* yang biasanya digunakan di Amerika sedangkan batang uji *izod* digunakan di Inggris dan Eropa

Tabel 2. 4 Ukuran spesimen metode *charpy* ini (ASTM, 1982)

No	Deskripsi	Dimensi	Toleransi
1	Panjang Spesimen	55 mm	+0/-2.5 mm
2	Pemusatan takik		± 1 mm
3	Panjang takik ke tepi	90°	± 2 mm
4	Sudut sisi yang berdekatan	90°	$\pm 0.17^\circ$
5	Lebar	10 mm	± 0.075
6	Ketebalan	10 mm	± 0.075
7V	Panjang ligamen, Tipe V	8 mm	± 0.025

7U	Panjang ligamen, Tipe U	5 mm	± 0.075
8V	Radius Takik, Tipe V	0.25 mm	± 0.025
8U	Radius Takik, Tipe U	1 mm	± 0.025
9	Sudut Takik	45°	$\pm 1^\circ$
A	Persyaratan Permukaan Akhir	$2 \mu\text{m (Ra)}$	\leq
B	Persyaratan Permukaan Akhir	$4 \mu\text{m (Ra)}$	\leq



Gambar 2. 11 Ukuran spesimen metode *charpy* ini (ASTM, 1982)

Gambar 2. 12 Spesimen metode *charpy* (ASTM, 1982)

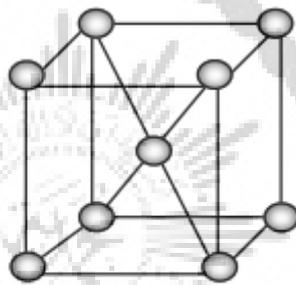
c. Pengujian Struktur Mikro

Metalografi adalah ilmu logam yang menggunakan peralatan mikroskop untuk mempelajari dan memperkenalkan mikrostruktur dan topografi logam, fasa, ukuran dan distribusi butiran, serta karakteristik logam dan paduannya. Metalografi adalah pengujian dan pengamatan struktur butir logam. Deskripsi struktur butir logam dapat diperoleh dengan pengamatan metalografi. Pengujian metalografi

dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik (ASM, 1985). Struktur mikro merupakan perkumpulan fasa dan dapat diamati menggunakan teknik metalografi dengan dibantu alat mikroskop optik dan mikroskop elektron. Logam mempunyai kristal kubik diantaranya:

a. *Body Centered cubic (BCC)*

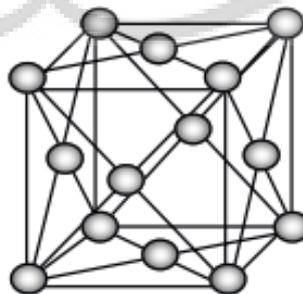
Besi dapat diartikan sebagai kristal kubik yang strukturnya berpusat pada ruang. Pada temperatur kamar, terdapat atom di keempat sudut dan di tengah sel yang terbuat dari besi. Besi biasanya memiliki kristal kubik di tengah ruang. Setiap atom dalam struktur kubik pusat dikelilingi oleh delapan atom tetangganya, yang terdapat di semua atom, baik yang berada di sudut maupun di tengah (Firmansyah & Irfa'i, 2014).



Gambar 2. 13 Struktur kubik pemusatan ruang logam (E Bryson, 2015)

b. *Face Centered Cubic (FCC)*

Struktur kubik ini sangat umum terjadi pada logam seperti aluminium dan timbal, yang memiliki susunan atom sebagai berikut (hal ini terjadi pada besi panas): Logam ini memiliki struktur kubik dan terdiri dari empat atom. Delapan atom di sudut menerima satu atom, dan enam sisi bidang menerima tiga atom per satuan sel (Firmansyah & Irfa'i, 2014).

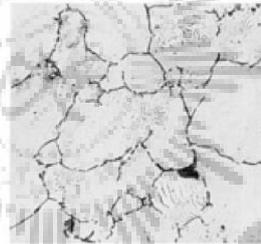


Gambar 2. 14 Struktur kubik pemusatan sisi pada logam (E Bryson, 2015)

Struktur mikro baja dapat ditentukan oleh temperatur tertentu dan perlakuan panas. Struktur mikro dapat diamati dengan mikroskop optik, dan meskipun struktur yang terkandung dalam baja bersifat austenitik, struktur yang terlihat berubah. Menurut fasa yang terdapat pada baja tersebut yaitu :

1) Austenite

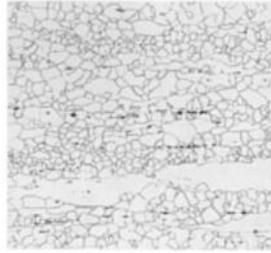
Memperoleh baja austenitik sepenuhnya memerlukan keseimbangan komposisi kimia yang cermat, yaitu, sejumlah besar unsur penstabil austenit—karbon, nitrogen, nikel, dan mangan—harus ada dibandingkan dengan unsur-unsur penstabil ferit. Austenit juga merupakan fase lunak berkekuatan rendah; namun, pengerjaan dingin menghasilkan penguatan yang besar dan, jika ekstensif, dapat menghasilkan martensit yang diinduksi oleh regangan. Karena struktur kristal kubik berpusat muka (fcc), paduan austenitik tetap ulet terlepas dari temperatur atau temperatur (ASM, 1985)



Gambar 2. 15 Struktur Mikro *Austenite* (ASM, 1985).

2) *ferrite*

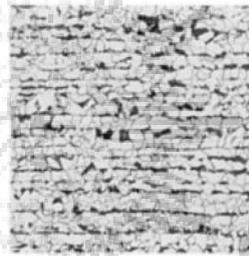
Baja feritik penuh hanya diperoleh jika kandungan karbonnya rendah. Fitur mikrostruktur yang paling jelas adalah batas butir ferit, seperti yang diilustrasikan pada Gambar. 2.9. Ferit adalah fase lunak berkekuatan rendah. Jika ukuran butir ferit baik, diperoleh keuletan dan sifat mampu bentuk yang baik. Karena ferit memiliki struktur kristal kubik berpusat badan (bcc), baja feritik menunjukkan transisi dari perilaku ulet ke getas seiring dengan penurunan temperatur atau peningkatan laju regangan (ASM, 1985).



Gambar 2. 16 Struktur Mikro *Ferite* (ASM, 1985).

3) *perlit*

Perlit merupakan campuran ferit dan sementit yang kedua fasanya terbentuk dari austenit dengan pola pipih berselang-seling. Pembentukan perlit memerlukan pendinginan yang relatif lambat dari daerah austenit dan bergantung pada komposisi baja. Mutiarat terbentuk pada temperatur di bawah temperatur kritis yang lebih rendah dari baja tersebut dan dapat terbentuk secara isothermal atau dengan pendinginan terus menerus.

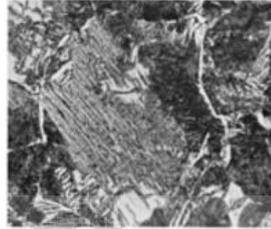


Gambar 2. 17 Struktur Mikro *Perlite* (ASM, 1985).

4) *Bainite*

Produk transformasi austenit, adalah agregat ferit dan sementit seperti lath yang terbentuk dalam kondisi peralihan dari kondisi yang menghasilkan pembentukan perlit dan martensit. Bainit umumnya diklasifikasikan sebagai bainit atas atau bainit bawah. Bainit bagian atas terbentuk secara isothermal atau selama pendinginan terus menerus pada temperatur tepat di bawah temperatur yang menghasilkan bainit. Bainit yang lebih rendah terbentuk pada temperatur yang lebih rendah lagi, hingga temperatur M_s atau sedikit di bawah temperatur tertentu Karena kelarutan maksimum karbon dalam ferit hampir nol pada temperatur kamar dan struktur mikro perlitik penuh diperoleh ketika baja yang mengandung 0,8% C didinginkan perlahan dari

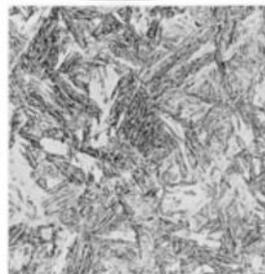
daerah austenit, fraksi volume ferit dan perlit dapat diperkirakan (ASM, 1985).



Gambar 2. 18 Struktur Mikro *Bainite* (ASM, 1985).

5) *Martensit*

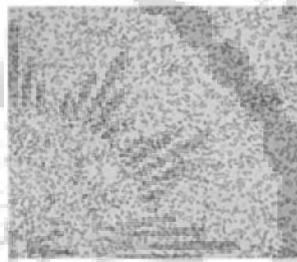
Martensit bukanlah fase kesetimbangan dalam baja. Pembentukan martensit bergantung pada komposisi kimia dan laju pendinginan dari daerah austenit bertemperatur tinggi. Tidak seperti produk transformasi austenit lainnya, martensit biasanya terbentuk seketika setelah spesimen didinginkan di bawah temperatur tertentu, temperatur awal martensit (M_s), yang merupakan fungsi dari kandungan karbon dan paduan fase austenit induk. Transformasi selesai ketika spesimen mencapai temperatur yang lebih rendah, temperatur akhir martensit (M_f). Kekerasan martensit terutama ditentukan oleh kandungan karbon, namun juga dipengaruhi oleh kandungan paduan. Kemampuan membentuk martensit dalam baja sebagai fungsi dari ukuran bagian dan laju pendinginan bergantung pada kemampuan pengerasan baja. Hardenability ditingkatkan dengan meningkatkan kandungan karbon dan paduan serta pembesaran ukuran butir *austenit*. Ukuran butir jarang dikasarkan untuk meningkatkan kemampuan mengeras pada baja tempa, karena sebagian besar sifat mekaniknya terganggu (ASM, 1985).



Gambar 2. 19 Struktur Mikro *Martensite* (ASM, 1985).

6) *Sementite (karbida besi)*

Sementit, atau besi karbida, mengandung 6,67% C (berat), sesuai dengan rumus Fe_3C . Pada baja paduan karbon, beberapa unsur pembentuk karbida, misalnya mangan dan kromium, akan menggantikan sebagian besi pada sementit oleh karena itu rumus sementit sering disebut dengan M_3C , dimana M melambangkan unsur pembentuk karbida yang ada. Fe_3C murni sekitar 800 HV dan rapuh. Penggantian unsur-unsur lain untuk beberapa besi dalam sementit akan meningkatkan kekerasan secara signifikan. Karena kerapuhan sementit, hanya terdapat dalam jumlah terbatas pada baja (ASM, 1985).



Gambar 2. 20 Struktur Mikro *Sementite* (ASM, 1985).