

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Riset Terdahulu**

Penelitian oleh (Singh et al., 2021). Membahas tentang pengaruh proses perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja AISI 1045, dimana baja AISI 1045 dipilih untuk menganalisis pengaruh proses perlakuan panas terhadap kekerasan, kekuatan, dan ketangguhannya. Baja AISI 1045 diolah dengan memanaskan masing-masing spesimen di suhu 850°C pada perlakuan panas annealing (pendinginan tungku), normalisasi (suhu ruangan), dan quenching (air). Kemudian sampel diuji kekerasan, kuat tarik, dan ketangguhannya (uji Charpy). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik mengalami penurunan masing-masing sebesar 12,4%, 6,33%, dan 2,29% pada proses annealing, normalizing, dan quenching. Kekerasan menurun masing-masing sebesar 20,2 dan 9,6% pada anil dan normalisasi, sedangkan kekerasan meningkat sebesar 19,15% pada quenching. Ditemukan juga bahwa ketangguhan meningkat sebesar 26,67% pada normalisasi sedangkan penurunan masing-masing sebesar 4,0% dan 6,67% terjadi pada quenching dan annealing (Singh et al., 2021).

Penelitian oleh (GÖKMEŞE et al., 2018). Membahas terkait pengaruh struktur ulet penggemukan mikro dan sifat mekanik normalisasi kondisi perlakuan panas yang diteraokan pada temperatur berbeda. struktur mikro besi ulet menginginkan pada kondisi suhu normalisasi yang berbeda (850-950°C). Untuk tujuan ini, spesimen uji keserasan struktur mikro dan tarik standar dari pegas lima ulet disiapkan untuk uji tarik dan penyelidikan struktur mikro. Spesimen uji sampai suhu kamar di lingkungan udara bebas setelah 30 menit anil. Mikroskop elektron optik dan pemindaian (SEM) digunakan dalam studi untuk tes mikro struktur karakteristik. Untuk sifat Kecepatan dan tarikan, pengukuran masing-masing dilakukan menggunakan alat uji keserasan Rockwell (beban HRA588-60kg) dan pada kecepatan tarik 1 mm/menit dengan alat uji tarik Shimadzu. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat adanya peningkatan nilai kekerasan dari spesimen seiring dengan bertambahnya suhu normalisasi, dimana pada suhu

950°C diberikan *holding time* 30 menit dengan pendinginan air menghasilkan angka 78.86 HRA, Jika angkanya tidak terlalu tinggi maka suhu akan turun dan tercapai suhu 950°C+30 normalisasi 11,6% dan 876,40 Mpa (GÖKMEŞE et al., 2018).

Penelitian Oleh (Krishna et al., 2020). Membahas tentang pengaruh dan penilaian sifat mekanik pada baja P91 yang diolah dengan proses normalisasi. Dalam penyelidikan eksperimental ini, baja P91 mengalami proses normalisasi. Analisis dilakukan dengan memvariasikan waktu pemaparan terhadap perlakuan panas. Baja diperlakukan pada suhu konstan 1000°C dan dengan 3 parameter waktu berbeda masing-masing 60-120 menit. Sifat mekanik seperti kekerasan, ketahanan aus diuji sebelum dan sesudah proses perawatan. Terakhir. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa sampel yang tidak di beri perlakuan panas memiliki nilai kekerasan kurang dari 25 HRC, kekerasan pada sampel yang diberi perlakuan panas relatif tinggi berkisar antara 41-47 HRC dimana angka kekerasan aling tinggi terdapat pada sampel dengan variasi waktu 120 menit dengan nilai kekerasan 47 HRC. Bagian baja yang mengandung 0,80% karbon adalah perlit dan bagian yang memiliki karbon rendah adalah ferit. Alokasi ulang atom karbon terjadi antara ferit (0,022% berat) dan sementit (6,7% berat) melalui proses difusi atom. Struktur mikro perlit berbutir halus lebih keras daripada yang berbutir kasar. Normalisasi telah mengurangi tegangan internal baja P91 (Krishna et al., 2020).

## **2.2 Variabel Penelitian**

Variabel merupakan bagian yang dimiliki oleh suatu objek (penelitian). Variabel juga dapat didefinisikan sebagai landasan penelitian yang bergantung dengan yang akan digunakan, variabel dapat berupa angka, objek, dll (Espinoza-Pajuelo dan Ochoa-Pachas, 2024).

Data yang relevan dapat didapatkan pada sampel yang telah ditentukan yang memrepresentasikan dari penelitian yang akan dilakukan, hal tersebut dapat didefinisikan sebagai variabel. Terdapat beberapa jenis variabel diantaranya ialah,

- Variabel bebas : yaitu variabel yang menjadi faktor perubahan hubungan yang akan diamati dan variabel yang akan dimanipulasi secara langsung oleh penelitian atau eksperimen.
- Variabel terikat : yaitu variabel yang dipengaruhi oleh

perubahan variabel bebasnya, dan variabel ini yang nantinya akan menjadi sarana untuk proses pengamatan langsung oleh peneliti selama penelitian atau eksperimen. c. Variabel tetap : variabel yang akan dilakukan identifikasi biasanya variabel ini akan ditentukan atau dikendalikan oleh peneliti selama proses penelitian atau eksperimen (Vetter, 2017).

## 2.3 Baja

Baja merupakan paduan antara besi dan karbon, dimana terdapat beberapa unsur lain pada suatu baja meskipun jumlahnya kecil jika di bandingkan dengan unsur utama yang terdapat pada baja (Gebriel, Aldlemey, dan Kablan, 2014) Tabel 2.1 Menunjukkan *chemical composition* baja karbon sedang yang akan di gunakandalam penelitian. Secara umum baja diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu sebagai berikut :

Tabel 2. 1 *Chemical Composition*

<i>Chemical Composition (%)</i>							
C	Si	Mn	P	Cr	B	Al	Ti
0,38	0,22	0,86	0,017	0,20	0,0021	0,032	0,065

### 2.3.1 Baja Karbon (*carbon steel*)

Baja karbon sering di gunakan dibanyak bidang industri serta dapat dianggap sebagai pilihan yang lebih ekonomis dan tidak jarang di jumpai di kehidupan sehari-hari. Baja karbon biasanya memiliki unsur lain didalamnya yang kurang dari 1,5% seperti Mn, Si, P,dan S. Berdasarkan presentase karbonnya, baja dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) bentuk, yaitu (Dwivedi et al., 2017)

- Baja karbon rendah (*Low carbon steel*)

Baja karbon rendah atau sering di sebut baja ringan, baja ini memiliki kandungan karbon yang relatif kecil di antara 0,1% – 0,3%. Biasanya di gunakan sebagai pipa, rantai, roda gigi.

- Baja karbon sedang (*Medium carbon steel*)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon sekitar 0,3% - 0,6%, paduan dari unsur karbon dalam baja ini di sertai dengan penambahan unsur logam

lain yaitu mangan (Mn) sehingga bersifat tahan panas dan elastis. Biasanya di gunakan sebagai poros as, rel, *connecting rods*.

- Baja karbon tinggi (*High carbon steel*)

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi diantara baja karbon lainnya, kadar karbon yang di miliki sebanyak 0,6% - 2% serta kualitas dari baja ini lebih bagus di antara jenis baja karbon lainnya, dapat di katakan bahwa baja karbon tinggi lebih kuat keras dan getas. Jenis baja ini biasa di gunakan sebagai gunting, geraji, palu, ragam.

### 2.3.2 Baja paduan (*Alloy steel*)

Baja paduan merupakan baja dengan satu atau dua unsur paduan dalam berbagai komposisi seperti halnya *nickel* dan *chromium* yang biasanya dilakukan dengan tujuan untuk memodifikasi dan meningkatkan kinerja baja (Lawal et al., 2024). Untuk memperoleh sifat yang lebih baik maka kadar Mn atau Si di tambah, atau unsur-unsur lainnya seperti Cr, Ni, Mo, Co, Ti, dan sebagainya. Baja paduan dapat di klasifikasikan menurut kadar karbon menjadi 2 (dua) kelompok (Jasman dan Dkk, 2018), yaitu :

- Baja paduan rendah (*Low alloy steel*)

Baja paduan rendah adalah baja dengan elemen paduannya dibawah 10%.

- Baja paduan tinggi (*High alloy steel*)

Baja paduan tinggi adalah baja dengan elemen paduannya diatas 10%.

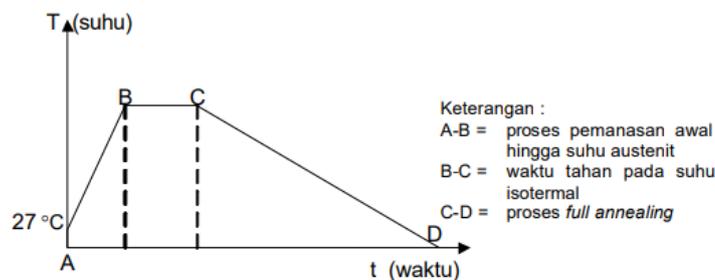
### 2.4 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas ialah proses untuk merubah karakteristik dari suatu baja baik fisik maupun mekanik yang berhubungan dengan pemanasan dan pendinginan suatu baja atau logam. Proses pendinginan baja atau logam hasil perlakuan panas dapat dicapai dengan membiarkan material yang di proses panas mendingin secara perlahan di bawah udara alami atau dicelupkan terhadap media pendinginan (Margono et al., 2021). Perlakuan panas pada suatu baja dapat di katkan penting karena akan merubah hasil struktur mikro yang didapat dari hasil perlakuan panas serta akan merubah sifat mekanik dari baja tersebut sesuai dengan kebutuhan. Melalui perlakuan panas yang tepat tegangan dalam dapat di hilangkan, ukuran

butir dapat diperbesar atau di perkecil sesuai dengan kebutuhan. Selain itu ketangguhan (*Toughnes*) dan keuletan (*ductility*) dari material dapat ditingkatkan. (Jasman dan Dkk, 2018).

- *Anearling*

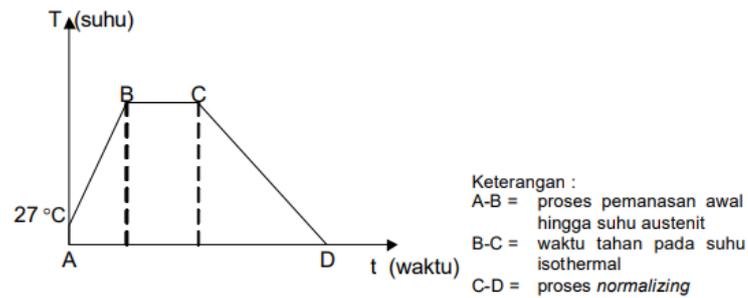
*Anearling* adalah perlakuan panas pada material baja paduan dengan pendinginan yang lambat. *Anearling* berfungsi agar menormalkan tegangan sisa yang terdapat pada suatu material atau mengubah struktur kristal (pemanasan di atas temperatur kritis). Material dipanaskan 25°C diatas suhu kritis, lalu disuhu yang telah ditentukan dalam beberapa saat (*holding time*), dan kemudian didinginkan secara lambat di dalam tungku pemanas hingga mencapai suhu kamar (Zayadi et al., 2022). Proses *Anearling* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Proses *Anearling* (Anom Yogantoro, 2010).

- *Normalizing*

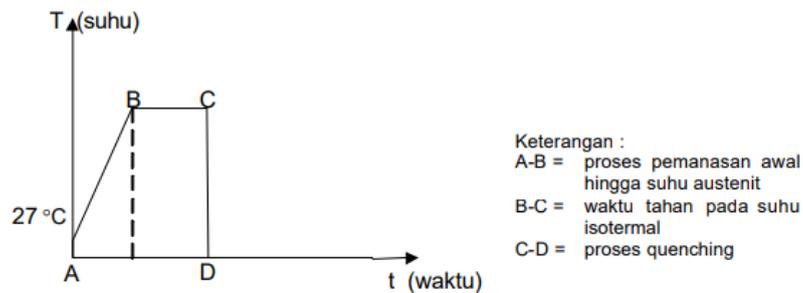
*Normalizing* adalah prose perlakuan panas yang memiliki tujuan untuk memperbaiki struktur butiral logam yang mengalami deformasi akibat proses pengerjaan. Hasil dari proses normalizing ini sendiri ialah butiran dari baja akan menjadi lebh halus dan berbentuk bola serta homogen. *Normalizing* sendiri memiliki kekurangan yaitu akan menurunkan ketangguhan baja, hal ini dapat di ketahui dengan melakukan pengujian seperti kekerasan (*hardeness*), kuat tarik (*tensile strenght*), dan kekuatan *impact* (*impact strenght*) (Jasman, Hotmartua, et al., 2018). Proses *Normalizing* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Proses *Normalizing* (Anom Yogantoro, 2010).

- *Quenching*

*Quenching* adalah salah satu proses perlakuan panas dimulai dengan pemanasan logam atau baja hingga melebihi suhu kritis atas, proses *quenching* sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti sifat permukaan zat, suhu hingga media pendinginannya. Proses *quenching* akan menghasilkan jumlah martensit yang terkendali dalam struktur mikronya. Pemilihan media *quenching* bergantung terhadap kemampuan suatu material pada kekerasan paduan tertentu, ketebalan serta laju pendinginan yang di perlukan untuk mencapai struktur mikro yang diinginkan (Taha Abdullah., Abdulhakeem B., 2022). Proses *quenching* dapat dilihat pada gambar 2.3

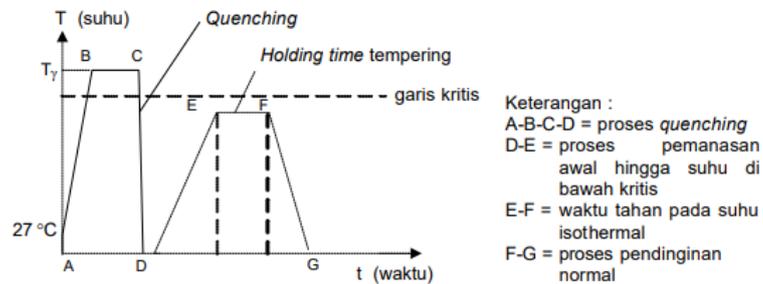


Gambar 2. 3 Proses *Quenching* (Anom Yogantoro, 2010).

- *Tempering*

Perlakuan panas untuk menghilangkan tegangan sisa serta menguatkan suatu material baja dari kerapuhan dapat disebut *tempering*. *Tempering* sendiri didefinisikan sebagai proses perlakuan panas suatu material setelah dikeraskan pada temperatur tempering (dibawah suhu *austenite*), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat di

turunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Proses *tempering* dapat dilihat pada gambar 2.4.



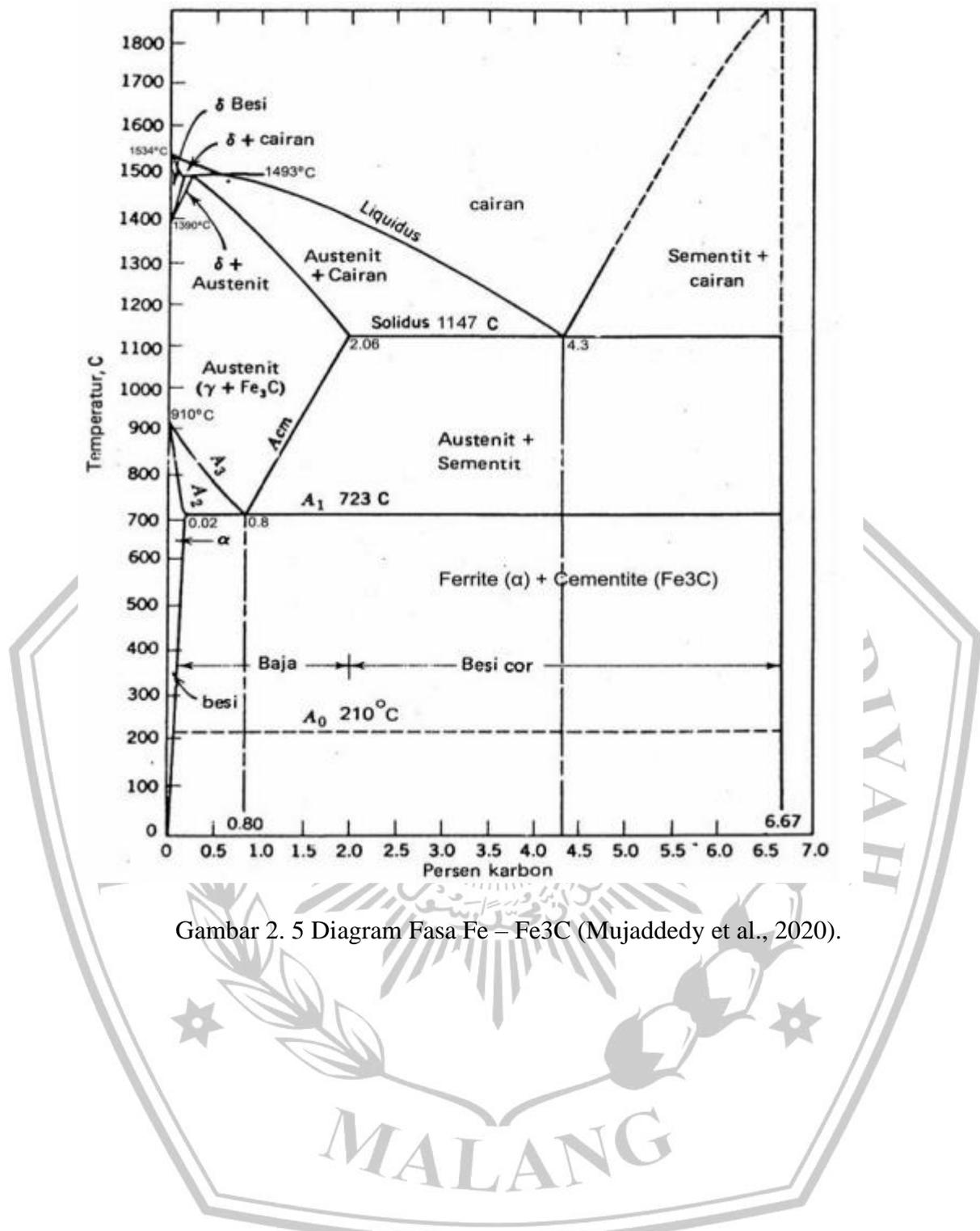
Gambar 2. 4 Proses *Tempering* (Anom Yogantoro, 2010).

## 2.5 Diagram Fasa

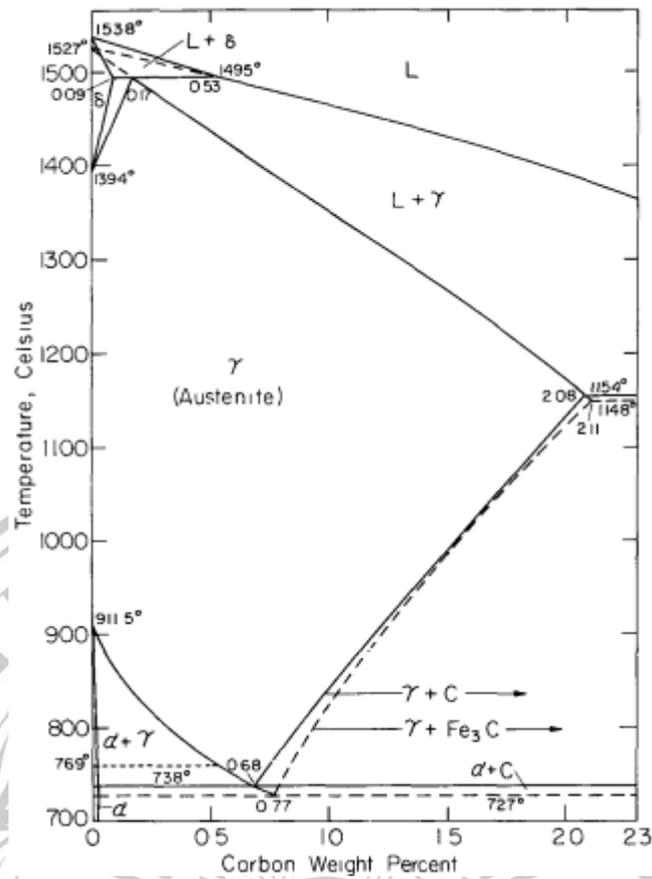
Diagram fasa ialah salah satu parameter yang penting untuk di perhatikan, diagram ini akan menentukan hasil dari proses perlakuan panas (*heat treatment*). Untuk sistem koordinat yang terdapat pada diagram fasa ini ialah suhu dan komposisi material. Hubungan antara fasa, suhu dan komposisi di sajikan oleh diagram fasa hanya dalam kondisi kesetimbangan, kondisi seperti ini terjadi pada saat proses perlakuan panas (*heat treatment*). Pada diagram fasa material besi karbon memiliki peranan penting dikarenakan untuk memprediksi struktur mikronya setelah di proses perlakuan panas (*heat treatment*) dan menggambarkan perubahan fasa pada material baja karbon seperti tampak pada gambar 2.5 Serta lebih jelasnya pada gambar 2.6 untuk penentuan temperatur yang digunakan pada penelitian ini (Adrian et al., 2015).

Melalui diagram fasa secara garis besar baja dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

- Baja *hypo-eutectoid* (C = 0,008 % - 0,80 %)
- Baja *eutectoid* (C = 0,8 %)
- Baja *hyper-eutectoid* (C = 0,8 % - 2 %)



Gambar 2. 5 Diagram Fasa Fe – Fe<sub>3</sub>C (Mujaddedy et al., 2020).



Gambar 2. 6 Penentuan temperatur *normalizing* yang digunakan (Chipman, 1972)

Terdapat beberapa fasa hasil proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sering kali didapat pada baja karbon (Widya, 2016) , antara lain :

1. Austenite

Austenite ialah campuran dari karbon dan besi yang terbentuk pada saat proses perlakuan panas berlangsung. Struktur ferit dan perlit atau perlit dan sementit akan terjadi ketika material sudah melewati proses pendinginan. Sifat austenite sendiri ialah lunak, lentur dengan keuletan yang tinggi.

## 2. Ferit

Fasa ini bisa di sebut fasa alpha. Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehinghanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah  $< 1$  atom C/1000 atom besi. Pada suhu ruang kadar karbonnya 0,008 %, sehingga dapat di anggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025 pada suhu 723°C. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C. Ferit lunak ulet kekerasan ferit antara 140 – 180 HVN.

## 3. Perlite

Fasa jenis ini ialah campuran lebih dari 1 (satu) fasa, yaitu ferit dan sementit dimana kadar 0,025 % untuk ferite dan 6,67 % untuk sementit yang selang seling rapat bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro dari reaksi eutektoid lamellar. Kekerasan yang baiasa di dapat dari fase perlite sendiri berkisar antara 180 – 250 HVN.

## 4. Bainit

Bainit merupakan salah satu fasa yang terjadi akibat pendinginan yang sangat cepat pada saat fasa austenite ke suhu antara 250 – 550 °C. Bainit sendiri adalah struktur mikro dari reaksi eutektoi ( $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) non lamellar (tidak berupa lapisan). Bainit merupakan campuran dari dua fasa ferit dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Kekerasan pada fasa bainit berkisar antara 300 – 400 HVN.

## 5. Martensit

Martensit merupakan salah satu fasa hasil pencampuran dari ferit dan sementit namun bukan lamellar, melainkan berbentuk jarum-jarum sementit. Fasa ini dapat terbentuk dari austenisasi stabil yang didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi  $\text{Fe}_3\text{C}$  unsur paduan lainnya tetapi larut dalam transformasi isothermal pada suhu 260 °C untuk embentuk dispersi karbida yang halus. Martensit bilah (*lath* martensite) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6 % sedangkan di atas 1 % karbon akan terbentuk martensit pelat (*plate* martensite). Kekerasan dari martensit sendiri berkisar  $> 500$  HVN.

## 6. Sementit

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang bisa disebut karbida besi (sementit). Karbida besi memiliki *chemical composition*  $Fe_3C$ . Apabila dibandingkan dengan fetit sementit akan jauh lebih keras, namun di balik kekerasannya sementit memiliki kekurangan yaitu tidak ulet, karbida ini tidak dapat mendapat konsentrasi tegangan yang kuat, oleh karena itu fasa ini dapat dikatakan kurang ulet. Kekerasan pada sementit ini ialah 800 HVN.

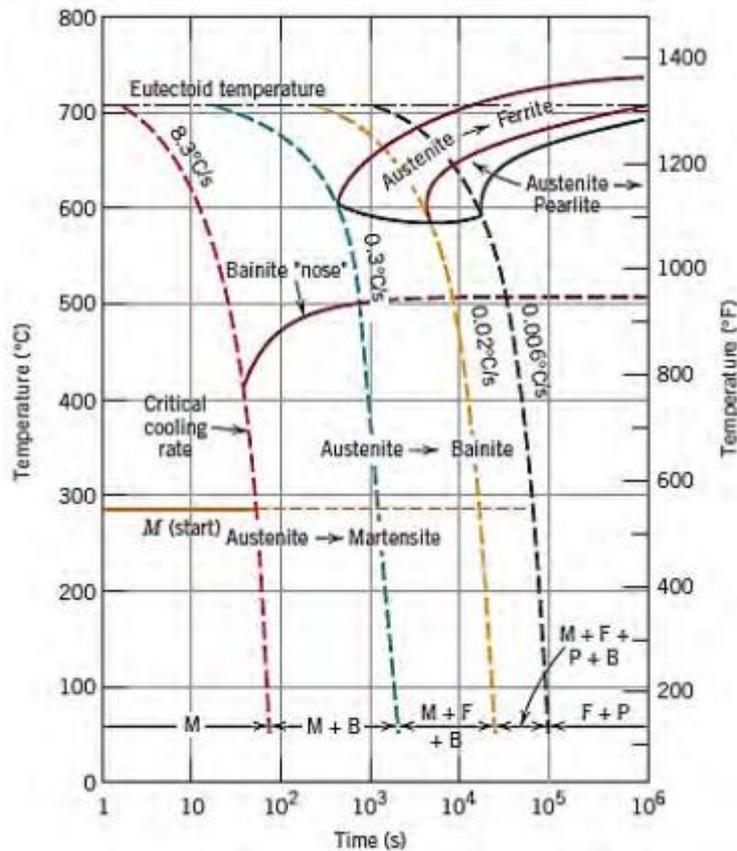
## 2.6 Diagram Pendinginan

### 2.6.1 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)

Hubungan antar laju pendinginan dan mikro struktur yang terbentuk di gambarkan pada diagram yang menghubungkan waktu, temperatur dan transformasi hal ini dikenal dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram transformasi pendinginan (CCT) merupakan hal yang penting dalam memberikan informasi terkait struktur mikro yang terdapat pada suatu bahan material baja untuk mengevaluasi hasil pemrosesan (Harrison dan Farrar, 1989). Transformasi pendingin ini mencakup beberapa aspek terkait suhu awal transformasi fasa selama pendinginan hingga kekerasan suatu bahan material. Terdapat beberapa pemodelan pada diagram transformasi pendinginan (CCT) pada fase austenite selama pendinginan (Minamoto et al., 2022).

Diagram ini di buat dengan cara memanaskan baja karbon sampai dengan temperatur austenisasi kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang kontinyu. Untuk mendapatkan struktur mikro bainit dan perlit pendinginan di lakukan di udara dengan waktu kurang lebih 2 jam dan struktur mikro ferit di peroleh melalui pendinginan dalam furnace pada kurun waktu kurang lebih 27 jam, ketika laju pendinginan menurun akan berdampak pada penurunan waktu pendinginan dari temperatur austenit, sehingga gabungan fasa dari ferit perlit akan berubah kepada fasa bainit martensit. Pembentukan fasa martensit terjadi akibat dekomposisi fasa austenite pada fasa ferit ( $\alpha$ ) + karbida (c). Hal ini dapat diartikan bahwa terdapat celah untuk karbon memanfaatkan waktu untuk berdifusi serta mengkonsentrasikan karbon kedalam karbida sehingga fasa ferik akan kekeurangan

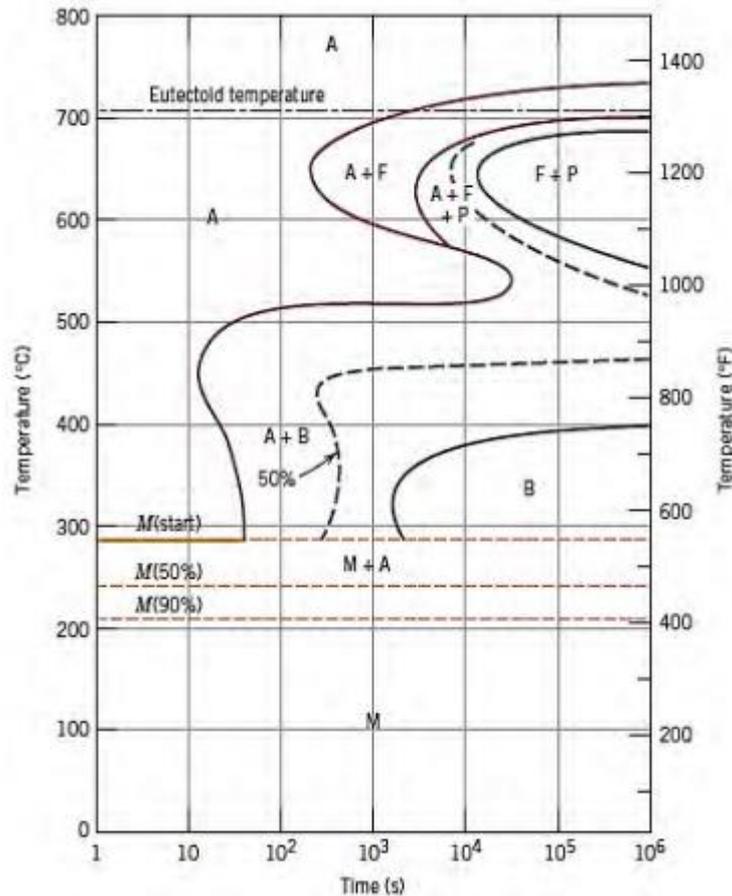
karbon apabila fasa austenit didinginkan dengan sangat cepat (Fakhriansyah, 2019). Gambar diagram CCT dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 7 Diagram CTT (*Continoun Cooling Transformation*) (Fathoni, 2016).

### 2.6.2 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)

Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) memainkan peranan penting dalam merancang proses perlakuan panas yang tepat pada baja dengan menggambarkan hubungan antara waktu penahanan, suhu, dan kuantitas transformasi baja. Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) dilakukan dengan memanaskan baja karbon hingga mencapai suhu austenisasi yang kemudian akan didinginkan dengan laju pendinginan kontinyu pada daerah fasa *austenit*, kemudian panas ditahan pada suhu yang telah ditentukan dengan periode waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinyu seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2. 8 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) (Fathoni, 2016).

Pada gambar di atas menunjukkan diagram TTT untuk jenis baja *hypoeutectoid* dimana garis ordinat menunjukkan temperature sedangkan garis absis menunjukkan waktu. Melalui diagram TTT ini, dapat di ketahui kapan transformasi *austenite* dimulai serta waktu yang di butuhkan untuk membentuk *austenite* sempurna. Untuk mencapai martensit, kecepatan turunnya suhu relatif dipercepat dengan menggunakan media pendingin, misalnya air, air garam, dll. Seiring dengan turunnya suhu, pembentukan mendekati seratus persen martensit. Terbentuknya struktur mikro bainit dengan kecepatan suhu yang relatif lambat yaitu dengan menggunakan media pendinginan udara. Pendinginan udara di berikan secara alami, sehingga lamanya untuk pendinginan membutuhkan waktu yang lama (Jordi et al., 2017).

## 2.7 Metode Pendinginan

Pendinginan pada material baja merupakan salah satu hal penting yang harus dilakukan, hal ini dapat dilakukan dengan beberapa metode yang dapat digunakan untuk media pendinginannya. Parameter yang dapat dilakukan untuk pemilihan media pendingin bisa bergantung pada jenis atau pun paduan dari suatu baja (Karmin, 2009). Terdapat beberapa media pendinginan yang umum digunakan dalam proses perlakuan panas pada baja, diantaranya ialah :

### 1. Air

Air ialah salah satu metode pendinginan yang sering digunakan karena biaya yang digunakan lebih rendah. Air memiliki *cooling capacity* yang tinggi (terjadi pada suhu  $300^{\circ}\text{C}$  yaitu pada temperatur mulainya terbentuk martensit), padahal laju pendinginan tertinggi diperlukan pada saat melewati nose dari kurva transformasi, yaitu sekitar  $500^{\circ}\text{C}$  sehingga air murni kurang baik untuk pendinginan baja yang memiliki hardenability yang tinggi. Untuk memperbaiki atau menurunkan *cooling capacity* dapat dilakukan dengan cara menambahkan 5 – 10 % soda atau garam kedalam air.

### 2. Minyak

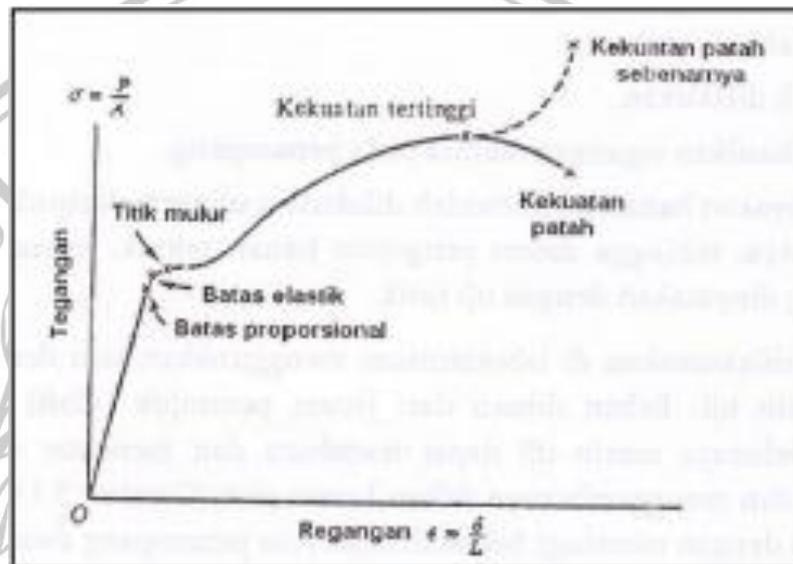
Pendinginan dengan minyak akan lebih lambat jika dibandingkan dengan air. Pada minyak mempunyai *cooling capacity* tertinggi pada temperatur sekitar  $600^{\circ}\text{C}$  dan sedikit lebih rendah dengan temperatur pembentukan martensit. Untuk menaikkan *cooling capacity* minyak dapat dilakukan dengan menaikkan temperaturnya sekitar  $50 - 80^{\circ}\text{C}$ . Terdapat beberapa jenis minyak yang dapat digunakan untuk metode pendinginan, yang paling umum digunakan ialah minyak mineral karena biaya yang digunakan cukup efisien serta memiliki kekentalan yang rendah. Minyak biasanya digunakan untuk metode pendinginan baja paduan rendah dan medium yang ukurannya penampangannya kecil.

### 3. Udara

Udara mempunyai *cooling capacity* yang rendah, akan tetapi dalam hal baja paduan justru hal ini menguntungkan karena dengan laju pendinginan yang rendah, *thermal stresses* juga akan rendah sehingga benda kerja akan bebas distorsi maupun retak.

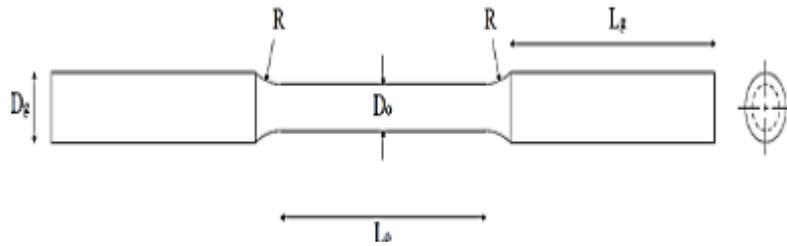
## 2.8 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan peregangan sebuah batang uji yang secara kontinyu bertambah hingga putus. Kurva hasil pengujian belum memberikan informasi khusus mengenai nilai kekuatan tarik suatu bahan material, kurva hanya menjelaskan dimensi perubahan perpanjangan mengenai pembebanan. Data hasil pengujian harus di konversi kedalam bentuk kurva tegangan-regangan ( $\sigma - \epsilon$ ) (Jasman, Syahrul, et al., 2018). Dapat dilihat pada gambar 2.8 merupakan gambar curva tegangan regangan.



Gambar 2. 9 Kurva tegangan-regangan (Jasman, Syahrul, et al., 2018).

Spesimen pengujian tarik memiliki dimensi dapat berupa penampang bulat dengan standart ASTM E8 yang di tunjukkan pada gambar 2.10. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik, dengan menarik material hingga putus dan dapat diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap gaya tarik dan mengetahui sejauh mana material tersebut bertambah panjang (Fauzi K. P. et al., 2016).



Gambar 2. 10 Spesimen Uji Tarik Standart ASTM E8 (Purnomo et al., 2019).

## 2.9 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan ialah salah satu hal yang cukup penting pada saat setelah proses perlakuan panas, proses ini dapat diartikan sebagai kemampuan dari bahan material terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Ketika gaya tertentu diberikan kepada sampel pengujian, nilai kekerasan akan dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan (Vol et al., 2020).

Pada penelitian kali ini pengujian kekerasan dengan menggunakan metode pengujian *Rockwell type – B (rockwell ball)*. Oleh karena itu metode ini digunakan sebagai salah satu acuan untuk mengetahui kekerasan dari masing-masing spesimen uji. Cara ini lebih cepat dan akurat, dalam metode rockwell terdapat dua macam indenter yang ukurannya bervariasi kerucut intan dengan sudut  $120^\circ$  biasa disebut *rockwell cone* dan bola baja dengan berbagai ukuran biasa disebut *rockwell ball*. Pengujian rockwell yang umum dipakai ialah HRA, HRB, dan HRC (Zayadi et al., 2022). Pengujian *Rockwell* yang umum digunakan terdapat tiga jenis yaitu HRA, HRB, dan HRC. HR sendiri merupakan singkatan kekerasan *Rockwell* atau *Rockwell Hardness Number*. Indenter yang digunakan dalam pengujian kekerasan dengan metode ini ialah :

1. Carbida semenit, baja tipis dan baja dengan lapisan keras yang tipis digunakan indenter kerucut intan sudut  $120^\circ$  dengan beban 60 kg dan skala kekerasan 100 HRA.
2. Logam yang lunak seperti paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, besi tempa; digunakan indenter bola baja berdiameter  $1/16''$  dengan beban 100 kg, dan skala kekerasan 130 HRB.

3. Baja yang keras dan bahan lain yang lebih keras dari skala B-100 digunakan indenter kerucut intan sudut  $120^\circ$  dengan beban 150 kg, dan skala kekerasan 100 HRC.

## 2.10 Pengujian Mikro Struktur

Pengujian mikro struktur dilakukan guna mengamati dan membandingkan secara fisik terhadap struktur mikro yang tersedia dari hasil proses perlakuan panas. Mikrostruktur merupakan pengujian terhadap struktur butir suatu material. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini ialah gambaran mikro struktur butiran suatu material. Pengujian ini membutuhkan bantuan berupa mikroskop optik, untuk melakukan pengujian mikro struktur permukaan spesimen harus benar-benar diratakan agar sampel yang telah dipreparasi dapat terlihat dengan jelas bentuk struktur mikronya. Oleh karena itu sebelum melakukan pengamatan mikro struktur dengan mikroskop maka di perlukan proses persiapan bahan material yang akan digunakan sebagai sampel pengujian seperti proses pengambilan sampel, pemotongan sampel, *mounting*, pengamplasan, pemolesan, etsa (Fakhriansyah, 2019).

