

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Baja AISI 1045

Baja AISI (*The American Iron and Steel Institute*) 1045 merupakan baja yang termasuk golongan karbon menengah, dengan kandungan karbon sekitar 0,43%-0,50%. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*). Komposisi kimia untuk baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi Kimia Baja AISI 1045 (*Standart AISI 1045*)

Kode	% C	% Si	% Mn	% Mo	% P	% S
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,6-0,9	0,025	0,04	0,05

Baja dengan AISI 1045 biasanya banyak digunakan untuk komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor, Sehingga mengharuskan baja ini memiliki sifat mekanik yang keras serta ketahanan aus yang baik karena pada aplikasinya akan selalu bergesekan dengan logam lainnya. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan pengurangan dimensi akibat suatu gesekan.

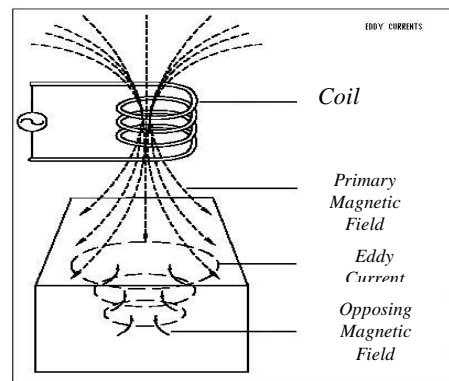
Adapun Baja AISI 1045 harus dipanaskan hingga temperatur tertentu, yaitu biasa dikenal dengan temperatur A1 dan A3. Pada temperatur A1, Baja AISI 1045 yang semula berfasa ferit-perlit akan mulai bertransformasi menjadi fasa austenit+ferit, sedangkan pada temperatur A3, Baja AISI 1045 akan bertransformasi penuh menjadi austenit. Untuk menentukan temperature A1 dan A3, dapat mengacu pada rumus 2.1 dan 2.2 (Trzaska, 2016)

$$A1 = 749 - (29.C) - (14.Mn) + (13.Si) + (16.CR) - (17.Ni) - (16.Mo) + (45.V) + (36.Cu) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$A3 = 925 - (219.\sqrt{C}) - (7.Mn) + (39. Si) - (16.Ni) + (13.Mo) + (97.V)\dots\dots\dots(2.2)$$

## 2.2 Induction Hardening

Salah satu metode perlakuan untuk meningkatkan nilai kekerasan logam adalah *induction hardening* (pengerasan induksi). Prinsip kerja dari *induction hardening* adalah ketika arus listrik melewati bahan konduktor (*Solenoid*), maka akan terbentuk medan magnet yang mengelilingi *solenoid* tersebut. Apabila di letakan sebuah material *ferromagnetic* ditengah *solenoid*, maka medan magnet akan menginduksi material tersebut sehingga menimbulkan *Eddy Current* pada permukaan material, yang mengakibatkan material menjadi bertambah panas (Thelning, 1984).



**Gambar 2.1** Mekanisme Induction Hardening

Untuk struktur mikro yang terdapat karbida di dalamnya dan ferit dengan butir yang besar, tidak cocok sebagai struktur mikro awal dari baja untuk metode *induction hardening*, karena waktu yang diperlukan untuk menghasilkan austenit yang homogen akan terlalu lama. Sehingga proses *normalizing* dilakukan untuk mengubah struktur mikronya, sehingga lebih mudah untuk dilakukan proses *induction hardening*. Fakta yang terjadi yaitu kekerasan martensit yang diproduksi dalam perlakuan dengan pemanasan yang cepat dan waktu austenisasi yang pendek dapat melebihi kekerasan yang diperoleh dengan cara perlakuan panas pengerasan yang konvensional. Peningkatannya bisa sekitar 5 poin pada skala *rockwell* ( Glyn Meyrick, 2001).

**Tabel 2.2** Parameter Termal Baja Karbon Rendah (Dong *et al*, 2019)

Temperature (°C)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific Heat (J/(kg·°C))	Heat Conductivity Coefficient (W/(m·°C))
0	7842	450.36	66.97
50	-	464.6	65.21
200	7822	498.1	57.38
250	-	502.26	54.91
300	-	514.82	53
400	7802	537.42	47.92
450	-	623.64	45.83
500	-	707.35	43.53
600	7782	812	39.3
650	-	904.07	36.37
700	-	967.69	34.74
800	7761	1026.32	31.02

Dapat dilihat pada Tabel 2.2, dimana dapat dihitung kebutuhan daya pada alat induksi untuk menghasilkan temperatur tertentu pada benda kerja. Pada Tabel 2.2 juga terdapat besar koefisien konduktivitas kalor, dimana koefisien ini mempengaruhi kecepatan rambat kalor pada benda kerja.

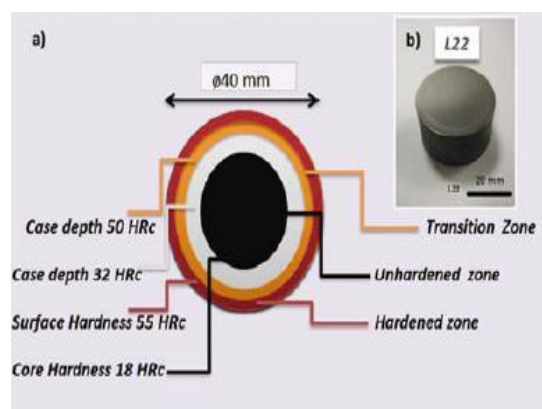
Pada proses *induction hardening*, akan dihasilkan 3 zona pengerasan yaitu, *hardened zone*, *transition zone*, dan *unhardened zone* yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.a (M Onan et al, 2015). Dimana struktur mikro pada masing-masing zona akan berbeda juga dan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda,

- a. Martensit pada zona *hardened zone*.

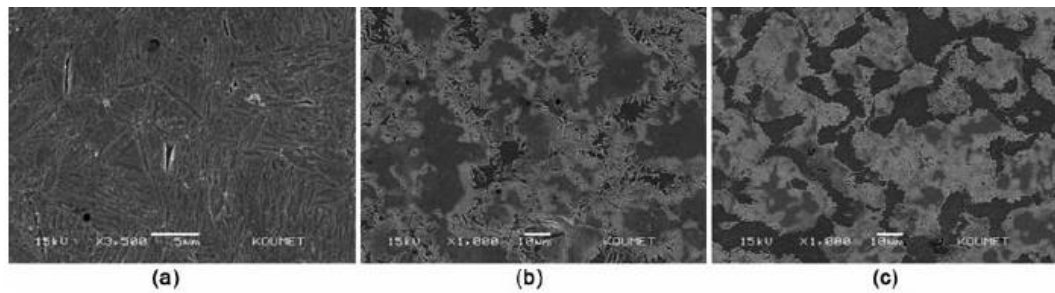
Dapat dilihat pada Gambar 2.3.a, Mikrostruktur berbentuk jarum-jarum halus

- b. Martensit-perlit pada zona *transition zone*.
- c. Perlit pada zona *unhardened zone*.

Dapat dilihat pada Gambar 2.3.c, terdapat struktur mikro ferrit dan sementit.



**Gambar 2.2** Zona-Zona pada Material Proses Induction Hardening (Kohli *et al*, 2011)



**Gambar 2.3** Struktur mikro pada (a) Martensit di *hardened zone* (b) Martensit-perlit di *transition zone* (c) Perlit di *unhardened zone* (Kohli *et al*, 2011)

Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dari *induction hardening* dibandingkan dengan konvensional *hardening*, yaitu antara lain kelebihan adalah:

- a. Dapat mengeraskan pada lokasi lokasi yang sulit dijangkau pada benda kerja
- b. Waktu pemanasan yang cepat
- c. Dekarburasi dan oksidasi yang kecil pada permukaan, dikarenakan tidak ada penambahan unsur apapun pada proses *induction hardening*
- d. Meningkatkan kekuatan lelah dari benda kerja
- e. Setiap penguatan yang diperlukan dapat dilakukan pada permukaan yang tidak dikeraskan dan pada permukaan yang mengeras
- f. Prosesnya dapat dimasukkan kedalam jalur produksi dari suatu perusahaan
- g. Biaya operasional yang murah
- h. Geometri material dapat beragam
- i. Proses *hardening* tergolong cepat.

Sedangkan kekurangannya yaitu :

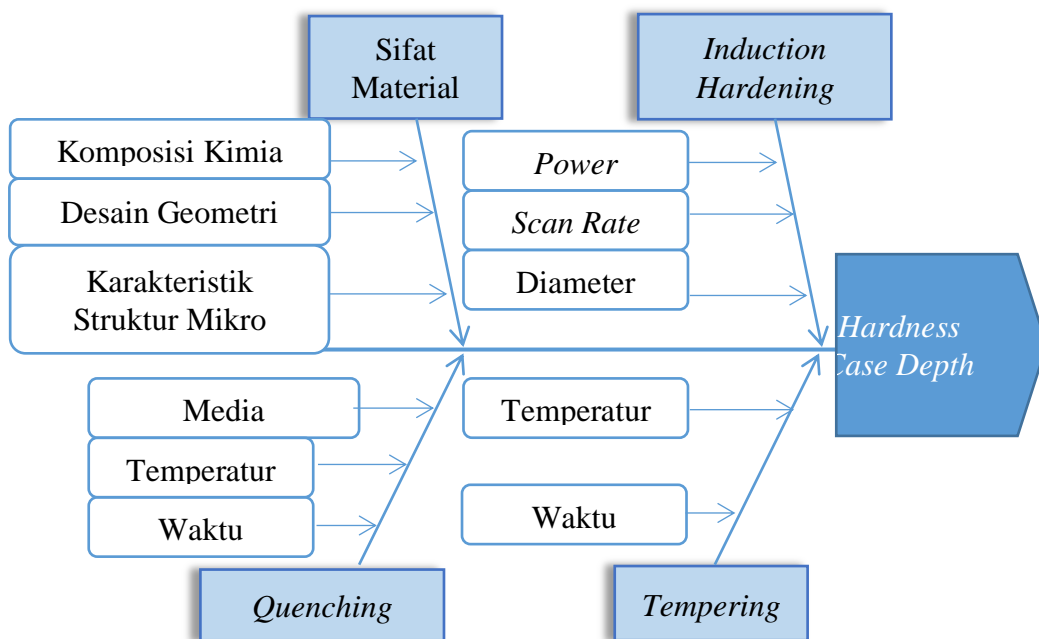
- a. Tingginya biaya modal mengharuskan tingkat pemanfaatan peralatan yang tinggi.
- b. Hanya sejumlah kecil jenis baja yang dapat dikeraskan dengan metode *induction hardening*.

### **2.3 Faktor yang Mempengaruhi *Induction Hardening***

Terdapat beberapa hal pada yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja pada permukaan dari proses pengerasan permukaan dengan menggunakan metode *induction hardening*, yaitu diantaranya adalah (Onan *et al*, 2015) :

- a. Arus yang digunakan  
Semakin besar arus yang digunakan maka nilai kekerasan yang didapat akan semakin besar karena temperatur yang didapat akan semakin besar (Kohli *et al*, 2011).
- b. Waktu tahan  
Waktu tahan dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja karbon sedang. Semakin lama waktu tahan maka semakin tinggi nilai kekerasan dari baja tersebut karena lamanya baja yang terpapar panas dari gelombang *eddy current* yang terbentuk dan mengakibatkan pada temperatur austenit semakin homogen (Kohli *et al*, 2011).
- c. Jarak antara *coil* dengan benda kerja.  
Dikarnakan jika jarak *coil* terlalu jauh maka akan sangat mempengaruhi panas yang akan diterima dari *coil* tersebut.

- d. Media *quenching* yang digunakan, kekerasan yang diperoleh tergantung pada media *quenching* yang digunakan. Pada proses *quenching* dengan air es penurunan suhu yang signifikan mencegah atom untuk berdifusi sehingga menghasilkan fasa martensit (Arai. *et al.* 1998).



**Gambar 2.4** Diagram Tulang Ikan Parameter Proses *Induction Hardening*

Selain faktor-faktor diatas masih terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan nilai *case depth* yang dihasilkan pada proses *induction hardening*. Hal tersebut dapat dilihat dari diagram tulang ikan pada Gambar 2.4 (M Onan et al, 2015).

## 2.4 Pengujian Kekerasan

Salah satu metode tertua dalam menentukan *performance rating* adalah metode yang dikembangkan oleh *Westinghouse Electric Corporation*. Sistem rating Westinghouse menguraikan enam kelas yang merepresentasikan kemahiran

yang ada dalam evaluasi suatu pekerjaan (Niebel, 1999). Keterampilan atau skill didefinisikan sebagai kemampuan mengikuti cara kerja yang sudah ditetapkan. Latihan dapat meningkatkan keterampilan, tetapi hanya sampai ketinggian tertentu saja, tingkat mana merupakan kemampuan maksimal yang dapat diberikan pekerja yang bersangkutan. Secara psikologis keterampilan merupakan attitude atau kebiasaan untuk pekerjaan yang bersangkutan. Keterampilan juga dapat menurun jika terlalu lama tidak menangani pekerjaan tersebut, atau karena sebab-sebab lain seperti karena kesehatan yang terganggu, rasa *fatigue* yang berlebihan, pengaruh sosial dan sebagainya. Untuk keperluan penyesuaian keterampilan dibagi menjadi enam kelas yaitu *super skill*, *excellent skill*, *good skill*, *average skill*, *fair skill* dan *poor skill*. Secara keseluruhan yang membedakan kelas keterampilan seseorang adalah keragu-raguan, ketelitian gerakan, kepercayaan diri, koordinasi, irama gerakan, “bekas-bekas” latihan dan hal-hal lain yang serupa.

Untuk usaha atau effort cara Westinghouse membagi juga atas kelas-kelas dengan ciri masing-masing. Yang dimaksud dengan usaha disini adalah kesungguhan yang ditunjukkan atau diberikan operator ketika melakukan pekerjaannya. Terdapat enam kelas dalam usaha yaitu *excessive effort*, *excellent effort*, *good effort*, *average effort*, *fair effort* dan *poor effort*. Yang dimaksud dengan kondisi kerja atau *Condition* pada cara Westinghouse adalah kondisi fisik lingkungannya seperti keadaan pencahayaan, temperatur dan kebisingan ruangan. Kondisi kerja dibagi menjadi enam kelas yaitu *ideal*, *excellent*, *good*, *average*, *fair* dan *poor*.

Faktor yang harus diperhatikan adalah konsistensi. Faktor ini perlu



diperhatikan karena kenyataan bahwa pada setiap pengukuran waktu angka-angka yang dicatat tidak pernah semuanya sama, waktu penyelesaian yang ditunjukkan pekerja selalu berubah-ubah dari satu siklus ke siklus lainnya, dari jam ke jam, bahkan dari hari ke hari. Selama masih dalam batas-batas kawajaran masalah tidak timbul, tetapi jika variabilitasnya tinggi maka hal tersebut harus diperhatikan. Sebagaimana halnya dengan faktor-faktor lain, konsistensi juga dibagi menjadi enam kelas yaitu perfect, excellent, good, average, fair dan poor.

Skill			Effort		
+ 0,15	A1	Super Skill	+ 0,13	A1	Super Skill
+ 0,13	A2		+ 0,12	A2	
+ 0,11	B1	Excellent	+ 0,10	B1	Excellent
+ 0,08	B2		+ 0,08	B2	
+ 0,06	C1	Good	+ 0,05	C1	Good
0,003	C2		+ 0,02	C2	
0,00	D	Average	0,00	D	Average
- 0,05	E1	Fair	- 0,04	E1	Fair
- 0,10	E2		- 0,08	E2	
- 0,16	F1	Poor	- 0,12	F1	Poor
- 0,22	F2		-0,17	F2	

Condition			Consistency		
+ 0,06	A	Ideal	+ 0,04	A	Ideal
+ 0,04	B	Excellent	+ 0,03	B	Excellent
+ 0,02	C	Good	+ 0,01	C	Good
0,00	D	Average	0,00	D	Average
- 0,03	E	Fair	- 0,02	E	Fair
- 0,07	F	Poor	- 0,04	F	Poor

**Gambar 2.5** Kelas Konsistensi

## 2.5 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material, dan khusus untuk logam deformasi yang dimaksud adalah deformasi plastis. Sedangkan kekuatan adalah ketahanan material terhadap deformasi plastis secara global. Pengujian kekerasan dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan sifat pengujiannya, antara lain sebagai berikut (Koswara, 1999):

a. Metode Goresan

Pengujian kekerasand dengan metode goresan dilakukan dengan cara mengukur kemampuan suatu material dengan menggoreskan material uji kepada spesimen. Skala uji yang digunakan adalah skala Mohs.

b. Metode Dinamik

Pengujian kekerasan dengan metode dinamik (kekerasan pantul) dilakukan dengan menghitung impak yang dihasilkan oleh indentor yang dijatuhkan pada permukaan spesimen.

c. Metode Indentasi

Pengujian kekerasan dengan metode indentasi (metode penekanan) adalah dengan cara mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya tekanan yang diberikan oleh *indentor* dengan memperhatikan besar beban yang diberikan dan besar indentasi. Uji kekerasan dengan metode indentasi ini terdiri atas beberapa cara antara lain :

### 2.5.1 Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan *brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja *chrom* yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu, oleh gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih (Thelning, 1984). Setelah gaya tekan ditiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tadi diukur secara teliti untuk kemudian dipakai untuk penentuan kekerasan logam yang diuji dengan menggunakan rumus :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D \left[ D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]} \dots\dots\dots(2.3)$$

P = Beban yang diberikan (KP atau kgf)

D = Diameter *indentor* yang digunakan (mm)

d = Diameter bekas lekukan (mm)

Keuntungan penggunaan metode brinell antara lain :tidak dipengaruhi oleh oleh permukaan material yang kasar, bekas penekanan cukup besar, sehingga mudah diamati dan dapat mengatasi ketidakteraturan fasa material pada pengujian. Kerugiannya yaitu tidak dapat dikenakan pada benda yang tipis dan permukaan yang kecil, serta pada daerah kritis di mana penekanan dapat mengakibatkan kegagalan, tidak berlaku untuk material yang sangat lunak maupun sangat keras.

### 2.5.2 Uji Kekerasan Vickers

Uji *vickers* ini didasarkan kepada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah *indentor* berupa *pyramid diamond* terbalik yang memiliki sudut puncak 136° kepermukaan logam yang diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih.

Setelah gaya tekan secara statis ini kemudian ditiadakan dan *pyramid diamond* dikeluarkan dari bekas yang terjadi (permukaan bekas merupakan segi empat karena piramid merupakan piramid sama sisi). Nilai kekerasan yang diperoleh sedemikian itu disebut kekerasan *vickers* dengan Hv atau HVN (*Vickers Hardness Number*) (Thelning, 1984). Untuk

memperoleh nilai kekerasan maka hasil penekanan yang diperoleh dimasukkan ke dalam rumus :

$$H_v = \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{D^2} = \frac{1,8554F}{D^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keuntungan metode Vickers yaitu indentor dibuat dari bahan yang cukup keras, sehingga dimungkinkan dilakukan untuk berbagai jenis logam, memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu dan dapat digunakan untuk menentukan kekerasan pada logam yang sangat lunak dan juga dapat dilakukan untuk benda-benda dengan ketebalan yang sangat tipis, sampai 0,006 inchi sedangkan kerugiannya yaitu pengujian ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lama, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang teliti, dan rentan terhadap kesalahan perhitungan panjang diagonal.

### 2.5.3 Uji Kekerasan *Rockwell*

Uji kekerasan *Rockwell* ini juga didasarkan pada penekanan sebuah *indentor* dengan suatu gaya tekan tertentu ke permukaan yang rata dan bersih suatu logam yang diuji kekerasannya. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya *minor* maka yang dijadikan dasar perhitungan nilai kekerasan *rockwell* bukanlah hasil pengukuran diameter ataupun diagonal bekas lekukan tetapi justru kedalamannya bekas lekukan yang terjadi itu. Inilah kelainan cara *rockwell* dibandingkan dengan cara pengujian kekerasan lainnya.

Pengujian *rockwell* yang umumnya biasa dipakai adalah  $HR_A$ ,  $HR_B$  dan  $HR_C$ .  $HR$  itu sendiri merupakan suatu singkatan dari kekerasan *rockwell* atau *rockwell hardness number*. Kekerasan Rockwell dapat dibagi menjadi:

a. Rockwell A

Penetrator berupa kerucut intan dengan pembebanan 60 Kg.

Biasa digunakan untuk jenis-jenis logam yang sangat keras.

b. Rockwell B

*Indentor* berupa bola baja dengan diameter 1,6 mm dan pembebanan 100 Kg. Biasa digunakan untuk material-material yang lunak.

c. Rockwell C

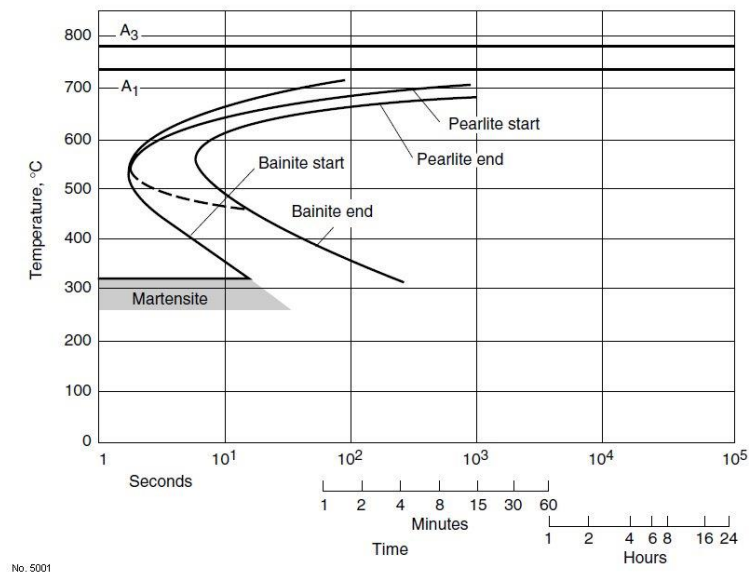
*Indentor* berupa kerucut intan dengan pembebanan 150 Kg. Biasa digunakan untuk logam-logam yang diperkeras dengan pemanasan. Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Tingkat skala kekerasan menurut metode *rockwell* ini diatur berdasarkan pada jenis *indentor* yang digunakan pada masing-masing skala (Thelning, 1984).

## 2.6 Quenching

Proses *quenching* adalah suatu proses pendinginan logam secara cepat menggunakan beberapa media *quenching* seperti air es, oli, atau udara. Untuk melakukan *quenching*, pertama sebuah logam harus dipanaskan hingga mencapai

batas austenit yang homogen, untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin atau bisa juga menyemprotkan media *quenching* ke material yang telah dilakukan pemanasan, tergantung pada kecepatan pendinginan yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja. Proses *quenching* ini mencegah proses suhu rendah, seperti transformasi fasa yang tidak diinginkan. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fasa austenit yang sudah dilakukan pemanasan tidak sempat bertransformasi menjadi fasa ferit atau perlit atau menjadi sementit. Dikarenakan tidak ada waktu bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi, oleh karena logam kerja menjadi fasa martensit. Fasa ini berupa fasa yang sangat keras dan tergantung pada keadaan karbon yang terdapat pada baja (Reed-Hill *et al*, 2008).

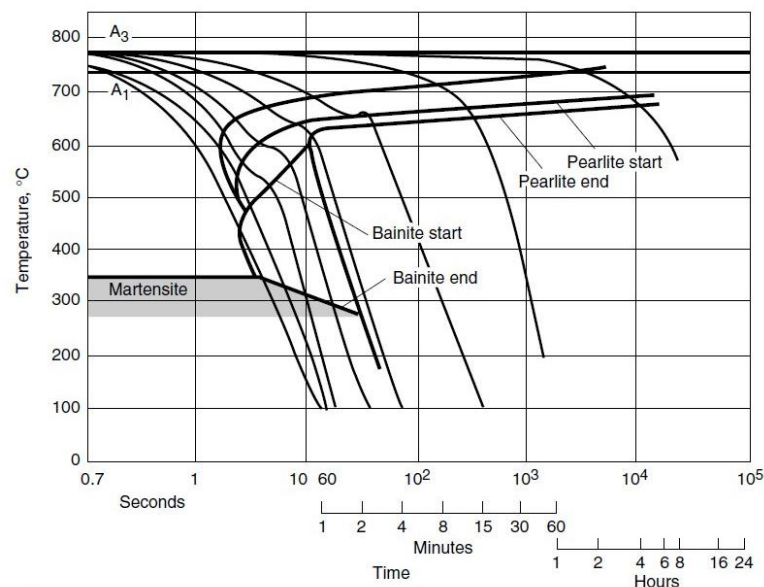
Pembentukan martensit yang sering digunakan untuk merubah sifat mekanik dari baja dan martensit merupakan fasa *nonequilibrium* atau metastabil yang terbentuk akibat pendinginan baja secara cepat dari temperatur *austenite*. Martensit adalah fasa yang keras dan getas, memberikan baja kemampuan unik untuk dapat diperkuat hingga tingkatan yang sangat tinggi. Perilaku transformasi *martensite* dapat dipahami melalui kurva TTT (*time-temperature-transformation*) pada baja *eutectoid*. Seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Kurva TTT Pada Baja AISI 1045. (Totten *et al*, 2002)

Kurva TTT menunjukkan bagaimana laju pendinginan mempengaruhi transformasi *austenite* menjadi berbagai fasa: (1) bentuk alternatif dari *ferrite* dan *cementite*, serta (2) *martensite*. Waktu ditunjukkan secara logaritmis pada sumbu horisontal sedangkan temperatur pada sumbu vertikal. Pada laju pendinginan yang lambat, lintasan kurva pendinginan akan melalui daerah transformasi menjadi *pearlite* atau *bainite*.

*Pearlite* adalah campuran fasa *ferrite* dan *cementite* dengan bentuk pelat-pelat sejajar (*parallel plates*). *Pearlite* terbentuk ketika lintasan kurva pendinginan melalui  $P_s$  (*pearlitic start*) di atas “nose” kurva TTT. *Bainite* merupakan alternatif campuran dari *ferrite* dan *cementite* yang memiliki struktur seperti jarum (*needle-like*) atau seperti bulu (*feather-like*). *Bainite* dapat dihasilkan dengan pendinginan awal yang cepat ke temperatur di atas  $M_s$  (*martensitic start*) untuk menghindari *nose* kurva TTT lalu pendinginan yang lebih lambat agar melewati  $B_s$  (*bainitic start*) dan menuju daerah *ferrite-cementite*.



**Gambar 2.7** Diagram CCT Untuk Baja AISI 1045. (Totten *et al*, 2002)

Selain menggunakan kurva TTT kita dapat juga melihat perubahan fasa yang terbentuk yang bertransformasi fasa menjadi *pearlite*, *bainite*, dan *martensite* yang terjadi pada diagram CCT untuk baja AISI 1045 pada Gambar 2.7

Adapun diagram *continuous cooling transformation* (CCT) yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 dengan digambarkan kurva dari waktu yang di butuhkan untuk bertransformasi dengan temperatur pembentukan penting secara jelas menerangkan diagram transformasi berasal untuk penggunaan diagram CCT ini sangat umum dilakukan untuk perlakuan eksperimental. Pada kurva pada diagram ini mensimulasikan pada bagian dalam yang besar seperti laju pendinginan batang jominy agak jauh dari ujung batang yang terkena media pendingin. Laju pendinginan bisa sangat kompleks pada bagian permukaan. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan diagram CCT untuk material baja AISI 1045 . daerah ferit, perlit, bainit dan Ms di indikasikan. Perhatikan bahwa suhu Ms tidak konstan ketika pembentukan martensit didahului oleh pembentukan bainit, tetapi biasanya



menurun dengan waktu yang lebih lama. serta Jika pendinginan terjadi dengan laju yang cepat (ditunjukkan oleh garis putus-putus dalam Gambar 2.7), *austenite* akan bertransformasi menjadi *martensite*. Struktur *body-centered cubic* (BCC) pada *austenite* bertransformasi menjadi *body-centered tetragonal* (BCT) tanpa melalui proses difusi. Adapun *martensite* memiliki komposisi yang sama dengan *austenite* di atas temperatur titik A1 (Atkins 1977).