

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. BAJA PERKAKAS

Baja perkakas merupakan jenis baja yang digunakan untuk membentuk material dan permesinan sehingga didesain untuk memiliki nilai kekerasan yang tinggi dan nilai ketahanan aus yang tinggi. Selain itu baja perkakas harus memiliki stabilitas dimensi yang tinggi dan tidak mudah mengalami cracking. Baja perkakas mengandung unsur paduan seperti : *Chromium, Molybdenum, Tungsten, Mangan, dan Vanadium* dalam kadar yang cukup tinggi sehingga dibutuhkan perlakuan khusus melalui prosesnya untuk mendapatkan paduan karbida yang tepat dalam matrik martensit temper disesuaikan dengan aplikasinya. Adapun aplikasi dari baja perkakas dapat ditemukan pada peralatan permesinan seperti alat *cutting, shearing, forming, drawing, extrusion, rolling, dan battering*. [1][12]

II.1.1. Klasifikasi Baja Perkakas

Baja perkakas berdasarkan aplikasinya terbagi menjadi 4 (empat) kelompok, diantaranya adalah : Baja perkakas pengerjaan dingin (*cold work tool steel*), baja perkakas pengerjaan panas (*hot-work tool steel*), *high speed tool steel*, dan *special purpose tool steel* [1][13].

II.1.1.1. Baja Perkakas Pengerjaan Dingin (*Cold-Work Tool Steel*)

Jenis baja perkakas ini dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok tergantung dari proses pengerasannya yang terjadi. [1]

1. *Water-hardening tool steel*

- Simbol : tipe W
- Baja karbon (1%) dengan sedikit atau tanpa penambahan unsur paduan (misalnya V dan Cr)
- Memiliki sifat *hardenability* yang rendah
- Pada proses pengerasannya, baja karbon pada temperatur austenit di *quench* dengan media air.

2. *Oil-hardening tool steel*

- Simbol : tipe O
- Diquench dengan media oli
- Mengandung kadar karbon antara 0,9% - 1,5% dengan penambahan paduan dalam jumlah kecil, misalnya W, Mn, Cr, dan Mo
- Memiliki sifat hardenability lebih baik daripada diquench dengan air
- Digunakan untuk *cold forming dies*, *blanking dies*, dan *gages*

3. Air-hardening tool steel

- Simbol : tipe A
- Mengandung karbon sebesar 1% dengan paduan utamanya :Mn, Cr, dan Mo
- Proses pengerasannya dengan pendinginan di udara terbuka
- Memiliki sifat tahan aus dan perubahan dimensi yang kecil

4. High carbon High Chromium

- Simbol : tipe D
- Mengandung 1 - 2,3% C; 12 – 14% Cr, dan sedikit V , Mo, W dan Co
- Memiliki sifat tahan aus yang tinggi
- Dapat ditingkatkan kekerasannya dengan media air atau oli

II.1.1.2. Baja Perkakas Pengerjaan Panas (*Hot-Work Tool Steel*)

- Simbol : tipe H
- Baja perkakas jenis ini digunakan untuk proses hot working seperti stamping dan drawing
- Memiliki sifat mekanis seperti :kekuatan tinggi, tahan aus, toughness tinggi, dan tahan terhadap temperatur tinggi

II.1.1.3. Baja Perkakas Kecepatan Tinggi (*High Speed Tool Steel*)

- Memiliki kekerasan tinggi pada temperatur diatas 550⁰C
- Digunakan sebagai alat potong dengankecepatan tinggi
- Memiliki ketahanan aus yang tinggi dan mampu potong yang baik
- Berdasarkan elemen paduannya terbagi menjadi 2 (dua) kelompok :

1. *Tungsten high speed steel* (tipe T), mengandung kadar tungsten yang tinggi disertai penambahan Cr, V, dan Co
2. *Molybdenum steel* (tipe M), mengandung Molybdenum dengan kadar tinggi disertai penambahan W, Cr, V, dan Co

II.1.1.4. *Baja Perkakas Khusus (Special Purpose Tool Steel)*

Baja Perkakas jenis ini terbagi menjadi 4 (empat) tipe, diantaranya :

1. Tipe S (*Shock resisting Tool Steel*)

- Baja karbon medium (0,5% C) dengan elemen paduan Si, Cr, dan W
- Sifat mekanisnya adalah : kekerasan yang tinggi, tahan aus, tahan terhadap dampak
- Diaplikasikan untuk pahat, palu, dan pisau

2. Tipe L (*Low-Alloys Tool Steel*)

- Mempunyai kesamaan dengan *water-hardening tool steel*
- Paduan utamanya adalah *Chromium*
- Digunakan untuk membuat alat yang membutuhkan ketahanan aus dan *toughness* yang tinggi

3. Tipe F (*Carbon Tungsten Tool Steel*)

- Baja karbon tinggi dengan *tungsten* (W) sebagai paduannya
- Memiliki sifat tahan aus dan abrasi
- Digunakan untuk membuat peniti, alat pemoles dan taps

4. Tipe P (*Moulds Steel*)

- Baja karbon rendah dengan paduan berupa Cr dan Ni
- Digunakan untuk membuat *plastic mould*

II.2. PENGARUH UNSUR PADUAN PADA BAJA

Keberadaan atom larut sebagai larutan padat dalam kisi atom pelarut selalu menghasilkan paduan yang lebih kuat daripada logam murni. Penambahan unsur paduan dalam baja perkakas bertujuan untuk mendapatkan beberapa sifat mekanis yang optimal. Sifat-sifat yang diinginkan adalah kekerasan serta ketangguhan yang tinggi. Dengan penambahan unsur paduan maka pengaruh sifat mekanis bahan juga bertambah besar dan penambahan ini ada batas maksimumnya.

Unsur paduan dalam baja dapat larut dalam ferit atau dapat juga membentuk karbida. Pengaruh unsur paduan meliputi[2] :

1. Pengaruh terhadap titik *eutectoid*
2. Pengaruh terhadap pertumbuhan butir
3. Unsur pembentuk karbida

Komposisi dari baja perkakas adalah elemen paduan seperti : *Chromium (Cr)*, *Tungsten (W)*, *Molybdenum (Mo)*, *Vanadium (V)*, *Mangan (Mn)*, *Silicon (Si)*, dan *Cobalt (Co)*. untuk mengetahui pengaruh unsur paduan pada baja dapat dilihat sesuai tabel 2.1

Tabel 2.1. Pengaruh Unsur Paduan pada Baja[3]

Element	Solid Solubility		Influence on ferit	Influence on austenit	Influence on carbide		Principle function of alloying element
	Gamma iron	Alpha iron			Carbide forming	Action on tempering	
Cr	20% with 0,5%C	Unlimited	Hardens slightly	Increases hardenability	Greater than Mn Less than W	Mildly resist softening	Increases hardenability Resists abrasion and wear
Mn	Unlimited	3%	Hardens Considerability	Increases hardenability	Greater than Fe Less than Cr	Very Little	Increases hardenability Reduce brittleness
Mo	8% with 0,3%C	37,5%	Provides age hardening Mo-Fe alloys	Increases hardenability	Strong greater than Cr	Secondary hardening	Increases hardenability Promotes red hardness
Si	9% with 0.35%C	18,5%	Hardens with lower plasticity	Increases hardenability	Negative (graphitizes)	Sustains hardness by SS	Used as deoxidizer Strengthens low alloy steel
V	4% with 0,2 %C	Unlimited	Hardens slightly by SS	Very strongly increases hardenability	Very strong	Max. for secondary hardening	Promotes fine grain

Mn memberikan pengaruh dalam meningkatkan *hardenability* dengan meninggikan nilai kekerasan dan kekuatan. Mn bereaksi dengan S membentuk inklusi untuk secara efektif meningkatkan cutting property. Untuk mendapat pengaruh seperti itu dengan melakukan penambahan Mn sekitar 0,1wt% atau lebih tergantung kebutuhan. Ketika Mn secara berlebih ditambahkan, *hot-workability* memburuk. Karena itu dalam penambahan unsur Mn lebih baik 1.0wt% atau kurang. S adalah *free cutting element*, akan berikatan dengan Mn untuk membentuk inklusi untuk meningkatkan sifat *machinability*. Peningkatan *machinability* dengan penambahan unsur S bisa didapatkan tidak hanya nilai

kekerasan yang rendah setelah annealing tetapi juga nilai kekerasan yang tinggi (HRC or more) setelah *quenching* dan *tempering*.

Mo dan W membentuk karbida untuk meningkatkan *secondary hardening* pada *tempering* 450⁰C atau lebih. Meskipun Mo dan W memberikan efek yang sama, W membutuhkan dua kali lebih banyak untuk memberikan efek yang sama seperti Mo. Oleh karena itu jumlah Mo dan W diatur dengan Mo equivalen dengan Mo+0.5 W. Untuk mendapatkan nilai kekerasan HRC 61 atau lebih setelah *quenching* dan *tempering*, Mo harus lebih besar dari 1.25wt%. tetapi ketika Mo terlalu banyak, hot workability, toughness dan *machinability* akan memburuk atau menurun. Karena itu jumlah Mo lebih baik kurang dari 3.0wt%.

V membentuk karbida yang stabil untuk mencegah kekasaran butir. V memberikan kontribusi untuk meningkatkan ketahanan aus atau kekerasan dengang membentuk senyawa karbida. Untuk mendapatkan efek tersebut penambahan dari *Vanadium* sebanyak 0.05 wt% atau lebih. Ketika V terlalu banyak, akan memperburuk *machinability* dan *hot workability* dikarenakan meningkatkan jumlah karbida, sebaiknya V diberikan kurang dari 1.0 wt%.

Se, Te, Ca, Pb dan Bi boleh ditambahkan dengan tujuan untuk meningkatkan *machinability*. Dalam penambahan element tersebut tidak pernah menghalangi dalam meningkatkan *machinability* dengan penambahan Si. Se dan Te dapat digunakan sebagai element alternative dari Si dalam Mn sulfida. Ca meningkatkan *machinability* dengan membentuk oksida atau terlarut dalam Mn-sulfida membentuk lapisan protektif dalam permukaan cutting tool. Lebih lanjut, Pb dan Bi, dengan nilai melting point yang rendah dapat meningkatkan *machinability*. Cu, Ni, Co dan B terlarut dalam matrix untuk memberikan pengaruh dalam meningkatkan hardenability. Ni biasanya dapat meningkatkan ketangguhan dengan mengurangi temperatur transisi impak dan mencegah penurunan sifat mampu lasan dengan meningkatkan ketangguhan. Co memberikan pengaruh meningkatkan kekuatan atau ketahanan terhadap temperatur tinggi untuk mencegah perubahan secara permanen dari meterial ketika temperatur meningkat. P, N, dan O tak dapat dielakkan terdapat didalam baja. P segregasi pada batas butir, O dari oksida, dan N membentuk nitrida. Al bereaksi dengn O atau N pada baja untuk membentuk oksida atau nitrida. Elemen tersebut dapat

meningkatkan ketangguhan dengan mengurangi penambahan mereka. Untuk mendapatkan efek tersebut penambahan elemen tidak boleh lebih dari P 0.02 wt%, N 0.03 wt%, Al 0.05 wt%, dan O 0.05 wt%. oksida atau nitrida dari penambahan Al dapat mencegah kekasaran butir.

II.3. BAJA PERKAKAS SKD 11

Baja perkakas pengerjaan dingin (*cold-work tool steel*) diwakili oleh JIS SKD 11 atau dalam AISI dengan nama D2 merupakan baja cold-working kualitas atas dengan *hardenability* yang tinggi, ketahanan aus yang baik, stabilitas dimensi, kekuatan tekan yang tinggi, dan termasuk material yang tangguh. Baja SKD 11 banyak diaplikasikan pada bidang manufaktur diantaranya sebagai[4] :

- *Cutting*
- *Punching*
- *Stamping tools*
- *Shear blades*
- *Thread rolling dies*
- *Cold extrusion dies*
- *Drawing dan bending tools*
- *Cutting tools*
- *Deep drawing tools, dan*
- *Plastic moulds* untuk polimer *abrasive*

Tabel 2.2. Tool Steels[5]

Definition	Symbol	ISO	AISI ASTM	BS	DIN VDEh	NF	GOCT
JIS G 4404 Alloy tool steels	SKS 11	--	F2	--	--	--	XB4
	SKD 11	--	D2	BD2	--	Z160CDV12	--
	SKD 12	100CrMoV5	A2	BA2	--	Z100CDV5	--
	SKD 61	40CrMoV5	H13	BH13	X40 CrMoV51	Z40 CDV5	4X5M??1C

Adapun komposisi daripada baja perkakas JIS SKD 11 atau AISI D2 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3. Komposisi Standar SKD 11[4]

Elemen paduan wt%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Co	Cu	Al	N
	1.5	0.45	0.25	12	0.15	0.4	0.4	1.00	0.15	0.03	0.017

Sifat mekanis baja perkakas SKD 11 diantaranya sebagai berikut :

- Kekerasan HRC = 58 HRC
- Tensile Strength = 80 kg/ mm³

II.4. PERLAKUAN PANAS

Proses perlakuan panas merupakan suatu tahapan proses yang penting pada pengerjaan logam yang bertujuan untuk mendapatkan atau memperbaiki sifat-sifat mekanis seperti kekerasan, ketangguhan, dan sebagainya.

Proses pemanasan yang dilakukan adalah dengan cara menaikkan temperatur logam diatas temperatur kritis (A1) yaitu temperatur dimana mulai terjadinya transformasi struktur dari ferit (α) menjadi austenit (γ). Kemudian logam ditahan pada temperatur tersebut untuk waktu tertentu dan dilanjutkan dengan pendinginan dengan kecepatan dan media tertentu pula.

Perlakuan panas yang banyak dilakukan pada baja perkakas adalah proses pengerasan (*hardening*) dan dilanjutkan dengan penemperan, dimana hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan ketangguhan meskipun kekerasannya sedikit turun

II.4.1. Proses Pengerasan

Proses pengerasan merupakan proses dimana baja dipanaskan di atas temperatur kritis dan kemudian ditahan untuk beberapa saat. Proses ini dilanjutkan dengan pendinginan cepat, yaitu dengan proses pencelupan di dalam air, oli, larutan garam dan pada beberapa baja tertentu dapat juga dilakukan dengan pendinginan udara.

II.4.1.1. Austenisasi

Austenisasi merupakan suatu proses untuk menghasilkan struktur akhir yang lebih keras dengan memanaskan baja terlebih dahulu sehingga didapat fasa austenit (γ). Austenisasi merupakan tahap yang sangat kritis pada proses

pengerasan dimana proses ini berdampak terhadap proses pelarutan karbida ke dalam matriks austenit yang akan berubah pada pendinginan cepat menjadi martensit. Austenisasi juga dapat mempengaruhi hardenability dimana bila semakin banyak unsur paduan yang larut ke dalam austenit akan menghasilkan hardenability yang baik sehingga mempengaruhi jenis dan morfologi matriks. Adanya karbida tidak saja mempengaruhi kelarutannya dalam austenit tetapi dapat pula memperlambat pertumbuhan austenit, dimana karbida yang sukar larut dan halus dapat memperlambat pertumbuhan austenit. Menurut *Yu Geller*[6] austenit yang terbentuk dari perlit pada temperatur hingga 850°C mengandung kadar karbon yang rendah dan pada austenisasi hingga temperatur 1030°C masih akan terdapat sisa-sisa ferit sehingga baja yang akan dikeraskan dari temperatur ini kekerasan serta stabilitas termalnya relative rendah. Dengan semakin meningkatnya temperatur maka akan semakin banyak karbida yang larut.

Konsentrasi austenit dalam baja (martensit setelah pendinginan cepat) tidak homogen dalam tiap volume mikro logam akibat distribusi karbida yang tidak merata apalagi pada baja *hypoeutektoid* dimana austenit ada yang berasal dari ferit setelah transformasi perlit. Komposisi austenit ini kemudian akan mempengaruhi temperatur awal terbentuknya martensit (M_s), *Hardenability*, austenit sisa, namun akan meningkatkan stabilitas termal sepanjang tidak terjadinya pembesaran butir akibat tingginya temperatur. Sedangkan sifat mekanis akan memiliki nilai optimum untuk tiap baja yang diaustenisasi. Turunnya kekerasan hasil *as-quench* dibandingkan dengan sebelum perlakuan panas, disebabkan bertambahnya austenit sisa pada temperatur austenisasi yang tinggi, namun kekerasan akan meningkat kembali sesudah ditemper dengan terjadinya pengerasan presipitat. Ketangguhan pada temperatur pengerasan 1000°C akan meningkat akibat terlarutnya karbida di batas butir namun pada temperatur $1150 - 1200^{\circ}\text{C}$ akan turun lebih cepat dibanding turunya kekuatan, karena ketangguhan sensitive terhadap perbesaran butir, setelah distemper ketangguhan tetap rendah akibat presipitasi karbida[7].

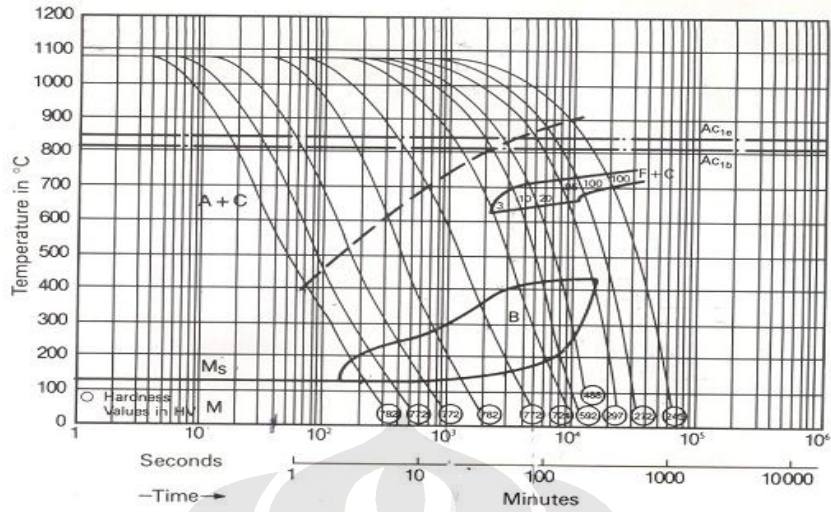
Pada baja hypoeutektoid yang dipanaskan pada temperatur $30 - 50^{\circ}\text{C}$ di atas temperatur kritis, akan menyebabkan perubahan ferrit dan sementit menjadi austenit. Tingginya temperatur austenisasi yang dilakukan harus dipilih dengan

tepat agar didapatkan sifat kekerasan yang maksimum. Pemanasan baja pada temperatur yang terlalu tinggi atau waktu tahan yang terlalu lama akan menyebabkan penurunan drastis harga impaknya.

II.4.2. Pendinginan (*quenching*)

Pengerasan baja melalui pendinginan yang cepat dari temperatur austenisasi merupakan teknik perlakuan panas yang efektif dan sederhana. Martensit merupakan larutan padat karbon yang lewat jenuh dalam struktur ferrit (α) yang mempunyai kisi Kristal BCC (*Body Centered Cubic*). Adanya unsur karbon yang terperangkap akan membentuk struktur Kristal BCT (*Body Centered Tetragonal*) yang terbentuk melalui mekanisme transformasi geser. Terjadinya peningkatan kekerasan setelah quenching berasal dari banyak factor antara lain adanya larutan padat substitusi dan interstisi, batas butir, segregasi unsur pengotor pada batas butir austenit, segregasi atom karbon, terbentuknya karbida presipitat dan tegangan sisa setelah quenching. Namun kontribusi terbesar dihasilkan oleh adanya larutan padat interstisi dari karbon yang terperangkap dan membentuk kisi Kristal BCT[8].

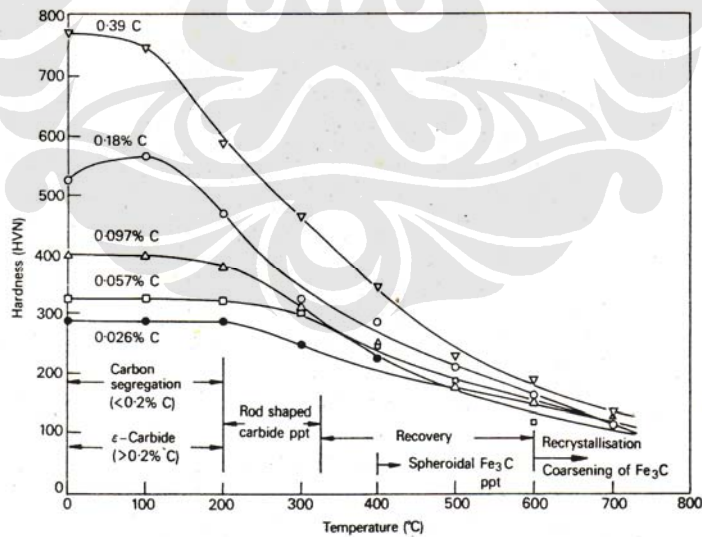
Dengan menggunakan diagram CCT (*Continuous Cooling Diagram*) diperlihatkan perubahan struktur dari austenit hingga terbentuknya struktur lain sesudah pendinginan dalam laju yang berkelanjutan, sedangkan pada diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*) dapat diamati perubahan struktur yang terjadi pada temperatur konstan seperti pada gambar 2.1. Pendinginan yang berkelanjutan dapat merubah temperatur transformasi austenit menjadi lebih rendah dan lebih lama. Dengan laju pendinginan yang berbeda maka akan didapat sifat mekanis yang berbeda akibat perbedaan struktur pada bahan.



Gambar 2.1. Grafik TTT baja AISI D2 [10]

II.4.3. Tempering

Tempering merupakan proses pengerasan pada perlakuan panas baja di bawah temperaur kritis atau di bawah temperatur austenisasi pada sampel untuk meningkatkan ketangguhan yang kemudian pendinginannya dilakukan di udara hingga temperatur ruang. Penggunaan temperatur temper yang berbeda juga dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pengaruh temperatur temper 100-700^oC selama 1 jam. [2] terhadap kekerasan baja

Proses temper dilakukan setelah proses *quenching*. Perlakuan temper mempunyai 3 fungsi yaitu[3] :

1. Untuk menghilangkan tegangan dalam akibat proses *quenching*
2. Mengurangi kekerasan dengan meningkatkan keuletannya (ketangguhannya)
3. Pada pengerjaan panas dan kecepatan tinggi baja, adakalanya untuk meningkatkan sifat kekerasannya

Struktur yang terjadi pada baja yang mengalami proses pengerasan *quenching* adalah martensit yang bersifat keras dan rapuh, sehingga pada prakteknya tidak dapat langsung digunakan. Perilaku perapuhan ini sudah dapat diduga dari awal, karena pembentukan martensit diiringi distorsi matriks yang cukup besar. Kekerasan dan kekuatan martensit dengan bertambahnya kandungan karbon. Peningkatan kekuatan ditimbulkan oleh karbon larut, presipitasi karbida selama pencelupan, dislokasi yang terjadi selama transformasi dan ukuran butir. Untuk menanggulangi masalah ini maka setelah proses *quenching* diikuti oleh proses penemperan yaitu pemanasan kembali pada temperatur 160 – 660°C. penemperan ini sebaiknya dilakukan segera setelah bahan mencapai temperatur 50 – 75°C. [7]

Walaupun terdapat unsur paduan yang mempunyai ketahanan terhadap pembesaran butir hingga temperatur tertentu, pada dasarnya proses temper tidak hanya tergantung pada temperatur proses temper namun tergantung pula pada waktu proses dan jenis paduannya. Sehingga pembesaran butir dapat terjadi dalam waktu yang sangat singkat pada temperatur yang cukup tinggi. Terutama pada baja yang mengalami pengerasan sekunder yaitu baja yang memiliki unsur paduan pembentuk karbida karena kekerasan maksimum pada saat ditemper biasanya merupakan fungsi temperatur saja

II.5. PEMBENTUKAN STRUKTUR MIKRO

Dalam aplikasinya baja perkakas dibutuhkan untuk memiliki nilai kekerasan yang tinggi dengan ketangguhan yang baik. Proses pengerasan yang dilakukan diharapkan struktur mikro yang terjadi adalah martensit pada range yang telah ditentukan dengan kekerasan yang tinggi akan tetapi mempunyai ketangguhan

yang baik sehingga dalam prosesnya mengalami proses temper. Walaupun demikian proses temper tidak akan mengubah struktur mikro yang terjadi, akan tetapi menurunkan kekerasan tetapi dapat meningkatkan sifat keuletannya. Akibat perlakuan panas yang tidak sempurna akan didapatkan bainit, ferit, dan perlit pada struktur mikronya.

II.5.1. Pembentukan Martensit

Untuk mendapatkan baja dengan sifat kekerasan yang tinggi maka setelah dipanaskan pada temperatur austenitasi, baja didinginkan dengan cepat sehingga didapatkan struktur martensit yang keras. Dalam transformasi perubahan yang terjadi mengikuti diagram CCT baja tersebut, terdapat pula sejumlah kecil austenit sisa dan karbida-karbida yang tidak larut selama austenitasi.

Pada proses pendinginan dari temperatur austenitasi dengan laju pendinginan yang rendah atau sedang, atom karbon berdifusi keluar dari struktur austenit atom Fe- γ yang kemudian secara perlahan berubah menjadi Fe- α dengan struktur BCC yang transformasinya dari suhu α terjadi oleh adanya proses pembibitan dan pertumbuhan. Proses tersebut tergantung waktu yang jika pendinginannya cepat maka atom karbonnya tidak sempat untuk berdifusi sehingga struktur yang terbentuk menjadi BCT dan fasa ini adalah martensit. Martensit apabila dilihat secara mikroskopis akan tampak seperti jarum-jarum atau tumpukan jerami. [3]

Martensit dari hasil proses pendinginan cepat mempunyai sifat yang sangat getas atau rapuh. Kerapuhan ini dikarenakan oleh beberapa factor antara lain terjadi karena distorsi kisi yang disebabkan oleh terperangkapnya atom karbon dalam kisi octahedral dari martensit, segregasi dari unsur-unsur pengotor pada batas butir austenit, pembentukan karbida selama proses pencelupan dan tegangan sisa yang terjadi pada proses pencelupan.

Dalam perubahan transformasi martensit, ada beberapa karakteristik penting antara lain adalah sebagai berikut[3] :

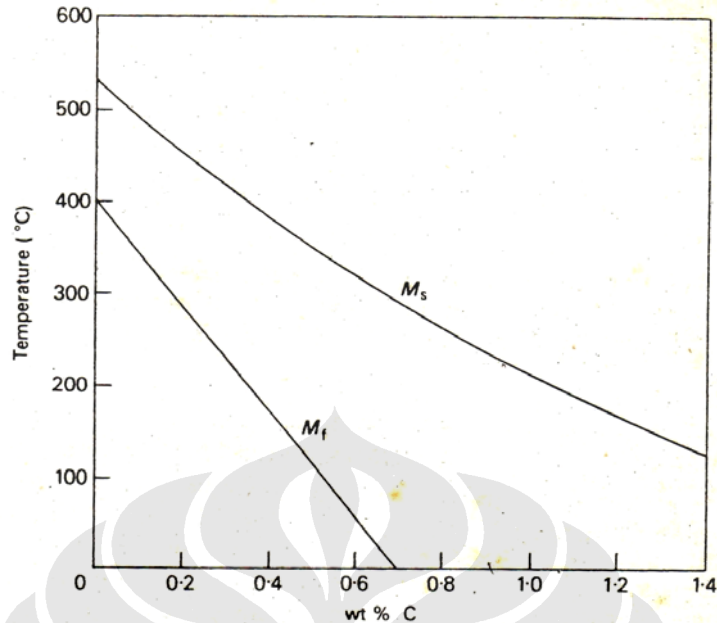
1. Transformasi martensit terjadi tanpa proses difusi, hal ini terjadi karena transformasi martensit berlangsung dengan kecepatan tinggi.

2. Transformasi martensit yang terjadi tanpa adanya perubahan komposisi kimia dari fase awal.
3. Jenis material yang dihasilkan sangat tergantung pada jumlah kandungan karbon dalam baja. Bila kandungan karbon rendah maka yang terbentuk adalah lath martensit. Dan apabila kandungan karbon dalam baja tinggi akan terbentuk plate martensit. Sedangkan bila kandungan karbonnya sedang akan terbentuk campuran dari keduanya.
4. Transformasi berlangsung selama proses pendinginan cepat, jadi hanya tergantung pada kecepatan penurunan temperatur.
5. Struktur Kristal yang terbentuk oleh transformasi martensit adalah BCT.
6. Perbandingan jumlah martensit yang terbentuk selama proses pencelupan quenching terhadap penurunan temperatur tidak linear.
7. Dalam transformasi martensit hanya terjadi pergeseran atom-atom saja tanpa perubahan komposisi kimia yang terurai sehingga transformasinya merupakan transformasi geser.

Austenit berubah menjadi martensit dimulai pada temperatur martensit start (M_s) dan terus berubah hingga temperatur martensit finish (M_f) walaupun pada M_f masih ditemukan austenit sisa. Temperatur M_s dan M_f dipengaruhi oleh konsentrasi karbon, elemen paduan yang ada dan segregasi paduan pada proses solidifikasi. Temperatur M_s dapat diperkirakan berdasarkan komposisi kimia yang ada dengan persamaan sebagai berikut[8] :

$$M_s (^{\circ}C) = 561 - 474(\%C) - 33(\%Mn) - 17(\%Ni) - 17(\%Cr) - 21(\%Mo) \dots(2.1)$$

Pengaruh kandungan karbon dalam menentukan temperatur mulai terbentuknya martensit (M_s) hingga temperatur akhir pembentukan martensit (M_f) sangatlah penting seperti yang dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pengaruh Kadar Karbon terhadap Temperatur Ms dan Mf [3]

Pada transformasi martensit dalam baja masih terdapat austenit sisa yang jumlahnya tergantung pada kadar karbon dalam baja. Adanya austenit sisa ini dapat melemahkan sifat mekanis dari baja dikarenakan dengan austenit sisa akan menyebabkan pada mengalami tegangan dalam ketika austenit sisa bertransformasi menjadi martensit dan akan mengakibatkan keretakan akibat perubahan volume yang dihasilkan dari transformasi austenit sisa menjadi martensit yang dikarenakan atom karbon yang larut dalam martensit lebih kurang sama dengan kelarutan karbon maksimum pada struktur (α) dan jauh lebih besar dari kelarutan karbon maksimum pada struktur BCC[2]. Atom karbon karbon akan senantiasa berdifusi keluar untuk mendapatkan keadaan yang lebih stabil oleh karena itu martensit merupakan mikrostruktur yang metastabil. Dengan menaikkan temperatur martensit akan lebih mudah berdekomposisi untuk mendapatkan keadaan yang lebih stabil menjadi martensit temper melalui transformasi isothermal proses penemperan yang kondisi penemperannya ditentukan oleh keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan yang dibutuhkan.

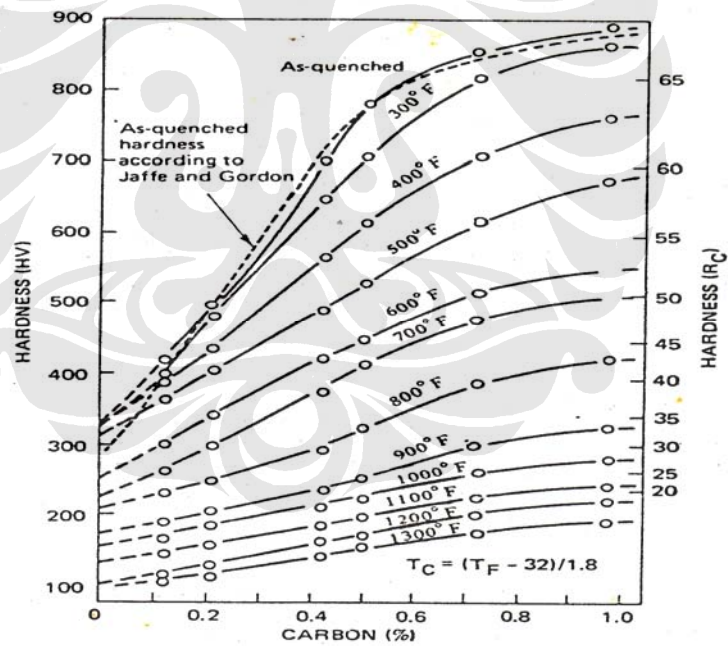
II.5.2. Pembentukan Martensit Temper

Proses penemperan yang dilakukan pada baja akan memberikan kesempatan bagi atom-atom karbon yang larut untuk berdifusi membentuk struktur yang lebih

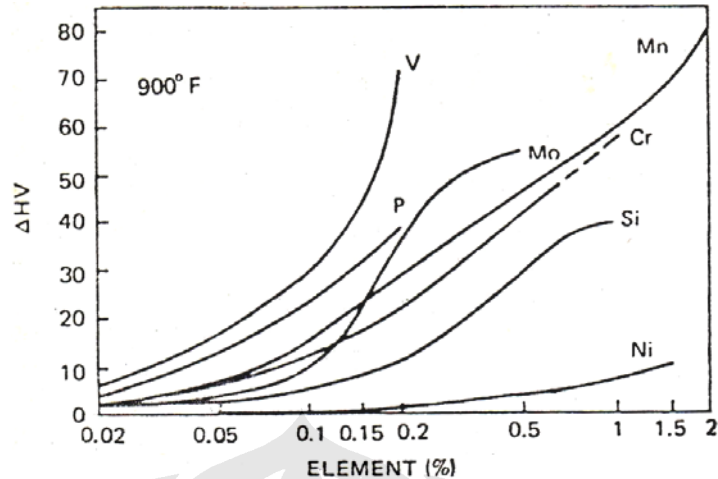
stabil. Dengan terjadi proses difusi tersebut, maka tetragonalitas dari martensit akan terus berkurang mendekati kubus. Selama proses penemperan, martensit akan mengalami beberapa tahapan reaksi dalam keadaan padat menjadi martensit temper. Proses yang terjadi struktur mikro martensit temper adalah :

1. Segregasi dari atom-atom karbon
2. Pengendapan karbida-karbida
3. Dekomposisi dari austenit sisa
4. Pemulihan dan rekristalisasi

Reaksi-reaksi di atas terjadi tidak pada temperatur dan waktu yang sama namun satu dengan lainnya saling tumpang tindih sehingga struktur mikro martensit temper yang dihasilkan sangat kompleks[3]. Gambar 2.4. dapat memberikan ilustrasi tentang hubungan kekerasan dengan bertambahnya kandungan karbon pada *iron-carbon alloy* pada temperatur temper yang berbeda.



Gambar 2.4. Kekerasan dari martensit temper dalam iron-carbon alloy [1]



Gambar 2.5. Pengaruh elemen paduan terhadap nilai kekerasan dari martensit temper pada suhu 480°C dalam 1 jam [9]

Pengaruh paduan dengan konsentrasi yang berbeda dan efek pengerasan diukur sesuai dengan temperatur temper yang digunakan. Diasumsikan untuk mengetahui pengaruh paduan terhadap nilai kekerasan mempunyai kadar karbon yang sama kandungannya. Asumsi ini digunakan agar dapat mengestimasi nilai kekerasan untuk baja agar sesuai dengan tujuannya.

Peningkatan dari nilai kekerasan, ΔHV , dihasilkan dengan memadukan unsur-unsur paduan dengan cara seperti dilhatkan pada gambar 2.5. untuk mengestimasi nilai kekerasan dari baja setelah tempering dengan temperatur tertentu[8].

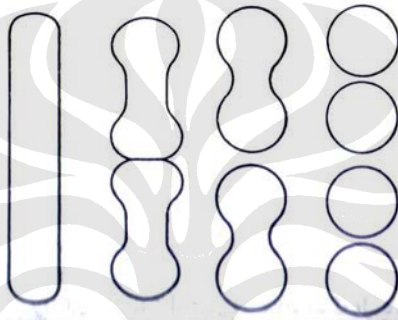
$$HV_{\text{estimasi}} = HV_C + HV_{Mn} + HV_P + HV_{Si} + HV_{Ni} + HV_{Cr} + HV_{Mo} + HV_V \dots\dots(2.2)$$

Dimana,

- HV_C = Nilai Kekerasan Karbon
- HV_{Mn} = Nilai Kekerasan Mn
- HV_P = Nilai Kekerasan P
- HV_{Si} = Nilai Kekerasan Si
- HV_{Ni} = Nilai Kekerasan Ni
- HV_{Cr} = Nilai Kekerasan Cr
- HV_{Mo} = Nilai Kekerasan Mo
- HV_V = Nilai Kekerasan V

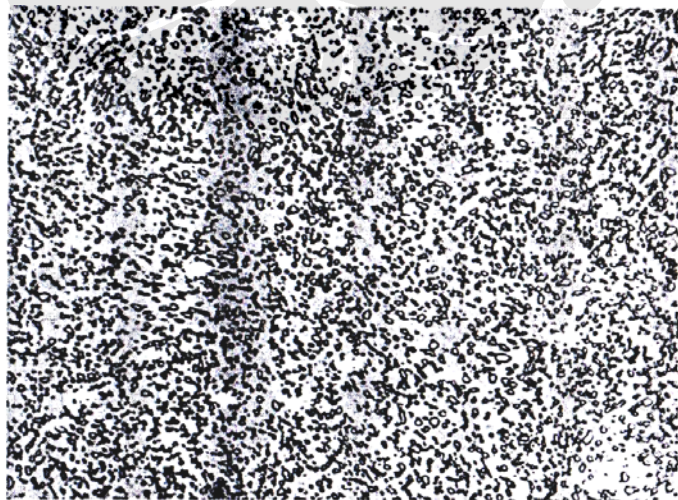
II.6. SPHERODIZED ANNEAL

Struktur mikro spheroidized merupakan mikrostruktur paling stabil yang ditemukan pada baja hal ini dikarenakan fasa ferit biasanya bebas ketegangan dan karena cementit memiliki bentuk spherikal sehingga daerah interface minimum. Lamellar cementit yang terdiri dari perlit memiliki daerah interface yang cukup banyak sehingga memiliki energi infacial yang tinggi. Oleh karena itu untuk mengurangi energi interfacial cementit yang tadinya berbentuk lamel atau plate patah menjadi partikel yang lebih kecil yang diasumsikan bentuknya seperti spherikal seperti yang dilihat pada gambar 2.6.[7]



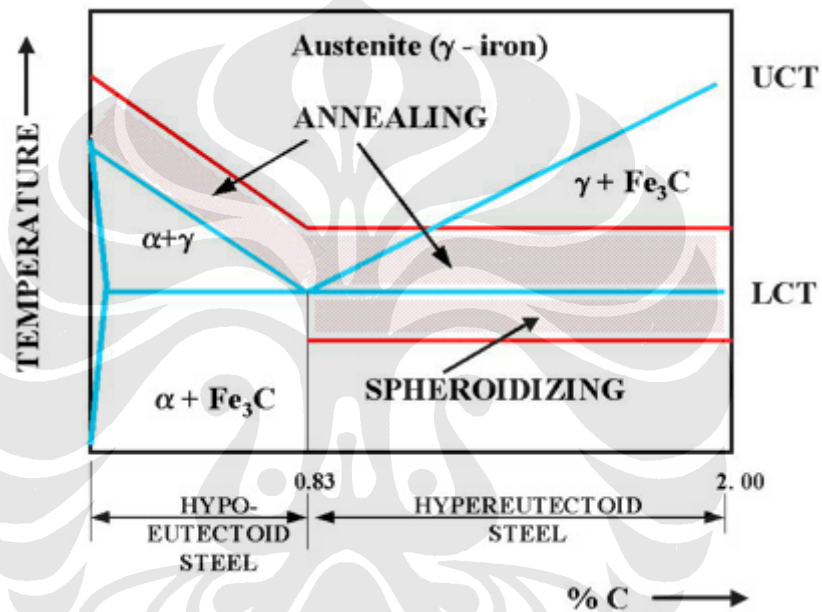
Gambar 2.6. Skema Transformasi dari *Cementit Lamel* menjadi Spheroid [7]

Untuk keuletan, kondisi terluak dari banyak baja dihubungkan dengan struktur mikro yang terdiri dari partikel *spherical carbida* yang menyebar merata dalam matrik ferit. Gambar 2.7. memperlihatkan struktur mikro *spheroidized*.



Gambar 2.7. Struktur Mikro *Spheroidized*. [7]

Temperatur spheroidizing anneal sebagai contoh yang diterapkan pada carbon steel dapat ditunjukkan pada gambar 2.7, di gambar tersebut terlihat untuk baja hypo-eutectoid annealing dianjurkan di bawah garis A_1 di bawah garis Ferrite-Austenite, garis A_1 atau di bawah garis Austenite-Cementite, dianjurkan di bawah 727°C (1340°F) diikuti dengan pendinginan lambat. Untuk baja perkakas dan paduan dipanaskan pada temperatur 750°C samapi 800°C lalu ditahan selama beberapa jam diikuti dengan pendinginan lambat.[11]



Gambar 2.8. Grafik temperatur *annealing* dan *spheroidizing*[11]