

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. BAJA PERKAKAS

Baja perkakas merupakan material dengan bahan dasar besi ditambah dengan paduan – paduan lainnya seperti Mangan (Mn), Silikon (Si) , Tembaga, Vanadium, Molibdenum, dan lain sebagainya. Untuk material baja konstruksi kadar paduan krom atau aluminium maksimum 3,99%, ditambah dengan paduan lain yaitu kobalt, columbium, molybdenum, nikel, titanium, tungsten, vanadium, zirconium, dan elemen paduan lainnya.

Secara teknis bahwa baja perkakas dan baja tahan karat termasuk kedalam golongan baja paduan. Baja paduan sendiri dapat diterjemahkan sebagai baja yang berisi sejumlah paduan – paduan. Baja paduan tergantung kepada perlakuan panas dalam rangka memperoleh sifat mekanik yang spesifik. Sebagai contoh dengan perlakuan panas maka kekuatan tarik suatu material dapat ditingkatkan dari 80 MPa menjadi 420 MPa.

Berdasarkan teknik perlakuan panas yang diberikan kepada baja paduan maka baja paduan dikelompokkan kedalam dua jenis yaitu : baja *hardening grades* dan baja *carburizing grades*. Baja jenis *hardening* dapat dikeraskan dengan dapat ditingkatkan sifat mekaniknya dengan cara pendinginan cepat (*quenching*) dan pemanasan (*tempering*). Kekerasan dan kekuatan material masuk sampai kelapisan yang lebih dalam dari material. Baja jenis *carburizing* memiliki karakteristik yaitu tangguh pada material yang lebih dalam dan keras pada permukaan. Baja yang telah *decarburizing* diaplikasikan untuk material tahan aus. Baja cor mengalami pengerasan karena pemaduan, dan dapat ditingkatkan sifat mekaniknya dengan perlakuan panas.[1]

Kadar karbon dan unsur – unsur paduan berpengaruh terhadap semua karakteristik dari material (baja paduan). Kekerasan maksimum dari permukaan baja tergantung dari kadar karbon dari material tersebut. Kekerasan dan kekuatan

material meningkat dengan meningkatnya kadar karbon, sampai dengan kadar karbon sebanyak 7%. Walaupun kadar karbon lebih besar dari 3% dapat menaikkan kekerasan dan kekuatan, tapi kemungkinan terjadinya retak selama pendinginan cepat atau pengelasan. Pemaduan pada baja paduan dapat meningkatkan mampu keras dari baja. Pemaduan dapat merubah sifat mekanik dan mampu fabrikasi dari baja paduan. Mampu fabrikasi disini meliputi ketangguhan dan mampu mesin dari material.[2].

Penambahan timbal sebanyak 0,15 % - 0,35% meningkatkan sifat mampu mesin dari baja paduan, khususnya pada baja perkakas jenis *high speed steel*. Untuk baja perkakas jenis *machining carbide tools* , penambahan kalsium akan meningkatkan umur pakai dari *machining carbide tools* sampai dengan tiga kali lipatnya.[3].

Material baja paduan jenis yang berukuran besar seperti untuk material *heavy forgings* dibuat dengan metoda vakum, yang bertujuan untuk menghilangkan hidrogen dan untuk menurunkan kadar dari oksigen dan nitrogen.[4].

Baja paduan dibuat ketika kita membutuhkan material dengan kekuatan yang tinggi dalam ukuran yang sedang maupun ukuran yang besar. Dasar desain dalam membuat material adalah nilai kekuatan tarik dan nilai kekuatan *yield* dari material tersebut. Baja paduan yang telah mengalami perlakuan *termal* memiliki kekuatan yang tinggi. Pembuatan material dengan kebutuhan keuletan yang maksimal diantaranya dengan jalan menurunkan kadar sulfur sampai kurang dari 0,01%. Pengurangan kadar sulfur ini dilakukan dalam dapur *ladle furnace*. [5].

Beberapa hal yang dapat menurunkan ketangguhan pada baja paduan adalah : temperatur servis yang rendah, kecepatan pembebanan yang tinggi, dan tegangan sisa. Oleh sebab itu maka pengujian impak yang dilakukan pada temperatur yang rendah (-50°C) bertujuan sebagai indikator dari ketangguhan material pada berbagai temperatur khususnya pada temperatur rendah. [6].

Pendinginan yang lambat dari temperatur 468 – 301,3°C dari proses *heat treatment* pada baja paduan akan berakibat terjadinya penggetasan, penggetasan

juga dapat terjadi akibat dari *holding* atau *tempering* dalam rentang temperatur 468 – 301,3°C. Pemanasan temperatur yang tidak terlalu tinggi pada baja paduan dengan kadar karbon rendah dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baik pada temperatur ruang atau temperatur rendah.

Pendinginan cepat pada baja paduan dengan media air kurang menguntungkan, karena dapat terbentuk retak atau distorsi atau biaya yang mahal. Baja yang tidak diperkenankan didinginkan cepat dengan media air adalah baja *low carbon* – nikel, atau baja nikel – molibdenum. Tetapi, baja – baja tersebut yang telah *dinormalizing* atau ditemper dapat digunakan pada keadaan servis temperatur rendah.[7].

Baja paduan tempa atau baja karbon dapat dikelompokkan menurut standar AISI dan SAE yang disusun berdasarkan komposisi dan tipe paduan. Seri dari baja paduan terdiri dari empat angka, awalan H berarti baja tersebut memiliki nilai mampu keras tertentu. Prefiks E, berarti baja tersebut dibuat dengan metoda *electric furnace*. Spesifikasi khusus pada baja dibuat untuk material struktur, *pressure vessel*, dan aplikasi nuklir.

Standar spesifikasi ASTM digunakan untuk klasifikasi material baja paduan yaitu berupa hubungan antara baja dengan sifat mekanik dari baja tersebut berkaitan dengan kondisi servis dari material tersebut. Hal kedua yang diindikasikan oleh standar ASTM adalah komposisi kimia dari material tersebut. Terdapat beberapa contoh spesifikasi standar ASTM untuk berbagai macam material yaitu A27 atau A148 ketika sifat mekanik adalah kritikal. Material dengan standar ASTM A 352 atau A 757 merupakan material yang digunakan pada *low temperature* servis dimana ketangguhan merupakan hal yang penting. Untuk material dimana memiliki sifat mampu las yang baik, mampu fabrikasi yang baik maka seri ASTM nya adalah A 216. Untuk material yang memiliki karakteristik mampu menanggulangi tekanan dengan baik, mampu fabrikasi yang baik maka seri dari material tersebut adalah A 217 atau A 389. Standar material yang lain adalah SAE J435 digunakan untuk baja cor untuk aplikasi otomotif.[8].

Contoh – contoh dari aplikasi dari baja perkakas adalah untuk : *cold forging punch and die, a forming die* untuk plat yang memiliki kekuatan yang tinggi, *a bending die, a cold forging die, a swaging die, a thread rolling die, a punch member, a slitter knife, a lead frame blanking die, a gauge, a deep drawing punch, a bending die punch, a shear blade, a bending die for stainless steel, a drawing die, a plastic working tool* untuk *cold press, a gear punch, a cam part, a blanking press die, a progressive blanking die, a seal plate for sediment feeder, a screw member, a rotary plate for concrete spraying machine, an IC sealing die,* dan *a precision press die* yang membutuhkan presisi dimensi yang tinggi, dan semua *cold dies* diatas diaplikasikan setelah material tersebut mengalami proses perlakuan permukaan CVD, PVD dan TD. [10].

Karbon (C). Adalah unsur paduan baja yang paling penting. Karbon meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan aus dan abrasi. Tetapi kadar karbon yang tinggi akan menurunkan ketangguhan dan mampu mesin dari baja.

Mangan (Mn). Adalah unsur *deoxidiser* dan *degasser* yang akan bereaksi dengan sulfur dalam rangka meningkatkan mampu *forging*. Mangan meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, mampu keras, dan ketahanan aus dari baja. Tetapi kadar mangan dalam jumlah yang tinggi dapat berakibat kepada distorsi dan *scaling* pada material. Kadar mangan dapat meningkatkan kecepatan penetrasi karbon saat dilakukan proses karburisasi.[11]

Fosfor (P). Meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada material serta meningkatkan sifat mampu mesin dari material tersebut. Tetapi fosfor juga dapat menjadi penyebab dari penggetasan atau *cold shortness* pada baja.

Sulfur (S). Meningkatkan mampu mesin pada baja, khususnya untuk baja pemotong, tetapi tanpa kehadiran mangan yang cukup akan berakibat munculnya *hot shortness* atau penggetasan pada baja akibat dari pemanasan. Kehadiran sulfur dalam jumlah yang berlebih akan menurunkan sifat mampu las, keuletan dan ketangguhan. [12].

Silikon (Si). Merupakan unsur deoksidasi dan degasser. Si meningkatkan kekuatan tarik, yield, kekerasan dan mampu forging serta permeabilitas magnet.

Kromium (Cr) Meningkatkan kekuatan tarik, mampu keras, ketangguhan, ketahanan terhadap aus dan abrasi, tahan terhadap korosi dan *scaling* pada temperature tinggi.

Nikel (Ni). Nikel meningkatkan kekuatan dan kekerasan tanpa merusak keuletan dan ketangguhan. Nikel juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan *scaling* pada temperature tinggi ketika suatu baja secara bersamaan mengandung krom dan nikel dalam jumlah yang tinggi.

Molibdenum (Mo). Molibdenum meningkatkan kekuatan, kekerasan, mampu keras, ketangguhan, juga meningkatkan ketahanan *creep* pada temperature tinggi. Molibdenum meningkatkan sifat mampu mesin dari material serta meningkatkan ketahanan korosi dari material. Untuk material baja perkakas jenis *hot work* dan *high speed*, maka kehadiran *molybdenum* akan meningkatkan ketahanan material – material tersebut terhadap fenomena *red hardness*.

Tungsten (W). Meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, kekerasan dan ketangguhan. Baja tungsten memiliki sifat *hot working* yang superior dan mampu potong yang lebih efisien pada temperature tinggi.

Vanadium (V). Meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus dan tahan terhadap beban impact yang tiba – tiba. Vanadium akan menghambat tumbuhnya butir dan meningkatkan temperatur *quenching*. Disamping itu kehadiran vanadium akan mengilangkan terjadinya *red hardness* pada material baja perkakas jenis *high speed cutting tools*.

Cobalt (Co). Meningkatkan kekuatan dan kekerasan serta meningkatkan temperatur *quenching* dan meningkatkan *red hardness* pada baja perkakas jenis *high speed*. Kobalt juga meningkatkan efek paduan terhadap baja perkakas.

Aluminum (Al). Merupakan unsur deoksidasi dan *degasser*. Memperlambat pertumbuhan butir dan dapat mengontrol ukuran butir dari material baja austenitik. Untuk baja *nitriding*, penambahan aluminium, akan meningkatkan kekerasan secara *uniform* dan memperkuat efek nitridisasi ketika digunakan pada kadar Aluminium 1,00% - 1,25%. [12].

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*.

2.1.1. Sifat Ketahanan Aus Dari Baja Perkakas

Secara umum, ketahanan aus dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kekerasan dari paduan. Diantaranya dengan upaya meningkatkan kadar karbon yang nantinya meningkatkan ketahanan aus saja atau kekerasan saja atau keduanya. Permukaan baja karbon medium yang telah mengalami perlakuan panas berupa *flame hardening* akan berakibat menurunnya ketahanan aus, tetapi, ketahanan aus pada baja karbon tinggi menjadi meningkat. [12].

2.1.2. 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*. [13].

II.1.4.1. Baja Perkakas Pengerjaan Dingin (*Cold-Work Tool Steel*)

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

1. *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 *diquench* 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.1.4.2. 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.1.4.3. Baja Perkakas Kecepatan Tinggi (*High Speed Tool Steel*)

- Memiliki kekerasan tinggi pada temperatur diatas 550⁰C
- Digunakan sebagai alat potong dengan kecepatan 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.1.4.4. 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 impak
 - 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*

2.2. 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 :

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 dengan 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 peningkatan 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 elemen 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 material 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 dengan 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.

2. 2.1. 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*

Adapun simbol, definisi serta standarisasi dari baja perkakas dapat dilihat pada Tabel. 2.2.

Tabel 2.2. *Tool Steels*[5]

Definition	Symbol	ISO	AISI ASTM	BS	DIN VDEh	NF	GO CT
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	4X5 M?? 1C

Adapun komposisi daripada baja perkakas JIS SKD 11 atau AISI D2 dapat di lihat di Tabel 2.3.

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

2.3. 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 dar 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 [13].

2.3.1. 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.

2.3.1.1. Austenisasi

Fasa ini hanya mungkin ada pada baja karbon pada temperature tinggi. Baja karbon ini memiliki struktur *Face Centre Cubic (FCC)* yang berisi lebih dari 2% karbon dalam larutan padat.

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 kedalam 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 relatif 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 turunnya kekuatan, karena ketangguhan sensitive terhadap perbesaran butir, setelah ditemper 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.[14].

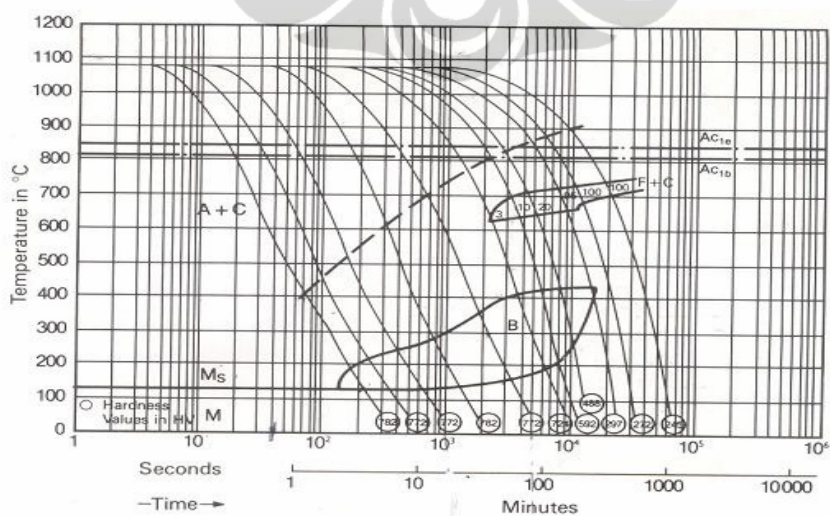
2.3.1.2.Ferit

Fasa ini memiliki struktur *Body Centre Cubic (B.C.C)* yang memiliki karbon dalam ukuran yang sangat kecil. Dalam temperature ruang dapat sampai sebanyak 0,0001%. Fasa ferit dapat muncul sebagai alfa maupun *delta* ferit. Fasa ferit memiliki sifat mekanik ulet, tetapi memiliki kekuatan dan kekerasan yang rendah.

2.3.1.3. 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 faktor 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 2.4. 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]

2.3.1.4. *Tempering*

Karbon yang terjebak pada saat transformasi pembentukan fasa martensit akan memiliki tegangan sisa yang tinggi, tegangan sisa tersebut dapat dinetralkan dengan memberikan pemanasan pada baja perkakas tersebut dibawah temperatur transformasi A1. Penetralkan karbon dari daerah nukleasi akan memungkinkan terjadinya struktur deformasi plastis dan hilangnya tegangan internal. *Tempering* sendiri akan menurunkan kekerasan dan meningkatkan ketangguhan dari material, disamping itu akibat dari proses perlakuan tempering tersebut, akan menurunkan kekuatan tarik dari material. Derajat *tempering* tergantung dari waktu dan temperatur; kenaikan temperatur memiliki akibat yang signifikan terhadap sifat mekanik material.

Tempering merupakan perlakuan kepada material yang bertujuan untuk menemper *martensite*, yang bertujuan untuk memperulet material. *Tempering* sendiri akan merubah struktur mikro dan sifat mekanik. Perubahan selama temper martensit dapat dikelompokkan kedalam dua jenis. Tahap pertama, terjadi segregasi larutan padat, sehingga terbentuk cacat atau cluster didalam larutan padat. Kemudian dari *cluster* tersebut akan mengendap sebagai sementit pada baja karbon atau sebagai besi karbida transisi dalam baja karbon paduan tinggi. Konsentrasi karbon yang ada pada larutan padat dapat menempati area yang sangat luas, jika larutan padat tersebut berisi karbida transisi. Tahapan kedua dari perlakuan *tempering* adalah berisi hampir dari semua karbon terendapkan, dan semua karbida terkonversi menjadi fasa sementit yang lebih stabil. Beberapa dari austenite sisa terdekomposisi selama tahap kedua ini. *Tempering* selanjutnya akan menghasilkan karbida kasar, yang nantinya secara luas memulihkan struktur dislokasi, dan pada akhirnya terjadi rekristalisasi dari *plate* ferit menjadi butir yang berbentuk ekuiaksial. [15].

Tempering adalah proses dimana struktur mikro mendekati setimbang dibawah temperature aktivasi termal. Ukuran dari keberhasilan *tempering* adalah sejauh mana struktur mikro permulaan menyimpang dari titik setimbang. Fasa martensit yang ditemper akan menjadi *martensite temper*. Kinetika dari *tempering* adalah RT_m dimana R adalah konstanta gas dan T_m adalah temperature lebur

absolut. Tiap unit kasar dari butir adalah ukuran dari energy *termal* dalam system ketika temperatur lebur. Sejumlah fasa martensit temper (unit kasar) akan menghasilkan sejumlah energi sampai dengan 20.000J/mol. [16].

Table 2.4. Derajat ketidakstabilan

Struktur Metastabil	RT_m
<i>Supersaturated solutions</i> (larutan lewat jenuh)	1
<i>Amorphous metal</i> (Logam amorfus)	0.5
<i>Modulated films, nanostructures</i>	0.1

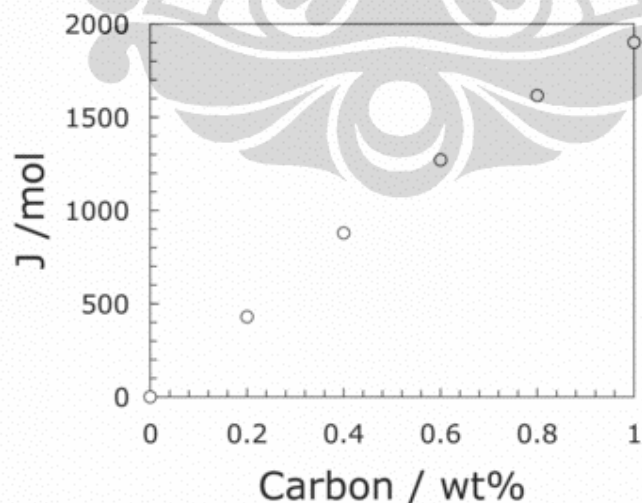
Larutan lewat jenuh meta stabil tergantung dari konsentrasi larutan padat, dan kesetimbangan larutan. Keberadaan larutan padat karbon, berkontribusi besar terhadap energi yang tersimpan dalam martensit.

Hasil dari data yang ada pada table 2.4, menunjukkan komponen dengan energi yang tersimpan dalam baja perkakas. Larutan padat merupakan campuran dari ferit, grafit dan sementit, dengan simpanan energi berjumlah nol. Pada pendinginan baja perkakas, sulit untuk dijumpai fasa grafit, dikarenakan fasa grafit dikenal paling lambat mengendap.

Ketika terjadi transformasi pada temperature rendah, unsur – unsur substitusional tidak dapat berdifusi pada temperatur rendah ini. Adapun unsur – unsur substitusional adalah Mangan dan besi, tetapi khusus untuk unsur karbon, masih mampu untuk melakukan difusi pada temperature rendah ini. Transformasi kemudian terjadi ketika perbandingan Fe/Mn konstan, dimana unsur karbon akan terredistribusi, sehingga potensial kimia menjadi setimbang. Fenomena ini dinamakan *paraequilibrium*. Tidak seperti daerah *equilibrium*, dikarenakan unsur

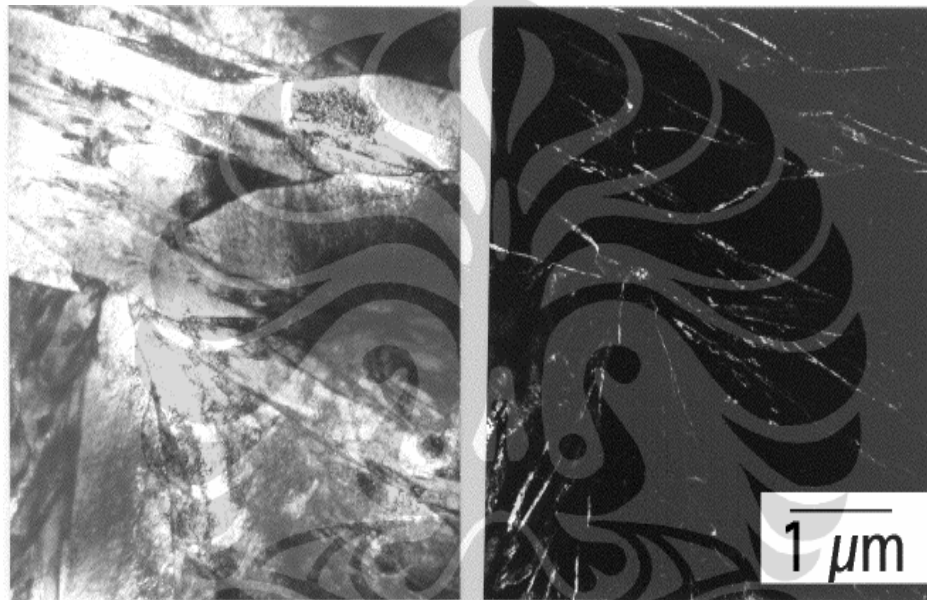
besi dan mangan terjebak selama proses transformasi, potensial kimia tidak lama mengalami kesetimbangan. Energi kesetimbangan dapat mencapai 315 J/mol.[18].

Ketika pembentukan fasa bainit, mekanisme transformasinya adalah mekanisme *displacive*, yang merupakan deformasi perubahan bentuk, dimana terjadi pertambahan energy sebesar 400J/mol. Ketika tidak ada difusi selama transformasi, karbon yang terpartisi mulai tumbuh. Energy total dinamakan daerah *paraequilibrium* untuk daerah regangan elastic, memiliki nilai energy bersih 785J/mol. Martensit bukan hanya hasil dari mekanisme transformasi difusi, tetapi pembentukan martensit dapat terjadi pada temperature rendah. Fenomena pembentukan martensit merupakan fenomena dari terjebaknya unsure karbon dalam produk kristal. Kemudian, energy regangan dalam pembentukan martensit dapat lebih besar dari 600 J/mol, dikarenakan plates memiliki aspek rasio yang lebih besar. Terdapat beberapa antarmuka twins dengan palte martensite, dengan simpanan energy sebesar 100J/mol. Energi dari karbon yang terjebak berkaitan dengan pembentukan martensite adalah 629J/mol sehingga total simpanan energy mencapai 1700 J/mol. Energi yang tersimpan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar karbon. Hal ini sesuai dengan gambar 2.2.[18].



Gambar 2.2. Hubungan antara energi bebas dengan atom karbon yang terjebak pada fasa martensit.

Struktur mikro martensit virgin dapat dilihat segera setelah pendinginan cepat dari fasa austenite yang berisi plates atau martensite lath yang lewat jenuh oleh karbon. Untuk mayoritas baja, martensit berisi dislokasi dengan berat jenis tertentu. Plates akan terbagi oleh film – film tipis dari austenite – austenite sisa, sejumlah austenite yang tidak bertransformasi menjadi lebih besar seperti halnya martensit – dan martensit start tereduksi.[19]. Gambar 2.3. menjelaskan morfologi dari fasa martensit pada baja perkakas hasil dari pengamatan dengan SEM.

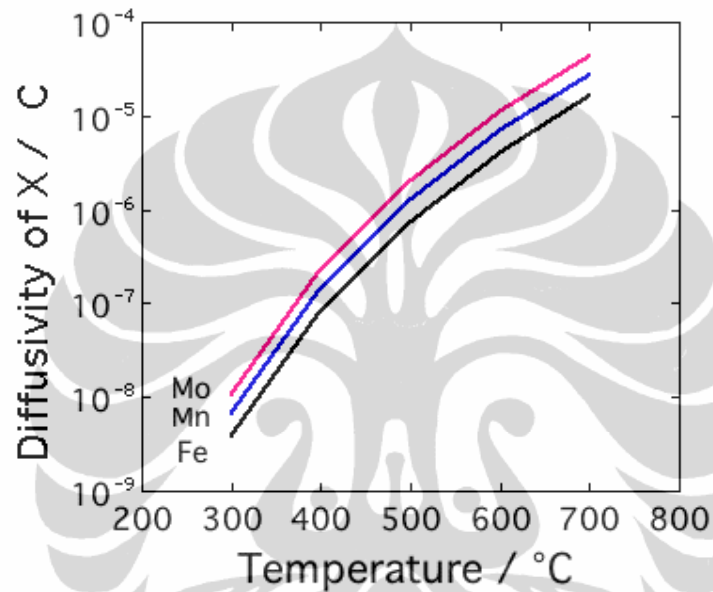


Gambar 2.3. Hasil Pengamatan SEM yaitu *quenched martensite* pada baja perkakas [20].

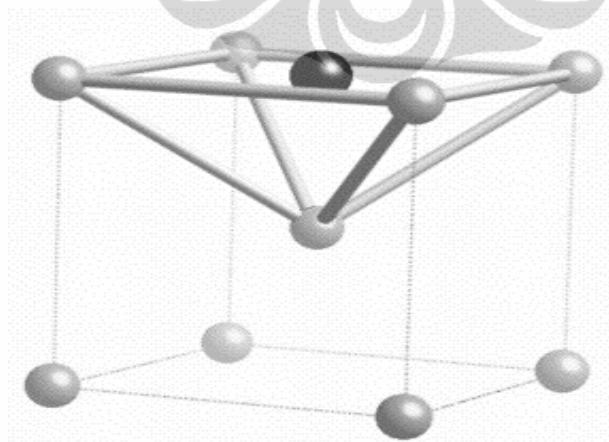
2.3.1.5. Unsur Karbon

Karbon merupakan atom intersisi pada besi feritik, dengan morfologi intersisi octahedral. Terdapat tiga intersisi untuk setiap atom besi. Yaitu intersisi karbon 0,4%, intersisi karbon 2% dan intersisi karbon 1%. Selanjutnya terdapat repulse kuat antara atom karbon dalam daerah – daerah atom karbon bertetangga. Ini berarti atom karbon hampir selalu memiliki kekosongan intersisi, dengan koefisien difusi yang tinggi ketika dibandingkan dengan difusi larutan substitusi. Kemudian konsentrasi kekosongan dapat mencapai 10^{-6} pada temperature

mendekati temperature lebur. Kecepatan difusi karbon lebih cepat dibandingkan kecepatan substitusi atom. Karbon pada baja perkakas dapat berpindah ke martensit walaupun pada temperature kamar, sebagai contoh adalah migrasi cacat, atau dengan menyusun kembali kisi. Gambar 2.4. menjelaskan hubungan antara kecepatan difusi karbon dengan temperature. Sedangkan gambar 2.5. menjelaskan dari susunan body centre cubic atom karbon, ditinjau dari aspek kristalografi,



Gambar 2.4. Hubungan antara kecepatan difusi karbon dan temperatur



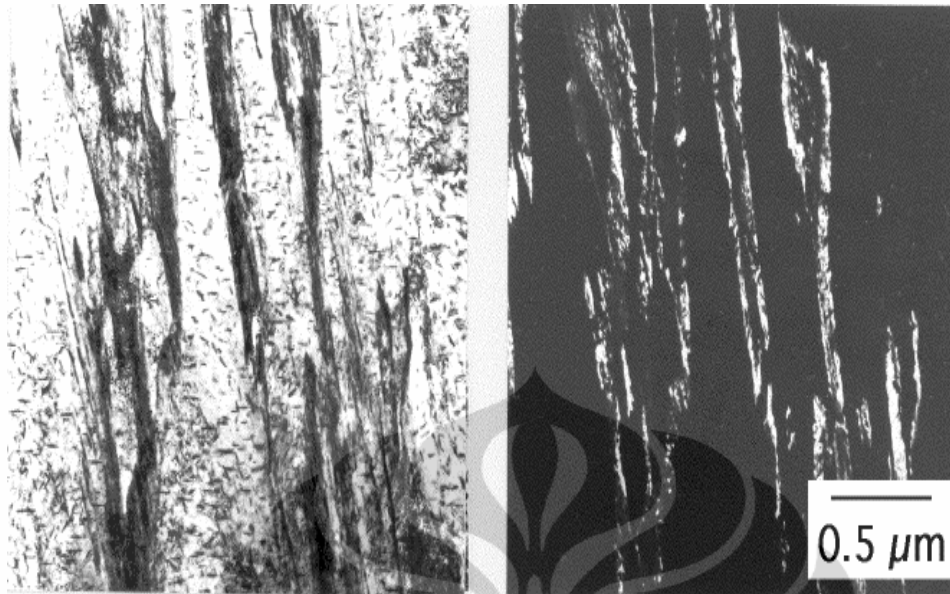
Gambar 2.5. Susunan interisi *body centre cubic* atom karbon

2.3.1.6. Endapan Besi Karbida

Untuk baja karbon tinggi, endapan sebagai endapan karbida dimulai dengan pembentukan karbida transisi seperti ϵ ($\text{Fe}_{2,4}\text{C}$). ϵ karbida dapat tumbuh pada temperature dibawah 50°C . Kemudian hampir semua besi karbida dapat mengendap pada temperature rendah, seiring dengan pergerakan larutan substitusi. Pertumbuhan karbida ini dengan mekanisme displacive yang tidak membutuhkan distribusi kembali dari atom substitusi, yang termasuk didalamnya besi; karbon secara natural haruslah terpartisi, dimana karbon sendiri memiliki potensial kimia tersendiri. Transformasi paraequilibrium adalah karbon yang memiliki potensial kimia yang serbasama.

Martensit dikatakan merupakan fasa yang jenuh dengan karbon, ketika konsentrasi karbon melewati tingkat dari kelarutan karbon itu sendiri. Kelarutan dapat lebih besar ketika martensite berada dalam posisi ekuilibrium dengan ϵ - karbida, dimana martensite dan ϵ - karbida adalah saling melengkapi.

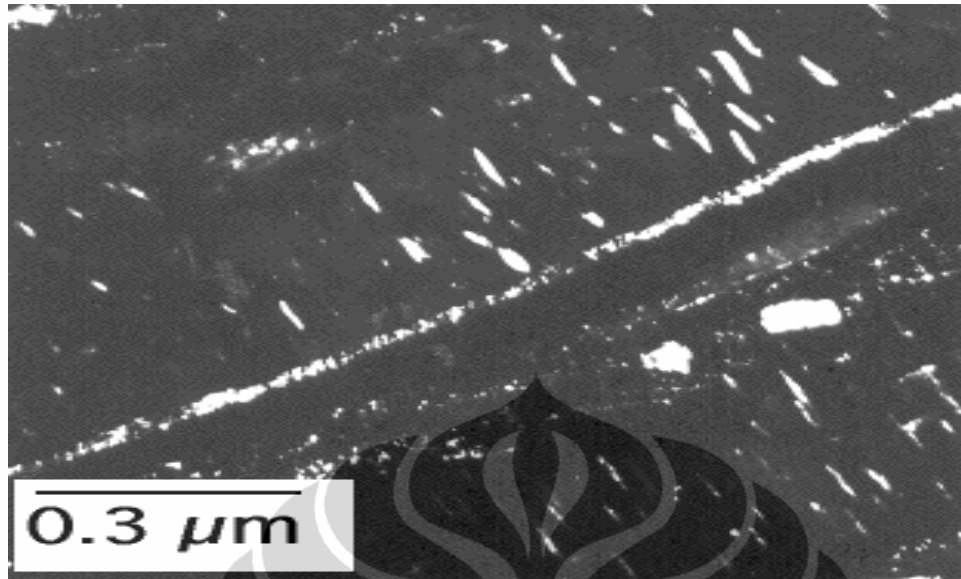
Hampir semua buku teks mengatakan bahwa proses tempering berlangsung dalam dua tahap. Tahap pertama adalah redistribusi karbon redistribusi endapan dari karbida transisi, fasa sementit dapat mengendap secara langsung. Atom karbon yang terjebak akan mengendap sebagai karbida transisi, tetapi fasa sementit adalah fasa yang paling stabil dibandingkan karbon yang terjebak tersebut. Gambar 2.6. menjelaskan dari fasa martensit setelah temper selama satu jam pada material Fe-4Mo-0,2C. Karbon mengendap sebagai partikel halus berupa sementit.



Gambar 2.6.
Struktur Mikro dari Fe-4Mo-0,2C wt% setelah perlakuan temper.

2.3.1.7. Dekomposisi dari Austenit Sisa

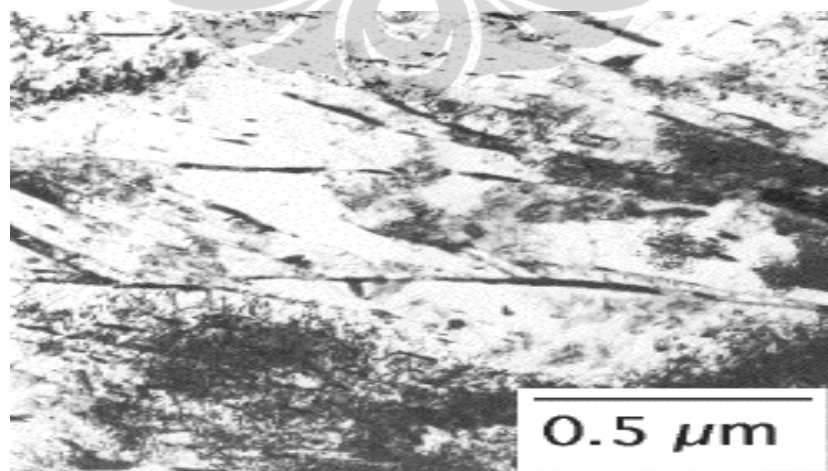
Tempering pada temperature tinggi dalam rentang 200 – 300°C selama sejam akan menghasilkan austenite sisa yang berpotensi terdekomposisi menjadi sementit dan ferit. Ketika austenite hadir setebal lapisan film, sementit juga mengendap sebagai susunan partikel yang kontinyu, yang tampak sebagai lapisan film. Tempering pada temperature yang lebih tinggi akan menghasilkan partikel sementit yang berbentuk plate yang lebih kasar, yang terlokalisir dalam butir. Struktur dislokasi menjadi terpulihkandan tumbuh didaerah partikel intra – plate. Sedangkan gambar 2.7. merupakan hasil pengamatan struktur mikro pada baja perkakas hasil perlakuan temper selama satu jam. Adapun pengamatan dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope*.



Gambar 2.7.

Hasil Pengamatan *Transmission Electron Micrograph* yang berisi fasa martensite dari baja perkakas, setelah perlakuan temper dengan suhu 295°C selama satu jam

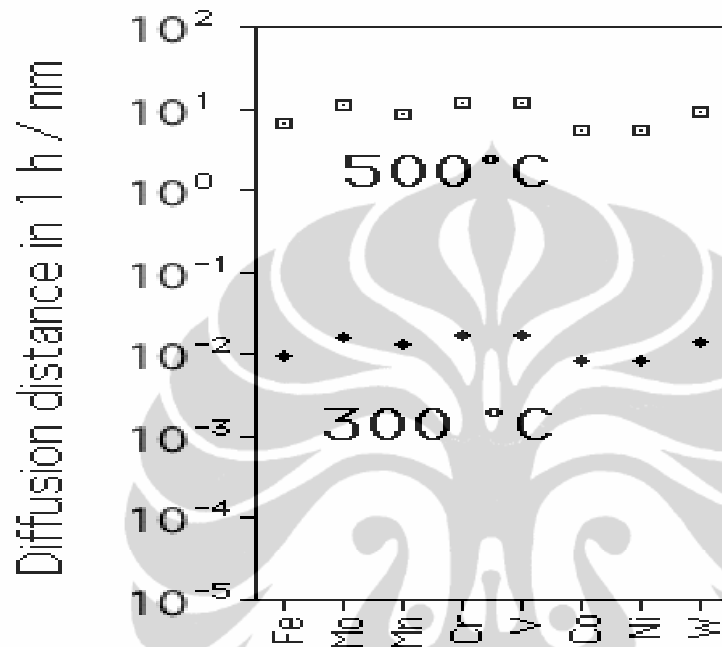
Recovery dari struktur dislokasi dan perpindahan sel dislokasi dan butir martensit tidak hanya akan menghasilkan butir martensit yang kasar, tetapi juga meningkatkan misorientasi kristalografi antara plates yang tegak lurus. Gambar 2.8. menjelaskan *recovery* dari struktur dislokasi.



Gambar 2.8. *Recovery* struktur dislokasi

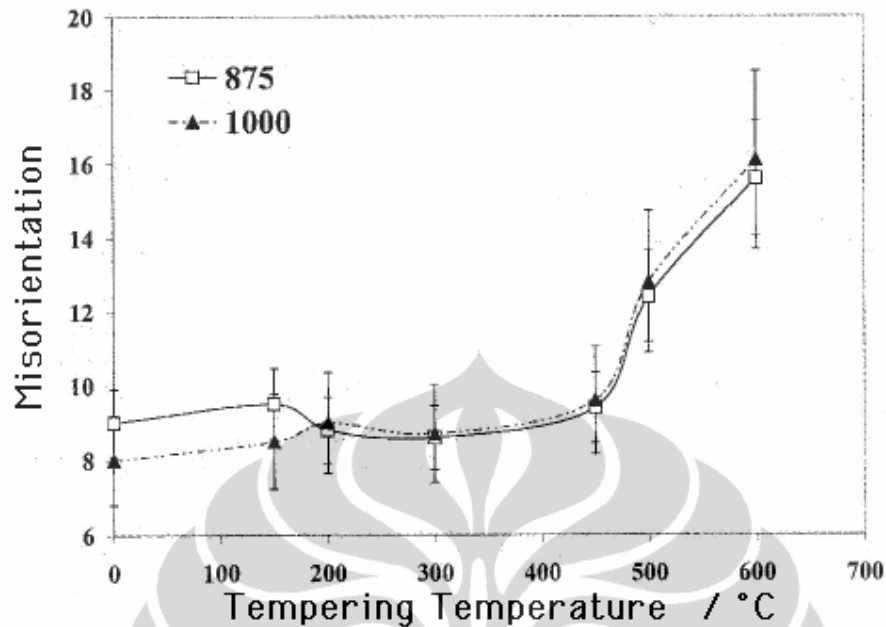
2.3.1.8. Endapan Paduan Karbida

Karbida paduan meliputi M_2C (Mo – Rich), M_7C_3 , M_6C , $M_{23}C_6$ (Cr – Rich), V_4C_3 , TiC dan lain sebagainya, dimana M mengacu kepada atom logam.



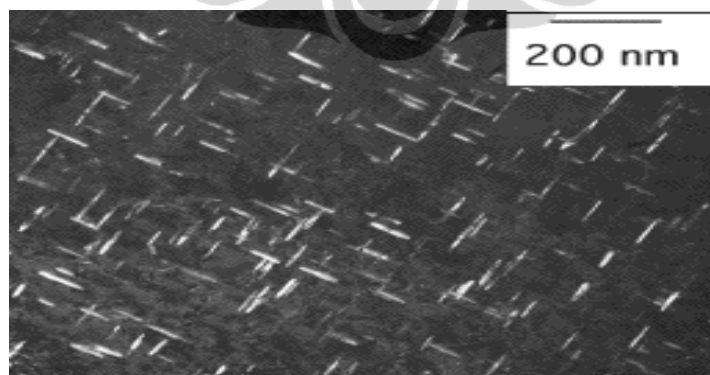
Gambar 2.9. Hubungan antara kenaikan suhu dengan jarak difusi

Tetapi, semua karbida – karbida ini membutuhkan difusi substitusi atom dalam waktu yang lama. Karbida – karbida tersebut dapat mengendap ketika kombinasi antara waktu dan temperature adalah cukup untuk memungkinkannya terjadinya difusi. Gambar 2.9. tersebut adalah hasil dari perhitungan jarak difusi dalam fasa ferit untuk perlakuan tempering selama satu jam. Endapan dari karbida tidak mungkin terjadi pada temperature dibawah 500°C untuk lamanya temper selama 1 jam. Jarak difusi adalah 10 nm.



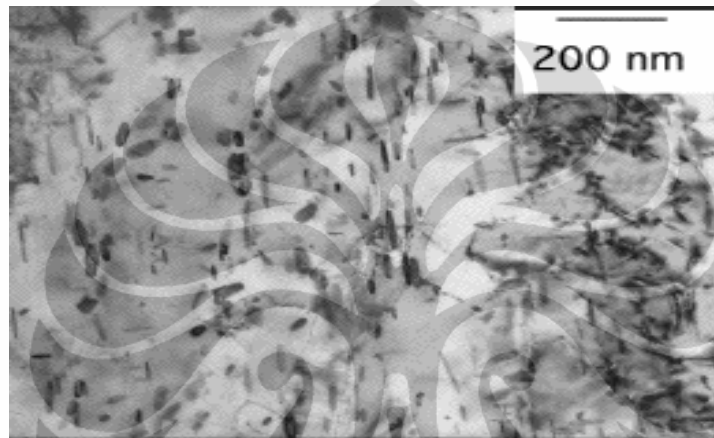
Gambar 2.10. Hubungan antara temperatur temper dan misorientasi dislokasi

Paduan karbida tumbuh seiring dengan ekspansi dari sementit yang tidak stabil. Jika konsentrasi dari karbida keras yang terbentuk seperti karbida Mo, Cr, Ti, V, Nb adalah lebih luas dibandingkan semua karbon yang dapat diakomodasi dalam bentuk karbida paduan, karbida – karbida tersebut akan mengeliminasi fasa sementit. Gambar 2.10. merupakan hubungan antara temperature temper dengan kesalahan orientasi dari dislokasi.



Gambar 2.11. Hasil *tempering* baja perkakas selama 100 jam.

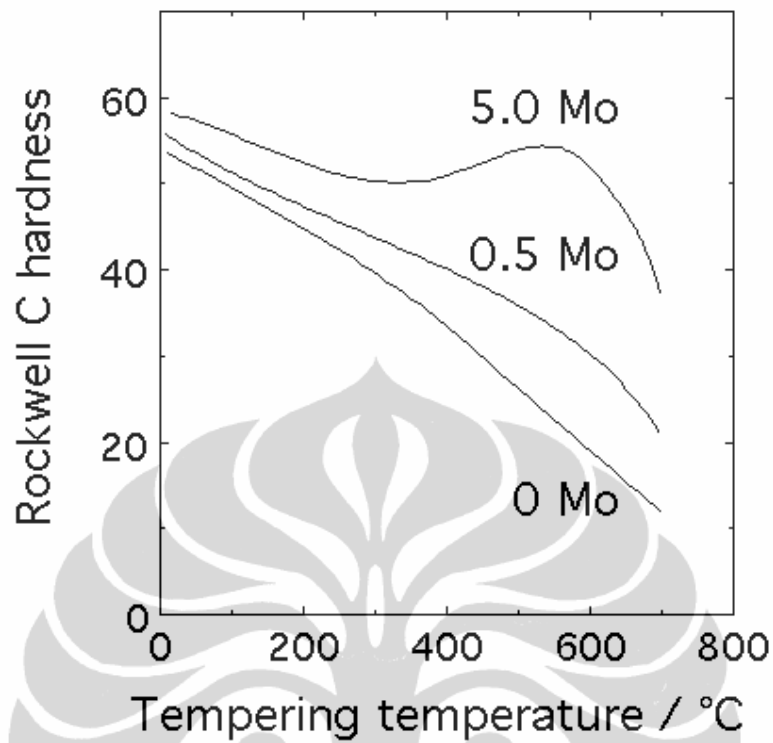
Merupakan struktur mikro dari baja paduan Fe – 0,1C – 1,99Mn – 1,6Mo wt% yang berisi fasa martensite yang diquenching kemudian distemper sampai suhu 600°C. (diambil dari foto Shingo Yamasaki). Daerah yang berwarna terang merupakan hasil dari pengamatan dengan menggunakan Transmission Electron Micrograph (TEM), yaitu sampel dari baja perkakas yang ditemper pada suhu 560 jam (Gambar 2.10.), daerah yang berwarna gelap merupakan hasil temper selama 100 jam (Gambar 2.11).



Gambar 2.12.. Struktur Mikro Pengamatan TEM Hasil Temper Baja Perkakas Pada Suhu 600°C Selama 560 Jam.

Gambar 2.12. merupakan struktur mikro baja perkakas hasil pengamatan dengan *Transmission Electron Microscope (TEM)*. Dari hasil pengamatan menunjukan fasa sementit dan substruktur dislokasi yang *terrecovery*. Struktur mikro plate yang kasar disebabkan oleh karbida yang terlokalisir di butiran yang plate tersebut. Struktur mikro pada gambar 2.12. tersebut merupakan struktur mikro material Fe-0.98C-1.46Si-1.89Mn-0.26Mo-1.26Cr-0.09V, dengan lamanya tempering selama 7 hari. Fraksi plate yang berisi karbida tersebut berisi paduan Silikon karbida (SiC) yang tahan terhadap tempering. Struktur mikro yang terdapat pada gambar 2.12. adalah bainit, dan fasa yang mirip martensite.

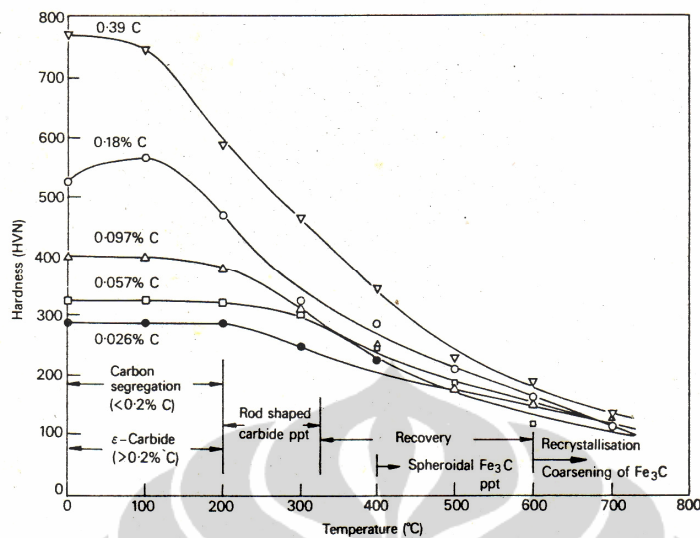
Merupakan data kekerasan untuk material Fe-0,35C-Mo wt% yang merupakan hasil perlakuan *quench* dan *temper* pada temperatur yang seperti ditunjukkan oleh gambar 2.13. selama satu jam. Untuk jenis material baja karbon menunjukkan baja perkakas monoatomik yang mengalami penurunan dalam hal kekerasan sebagai fungsi temperature tempering, molibdenum akan meningkatkan kekerasan, dimana pergerakan cukup untuk mengendapkan karbida jenis Mo_2C . pengendapan fasa kedua dapat diidentifikasi dengan perlakuan temper martensite, dimana karbida tersebut berisi karbida yang kuat seperti Cr, V, Mo dan Nb. Pembentukan dari paduan karbida ini merupakan hasil difusi dalam waktu yang lama dari atom substitusi yang kemudian atom substitusi tersebut mengendap. Karbida memiliki karakteristik seperti sementit, oleh karena itu secara kinetika memiliki keuntungan, meskipun bersifat metastabil. Tempering pada tahap awal akan mengakibatkan penurunan kekerasan. Perlakuan tempering akan mengakibatkan terjadinya ekspansi karbon dalam larutan padat, sehingga kekerasan sesaat meningkat seiring dengan pembentukan karbida. Hal inilah yang disebut dengan pengerasan tahap kedua. Pengkasaran karbida biasanya mengakibatkan penurunan kekerasan pada tempering temperature tinggi atau tempering dalam waktu yang lama, sehingga kekerasan terhadap waktu akan menunjukkan hubungan yang menandakan adanya endapan fasa kedua.



Gambar 2.13. Hubungan Antara Suhu Temper dengan Kekerasan Rockwell.

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. Alumunium dan silicon memiliki kelarutan yang rendah terhadap sementit. Aluminium dan Silikon memiliki sifat penolakan yang besar terhadap fasa sementit, hal ini sesuai dengan grafik pada gambar 2.13.

Penggunaan temperatur temper yang berbeda juga dapat mempengaruhi nilai kekerasan baja seperti pada gambar 2.14.[21].



Gambar 2.14. Pengaruh temperatur temper 100-700°C selama 1 jam terhadap kekerasan baja.[2].

Proses temper dilakukan setelah proses *quenching*. Perlakuan temper mempunyai tiga 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

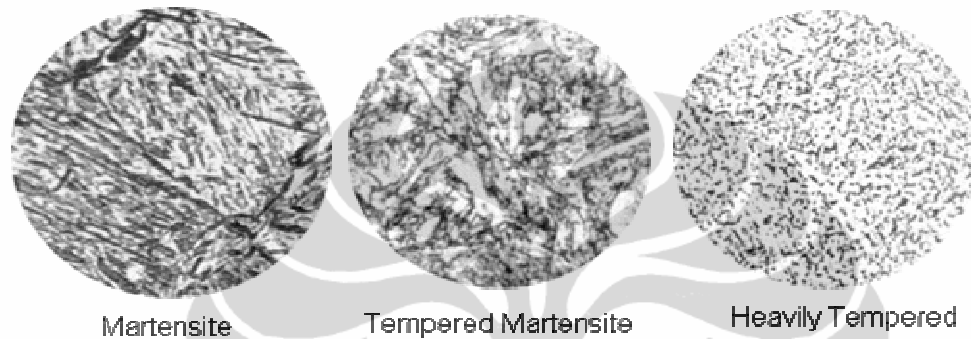
2.4. PEMBENTUKAN STRUKTUR MIKRO

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.[14].

2.4.1. Pembentukan Martensit

Untuk mendapatkan baja dengan sifat kekerasan yang tinggi maka setelah dipanaskan pada temperatur austenisasi, baja didinginkan dengan cepat sehingga didapatkan struktur martensit yang keras. Jika material baja (perkakas) didinginkan dengan cepat dari fasa austenite yang memiliki struktur kristal FCC maka semestinya struktur FCC berubah menjadi struktur BCC, tetapi struktur BCC tidak sempat terbentuk, karena waktu yang diperlukan untuk berubah menjadi struktur BCC tidak cukup, dikarenakan waktu yang diperlukan oleh karbon untuk membentuk diri menjadi fasa perlit tidaklah cukup. Sehingga terjadi distorsi struktur. Tidak ada transformasi parsial yang berkaitan dengan martensite. Hanya bagian yang mengalami pendinginan cepat saja yang berubah

menjadi martensit. Martensit dapat terjadi di bagian yang kecil dari material baja perkakas. Kekerasan dari martensit sangat tergantung dari kadar karbon pada baja. Martensit tetap memiliki sifat keras dan getas, walaupun kadar karbonnya rendah. Pada gambar 2.15. ditunjukkan struktur mikro dari martensit akibat dari perlakuan tempering.



Gambar 2.15. Merupakan Struktur Mikro dari Martensite Akibat Perlakuan *Tempering*

Dalam transformasi perubahan yang terjadi mengikuti diagram CCT baja tersebut, terdapat pula sejumlah kecil austenit sisa dan karbida-karbida yang tidak larut selama austenisasi.[26].

Pada proses pendinginan dari temperatur austenisasi 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. [26].

Martensit dari hasil proses pendinginan cepat mempunyai sifat yang sangat getas atau rapuh. Kerapuhan ini dikarenakan oleh beberapa faktor antara lain

terjadi karena distorsi kisi yang disebabkan oleh terperangkapnya atom karbon dalam kisi oktahedral dari martensit, segregasi dari unsur-unsur pengotor pada batas butir austenit, pembentukan karbida selama proses pencelupan dan tegangan sisa yang terjadi pada proses pencelupan.

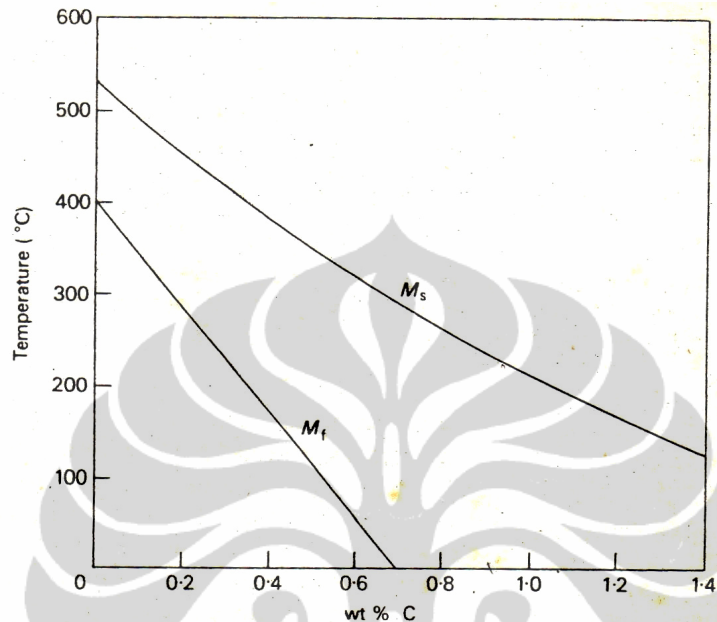
Dalam perubahan transformasi martensit, ada beberapa karakteristik penting antara lain adalah sebagai berikut[27] :

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[28] :

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

Pengaruh kandungan karbon dalam menentukan temperatur mulai terbentuknya martensit (M_s) hingga temperatur akhir pembentukan martensit (M_f) sangat lah penting seperti yang dilihatan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Pengaruh Kadar Karbon terhadap Temperatur M_s dan M_f [3]

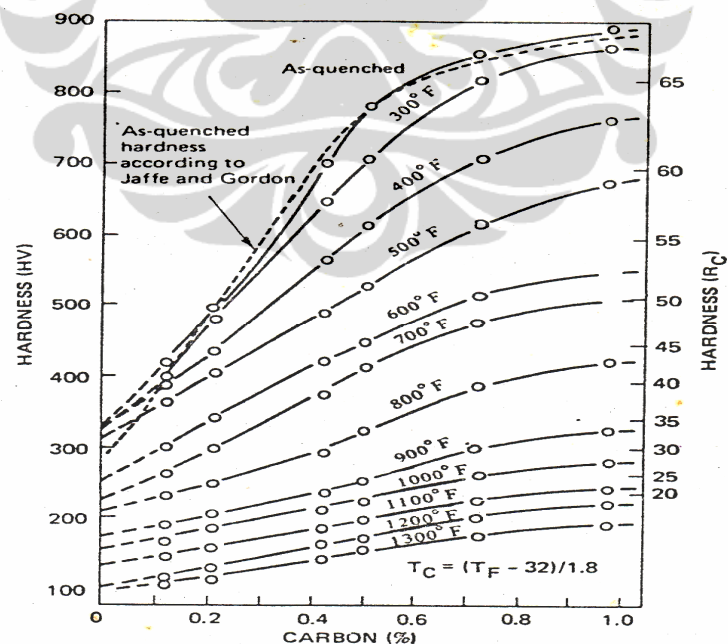
Pada transformasi martensit dalam baja masih terdapat austenit sisa yang jumlahnya tergantung pada kadar karbon dalam baja. Adanya austenit sisa ini dapat melemahkan sifat mekanis dari baja dikarenakan dengan austenit sisa akan menyebabkan baja mengalami tegangan dalam ketika austenit sisa bertansformasi 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[29]. Atom 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. [30].

2.4.2. Pembentukan Martensit Temper

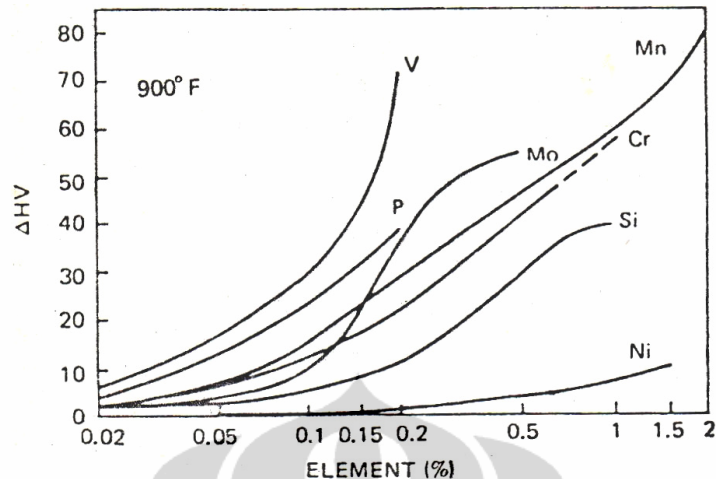
Proses penemperan yang dilakukan pada baja akan memberikan kesempatan bagi atom-atom karbon yang larut untuk berdifusi membentuk struktur yang lebih stabil.[31,32,34] Dengan terjadi proses difusi tersebut, maka tetragonalitas dari martensit akan terus berkurang mendekati kubus. Selama proses penemperan, 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. Gambar 2.17. dapat memberikan ilustrasi tentang hubungan kekerasan dengan bertambahnya kandungan karbon pada *iron-carbon alloy* pada temperatur temper yang berbeda.



Gambar 2.17. Kekerasan dari martensit temper dalam *iron-carbon alloy* [1]



Gambar 2.18. Pengaruh elemen paduan terhadap nilai kekerasan dari martensit temper pada suhu 480°C selama 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 2.18. untuk mengestimasi nilai kekerasan dari baja setelah tempering dengan temperatur tertentu[35].

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

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

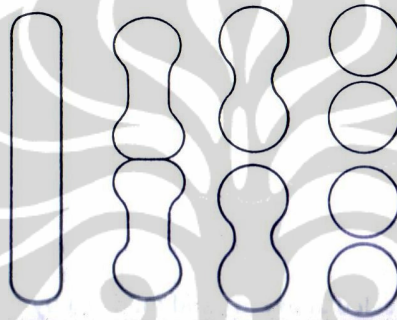
HV_{Cr} = Nilai Kekerasan Cr

HV_{Mo} = Nilai Kekerasan Mo

HV_V = Nilai Kekerasan V

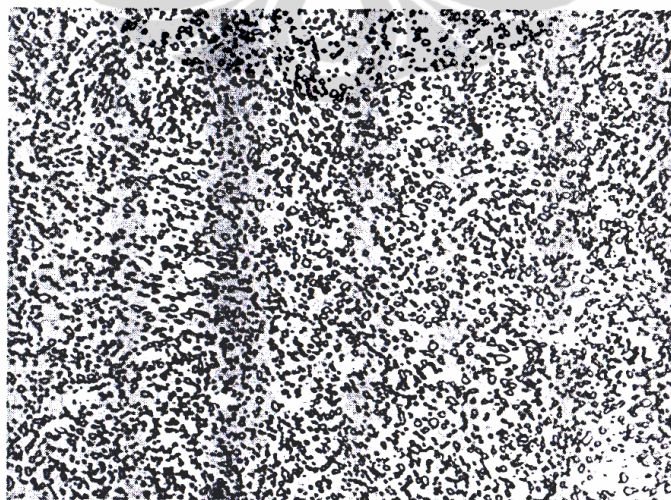
2.5. SPHERODIZED ANNEAL

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* sementit yang terdiri dari perlit memiliki daerah interface yang cukup banyak sehingga memiliki energi inrfacial 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 2.19.[7]



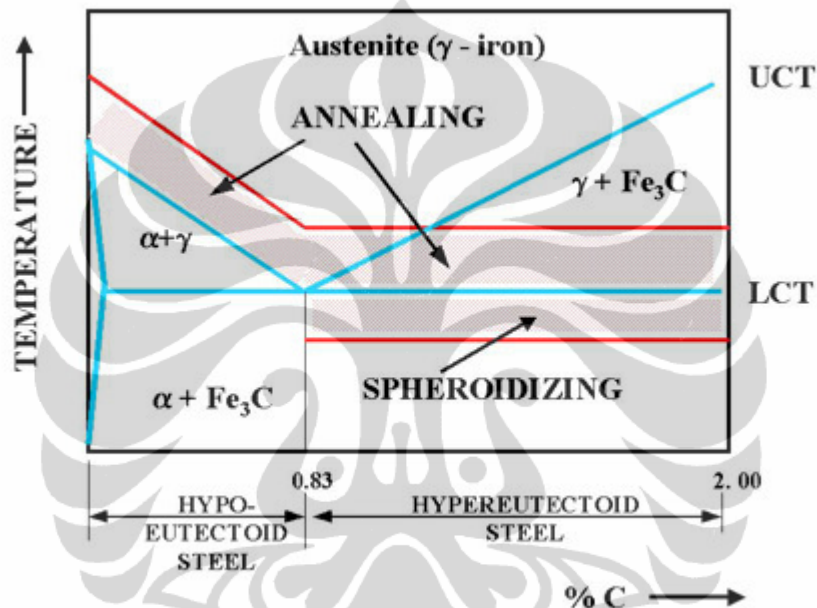
Gambar 2.19. Skema Transformasi dari *Cementit Lamel* menjadi Sferoid [7]

Untuk keuletan, kondisi terluak dari banyak baja dihubungkan dengan struktur mikro yang terdiri dari partikel *spherical carbida* yang menyebar merata dalam matrik ferit. Gambar 2.20. memperlihatkan struktur mikro *spherodized*.



Gambar 2.20. Struktur Mikro *Spherodized*. [7]

Temperatur *spheroidizing anneal* sebagai contoh yang diterapkan pada carbon steel dapat ditunjukkan pada gambar 2.21, 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.[36]



Gambar 2.21. Grafik temperatur *annealing* dan *spheroidizing*[11]

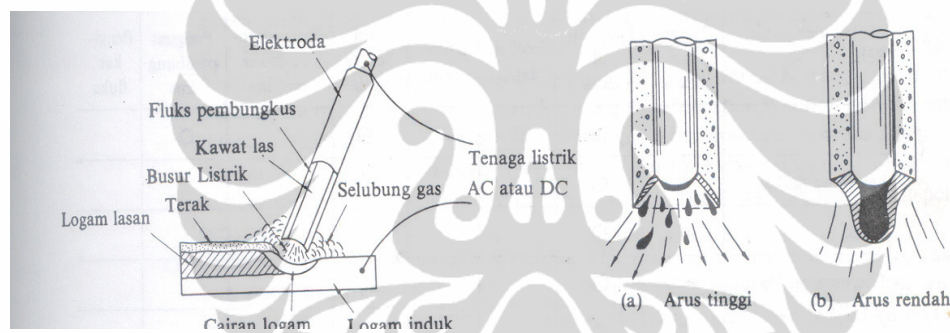
2.6. Pengelasan Baja Perkakas

Sebelum material perkakas di las maka terlebih dahulu pada material tersebut diberikan proses pemanasan awal atau *pre - heating*. Memberikan *preheating* sebelum pengelasan dan *postweld heat treatment* (PWHT) setelah pengelasan maksudnya adalah untuk menjaga terjadinya perubahan struktur mikro dari material. Perubahan struktur mikro pada material akan mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik pada material tersebut.

Las elektroda terbungkus (SMAW/*Sub Merge Arch Welding*) merupakan salah satu metode pengelasan yang cocok dan murah untuk mengelas baja perkakas.

Las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Dalam gambar 2.22, dapat dilihat dengan jelas busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir – butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat dalam gambar 2.22. sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti tampak dalam gambar 2.2.2.



Gambar 2.22. Merupakan bentuk butiran logam cair elektrodal las SMAW

Pola pemindahan logam cair seperti diterangkan di atas sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti diterangkan diatas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur.

Didalam pengelasan ini hal yang penting adalah bahan fluks dan jenis listrik yang digunakan.

(1) Bahan Fluks

Di dalam las elektroda terbungkus fluks memegang peranan penting, karena fluks dapat bertindak sebagai :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir – butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan.
4. Sumber unsur – unsur paduan.

Fluks biasanya terdiri dari bahan – bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula . Bahan – bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan – bahan tersebut antara lain oksida – oksida logam, karbonat, silikat, fluoride, zat organik, baja paduan dan serbuk besi.

Elektroda las yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan – bahan fluks tertentu yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda yang banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas – kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya.

(a). Jenis Oksida Titan : Jenis ini disebut juga rutil atau titania dan berisi banyak TiO_2 didalamnya. Busur yang dihasilkan oleh elektroda yang dibungkus dengan fluks jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik las yang halus. Karena itu jenis ini baik sekali untuk pengelasan pelat – pelat baja tipis untuk pengelasan terakhir pada pengelasan pelat tebal.

(b). Jenis titania kapur : Jenis ini disamping berisi rutil juga mengandung kapur. Disamping sifat – sifat seperti yang dimiliki oleh jenis oksida titam, jenis ini mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuannya menghasilkan sifat mekanik

yang baik. Walaupun penetrasinya dangkal masih juga dapat menghasilkan manik las yang agak halus. Jenis ini sesuai hampir untuk semua posisi pengelasan, terutama posisi tegak dan posisi kepala.

(c). Jenis Ilmenit : Jenis ini terletak diantara jenis oksida titan dan oksida besi. Bahan fluks yang utama ialah ilmenit atau FeTiO_3 . Busur yang dihasilkan agak kuat dan memberikan penetrasi yang cukup dalam. Derajat kecairan dari terak yang terbentuk cukup tinggi. Dengan sifat tersebut, jenis ini dapat menghasilkan sambungan yang mempunyai sifat mekanik yang tinggi. Karena sifat – sifatnya yang dapat mencakup penggunaan yang luas, maka elektroda yang dibungkus dengan fluks ini dianggap sebagai elektroda yang serba guna.

(d). Jenis Hidrogen Rendah : Jenis ini kadang – kadang disebut juga dengan nama jenis kapur, karena bahan utama yang dipergunakan adalah kapur dan fluoarat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hydrogen rendah, karena itu kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, sehingga ketangguhannya sangat memuaskan. Hal – hal yang kurang menguntungkan busur listriknya yang kurang mantap, sehingga butiran – butiran cairan yang dihasilkan agak besar bila dibandingkan dengan jenis – jenis yang lain. Karena itu dalam pelaksanaannya memerlukan juru las yang berpengalaman dengan jenis tersebut. Karena fluks ini sangat baik dalam sifat mampu lasnya maka elektroda dengan fluks jenis ini biasanya digunakan untuk konstruksi – konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan yang tinggi seperti konstruksi dengan pelat – pelat tebal dan bejana tekan.

(e). Jenis selulosa : Jenis ini berisi kira – kira 30% zat organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume besar yang kemudian melindungi logam cair. Busurnya kuat dan penembusannya dalam. Terak yang terbentuk hanya sedikit, karena itu amat baik untuk pengelasan tegak yang menurun. Karena banyaknya percikan – percikan yang terjadi maka jenis ini tidak dapat menghasilkan manik las yang halus, karena itu jenis ini tidak banyak digunakan lagi.

(f). Jenis oksida besi : Bahan pokok untuk jenis ini adalah oksida besi. Busur yang dihasilkan terpusatkan dan penetrasinya dalam, karena itu jenis ini baik untuk

pengelasan sudut horizontal. Walaupun demikian penggunaan elektroda jenis ini hanya sedikit sekali.

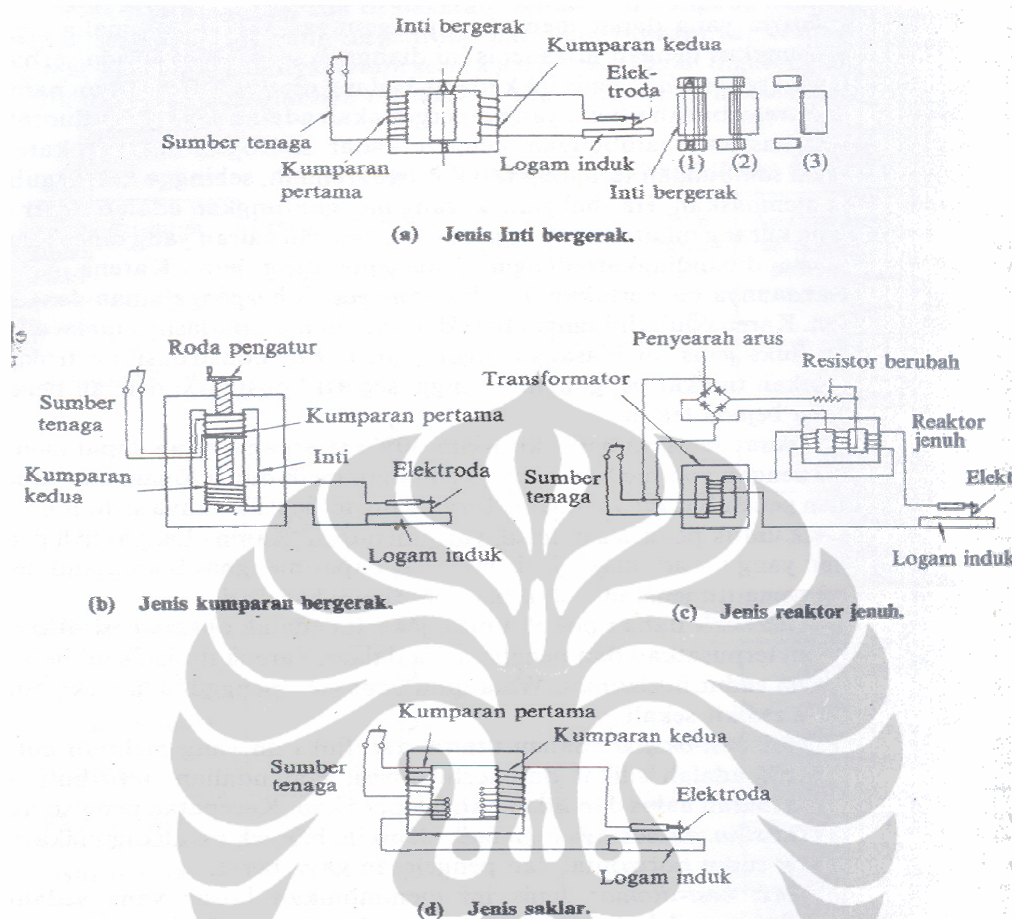
(g). Jenis serbuk besi – oksida : Bahan utama dari fluks ini yang meliputi antara 15 sampai 50 % adalah silikat dan serbuk besi. Pemindahan butir – butir cairan berupa semburan halus dan tidak banyak percikan. Kecepatan pengisian sangat tinggi karena itu efisiensinya juga baik. Jenis ini banyak sekali digunakan untuk pengelasan sudut horizontal dan pengelasan gaya berat.

(h). Jenis serbuk besi titania : Jenis ini menimbulkan busur yang sedang dan menghasilkan manik las yang halus. Karena didalamnya berisi serbuk besi maka efisiensi pengelasan menjadi tinggi. Elektroda dengan fluks ini sangat baik untuk pengelasan sudut horizontal satu lapis.

(2). Busur Listrik dan Mesin Las

Dalam las elektroda terbungkus, busurnya ditimbulkan dengan menggunakan listrik arus bolak – balik atau alternating circuit (AC) atau listrik arus searah atau Direct Current (DC). Tetapi karena pertimbangan harga, mudahnya penggunaan dan sederhananya perawatan, maka listrik AC lebih banyak dipergunakan. Keunggulan penggunaan listrik DC adalah mantapnya busur yang ditimbulkan, sehingga sangat sesuai untuk pengelasan pelat – pelat yang amat tipis. Disamping mantapnya busur juga ternyata bahwa generator arus searah dapat digerakan dengan mudah dengan motor – motor baker. Hal ini menyebabkan mesin – mesin las busur listrik DC banyak digunakan dilapangan dimana sumber listrik tidak tersedia.

Berdasarkan system pengatur arus yang digunakan, mesin las busur listrik AC dapat dibagi dalam empat jenis yaitu : jenis inti bergerak, Jenis kumparan bergerak, jenis reactor jenuh dan jenis saklar. Skema dari masing – masing jenis tersebut dapat dilihat dalam Gbr.2.23.



Gambar 2.23. Sistem Pengatur Arus Mesin Las Busur Listrik AC.

Pada jenis inti bergerak (Gbr.2.23.(a)) inti pada kedudukan (1) akan memperbesar kebocoran fluks magnet sehingga besar arus menurun. Hal sebaliknya akan terjadi dengan inti pada kedudukan (3) yaitu karena kebocoran fluks magnet kecil maka arus menjadi besar. Pada jenis kumparan bergerak pengaturan dilakukan dengan menggunakan kedudukan kumparan pertama terhadap kumparan kedua. Sedangkan pada jenis reaktor jenuh pengaturan arus dilakukan dengan mengubah besarnya reaktansi yang dalam hal ini dihubungkan serah dengan rangkaian kedua dan mempunyai sumber listrik terpisah.

Jenis reactor jenuh pengaturannya lebih mudah, lebih teliti dan dapat dilakukan dari jarak jauh. Karena hal ini maka jenis ini paling banyak dipergunakan bila dibandingkan dengan jenis – jenis mesin las yang lain.

(3). Standarisasi Dan Lingkup Penggunaan.

Di negara – negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Di jepang misalnya, elektroda las terbungkus untuk baja kekuatan sedang telah distandarkan berdasarkan standar industri jepang (JIS). Standar di Amerika Serikat (ASTM) didasarkan pada standar asosiasi las Amerika (AWS). Beberapa elektroda untuk baja lunak yang distandarkan menurut JIS dapat dilihat dalam Tabel 2.4. dan 2.5.

Tabel 2.4. Spesifikasi Elektroda Terbungkus Untuk Baja Lunak.

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi*) pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm ²						
E6010.....	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011.....	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012.....	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013.....	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020.....	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
			AC atau DC polaritas ganda			
E6027.....	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
			AC atau DC polaritas ganda			
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.00 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014.....	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015.....	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016.....	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024.....	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah	*) Arti simbol: F = datar V = vertikal OH = atas kepala H = horizontal H-S = horizontal las sudut
E6010, E6011.....		
E6027, E7015.....	2,8 kg-m pada 28,9°C	
E7016, E7018.....		
E7028.....	2,8 kg-m pada 17,8°C	
E6012, E6013.....		
E6020, E7014.....	tidak disyaratkan	
E7024.....		

Standarisasi elektroda, baik dalam JIS maupun ASTM didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las. Walaupun dalam memberikan symbol agak berbeda antara kedua system standar tersebut, tetapi pada dasarnya adalah sama. Sebagai contoh misalnya huruf D dalam JIS (Tabel 2.4.) dan huuf E dalam ASTM (Tabel 2.5.), keduanya berarti bahwa elektroda yang dimaksud adalah

elektroda terbungkus. Dua angka yang pertama baik dalam JIS maupun dalam ASTM menunjukkan kekuatan terendah dari logam las, hanya saja dalam JIS satuannya adalah (kg/mm²) sedangkan dalam ASTM satuannya adalah (psi). Dua angka terakhir dalam kedua system standar tersebut menunjukkan jenis fluks dan posisi pengelasan.

Beberapa kaidah dalam pengelasan adalah sebagai berikut :

1. Lasan harus terjadi ikatan dengan cetakan
2. Masukan panas harus diberikan terus menerus kedaerah lasan yang memiliki gradient temperature yang tinggi.
3. Lasan membeku sangat cepat
4. Bentuk permukaan lasan konstan.
5. terjadi percampuran yang sangat tinggi dan cepat didaerah leburan las (*weld pool*).

Sampel yang akan dilas adalah material baja perkakas yang memiliki dimensi lebih dari 1 inchi, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pengelasan baja perkakas dengan ketebalan lebih dari 1 inchi tersebut. Faktor – faktor yang akan dilakukan bila akan mengelas baja perkakas dengan ketebalan lebih dari inchi dengan posisi mendatar adalah faktor dari elektroda, besar arus yang diberikan, Metode las, tekanan las, kampuh las, *filler metal*, daerah *Heat Affected Zone (HAZ)*. Lingkungan las.

Untuk mengelas baja karbon, gas pelindung yang dipilih adalah gas karbondioksida, karena dengan menggunakan gas karbon dioksida, maka gas – gas dari luar tidak dapat masuk kedalam las – lasan, sehingga kemungkinan terjadinya cacat – cacat akibat dari inklusi gas dapat dihindari, seperti inklusi gas *hydrogen* atau pengotor – pengotor lain yang nantinya dapat merusak material las – lasan.

Weldability adalah kemampuan material untuk di las tanpa terjadinya retak dan mampu mempertahankan sifat mekanik dan ketahanan korosi dari material tersebut. Syarat dari *weld ability* pada material adalah :

- Bebas dari retak pada daerah las – lasan.
- Memiliki sifat mekanik yang tidak berubah dengan *base metal*.
- Daerah las – lasan memiliki ketahanan terhadap degradasi servis.

Weldability bukanlah parameter tetap, tetapi *weldability* tergantung dari jenis material, *filler metal*, kebutuhan servis, proses dan peralatan / fasilitas pengelasan.[37]

2.7. Aplikasi Dari Baja Perkakas

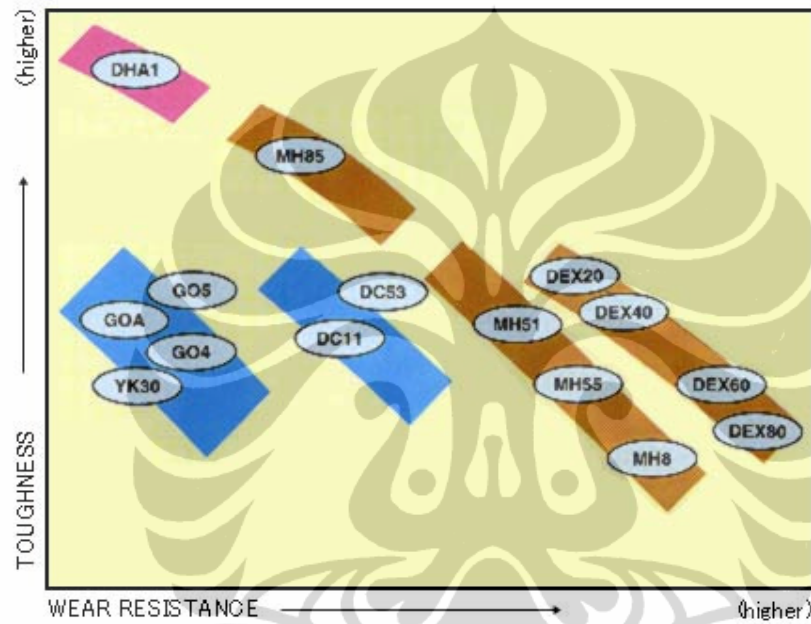
Baja perkakas banyak diaplikasikan untuk berbagai jenis item yaitu untuk perkakas pengerjaan dingin, baja perkakas untuk alat potong, gauges, rolls, pisau, dan material perkakas lainnya.

Contoh dari aplikasi baja perkakas dapat dilihat pada gambar 2.24. berikut ini.



Gambar 2.24.. adalah aplikasi material baja perkakas.

2.7.1. Diagram *properties* dari cetakan baja perkakas secara konseptual



Gambar 2.25. diagram dari ketahanan aus terhadap ketangguhan[11].

Gambar 2.25. Menunjukkan peta pemetaan untuk baja perkakas ditinjau dari aspek ketahanan aus dan ketangguhan dari baja perkakas.