

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Baja Perkakas (*Tool Steel*)

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.[1] 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 matriks 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*.

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]

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. *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, dan
- Pada proses pengerasannya, baja karbon pada temperatur austenit di-*quench* dengan media air.

2. *Oil-hardening tool steel*

- Simbol : tipe O,
- Di-*quench* 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 di-*quench* dengan air, dan
- 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, dan
- 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, dan
- 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*, dan
- Memiliki sifat mekanis seperti: kekuatan tinggi, tahan aus, ketangguhan 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 dengan kecepatan tinggi,
- Memiliki ketahanan aus yang tinggi dan mampu potong yang baik, dan

- 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, dan
 - Diaplikasikan untuk pahat, palu, dan pisau.
2. Tipe L (*Low-Alloys Tool Steel*)
 - Mempunyai kesamaan dengan *water-hardening tool steel*,
 - Paduan utamanya adalah Chromium, dan
 - Digunakan untuk membuat alat yang membutuhkan ketahanan aus dan ketangguhan yang tinggi.
3. Tipe F (*Carbon Tungsten Tool Steel*)
 - Baja karbon tinggi dengan tungsten (W) sebagai paduannya,
 - Memiliki sifat tahan aus dan abrasi, dan
 - Digunakan untuk membuat peniti, alat pemoles dan taps.
4. Tipe P (*Moulds Steel*)
 - Baja karbon rendah dengan paduan berupa Cr dan Ni, dan
 - Digunakan untuk membuat *plastic mould*,

II.1.1.5 JIS SKD 11

JIS SKD 11 merupakan salah satu jenis baja perkakas dengan spesifikasi komposisi kimia sebagai berikut:[2]

Tabel 2.1. komposisi kimia baja perkakas JIS SKD 11

%C	%Cr	%Mn	%Si	%Mo	%V
1.45 - 1.60	11.0 - 13.0	0.20 - 0.60	0.30 - 0.40	0.70 - 1.00	0.80 - 1.00

Karakteristik dan aplikasi baja jenis ini adalah:[3]

- ❖ Ketahanan dan ketangguhan yang baik
- ❖ *Drawing dies*
- ❖ *Profiling rollers and cold rolls*
- ❖ Perkakas untuk *cold extruding tubes*

II.2. Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja Perkakas

Keberadaan atom larut sebagai larutan padat dalam kisi atom pelarut selalu menghasilkan paduan yang lebih kuat daripada logam murni.[4] 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.

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

Tabel 2.2 Pengaruh unsur paduan pada baja perkakas.[4]

Element	Solid Solubility		Influence on ferrite	Influence on austenite	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

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, dan
3. Unsur pembentuk karbida.

II.2.1 Elemen Paduan Penting Pada Baja Perkakas

Pengaruh elemen-elemen paduan pada baja perkakas akan dijelaskan sebagai berikut [4]:

1. Karbon (C)

Merupakan elemen paduan utama dalam baja. Karbon sangat penting dalam pembentukan sementit, Fe_3C , dan karbida lainnya, perlit, *spherodite* (sekumpulan dari *spherical* karbida dalam matriks ferit), bainit, dan martensit. Struktur mikro baja yang terdiri dari satu atau lebih dari komponen- komponen ini dapat memberikan kisaran perbedaan pada sifat mekanis dan karakteristik fabrikasi dari material tersebut. Banyaknya jumlah dan distribusi dari elemen-elemen ini dapat direkayasa atau dikontrol dengan menggunakan prinsip perlakuan panas untuk merubah struktur mikro dan sifat-sifat dari baja yang diinginkan.

Semakin tinggi kadar kandungan karbon dalam suatu baja, maka kekuatan serta kekerasan baja tersebut akan meningkat. Namun, ketangguhan dan keuletannya akan menurun[4]. Kekerasan yang diperoleh dari fasa martensit akan meningkat dengan bertambahnya kandungan karbon dalam baja, dengan maksimal 0,6% C. Meningkatkan kandungan karbon juga meningkatkan kemampukerasan.

Jumlah kandungan karbon dalam pembuatan baja sangat ditentukan untuk mengetahui jenis baja yang akan dibuat.

2. Mangan (Mn)

Biasanya hadir pada baja-baja komersil. Mangan begitu penting dalam pembuatan baja karena mangan mendeoksidasi peleburan dan baja yang terdapat kandungan mangan di dalamnya mampu dilakukan pengerjaan panas dengan mengurangi kelemahan pada ketahanan panas. Mangan juga dikombinasikan dengan sulfur untuk membentuk endapan mangan sulfida yang dapat meningkatkan kemampuan permesinan dari baja. Mangan berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kekerasan, namun tidak semampu karbon. Meningkatkan kandungan mangan akan berdampak pada penurunan keuletan dan mampu-las, tapi tidak terlalu drastis bila dibandingkan dengan karbon. Baja dengan kandungan lebih dari 0,6% Mn tidak dapat membeku dengan cepat. Mangan sangat menguntungkan untuk kualitas permukaan yang baik.

3. Silikon (Si)

Silikon adalah salah satu bahan pengoksidasi pada pembuatan baja. Jumlah elemen ini dalam kandungan baja, yang mana tidak selalu pasti komposisi spesifiknya tergantung dari spesifikasi deoksidasi produk. Silikon dapat meningkatkan kekuatan ferit (tidak terlalu signifikan), tanpa menyebabkan menurunnya keuletan yang berarti. Dalam jumlah besar, silikon dapat meningkatkan ketahanan pada baja terhadap kerak di udara (mencapai temperatur 260°C) dan mengurangi sifat kemagnetan. *High-silicone steel* pada umumnya sangat sulit untuk diproses.

4. Tembaga (Cu)

Tembaga memiliki kecenderungan untuk memisah. Tembaga dalam jumlah yang ideal dapat mengganggu operasi pengerjaan panas. Tembaga memberi pengaruh yang merugikan pada pengelasan. Adanya tembaga dapat mengurangi kualitas permukaan suatu baja. Selain pengaruh negatif yang dimiliki, tembaga juga bersifat menguntungkan terhadap ketahanan korosi di atmosfer jika hadir dalam jumlah 0,20%.

5. Krom (Cr)

Elemen ini biasanya ditambahkan dalam baja untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi, meningkatkan kemampukerasan, meningkatkan kekuatan pada temperatur-tinggi, dan meningkatkan ketahanan abrasi dalam baja karbon tinggi. Krom merupakan pembentuk karbida yang sangat kuat.

Krom dapat digunakan sebagai elemen peneras dan sering digunakan bersamaan dengan elemen ketangguhan seperti nikel untuk menghasilkan sifat mekanik yang sangat baik.

6. Nikel (Ni)

Ketika digunakan sebagai elemen paduan pada baja konstruksi, berguna sebagai penguat ferit, karena nikel tidak membentuk karbida apapun pada baja. Bila dipadukan dengan krom, nikel menghasilkan baja paduan dengan kemampukerasan yang sangat baik, kekuatan impak tinggi, dan ketahanan fatik yang lebih baik jika dibandingkan dengan baja karbon. Baja paduan nikel juga tahan pada temperatur rendah dan tangguh.

7. Molibdenum (Mo)

Mo dapat meningkatkan kemampukerasan baja dan berguna untuk mempertahankan kemampukerasan antara batas tertentu. Elemen ini, khususnya berjumlah antara 0,15% dan 0,30%, dapat meminimalisasi kerentanan baja terhadap *temper embrittlement*. Baja yang dikeraskan yang mengandung Mo harus di *temper* pada temperatur tinggi untuk mencapai jumlah yang sama dari *softening*. Mo dapat meningkatkan kemamuan tarik pada temperatur tinggi dan ketahanan mulur dari baja. Mo memperlambat transformasi dari austenit menjadi bainit.

8. Vanadium (V)

Vanadium pada umumnya ditambahkan pada baja untuk menghambat atau menghalangi pertumbuhan butir selama proses perlakuan panas. Dalam mengontrol pertumbuhan butir, vanadium meningkatkan kekuatan serta ketangguhan dari baja yang dikeraskan dan ditemper. Penambahan vanadium mencapai 0,05% meningkatkan kemampukerasan dari baja. Penambahan yang lebih besar lagi malah mengurangi kemampukerasan, kemungkinan disebabkan

oleh pembentukan vanadium menjadi karbida yang sulit larut dalam austenit. Vanadium juga merupakan elemen penting dalam baja paduan mikro.

9. Niobium (Nb)

Penambahan sedikit dari Nb dapat meningkatkan *yield strenght*, dan *tensile strenght* dari baja. Penambahan sebesar 0,02% Nb dapat meningkatkan *yield strenght* pada baja karbon menengah hingga 70-100 Mpa (10-15 ksi).

10. Aluminum (Al)

Al secara luas digunakan sebagai bahan deoksidasi dan pengontrol ukuran butir. Ketika ditambahkan pada baja dalam jumlah yang tepat, Al dapat mengontrol pertumbuhan butir austenit pada baja yang dipanaskan. Dari semua elemen paduan, Aluminum merupakan elemen paling efektif dan pilihan utama untuk mengontrol pertumbuhan butir waktu quenching. Titanium, zirconium, dan vanadium juga efektif sebagai penghambat pertumbuhan butir.

11. Titanium

Titanium dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada baja dengan mengontrol ukuran butir. Titanium juga sebagai pembentuk karbida dan pembentuk nitrida yang kuat. Titanium juga sebagai pendeoksidasi yang kuat.

12. Tungsten (W)

Meningkatkan kekerasan, memberikan struktur butir yang baik, dan ketahanan panas yang sangat baik. Pada kenaikan temperatur temper, tungsten membentuk karbida tungsten yang sangat keras dan stabil. Karbida tungsten mencegah baja terhadap proses *softening* (pelunakan) selama *tempering*. Tungsten sering digunakan pada baja perkakas kecepatan tinggi (*high-speed tool steel*) dan digunakan sebagai pengganti Mo dalam reduksi-aktivasi baja feritik untuk aplikasi nuklir.

13. Zirkonium (Zr)

Zirkon berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan butir dan digunakan sebagai bahan deoksidasi pada *killed steel*. Kegunaan utama Zirkon yaitu untuk sifat mampu-rol panas pada baja HSLA. Zirkon pada larutan juga meningkatkan sedikit kemampuan kekerasan pada baja.

14. Kalsium (Ca)

Kalsium biasanya digunakan sebagai bahan deoksidasi pada baja. Pada baja HSLA, kalsium dapat mengontrol bentuk dari inklusi non-logam, dengan tujuan untuk meningkatkan ketangguhan. Baja yang di deoksidasi dengan kalsium pada umumnya kemampuan permesinan (*machinability*) yang lebih baik dari pada baja dengan bahan deoksidasinya silikon atau aluminium.

15. Cerium

Biasanya ditambahkan pada baja untuk mengontrol bentuk endapan sulfida. Cerium juga termasuk bahan deoksidasi yang kuat.

16. Timah (Sn)

Timah kadang-kadang ditambahkan pada baja karbon dan baja paduan untuk meningkatkan kemampuan permesinan (*machinability*).

17. Bismuth

Seperti timah, ditambahkan pada baja untuk meningkatkan kemampuan permesinan (*machinability*).

18. Nitrogen (N)

Meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan mampu permesinan dari baja, namun menurunkan keuletan dan ketangguhan dari baja.[4]

II.2.2 Elemen sisa/ikutan (*residual elements*)

Semua elemen paduan yang tidak atau kurang menguntungkan yang disebutkan dibawah ini hadir pada baja karena terbawa begitu saja pada kandungan material dasar (*raw material*) yang digunakan untuk membuat baja. Semua pembuat baja sangat berhati-hati untuk meminimalisasi jumlah kandungan elemen ini pada baja.

Beberapa elemen lainnya, pada umumnya diperkirakan merupakan impuritis yang tidak diinginkan yang terbawa pada *pig iron* sebagai material dasar pembuatan baja.

1. Phospor (P)

Tidak seberapa meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari baja, tetapi sangat menurunkan keuletan dan ketangguhan.

2. Sulfur (S)

Meningkatnya kadar sulfur akan menurunkan keuletan dan ketangguhan impak dari baja, tetapi memberikan sedikit efek pada sifat mekanik. Tingginya kadar sulfur juga akan menurunkan kemampuan pada baja. Selain itu elemen ini juga sangat tidak bagus untuk kualitas permukaan, khususnya pada baja karbon rendah dan *mangan-steel* (baja-mangan). Pengecualian digunakannya sulfur adalah pada kelompok baja permesinan, karena kandungan sulfur dapat meningkatkan *machinability*.

3. Oksigen (O)

Walaupun oksigen dapat meningkatkan sedikit kekuatan baja, tapi pada umumnya oksigen merupakan elemen yang tidak diharapkan alias tidak diinginkan. Oksigen bisa berikatan dengan elemen lainnya (Mn, Si, Al, dan Ti) yang akan membentuk inklusi oksida dan dapat menurunkan ketangguhan dan ketahanan terhadap fatik. Oksigen biasanya diminimalisasi dengan memberikan bahan deoksidasi seperti aluminium atau silikon dan *vacum degassing*.

4. Hidrogen (H)

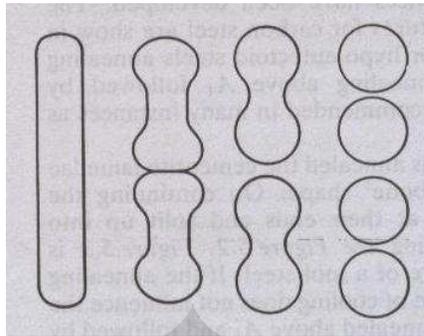
Hidrogen larut dalam baja selama proses manufaktur dapat menimbulkan retak pada baja (*embrittlement*).[4]

II.3 Prinsip Perlakuan Panas (*Spheroidize Anneal and Tempering*)

Tujuan dari anil spheroidisasi adalah untuk memperoleh struktur mikro yang terdiri atas partikel-partikel karbida bulat yang tersebar secara merata dalam suatu matriks ferit[5]. Struktur mikro spheroidisasi memiliki keuletan dan kestabilan yang sangat baik, dan akan terbentuk dengan pemanasan pada temperatur yang cukup tinggi dan waktu yang cukup lama untuk memungkinkan difusi pada partikel-partikel karbida.

Partikel karbida hasil spheroidisasi memiliki energi permukaan per satuan volume yang minimum sehingga mempermudah proses pembentukan struktur austenit. Dalam struktur yang terdiri atas ferit dan *spheroidized* karbida, awal pembentukan austenit terjadi akibat difusi pada batas butir antara karbida dan ferit[5]. Persiapan ini sangat menguntungkan, terutama saat pembentukan austenit

dalam proses *flame hardening* karena energi panas dan keseragaman pemanasan yang dapat dihasilkan terbatas.



Gambar 2.1 Skematik perubahan lamelar sementit menjadi sferoid selama proses spheroidisasi anil.[5]

Proses temper merupakan proses pemanasan kembali pada temperatur yang lebih rendah setelah baja mengalami proses pendinginan. Tujuan dari proses temper adalah untuk:[5]

1. Menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk pada baja akibat proses pendinginan cepat,
2. Meningkatkan keuletan dan ketangguhan baja, dan
3. Mengontrol stabilitas dimensi komponen.

Martensit yang terbentuk selama *hardening* pada umumnya terlalu getas untuk digunakan secara langsung tanpa proses temper terlebih dahulu. Secara umum, temper akan semakin menurunkan kekerasan dan meningkatkan keuletan dengan semakin tingginya temperatur temper. Mekanisme yang terjadi selama proses temper seiring dengan meningkatnya temperatur adalah:

1. Tahap 1 ($25^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$)

Terjadi difusi karbon membentuk ϵ -karbida dan mengendap pada matriks martensitnya. Akibat dari proses ini maka martensit akan mengalami penurunan kadar C.

2. Tahap 2 ($200^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$)

Terjadi transformasi dari austenit sisa menjadi fasa bainit. Selain itu pada tahap ini juga terjadi *temper embrittlement* atau penurunan ketangguhan akibat pengendapan unsur pengotor pada batas butirnya.

3. Tahap 3 (200 °C - 350 °C)

Terjadi perubahan ϵ -karbida menjadi sementit akibat adanya suplai karbon dari martensit. Dengan penurunan karbon ini maka martensit akan kehilangan sifat tetragonalnya dan berubah menjadi ferit. Sementit akan terbentuk pada daerah interfasa antara ϵ -karbida dengan matriksnya atau pada bekas batas butir austenit.

4. Tahap 4 (> 350 °C)

Terjadi pertumbuhan fasa sementit lalu membentuk karbida bulat dan diakhiri dengan pengkasaran karbidanya. Pada ferit akan terjadi proses pemulihan dan rekristalisasi dari fasa feritnya.

Adanya unsur-unsur paduan di dalam baja akan berpengaruh pada saat penemperan dilakukan. Silikon pada kadar 1-2 % akan menstabilkan ϵ -karbida hingga 400 °C[1]. Sedangkan unsur-unsur pembentuk karbida seperti Cr, Mo, dan V akan bersifat menahan terjadinya proses pelunakan pada saat temper dilakukan. Penahanan terhadap pelunakan ini terjadi melalui mekanisme yaitu pengerasan kedua pada daerah temperatur tertentu.

Penahanan terhadap penurunan nilai kekerasan pada saat temper ini terjadi karena adanya unsur-unsur seperti Cr, Mo, dan V akan menstabilkan martensit hingga temperatur ± 500 °C. Selain itu unsur tersebut juga menahan terjadinya proses pengkasaran pada karbida sementit yang mana proses ini bertanggung jawab atas penurunan kekerasan pada saat temper[2]. Karbida unsur paduan yang terbentuk pada saat temper umumnya terjadi pada temperatur yang tinggi sekitar 500 °C-600 °C dan mengendap sebagai presipitat yang halus dan tersebar merata pada struktur mikronya.[6]

II.4 Prinsip Pengerasan Permukaan (*Flame Hardening*)

Flame hardening merupakan proses pengerasan permukaan dimana permukaan paduan baja yang akan dikeraskan, dipanaskan hingga mencapai temperatur transformasi kritis dengan nyala api bertemperatur tinggi, kemudian didinginkan dengan kecepatan tinggi untuk memperoleh kekerasan dan sifat-sifat permukaan lainnya yang diinginkan.[7] Nyala api dengan temperatur tinggi diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar dengan oksigen. Kedalaman

kekerasan yang dapat diperoleh dari proses ini berkisar antara 1/32 – 1/4 inci atau dapat lebih tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan, temperatur nyala api maksimum yang dihasilkan bahan bakar, disain pemanas (*flame head*), waktu pemanasan, kemampukerasan material, dan metode, serta media pendingin (*quenchant*) yang digunakan.

II.4.1 Metode Pengerasan Permukaan (*Flame Hardening*)

Beberapa metode pengerasan permukaan dengan flame hardening yang umum digunakan yaitu [7]:

- ❖ Metode titik/setempat (*spot method or stationary method*),
- ❖ Metode progresif (*progresive method*),
- ❖ Metode putar (*spinning method*), dan
- ❖ Kombinasi antara metode progresif dan putar.

Pemilihan metode yang digunakan tergantung pada bentuk dan ukuran benda kerja, komposisi material, luas daerah yang akan dikeraskan, kedalaman pengerasan yang diinginkan, dan jumlah benda kerja.

II.4.1.1 Metode Titik (*Stationary/Spot Method*)

Metode titik terdiri atas pemanasan lokal pada daerah yang telah ditentukan dengan pemanas (*flame head*) yang sesuai dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat (*quenching*). Kepala pemanas (*heating head*) dapat digunakan dalam bentuk disain lubang tunggal (*single orifice*) ataupun lubang majemuk (*multiple orifice*), tergantung pada luas daerah yang akan dikeraskan. Masukan panas yang diterima harus seimbang untuk memperoleh keseragaman temperatur pada keseluruhan daerah tersebut. Setelah proses pemanasan, benda kerja biasanya didinginkan dengan metode *immersion quenching*, ataupun *spray quenching*.

Pada dasarnya, metode titik tidak membutuhkan peralatan yang sangat kompleks (kecuali penahan benda kerja dan pencatat waktu yang digunakan untuk menyamakan lamanya proses dari masing-masing benda kerja). Walaupun demikian, pengoperasian dapat dilakukan dengan otomasi antara lain dengan menerapkan *spray quenching* atau *spray bath* yang sesuai.

II.4.1.2 Metode Progresif (*Progressive Method*)

Metode progresif digunakan untuk mengeraskan benda kerja yang memiliki luas daerah pengerasan yang besar, yang diluar kemampuan metode titik. Ukuran dan bentuk benda kerja, sama halnya dengan kebutuhan jumlah oksigen dan bahan bakar gas untuk memanaskan suatu daerah, merupakan faktor yang menentukan penggunaan metode ini. Pada metode ini biasanya digunakan jenis *flame head* berlubang majemuk (*multiple-orifice*) dan sistem *quenching* yang terintegrasi ataupun terpisah.

Perlengkapan yang dibutuhkan untuk proses *flame hardening* dengan metode progresif terdiri atas satu atau beberapa pemanas (*flame head*) dan sebuah media pendingin (*quench*) yang ditempatkan pada pemegang yang dapat bergerak pada satu jalur dengan kecepatan yang teratur. Benda kerja ditempatkan secara statis sehingga dapat langsung diproses. Secara praktis cara yang digunakan dapat menentukan bagian mana yang dapat bergerak, baik pemanas ataupun benda kerja. Dengan cara ini tidak ada batas ukuran panjang benda kerja, karena jalur dapat dengan mudah diperpanjang.

Laju gerak translasi dari *flame head* pada proses pengerasan progresif akan sangat ditentukan oleh kapasitas panas yang mampu dihasilkan, kedalaman pengerasan yang diinginkan, komposisi dan bentuk benda kerja, dan jenis media pendinginan yang digunakan. Kelajuan translasi dalam batas 2 - 12 inci/menit (0.85 - 5.08 mm/detik) umum digunakan untuk pemanas berbahan bakar oksasi-asetilen.

Umumnya, air pada temperatur ambien sebagai media pendingin. Dalam keadaan tertentu, air hangat atau air panas, atau larutan air dan minyak (*soluble oil*), juga dapat digunakan.

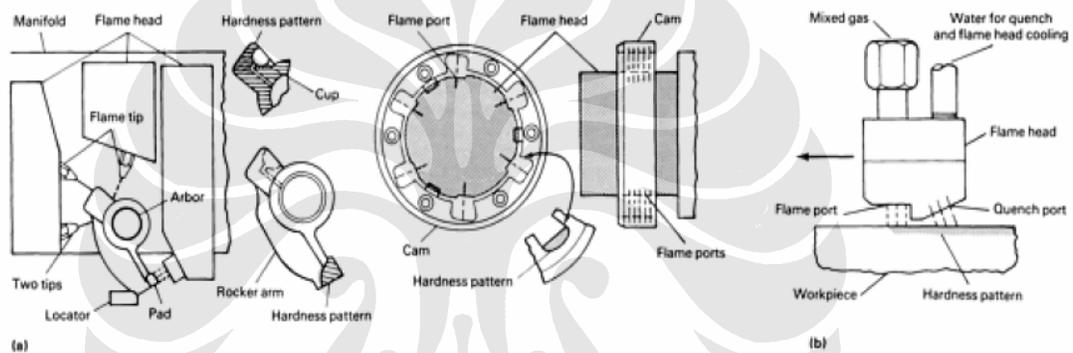
II.4.1.3 Metode Putar (*Spinning Method*)

Metode putar diterapkan untuk benda-benda bundar atau semi bundar seperti roda gigi. Secara sederhana, metode ini menggunakan mekanisme rotasi atau memutar benda kerja, baik secara horizontal ataupun vertikal, selama pemanasan permukaan benda kerja. Laju rotasi relatif tidak penting, sementara itu keseragaman pemanasan dapat dicapai. Setelah permukaan benda kerja

dipanaskan hingga temperatur yang diinginkan, benda kerja didinginkan secara *immersion* atau *spray*, atau kombinasi antara keduanya.

Berbeda dengan metode progresif, dimana asetilena selalu digunakan (karena nyala api dan laju pemanasan yang tinggi), hasil yang memuaskan dapat dicapai dalam spin hardening dengan gas alam maupun propana. Pemilihan gas tergantung pada bentuk, ukuran dan komposisi benda kerja, dan pada kedalaman pengerasan yang dibutuhkan, sama halnya dengan harga relatif dan ketersediaan masing-masing gas.

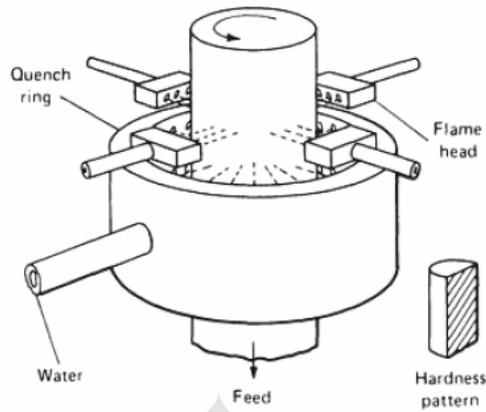
Media *quench* yang digunakan bisa sangat beragam. Dalam *spray quenching*, biasanya digunakan air, atau larutan minyak berbasis air (*soluble oil*).



Gambar 2.2 (a) Metode progresif;(b) Metode putar[7]

II.4.1.4 Kombinasi Metode Putar-Progresif

Sesuai dengan namanya maka metode ini merupakan kombinasi antara *progressive* dan *spinning*, digunakan untuk benda kerja yang panjang seperti shaft dan roll. Benda kerja diputar seperti pada metode putar, namun juga kepala pemanas (*heating head*) menyusuri shaft atau roll dari ujung yang satu ke ujung yang lainnya. Hanya sebatas bagian tertentu yang dipanaskan secara progresif, sehingga harus segera diikuti dengan quenching yang berada setelah pemanas (terintegrasi atau terpisah). Metode ini mampu menghasilkan pengerasan untuk permukaan yang sangat luas, menjadi sangat berarti bila dibandingkan dengan aliran gas yang relatif rendah.



Gambar 2.3 Kombinasi metode putar-progresif[7]

II.4.2 Pembakaran Oksi-Asetilena

Campuran asetilena dengan oksigen bertekanan tinggi dapat menghasilkan temperatur pembakaran tinggi. Temperatur yang dapat dicapai dari hasil pembakaran ini adalah 3150 °C. Panas yang dihasilkan pembakaran kedua gas tersebut melalui dua tahap, yaitu:[8]

- 1). Pembakaran primer, yaitu pembakaran asetilena oleh oksigen yang berasal dari tabung berupa oksigen murni.

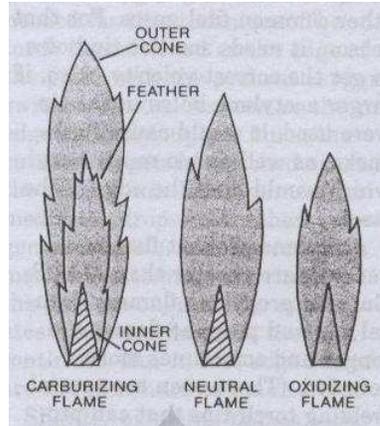


- 2). Pembakaran sekunder, yaitu pembakaran gas-gas hasil reaksi diatas oleh oksigen yang berasal dari udara.



Sehingga diperoleh reaksi keseluruhan,





Gambar 2.4 Jenis-jenis nyala api: nyala api netral, nyala api oksidasi, dan nyala api reduksi.[9]

Pembakaranoksi-asetilena menghasilkan beberapa jenis nyala api, antara lain:

1). Nyala api netral

Reaksi terbentuk dari hasil pembakaran asetilena dan oksigen dengan jumlah mol yang sama (1 mol). Pembakaran sekunder berwarna biru-jingga.

2). Nyala api oksidasi

Reaksi terbentuk dari hasil pembakaran 1 mol asetilena dengan lebih dari 1 mol oksigen sehingga akan diperoleh panas yang optimum. Pembakaran sekunder hampir tidak berwarna.

3). Nyala api reduksi (karburisasi)

Reaksi terbentuk dari hasil pembakaran 1 mol asetilena dengan kurang dari 1 mol oksigen sehingga dihasilkan panas yang tidak optimum, dan dihasilkan karbon. Pembakaran sekunder berwarna jingga.

II.4.3 Karakteristik Pemanasan *Nozzle*

II.4.3.1 Distribusi Panas

Luas permukaan benda kerja yang terpanasi oleh nyala api (distribusi panas) tergantung pada sudut antara nyala api dengan permukaan benda kerja dan ukuran pembakar. Luas permukaan benda kerja yang terpanasi disebut titik panas (*hot spot*).[9]

Posisi nyala api terhadap benda kerja dibedakan menjadi dua, yaitu:[9]

1). Posisi nyala api tegak lurus

Titik panas akan bebrbentuk lingkaran. Temperatur tertinggi permukaan logam berada pada titik pusat lingkaran, sementara temperatur terendahnya berada pada sekeliling lingkaran tersebut.

2). Posisi nyala api miring

Apabila terhadap benda kerja, maka titik panas tidak lagi berbentuk lingkaran sehingga distribusi panas tidak simetris. Semakin lancip sudut yang dibentuk antara nyala api dengan benda kerja, maka semakin berkurang panas yang diterima oleh benda kerja (searah dengan posisi pemanas) dalam arah tersebut. Semakin besar ukuran benda pembakar maka semakin luas daerah yang terpanasi oleh nyala api dan semakin merata distribusi panas benda kerja.

II.4.3.2 Efektivitas Panas

Panas efektif adalah jumlah panas yang diterima benda kerja dari nyala api. Semakin lama pemanasan pada suatu tempat, maka semakin rendah efektivitas panasnya pada tempat tersebut.

II.4.3.2.1 Ukuran Pembakar

Tabel 2.3 Pengaruh ukuran nozzle terhadap laju gas, panjang api primer, panas efektif, dan efisiensi panas [10]

Ukuran Tip	Diameter Lubang (mm)	Laju Alir Asetilena (liter/jam)	Panjang Kerucut (mm)	Panas Efektif (kal/det)	Efisiensi (%)	Koefisien Konsentrasi (liter/cm)	Fluks Panas Max (kal/cm ² det)
1	1.0	150	9	380	72	0.39	47
2	1.3	250	10	600	68	0.35	67
3	1.6	400	11	720	51	0.31	72
4	2.0	600	12	920	44	0.28	82
5	2.5	1000	14	1270	36	0.23	93
6	3.0	1700	15	1750	29	0.20	111
7	3.5	2600	17	2250	25	0.17	122

Panas efektif dipengaruhi oleh ukuran pembakar. Semakin besar ukuran *nozzle* pembakar, semakin tinggi laju aliran gas, dan semakin besar panas efektif

yang diterima benda kerja, tetapi efisiensi panas akan menurun. Semakin besar ukuran *nozzle* maka semakin panjang nyala api primernya.

II.4.3.2.2 Sudut Nyala Api

Sudut nyala api adalah sudut yang terbentuk antara nyala api pemanas dengan benda kerja yang diukur berdasarkan pada arah pemanasan. Berdasarkan besar sudutnya, teknik pemanasan logam dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:[10]

- 1). *Rightward technique*, yaitu teknik pemanasan dengan sudut nyala api kurang dari 90°
- 2). *Leftward technique*, yaitu teknik pemanasan dengan sudut nyala api lebih dari 90°

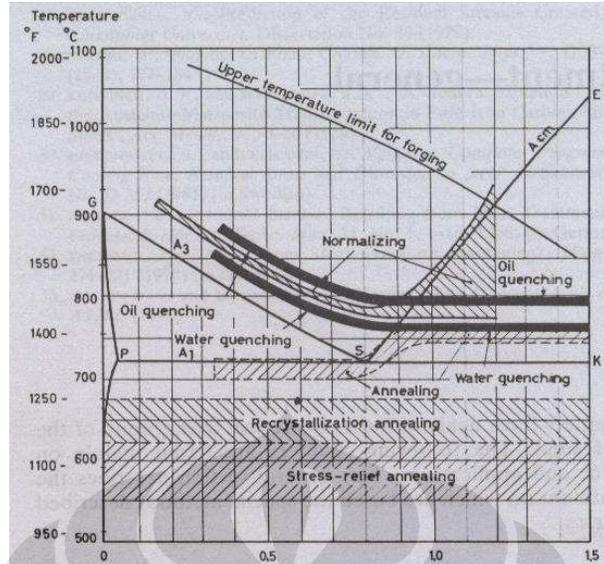
II.4.3.2.3 Tebal Benda

Semakin tebal benda, semakin besar panas efektif dan efisiensi panasnya. Hal ini dikarenakan semakin tebal benda maka semakin besar panas yang diterima benda kerja dari pemanas.

II.4.4 Mekanisme Pengerasan

Pada temperatur ruang, atom-atom berada dalam keadaan statik, posisi atom-atom tersebut ditentukan oleh perlakuan mekanik dan perlakuan panas yang dikenakan sebelumnya. Difusi atom tidak terjadi pada temperatur ini,

Ketika baja dipanaskan, terjadi pengembangan struktur kristal, dimana jarak antar atom semakin membesar. Mikrostruktur kristal ini akan stabil hingga mencapai temperatur A_{c1} dan mulai terjadi difusi ketika struktur kristal b.c.c. (ferit) berubah kearah pembentukan f.c.c. (austenit). Pada saat fasa austenit terbentuk, seluruh karbida akan memecah dari kelompok Fe_3C dan membentuk karbon bebas. Pada temperatur diatas A_{c3} dan A_{cm} seluruh struktur telah mencapai fasa austenit dan terjadi pembesaran volume. Seluruh atom akan bervibrasi akibat energi panas, dan berada pada posisinya, tetapi jarak antar atom memungkinkan untuk terjadinya interstisi.[5]



Gambar 2.5 Diagram kesetimbangan Fe_3C dan temperatur proses perlakuan panas.[5]

II.4.5 Mekanisme Pendinginan Cepat (*Quenching*)

Dalam *quenching*, baja mengalami pendinginan cepat dari temperatur tinggi, yang umumnya dilakukan dengan mencelupkan kedalam air atau minyak, ataupun menggunakan air bertekanan tinggi. Sebagai hasilnya, diperoleh produk yang memiliki mikrostruktur yang dikeraskan (*as-quenched*) pada daerah kritis, dan sifat mekanis yang memenuhi spesifikasi minimum setelah proses *temper*.

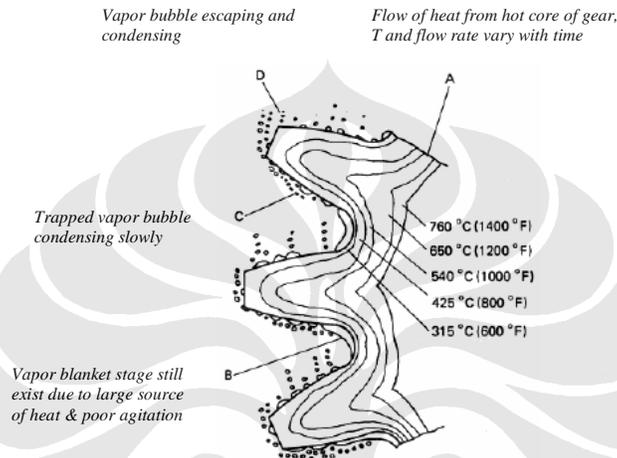
Keefektifan *quenching* tergantung pada sifat pendinginan dari media *quench* dan juga kemampukerasan dari baja. Sehingga, hasilnya bisa bervariasi dengan perubahan komposisi baja ataupun agitasi, temperatur dan jenis media *quench*.

Beberapa faktor yang terlibat dalam mekanisme pendinginan cepat, yaitu:[8]

- a). Kondisi internal dari benda kerja yang mempengaruhi suplai panas ke permukaan,
- b). Kondisi permukaan dan kondisi eksternal lainnya yang mempengaruhi pelepasan panas,
- c). Kemampuan penyerapan panas dari media *quench* dalam kondisi fluida tak mengalir pada temperatur dan tekanan fluida normal (kondisi standar), dan

d). Perubahan kemampuan penyerapan panas dari fluida yang disebabkan oleh kondisi non-standar dari agitasi, temperatur, dan tekanan.

Faktor-faktor ini diilustrasikan pada gambar 2.6 untuk kasus quench pada roda gigi dalam cairan tak mengalir (tanpa agitasi) yang mudah menguap (*volatile*).



Gambar 2.6 Gradien temperatur dan faktor utama lain yang mempengaruhi pendinginan cepat (quench) dari sebuah roda gigi.[7]

Poin A pada gambar 2-6 memperlihatkan bagaimana konfigurasi roda gigi yang tidak beraturan mempengaruhi aliran panas dari bagian dalam roda gigi ke daerah yang mengalami pendinginan cepat. Perlu diperhatikan bahwa temperatur tinggi tetap tertahan dekat permukaan di dasar gigi dimana terdapat sebagian besar gelembung uap yang terperangkap. Jika roda gigi ini dipanaskan secara induksi atau menggunakan flame (sehingga terbentuk lapisan-lapisan panas yang seragam dan tipis mengikuti kontur roda gigi yang tak beraturan), suplai panas ke daerah *quench* akan lebih konsisten, dan quench akan berlangsung lebih cepat karena panas juga akan mengalir secara simultan ke logam yang mendingin yang melapisi bagian luar.

Media *quench* yang tidak mengalir mengalami pergerakan-pergerakan yang tak dapat dihindari sebagai akibat dari pencelupan, turbulensi dari pendidihan, dan arus-arus konveksi. Agitasi minimum ini secara bertahap akan

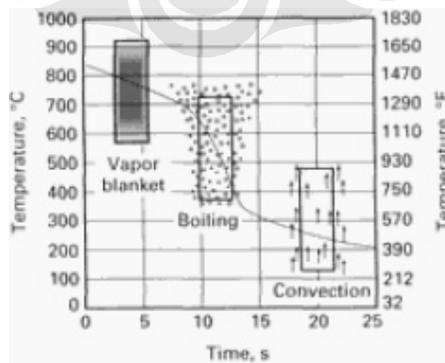
mendisipasi panas yang terakumulasi ke seluruh bagian cairan, tetapi sebagian volume cairan yang berada dekat dengan sumber panas akan mengalami peningkatan panas, atau bahkan akan menguap, dan ini akan mempengaruhi proses pendinginan cepat.

Media *quench* yang *volatile* menghasilkan uap pada hampir setiap temperatur operasi. Di atas titik didih, suplai uap meningkat banyak sehingga terbentuk selimut uap (*vapor blanket*) di sekitar permukaan benda kerja. Lapisan gas ini dipertahankan oleh panas yang diradiasikan selama sumber panas itu tersedia (poin B).

Pada temperatur lebih rendah, uap menjadi gelembung-gelembung, yang berukuran bervariasi tergantung pada hubungan tegangan permukaan antara cairan, gas, dan padatan. Gelembung yang terbentuk bisa berukuran kecil, berjumlah banyak, dan mudah lepas (poin D), ataupun berukuran besar, mudah melekat, dan dalam jumlah sedikit (poin C). Untuk jenis cairan yang *volatile*, mekanika terperangkapnya gelembung uap (poinC) akan sangat memperlambat transfer panas pada lokasi terjadinya gelembung uap tersebut.

II.4.5.1 Kecepatan Pendinginan

Untuk menggambarkan mekanisme pendinginan cepat digunakan suatu kurva pendinginan yang dibuat berdasarkan pengujian pada kondisi aktual. Perubahan temperatur diukur dengan menggunakan satu atau lebih *thermocouple* yang dipasangkan pada benda kerja. Hasil kurva waktu terhadap temperatur dapat mengindikasikan karakteristik transfer panas dari media *quench*.



Gambar 2.7 Kurva pendinginan pada permukaan dan pusat, mengindikasikan tahap-tahap transfer panas dari padatan yang panas ke cairan yang dingin.[7]

Kurva pendinginan yang umum untuk menggambarkan pendinginan di permukaan dan pusat benda kerja diperlihatkan pada gambar 2.7. Secara grafis, kurva ini dapat menjelaskan keempat tahap transfer panas dari padatan yang panas ke cairan yang dingin.[7]

1). Tahap A: Pembentukan selimut uap (*vapor blanket cooling stage*)

Pada tahap ini terjadi pembentukan selimut uap disekeliling benda kerja. Ini terjadi ketika suplai panas dari permukaan benda kerja mencapai energi yang dibutuhkan untuk pembentukan jumlah uap per unit area maksimum. Pendinginan pada tahap ini berlangsung sangat lambat, karena selimut uap bertindak sebagai isolator dan pendinginan terjadi dengan radiasi melalui lapisan uap tipis (*vapor film*). Tahap ini tidak terjadi pada larutan yang *non-volatile* seperti potassium klorida, lithium klorida, sodium hidroksida atau asam sulfat. Kurva pendinginan untuk larutan ini memulai langsung dengan tahap B.

3). Tahap B: Perpindahan panas (*Boiling cooling stage*)

Dimana terjadi laju transfer panas paling tinggi, berawal ketika temperatur di permukaan logam berkurang sebagian dan lapisan uap tipis pecah. Kemudian penindihan cairan *quenching* dan panas terlepas dari logam dengan sangat cepat, sebagian besar sebagai panas penguapan. Titik didih dari media *quench* menentukan akhir dari tahap ini. Ukuran dan bentuk gelembung uap juga sangat penting dalam mengatur durasi dari tahap B, sebagaimana kecepatan pendinginan ditentukan pada tahap ini.

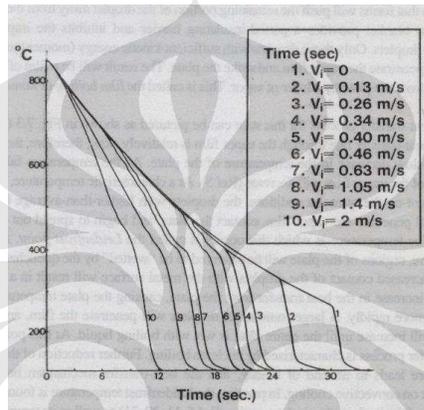
4). Tahap C: Pendinginan lambat (*convection cooling stage*)

Laju pendinginan pada tahap ini berlangsung lebih lambat dibandingkan pada tahap B. Tahap C berawal ketika temperatur di permukaan logam berkurang hingga titik didih dari cairan *quenching*. Di bawah temperatur tersebut, penindihan berhenti dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat dengan konduksi dan konveksi. Perbedaan temperatur antara titik didih cairan dan temperatur larutan merupakan faktor utama yang mempengaruhi laju transfer panas. Viskositas juga mempengaruhi kecepatan pendinginan pada tahap C.

Kecepatan pendinginan aktual dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1). Agitasi

Agitasi secara eksternal menghasilkan pergerakan media *quench* – memiliki pengaruh yang sangat besar pada karakteristik transfer panas dari media *quench*. Hal ini menyebabkan suatu perusakan awal secara mekanis terhadap selimut uap yang terbentuk pada tahap A dan menghasilkan gelembung uap yang lebih kecil, dan lebih mudah lepas selama berlangsungnya tahap B, sehingga menghasilkan transfer panas yang lebih cepat pada tahap C. Sebagai tambahan, agitasi juga menggantikan cairan yang panas dengan cairan yang dingin.



Gambar 2.8 Pengaruh agitasi terhadap kurva pendinginan.[11]

2). Temperatur Media *Quench*

Temperatur larutan dari media *quench* sangat mempengaruhi kemampuannya untuk menyerap panas. Semakin tinggi temperatur larutan maka semakin rendah temperatur karakteristik (temperatur dimana terbentuk selimut uap total) dan sehingga memperpanjang waktu pada tahap A. Bagaimanapun, titik didih tidak mengalami perubahan. Temperatur larutan yang lebih tinggi dapat menurunkan viskositas dan mempengaruhi ukuran gelembung uap. Jika faktor lainnya seimbang, temperatur yang lebih tinggi dapat menurunkan laju transfer panas pada tahap C.

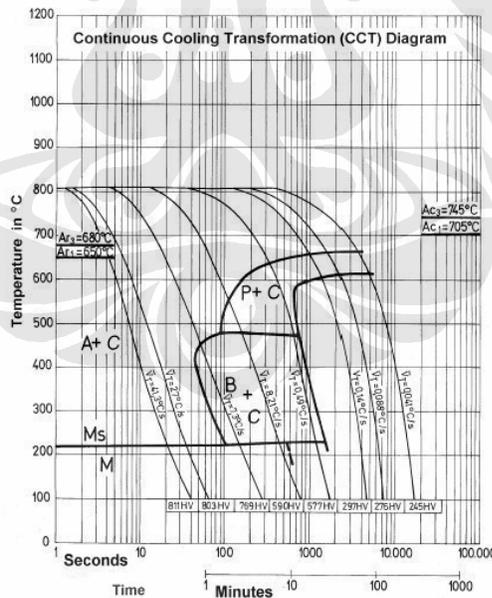
3). Temperatur benda kerja

Peningkatan temperatur benda kerja memiliki pengaruh yang relatif kecil pada kemampuan media *quench* untuk menyerap panas. Laju transfer panas dapat ditingkatkan dengan mudah disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur yang sangat tinggi. Peningkatan oksidasi pada permukaan benda kerja yang terjadi pada

temperatur tinggi dapat mempengaruhi kemampuan transfer panas. Peningkatan ini dapat meningkatkan ataupun menurunkan kemampuan transfer panas, tergantung pada ketebalan oksida yang terbentuk.

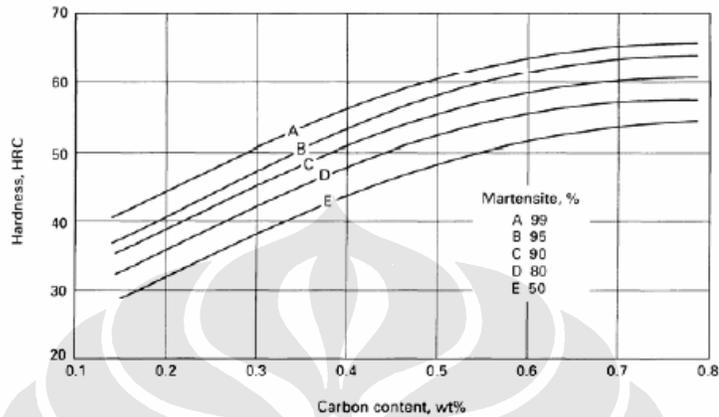
II.4.5.2 Efek Metalurgis Pada Pendinginan Cepat

Quenching pada baja dilakukan untuk mengatur transformasi austenite ke mikrostruktur yang diinginkan. Transformasi austenite dan mikrostruktur yang dapat terbentuk ditunjukkan pada gambar 2.9. Martensite merupakan mikrostruktur *as-quench* yang selalu diinginkan. Seperti ditunjukkan pada kurva dalam gambar 2.9, untuk mencapai jumlah martensit maksimum, kecepatan pendinginan harus cukup cepat untuk menghindari hidung (*nose*) dari diagram CCT (*continuous cooling transformation*) dari baja yang di-*quench*. Jika kecepatan pendinginan tidak cukup cepat, beberapa transformasi ke bainit, pearlit atau ferit akan terjadi, berkaitan dengan berkurangnya jumlah martensit yang terbentuk dan kekerasan yang dihasilkan.



Gambar 2.9 Kurva CCT untuk baja Tool Steel , dengan komposisi C (0.95), Si (0.25), Mn (1.20), Cr (0.48), V (0.13), W (0.55) menunjukkan transformasi austenite ke struktur mikro lain sebagai fungsi dari kecepatan pendinginan.[7]

Transformasi austenit dan kekerasan yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor utama yang sangat berpengaruh dalam transformasi austenit antara lain adalah kandungan karbon, kemampukerasan baja, dan tentu saja kecepatan pendinginan.



Gambar 2.10 Hubungan antara kandungan karbon dan presentase martensite terhadap kekerasan rockwell C.[7]

II.4.5.3 Kandungan Karbon dan Kemampukerasan

Kekerasan maksimum yang dapat dicapai pada baja yang di-*quenched* dengan kecepatan yang cukup untuk menghindari hidung pada kurva CCT tergantung pada kandungan karbon dalam baja. Kecepatan pendinginan (efisiensi *quenching*) yang dibutuhkan untuk mencapai struktur full martensite tergantung pada kemampukerasan baja yang di-*quenched*. Hubungan kandungan karbon dan presentase martensite terhadap kekerasan diperlihatkan pada gambar 2.10.

Bergantung pada kandungan karbon dan kemampukerasan baja, kecepatan pendinginan harus cukup cepat sehingga sekurangnya 90% martensite dapat dihasilkan pada area benda kerja yang paling kritis pada pembebanan. Presentase martensit yang lebih rendah dapat diterima untuk area benda kerja yang mengalami pembebanan lebih rendah. Presentase martensit yang lebih tinggi pada struktur as-*quench* akan menghasilkan sifat fatik dan sifat impak yang lebih tinggi.

II.4.5.4 Kecepatan Pendinginan Kritis

Di bawah kondisi ideal, air dapat menghasilkan kecepatan pendinginan sekitar 5000°F/detik. (pada permukaan silinder baja dengan diameter ½ inci dan panjang 4 inci). Kecepatan ini turun secara cepat di bawah permukaan. Pada baja karbon, hanya bagian tipis yang memiliki perbandingan yang besar antara luas permukaan terhadap volume yang dikeraskan seluruhnya (*full hardened*).

Penggunaan air atau *brine*, menghasilkan gradien temperatur yang tinggi antara permukaan dan pusat. Gradien temperatur ini menghasilkan distorsi yang lebih besar dan meningkatkan keretakan

Pada bagian yang tebal, kecepatan pendinginan dibatasi oleh laju konduksi panas dari bagian dalam benda kerja ke permukaan. Pendinginan cepat pada pusat benda kerja yang tebal sangat tidak mungkin dengan metode *quenching* apapun, dikarenakan oleh efek massa. Sehingga untuk pengerasan yang lebih dalam, harus digunakan jenis baja paduan yang memiliki kemampukerasan yang lebih tinggi.

II.4.5.5 Transformasi Fasa (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. Dalam transformasi perubahan yang terjadi mengikuti diagram CCT baja tersebut, terdapat pula sejumlah kecil austenit sisa dan karbida-karbida yang tidak larut selama austenisasi.

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[5].

Martensit dari hasil proses pendinginan cepat mempunyai sifat yang sangat 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 :

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[5].