

# **PROSES PEMBUATAN BESI DAN BAJA**

*Kompetensi : Teknologi Bahan Dan Teknik Pengukuran*

---

**TPL - Prod/H.01**



---

**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM DIKMENJUR  
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**2003**

## **I. PENDAHULUAN**

### **A. Deskripsi**

Bijih besi dari tambang biasanya masih bercampur dengan pasir, tanah liat, dan batu-batuan lainnya. Untuk kelancaran pengolahan bongkahan bijih tersebut dipecahkan dengan mesin pemecah, kemudian disortir antara bijih besi dan bebatuan ikutan dengan tromol magnet. Pekerjaan selanjutnya adalah mencuci bijih besi tersebut dan mengelompokkan menurut besarnya, bijih-bijih halus dan butir-butir yang kecil diaglomir di dalam dapur sinter atau di rol hingga bola-bola yang dapat dipakai kembali sebagai isi dapur.

Setelah bijih besi dipanggang di dalam dapur panggang agar kering dan unsur-unsur yang mudah menjadi gas keluar dari bijih besi kemudian dibawa ke dapur tinggi untuk diolah menjadi besi kasar.

Pengetahuan pembuatan besi kasar mutlak harus dimiliki oleh awak kapal dalam bekerja di atas kapal. disamping itu awak kapal juga diharuskan mengetahui dan memahami tentang bahan teknik yang sering digunakan dalam bidang permesinan di kapal untuk menghindari kesalahan dalam pemilihan bahan teknik yang digunakan di kapal.

Modul kompetensi pembuatan besi kasar ini pada dasarnya merupakan materi kurikulum yang berfungsi untuk mengembangkan kemampuan siswa SMK Bidang Keahlian Teknika Perikanan Laut untuk dapat mengidentifikasi dan memilih bahan teknik yang sesuai untuk digunakan di kapal. Modul ini

di dalamnya berisi materi yang disajikan dalam beberapa kegiatan belajar antara lain yaitu :

Kegiatan Belajar 1 : Pembuatan Besi kasar dan Baja

Kegiatan Belajar 2 : Klasifikasi Besi dan Baja

Kegiatan Belajar 3 : Perlakuan Panas Besi dan Baja

Ketiga modul itu di sajikan dalam buku Materi Pokok Pembuatan Besi Kasar.

## **B. Prasarat**

Untuk mempelajari program ini siswa tidak dipersyaratkan memiliki pengetahuan atau keterampilan khusus tentang pembuatan besi kasar. Hal ini disebabkan materi program ini dirancang sebagai suatu paket kompetensi utuh, supaya siswa dapat dengan mudah memahami, mengidentifikasi dan menerapkan prinsip-prinsip tentang pembuatan besi kasar sebagai bahan teknik, dalam pekerjaan dan kehidupan sehari-hari sebagai calon awak kapal di atas kapal niaga dan kapal perikanan.

## **C. Petunjuk penggunaan modul**

### **1. Penjelasan bagi siswa**

Modul ini membahas tentang pembuatan besi kasar dan baja berupa materi keterampilan dasar sebagai salah satu persyaratan yang harus dimiliki oleh awak kapal/calon awak kapal yang bekerja di atas kapal.

Setelah mempelajari modul ini, Anda sebagai siswa SMK Bidang Keahlian Pelayaran diharapkan dapat memahami pentingnya bahan teknik, yang

secara khusus dapat dirinci dalam bentuk-bentuk perilaku sebagai berikut ini :

1. Pembuatan Besi kasar dan Baja
2. Klasifikasi Besi dan Baja
3. Perlakuan Panas Pada Besi dan Baja

**a. langkah-langkah belajar yang harus ditempuh**

Untuk memberikan kemudahan pada Anda mencapai tujuan-tujuan tersebut, pada masing-masing butir bagian, Anda akan selalu menjumpai uraian materi, bahan latihan, rangkuman/inti sari dan tes formatif sebagai satu kesatuan utuh.

Oleh karena itu sebaiknya Anda mengetahui seluruh pembahasan itu. Sedangkan untuk memperkaya pemahaman dan memperluas wawasan Anda mengenai materi, disarankan agar membaca rujukan yang sesuai dan dicantumkan dibagian akhir Buku Materi pokok ini.

**b. Perlengkapan yang harus dipersiapkan**

Agar dapat melaksanakan kegiatan belajar dengan baik pada modul ini, maka perlengkapan kelas maupun di workshop harus disediakan selengkap mungkin antara lain seperti pada tabel berikut ini.

<p style="text-align: center;"><b>Perlengkapan ruang kelas</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Perlengkapan workshop</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Bahan</b></p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. OHP</li> <li>2. LCD</li> <li>3. Papan tulis</li> <li>4. Gambar dapur tinggi</li> <li>5. Gambar kerja mesin/teknik</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mesin gergaji besi</li> <li>2. Ragum</li> <li>3. Peralatan ukur;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- jangka sorong</li> <li>- mikro meter</li> <li>- meteran</li> <li>- dll</li> </ul> </li> <li>4. Dapur tempa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Macam-macam bahan logam seperti ;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besi cor</li> <li>- Besi tuang</li> <li>- Baja tuang</li> <li>- Baja cor</li> <li>- Bahan logam lainnya</li> </ul> </li> <li>2. Kain lap/majun.</li> </ol>

Perlengkapan tersebut mutlak diperlukan untuk memperagakan dan mengidentifikasi bahan logam dan non logam kepada siswa SMK Bidang Pelayaran, Program Keahlian Teknik Perikanan Laut tersebut sesuai prosedur SOP.

### c. Hasil Pelatihan

Setelah siswa dapat menyelesaikan modul ini, siswa dapat menjelaskan, mengidentifikasi, memilih dan menentukan bahan besi dan baja yang sering ditemukan di atas kapal perikanan, selain itu modul pembuatan besi dan baja, yang mana merupakan tuntutan yang diperlukan di dunia kerja untuk dapat memilih dan menentukan bahan teknik. Hasil dari pelaksanaan pembelajaran pada modul ini, diharapkan siswa mampu untuk memilih bahan besi dan baja saat memasuki lapangan kerja.

**d. Prosedur Sertifikasi**

Pada pembelajaran sub kompetensi pembuatan besi dan baja, menitik beratkan pada mengidentifikasi, memilih dan menentukan bahan besi dan baja. Untuk itu pengetahuan-pengetahuan dasar mengenai proses pembuatan besi kasar dan baja sebelumnya harus tetap dikuasai. Setelah menempuh ujian atau evaluasi maka secara teknis siswa telah mampu untuk memasuki lapangan kerja, namun untuk melengkapi program diklat teknologi bahan dan teknik pengukuran. Untuk selanjutnya menempuh uji kompetensi yang dilaksanakan oleh Badan Nasional Sertifikasi Indonesia (BNSI) atau melalui Panitia Uji Kompetensi dan Sertifikasi (PUKS) untuk mendapatkan sertifikat kompetensi di Sekolah masing-masing. Sekolah merekomendasikan siswanya untuk mengikuti uji kompetensi kepada PUKS atau Lembaga Sertifikasi Profesi yang telah ditunjuk oleh Badan Nasional Sertifikasi Indonesia (BNSI).

**2. Peran Guru Antara lain**

- a. Membantu siswa dalam merencanakan proses belajar.
- b. Membimbing siswa melalui tugas-tugas yang dijelaskan dalam tahap belajar.
- c. Membantu siswa dalam memahami konsep dan praktik baru dan menjawab pertanyaan siswa mengenai proses belajar siswa.
- d. Membantu siswa untuk menentukan dan mengakses sumber tambahan lain yang diperlukan dalam belajar.
- e. Mengorganisasikan kegiatan belajar kelompok jika diperlukan.

- f. Merencanakan seorang ahli/pendamping guru dari tempat kerja untuk membantu jika diperlukan.
- g. Merencanakan proses penilaian dan menyiapkan perangkatnya.
- h. Melaksanakan penilaian.
- i. Menjelaskan kepada siswa tentang sikap pengetahuan dan ketrampilan dari suatu kompetensi yang perlu dibenahi dan merundingkan rencana pembelajaran selanjutnya.
- j. Mencatat pencapaian kemajuan siswa.

**D. Tujuan Akhir**

Siswa dapat memahami, mengidentifikasi, memilih dan menentukan serta menggunakan bahan besi dan baja di atas kapal atau sesuai persyaratan dunia usaha/industri (*entri level*). dan diharapkan dapat melakukan pemilihan bahan teknik yang tepat untuk digunakan di atas kapal.

**E. Kompetensi**

Kompetensi : Teknologi Bahan dan Teknik Pengukuran

Kode Kompetensi : TPL-Prod/H.01

Sub Kompetensi : Proses Pembuatan Besi dan Baja

Kriteria unjuk kerja	Lingkup belajar	Materi Pokok Pembelajaran		
		Pengetahuan	Keterampilan	Sikap
? Proses pembuatan besi kasar diidentifikasi	? Proses pembuatan besi kasar ? Klasifikasi	? Menjelaskan Proses pembuatan besi kasar	? Menguraikan Proses pembuatan besi kasar.	? Cermat dalam mengidentifikasi Proses pembuatan besi

dengan benar ? Klasifikasi besi dan baja diidentifikasi dengan tepat. ? Proses perlakuan panas pada baja dijelaskan dengan benar	besi dan baja ? Proses perlakuan panas pada baja	? Menjelaskan Klasifikasi besi dan baja ? Menjelaskan Proses perlakuan panas pada baja	? Menguraikan Klasifikasi besi dan baja ? Memilih Proses perlakuan panas pada baja	kasar. ? Cermat mengklasifikasikan besi dan baja. ? Cermat proses perlakuan panas pada baja
--	---	---	---	---

Pengetahuan bahan teknik mutlak harus dimiliki oleh awak kapal dalam bekerja di atas kapal. disamping itu awak kapal juga diharuskan mengetahui dan memahami tentang bahan teknik yang sering digunakan dalam bidang permesinan di kapal, untuk menghindari kesalahan dalam pemilihan bahan teknik yang digunakan di kapal.

Modul kompetensi pembuatan besi kasar dan baja (bahan teknik) ini pada dasarnya merupakan materi kurikulum yang berfungsi untuk mengembangkan kemampuan siswa SMK Bidang Keahlian Teknik Perikanan Laut untuk dapat mengidentifikasi dan memilih bahan besi dan baja yang sesuai untuk digunakan di kapal. Pada modul ini di dalamnya terdiri dari kode kompetensi, kompetensi, sub kompetensi, kriteria unjuk kerja, ruang lingkup kompetensi, pengetahuan, keterampilan, dan sikap.

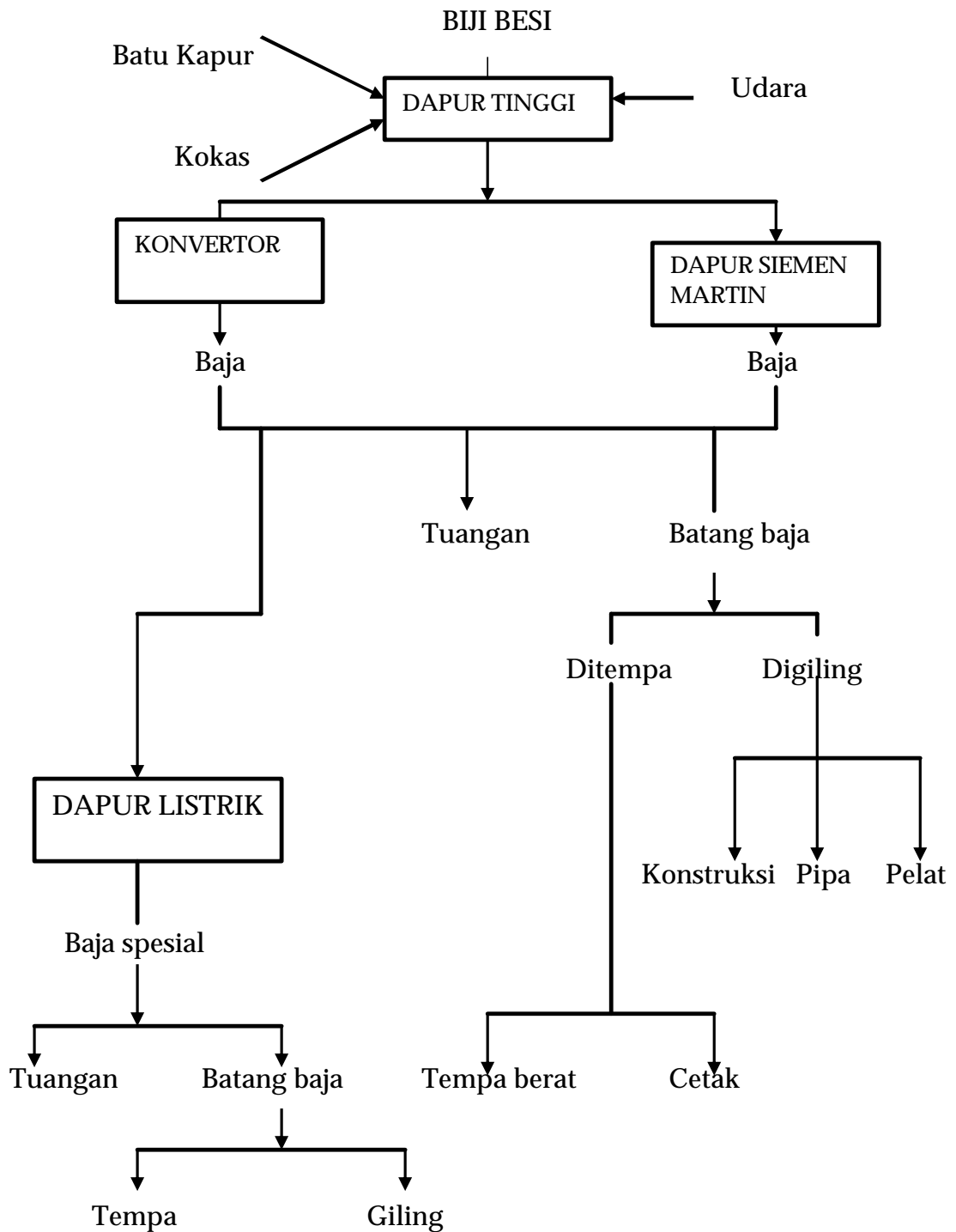


## **F. Cek Kemampuan**

Setelah anda membaca dan memahami pembuatan besi dan baja, cobalah anda kerjakan latihan di bawah ini. Dengan demikian anda akan dapat memahami dan menjelaskan lebih jauh dari materi ini.

1. Sebutkan macam-macam bijih besi dari tambang.
2. Jelaskan proses pembuatan besi kasar dalam dapur tinggi.
3. Sebutkan macam-macam dapur tinggi.
4. Jelaskan yang dimaksud konverter Bessemer.
5. Jelaskan prinsip kerja proses Thomas.
6. Jelaskan prinsip kerja proses Oksi.
7. Sebutkan keuntungan proses Martin dibanding proses Bessemer dan Thomas.
8. Jelaskan proses dapur listrik

Untuk memeriksa hasil latihan anda bagian ini tidak disediakan kunci jawaban. Oleh karena itu hasil latihan anda sebaiknya anda bandingkan dengan hasil latihan siswa/kelompok lain. Diskusikanlah dalam kelompok untuk hal-hal yang berbeda dalam hasil latihan itu. Dalam mengkaji hasil latihan itu anda sebaiknya selalu melihat teori proses pembuatan besi kasar yang diuraikan sebelumnya. Jika terdapat hal-hal yang tidak dapat di atasi dalam diskusi kelompok, bawalah persoalan tersebut ke dalam pertemuan tutorial. Yakinlah dalam pertemuan tersebut anda akan dapat memecahkan persoalan itu.



Gambar 2. Diagram Pembuatan Baja (Sumber : Hari Amanto & Daryanto, 1999).

## II. PEMBELAJARAN

### A. Rencana Belajar Peserta Diklat

Kompetensi : Teknologi Bahan dan Teknik Pengukuran

Kode Sub Kompetensi : TPL-Prod/H.01

Sub kompetensi : Proses Pembuatan Besi dan Baja

Jenis kegiatan	Tanggal	Waktu	Tempat belajar	Alasan perubahan	Tanda tangan guru
1. Pembuatan besi kasar					
2. Proses dapur tinggi					
3. Pembuatan baja dari besi kasar					
4. Macam-macam baja karbon					
5. Macam-macam besi tuang					
6. Macam-macam baja karbon					

## **B. Kegiatan Belajar**

### **1. Pembuatan Besi Kasar dan Baja**

#### **a. Tujuan Pembelajaran**

Siswa dapat memahami, menjelaskan & mengidentifikasi proses pembuatan besi kasar dan baja.

#### **b. Uraian Materi**

Didalam perut bumi tempat kita tinggal ternyata banyak sekali mengandung zat-zat yang berguna untuk keperluan hidup kita sehari-hari, misalnya minyak tanah, bensin, solar dan lain-lainnya yang disebut minyak bumi. Disamping itu juga terdapat unsur-unsur kimia yang berguna bagi manusia seperti bijih besi, nikel, tembaga, uranium, titanium, timah dan masih banyak lagi, beserta mineral dan batu-batuan. Salah satu zat yang terdapat di dalam bumi yang sangat berguna bagi manusia ialah air dengan rumus kimianya  $H_2O$ , sebab tanpa air manusia sukar sekali mempertahankan kehidupannya.

Mineral adalah suatu bahan yang banyak terdapat di dalam bumi, yang mempunyai bentuk dan ciri-ciri khusus serta mempunyai susunan kimia yang tetap. Sedangkan batu-batuan merupakan gabungan antara dua macam atau lebih mineral-mineral dan tidak mempunyai susunan kimia yang tetap.

Bijih ialah mineral atau batu-batuan yang mengandung satu macam atau beberapa macam logam dalam prosentase yang cukup banyak untuk

dijadikan bahan tambang. Banyaknya logam yang terkandung dalam bijih itu berbeda-beda.

Logam dalam keadaan murni jarang sekali terdapat di dalam bumi, kebanyakan merupakan senyawa-senyawa oksida, sulfida, karbonat, dan sulfat yang merupakan bijih logam yang perlu diproses menjadi bahan logam yang bermanfaat bagi manusia.

### **(1). Pembuatan Besi Kasar**

Bahan utama untuk membuat besi kasar adalah bijih besi. Berbagai macam bijih besi yang terdapat di dalam kulit bumi berupa oksid besi dan karbonat besi, diantaranya yang terpenting adalah sebagai berikut.

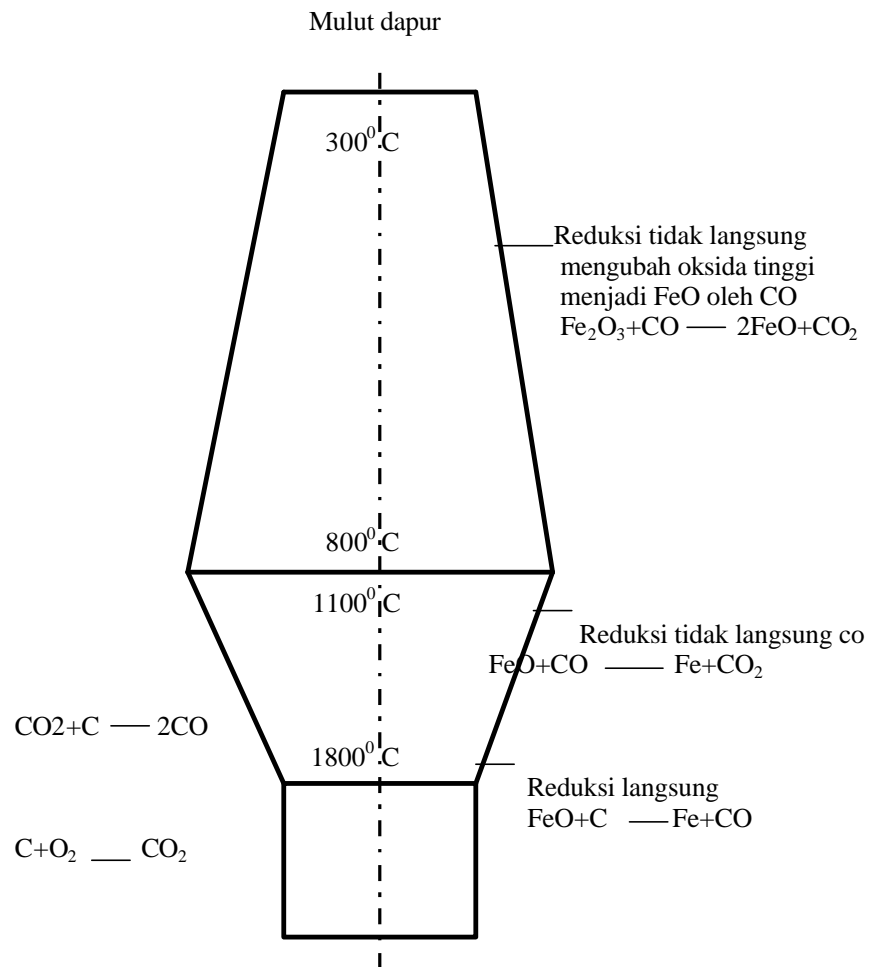
1. Batu besi coklat ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ ) dengan kandungan besi berkisar 40%.
2. Batu besi merah yang juga disebut hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan kandungan besi berkisar 50%.
3. Batu besi magnet ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ) berwarna hijau tua kehitaman, bersifat magnetis dengan mengandung besi berkisar 60%.
4. Batu besi kalsit atau spat ( $\text{FeCO}_3$ ) yang juga disebut sferosiderit dengan mengandung besi berkisar 40%.

Bijih besi dari tambang biasanya masih bercampur dengan pasir, tanah liat, dan batu-batuan dalam bongkah-bongkahan yang tidak sama besar. Untuk kelancaran proses pengolahan bijih besi, bongkah-bongkah tersebut dipecahkan dengan mesin pemecah, kemudian disortir antara bijih besi dan batu-batuan ikutan dengan tromol magnet. Pekerjaan selanjutnya adalah

mencuci bijih besi tersebut dan mengelompokkan menurut besarnya, bijih-bijih besi halus dan butir-butir yang kecil diaglomir di dalam dapur sinter atau rol hingga berupa bola-bola yang dapat dipakai kembali sebagai isi dapur.

Setelah bijih besi itu dipanggang di dalam dapur panggang agar kering dan unsur-unsur yang mudah menjadi gas keluar dari bijih kemudian dibawa ke dapur tinggi diolah menjadi besi kasar. Dapur tinggi mempunyai bentuk dua buah kerucut yang berdiri satu di atas yang lain pada alasnya. Pada bagian atas adalah tungkunya yang melebar ke bawah, sehingga muatannya dengan mudah meluncur kebawah dan tidak terjadi kemacetan. Bagian bawah melebar ke atas dengan maksud agar muatannya tetap berada di bagian ini.

Dapur tinggi dibuat dari susunan batu tahan api yang diberi selubung baja pelat untuk memperkokoh konstruksinya. Dapur diisi dari atas dengan alat pengisi. Berturut-turut dimasukkan kokas, bahan tambahan (batu kapur) dan bijih besi. Kokas adalah arang batu bara yaitu batu bara yang sudah didestilasikan secara kering dan mengandung belerang yang sangat rendah sekali. Kokas berfungsi sebagai bahan bakarnya dan membutuhkan zat asam yang banyak sebagai pengembus. Agar proses dapat berjalan dengan cepat udara pengembus itu perlu dipanaskan terlebih dahulu di dalam dapur pemanas udara. Proses pada dapur tinggi seperti dalam gambar 1.



Gambar 1. Proses dalam dapur tinggi. (Bagyo Suchyo, 1999)

Besi cair di dalam dapur tinggi, kemudian dicerat dan dituang menjadi besi kasar, dalam bentuk balok-balok besi kasar yang digunakan sebagai bahan ancuran untuk pembuatan besi tuang (di dalam dapur kubah), atau dalam keadaan cair dipindahkan pada bagian pembuatan baja di dalam konvertor atau dapur baja yang lain, misalnya dapur Siemen Martin.





Batu kapur sebagai bahan tambahan gunanya untuk mengikat abu kokas dan batu-batu ikutan hingga menjadi terak yang dengan mudah dapat dipisahkan dari besi kasar. Terak itu sendiri di dalam proses berfungsi sebagai pelindung cairan besi kasar dari oksida yang mungkin mengurangi hasil yang diperoleh karena terbakarnya besi kasar cair itu. Batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) terurai mengikat batu-batu ikutan dan unsur-unsur lain.

## **(2). Proses dalam Dapur Tinggi**

Prinsip dari proses dapur tinggi adalah prinsip reduksi. Pada proses ini zat karbon monoksida dapat menyerap zat asam dari ikatan-ikatan besi zat asam pada suhu tinggi. Pada pembakaran suhu tinggi  $\pm 1800^\circ \text{C}$  dengan udara panas, maka dihasilkan suhu yang dapat menyelenggarakan reduksi tersebut.

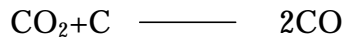
Agar tidak terjadi pembuntuan karena proses berlangsung maka diberi batu kapur sebagai bahan tambahan. Bahan tambahan bersifat asam apabila bijih besinya mempunyai sifat basa dan sebaliknya bahan tambahan diberikan yang bersifat basa apabila bijih besi bersifat asam.

Gas yang terbentuk dalam dapur tinggi selanjutnya dialirkan keluar melalui bagian atas dan ke dalam pemanas udara. Terak yang menetes ke bawah melindungi besi kasar dari oksida oleh udara panas yang dimasukkan, terak ini kemudian dipisahkan.

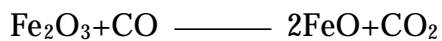
Proses reduksi di dalam dapur tinggi tersebut berlangsung sebagai berikut:

Zat arang dari kokas terbakar menurut reaksi :  $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$

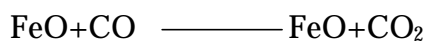
sebagian dari CO<sub>2</sub> bersama dengan zat arang membentuk zat yang berada ditempat yang lebih atas yaitu gas CO.



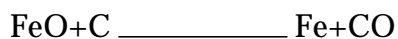
Di bagian atas dapur tinggi pada suhu 300<sup>o</sup> sampai 800<sup>o</sup> C oksid besi yang lebih tinggi diubah menjadi oksid yang lebih rendah oleh reduksi tidak langsung dengan CO tersebut menurut prinsip :



Pada waktu proses berlangsung muatan turun ke bawah dan terjadi reduksi tidak langsung menurut prinsip :



Reduksi ini disebut tidak langsung karena bukan zat arang murni yang mereduksi melainkan persenyawaan zat arang dengan oksigen. Sedangkan reduksi langsung terjadi pada bagian yang terpanas dari dapur, yaitu langsung di atas pipa pengembus. Reduksi ini berlangsung sebagai berikut.



CO yang terbentuk itulah yang naik ke atas untuk mengadakan reduksi tidak langsung tadi.

Setiap 4 sampai 6 jam dapur tinggi dicerat, pertama dikeluarkan teraknya dan baru kemudian besi. Besi yang keluar dari dapur tinggi disebut besi kasar atau besi mentah yang digunakan untuk membuat baja pada dapur

pengolahan baja atau dituang menjadi balok-balok tuangan yang dikirimkan pada pabrik-pabrik pembuatan baja sebagai bahan baku.

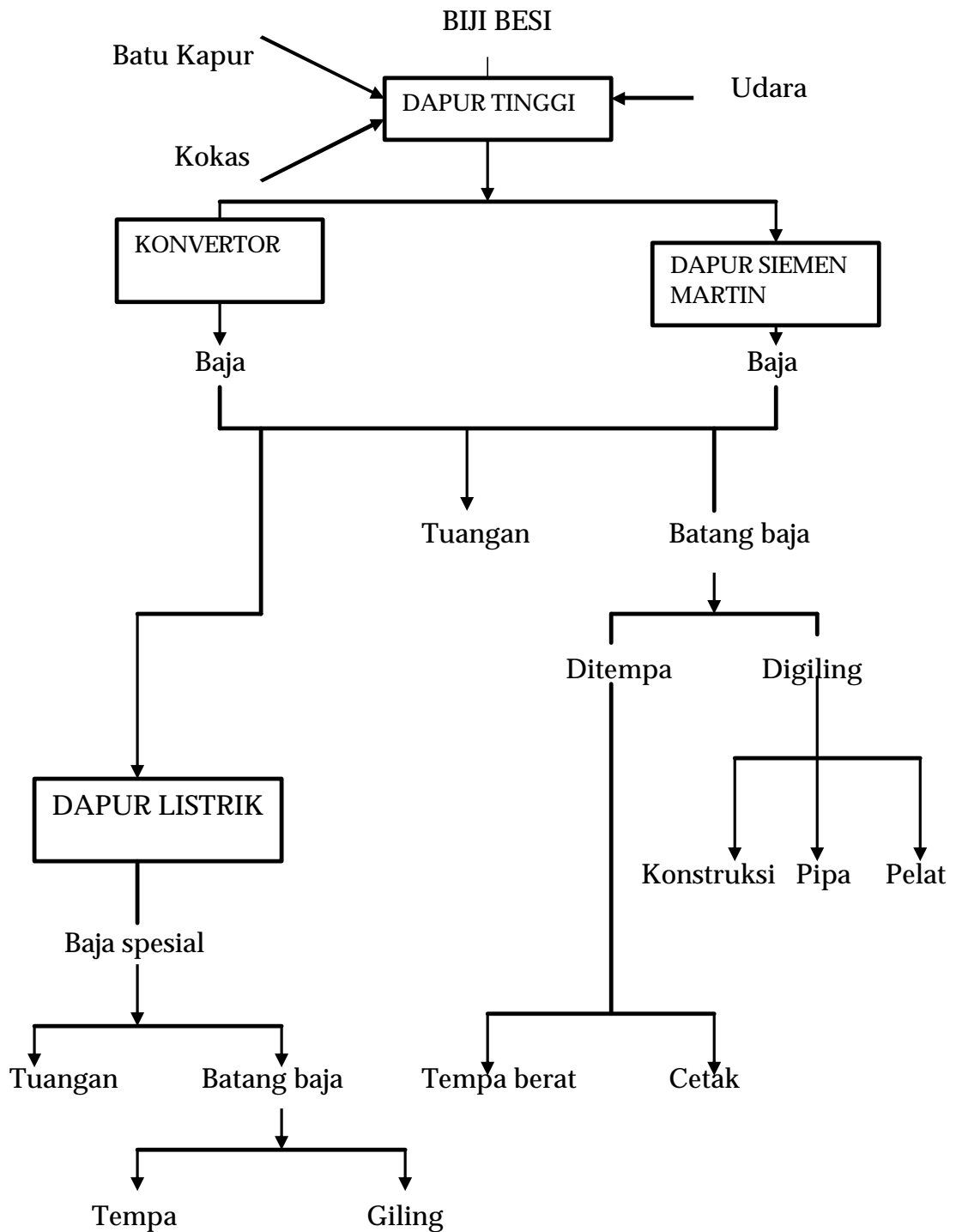
Besi cair dicerat dan dituang menjadi besi kasar dalam bentuk balok-balok besi kasar yang digunakan sebagai bahan ancuran untuk pembuatan besi tuang (di dalam dapur kubah) atau masih dalam keadaan cair dipindahkan pada bagian pembuatan baja (dapur Siemen Martin).

Terak yang keluar dari dapur tinggi dapat pula dimanfaatkan menjadi bahan pembuatan pasir terak atau wol terak sebagai bahan isolasi atau sebagai bahan campuran semen.

Besi cair yang dihasilkan dari proses dapur tinggi sebelum dituang menjadi balok besi kasar sebagai bahan ancuran di pabrik penuangan, perlu dicampur dahulu di dalam bak pencampur agar kualitas dan susunannya seragam. Dalam bak pencampur dikumpulkan besi kasar cair dari bermacam-macam dapur tinggi yang ada untuk mendapatkan besi kasar cair yang sama dan merata. Untuk menghasilkan besi kasar yang sedikit mengandung belerang di dalam bak pencampur tersebut dipanaskan lagi menggunakan gas dapur tinggi.

### **(3). Pembuatan Baja dari Besi Kasar**

Besi kasar sebagai hasil dari dapur tinggi masih banyak mengandung unsur-unsur yang tidak cocok untuk bahan konstruksi, misalnya zat arang (karbon) yang terlalu tinggi, fosfor, belerang, silisium dan sebagainya. Unsur-unsur ini harus serendah mungkin dengan berbagai cara.



Gambar 2. Diagram Pembuatan Baja (Sumber : Hari Amanto & Daryanto, 1999).



Untuk menurunkan kadar karbon dan unsur tambahan lainnya dari besi kasar digunakan dengan cara sebagai berikut.

Proses Konvertor :

- a. Proses Bessemer untuk besi kasar dengan kadar fosfor yang rendah.
- b. Proses Thomas untuk besi kasar dengan kadar fosfor yang tinggi.
- c. Proses Oksi, proses LD, Kaldo dan Oberhauser.

Proses Martin (dapur Siemen Martin)

- a. proses Martin asam untuk besi kasar dengan kadar fosfor rendah.
- b. Proses Martin basa untuk besi kasar dengan kadar fosfor tinggi.

Dapur Listrik untuk baja Campuran

- a. Dapur listrik busur nyala api.
- b. Dapur listrik induksi.

**(a). Proses Bessemer**

Konvertor Bessemer adalah sebuah bejana baja dengan lapisan batu tahan api yang bersifat asam. Dibagian atasnya terbuka sedangkan pada bagian bawahnya terdapat sejumlah lubang-lubang untuk saluran udara. Bejana ini dapat diguling-gulingkan.

Konvertor Bessemer diisi dengan besi kasar kelabu yang banyak mengandung silisium. Silisium dan mangan terbakar pertama kali, setelah itu baru zat arang yang terbakar. Pada saat udara mengalir melalui besi

kasar udara membakar zat arang dan campuran tambahan sehingga isi dapur masih tetap dalam keadaan encer.

Setelah lebih kurang 20 menit, semua zat arang telah terbakar dan terak yang terjadi dikeluarkan. Mengingat baja membutuhkan karbon sebesar 0,0 sampai 1,7 %, maka pada waktu proses terlalu banyak yang hilang terbakar, kekurangan itu harus ditambah dalam bentuk besi yang banyak mengandung karbon.

Dengan jalan ini kadar karbon ditingkatkan lagi. dari oksidasi besi yang terbentuk dan mengandung zat asam dapat dikurangi dengan besi yang mengandung mangan.

Udara masih dihembuskan ke dalam bejana tadi dengan maksud untuk mendapatkan campuran yang baik. Kemudian terak dibuang lagi dan selanjutnya muatan dituangkan ke dalam panci penuang. Pada proses Bessemer menggunakan besi kasar dengan kandungan fosfor dan belerang yang rendah tetapi kandungan fosfor dan belerang masih tetap agak tinggi karena dalam prosesnya kedua unsur tersebut tidak terbakar sama sekali.

Hasil dari konverter Bessemer disebut baja Bessemer yang banyak digunakan untuk bahan konstruksi. Proses Bessemer juga disebut proses asam karena muatannya bersifat asam dan batu tahan apinya juga bersifat asam. Apabila digunakan muatan yang bersifat basa lapisan batu itu akan rusak akibat reaksi penggaraman.

**(b). Proses Thomas**

Konverter Thomas juga disebut konverter basa dan prosesnya adalah proses basa, sebab batu tahan apinya bersifat basa serta digunakan untuk mengolah besi kasar yang bersifat basa. Muatan konverter Thomas adalah besi kasar putih yang banyak mengandung fosfor.

Proses pembakaran sama dengan proses pada konverter Bessemer, hanya saja pada proses Thomas fosfor terbakar setelah zat arangnya terbakar. Pengaliran udara tidak terus-menerus dilakukan karena besinya sendiri akan terbakar. Pencegahan pembakaran itu dilakukan dengan menganggap selesai prosesnya walaupun kandungan fosfor masih tetap tinggi.

Guna mengikat fosfor yang terbentuk pada proses ini maka diberi bahan tambahan batu kapur agar menjadi terak. Terak yang bersifat basa ini dapat dimanfaatkan menjadi pupuk buatan yang dikenal dengan nama pupuk fosfat. Hasil proses yang keluar dari konverter Thomas disebut baja Thomas yang biasa digunakan sebagai bahan konstruksi dan pelat ketel.

**(c). Proses Martin**

Proses lain untuk membuat baja dari bahan besi kasar adalah menggunakan dapur Siemens Martin yang sering disebut proses Martin. Dapur ini terdiri atas satu tungku untuk bahan yang dicairkan dan biasanya menggunakan empat ruangan sebagai pemanas gas dan udara. Pada proses ini digunakan muatan besi bekas yang dicampur dengan besi kasar sehingga dapat



menghasilkan baja dengan kualitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan baja Bessemer maupun Thomas.

Gas yang akan dibakar dengan udara untuk pembakaran dialirkan ke dalam ruangan-ruangan melalui batu tahan api yang sudah dipanaskan dengan temperatur 600 sampai 900<sup>0</sup> C. dengan demikian nyala apinya mempunyai suhu yang tinggi, kira-kira 1800<sup>0</sup> C. gas pembakaran yang bergerak ke luar masih memberikan panas kedalam ruang yang kedua, dengan menggunakan keran pengatur maka gas panas dan udara pembakaran masuk ke dalam ruangan tersebut secara bergantian dipanaskan dan didinginkan.

Bahan bakar yang digunakan adalah gas dapur tinggi, minyak yang digaskan (stookolie) dan juga gas generator. Pada pembakaran zat arang terjadi gas CO dan CO<sub>2</sub> yang naik ke atas dan mengakibatkan cairannya bergolak, dengan demikian akan terjadi hubungan yang erat antara api dengan bahan muatan yang dimasukkan ke dapur tinggi. Bahan tambahan akan bersenyawa dengan zat asam membentuk terak yang menutup cairan tersebut sehingga melindungi cairan itu dari oksida lebih lanjut.

Setelah proses berjalan selama 6 jam, terak dikeluarkan dengan memiringkan dapur tersebut dan kemudian baja cair dapat dicerat. Hasil akhir dari proses Martin disebut baja Martin. Baja ini bermutu baik karena komposisinya dapat diatur dan ditentukan dengan teliti pada proses yang berlangsung agak lama.

Lapisan dapur pada proses Martin dapat bersifat asam atau basa tergantung dari besi kasarnya mengandung fosfor sedikit atau banyak. Proses Martin asam terjadi apabila mengolah besi kasar yang bersifat asam atau mengandung fosfor rendah dan sebaliknya dikatakan proses Martin basa apabila muatannya bersifat basa dan mengandung fosfor yang tinggi.

Keuntungan dari proses Martin dibanding proses Bessemer dan Thomas adalah sebagai berikut :

- a. Proses lebih lama sehingga dapat menghasilkan susunan yang lebih baik dengan jalan percobaan-percobaan.
- b. Unsur-unsur yang tidak dikehendaki dan kotoran-kotoran dapat dihindarkan atau dibersihkan.
- c. Penambahan besi bekas dan bahan tambahan lainnya pada akhir proses menyebabkan susunannya dapat diatur sebaik-baiknya.

Selain keuntungan di atas dan karena udara pembakaran mengalir di atas cairan maka hasil akhir akan sedikit mengandung zat asam dan zat lemas. Proses Martin basa biasanya masih mengandung beberapa kotoran seperti zat asam, belerang, fosfor dan sebagainya. Sedangkan pada proses Martin asam kadar kotoran-kotoran tersebut lebih kecil.

#### **(d). Proses Oksi**

Proses konverter yang lebih modern adalah proses oksi, pada proses ini menggunakan bahan besi kasar yang mempunyai komposisi kurang baik apabila dikerjakan dengan konverter Bessemer maupun Thomas. Disini zat

asam murni dihembuskan di atas cairan dan kadang-kadang juga kedalam cairan besi, sehingga karbon, silisium, mangan dan sebagainya terbakar. Hasil pembakaran unsur-unsur tersebut ditampung oleh bahan tambahan batu kapur dan terikat menjadi terak yang mengapung di atas cairan besi.

Proses pembakaran zat asam dengan zat arang terjadi pada panas yang tinggi sekali, maka diperlukan pendinginan dengan jalan memberikan tambahan baja bekas. Hasil akhir dari proses ini adalah baja oksida yang bermutu sangat baik karena pengaruh buruk dari unsur udara tidak ada. Oleh karena itu baja oksida baik sekali digunakan sebagai bahan pembuatan konstruksi dan komponen-komponen mesin, seperti : poros, baut, pasak, batang penggerak dan lain-lainnya.

Keuntungan dari proses oksida adalah sebagai berikut :

- a. Waktu proses relatif pendek.
- b. Hasilnya mengandung fosfor (P) dan belerang (S) yang rendah.
- c. Hasil yang diproduksi relatif lebih banyak dalam tempo yang sama dibanding proses lainnya.
- d. Biaya produksi baja tiap ton lebih murah.

**(e). Proses Hoersch**

Proses Hoersch merupakan penyempurnaan dari proses Martin. Caranya adalah setelah muatan di dalam dapur Siemens Martin mencair kemudian langsung dikeluarkan dan dimasukkan dalam kuili yang terbuka untuk membakar fosfor dan belerang. Sementara pembakaran dilakukan dapur Siemens Martin dibersihkan dan kemudian lantai dapur ditaburi dengan

serbuk bijih besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  atau  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Setelah selesai mengadakan pembakaran fosfor, belerang dan besi cair yang berada di dalam kualiti tadi dimasukkan kembali ke dalam dapur Siemens Martin untuk menyelesaikan pembakaran unsur-unsur lain yang belum hilang,

terutama zat arang. Setelah proses pembakaran zat arang dianggap selesai, terak yang terjadi dikeluarkan selanjutnya baja cair ditampung dalam panci penuangan untuk dituang atau dicetak menjadi balok tuangan.

**(f). Proses Bertrand Thield**

Proses ini menggunakan dua buah dapur Siemens Martin. Pada dapur yang pertama dilakukan pemijaran dan pembakaran untuk memisahkan fosfor sedangkan dalam dapur kedua diisi dengan besi cair hasil dari dapur yang pertama setelah teraknya dikeluarkan. Proses di dalam dapur yang kedua tersebut juga diberi tambahan bijih besi yang baru.

**(g). Proses Dupleks**

Proses ini dilakukan dengan cara mengeluarkan zat arang terlebih dahulu yang berada konvertor-konvertor dan memurnikannya di dalam dapur Siemens Martin. Proses Dupleks terutama dilakukan oleh pabrik-pabrik baja yang berada di dekat perusahaan dapur tinggi. Setelah proses di dalam dapur tinggi (setelah teraknya dihilangkan) cairan besi kasar itu dimasukkan kedalam konvertor (Bessemer atau Thomas) dan dicampur dengan batu kapur serta baja bekas dalam jumlah yang dikehendaki. Pengembusan udara di dalam konvertor dilakukan sampai kandungan fosfor menjadi rendah

kira-kira 1 sampai 1,5 %, ditambah dengan kokas yang telah digiling selanjutnya memindahkan isinya ke dalam dapur Siemens Martin.

**(h). Proses Thalbot**

Proses Thalbot dilakukan dengan menggunakan dapur Siemens Martin yang dapat diputar-putar dan dijungkitkan. Setelah pemijaran didalam dapur Martinnnnnn, sebagian cairan dituangkan ke dalam panic tuang dan ke dalam dapur tadi sambil ditambahkan besi kasar, bijih besi dan batu kapur. Proses selanjutnya adalah menjaga agar cairan besi di dalam panic tuang tadi tidak terjadi oksidasi, artinya mengusahakan pendinginan yang cepat. Akibat dari cara ini adalah hasil yang diperoleh dalam setiap proses dari satu dapur tidak sama kualitasnya. Baja yang dihasilkan dari proses Thalbot adalah baja biasa seperti hasil dari proses konvertor Bessemer maupun Thomas.

**(i). Proses Dapur Listrik**

Dapur listrik digunakan untuk pembuatan baja yang tahan terhadap suhu tinggi. Dapur ini mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut,

- a. Jumlah panas yang diperlukan dapat dapat diatur sebaik-baiknya.
- b. Pengaruh zat asam praktis tidak ada.
- c. Susunan besi tidak dipengaruhi oleh aliran listrik.

Sedangkan kekurangannya adalah harga listrik yang mahal. Dapur listrik dibagi menjadi dua kelompok yaitu dapur listrik busur cahaya dan dapur listrik induksi.

### ? **Dapur busur cahaya**

Dapur ini berdasarkan prinsip panas yang memancar dari busur api, dapur ini juga dikenal dengan sebutan dapur busur nyala api. Dapur ini merupakan suatu tungku yang bagian atasnya digantungkan dua batang arang sebagai elektroda pada arus bolak-balik atau dengan tiga buah elektroda arang yang dialirkan arus putar. Misalnya pada dapur Stassano busur api terjadi antara tiga ujung elektroda arang yang berada di atas baja yang dilebur melalui ujung elektroda itu dengan arus putar. Pada dapur Girod, arus bolak balik mengalir melalui satu elektroda yang membentuk busur api di antara kutub dan baja cair selanjutnya dikeluarkan melalui enam buah elektroda baja yang didinginkan dengan air ke dasar tungku. Pada dapur Heroult menggunakan dua elektroda arang dengan arus bolak-balik dan dapat juga menggunakan tiga buah elektroda pada arus putar. Arus listrik membentuk busur nyala dari elektroda kepada cairan dan kembali dari cairan ke elektroda lainnya.

### ? **Dapur induksi**

Dapur induksi dapat dibedakan atas dapur induksi frekuensi rendah dan dapur induksi frekuensi tinggi. Pada dapur induksi dibangkitkan suatu arus induksi dalam cairan baja sehingga menimbulkan panas dalam cairan baja

itu sendiri sedangkan dinding dapur hanya menerima pengaruh listrik yang kecil saja.

- a. Dapur induksi frekuensi rendah, bekerja menurut prinsip transformator. Dapur ini berupa saluran keliling teras dari baja yang beserta isinya dipandang sebagai gulungan sekunder transformator yang dihubungkan singkat, akibat hubungan singkat tersebut di dalam dapur mengalir suatu aliran listrik yang besar dan membangkitkan panas yang tinggi. Akibatnya isi dapur mencair dan campuran-campuran tambahan dioksidasikan.
- b. Dapur induksi frekuensi tinggi, dapur ini terdiri atas suatu kuali yang diberi kumparan besar di sekelilingnya. Apabila dalam kumparan dialirkan arus bolak-balik maka terjadilah arus putar didalam isi dapur. Arus ini merupakan aliran listrik hubungan singkat dan panas yang dibangkitkan sangat tinggi sehingga mencairkan isi dapur dan campuran tambahan yang lain serta mengoksidasikannya.

Hasil akhir dari dapur listrik disebut baja elektro yang bermutu sangat baik untuk digunakan sebagai alat perkakas misalnya pahat, alat tumbuk dan lain-lainnya.

#### **(j). Proses Dapur Aduk**

Dapur aduk merupakan cara pembuatan baja yang konvensional dengan cara melebur besi kasar di dalam dapur nyala api bersama-sama dengan terak (FeO) untuk mendapatkan zat asam. Dengan cara mengaduk-aduk

dengan batang besi dan ke bawah permukaan dimasukkan udara maka terjadilah suatu masa lunak dari baja yang banyak mengandung terak.

Apabila gumpalan-gumpalan yang dibuat dalam dapur telah mencapai kira-kira 60 kg dikeluarkan, maka langkah selanjutnya adalah mengeluarkan terak dengan jalan menempunya atau dipres. Dalam proses aduk ini lebih banyak melibatkan pekerjaan tangan serta kapasitas produksi yang kecil maka cara ini dipandang tidak efisien dan jarang digunakan pada pabrik-pabrik baja.

**c. Rangkuman**

1. Bahan utama untuk membuat besi kasar adalah bijih besi.
2. Dapur tinggi dibuat dari susunan batu tahan api yang diberi selubung baja pelat untuk memperkokoh konstruksinya.
3. Batu kapur adalah sebagai bahan tambahan gunanya untuk mengikat abu kokas dan batu-batu ikutan hingga menjadi terak yang dengan mudah dapat dipisahkan dari besi kasar.
4. Prinsip dari proses dapur tinggi adalah prinsip reduksi. Pada proses ini zat karbon monoksida dapat menyerap zat asam dari ikatan-ikatan besi zat asam pada suhu tinggi. Pada pembakaran suhu tinggi  $\pm 1800^{\circ} \text{C}$  dengan udara panas, maka dihasilkan suhu yang dapat menyelenggarakan reduksi tersebut.
5. Konvertor Bessemer adalah sebuah bejana baja dengan lapisan batu tahan api yang bersifat asam. Dibagian atasnya terbuka sedangkan pada bagian bawahnya terdapat sejumlah lubang-lubang untuk saluran udara.



6. Keuntungan dari proses Martin disbanding proses Bessemer dan Thomas adalah sebagai berikut : Proses lebih lama sehingga dapat menghasilkan susunan yang lebih baik dengan jalan percobaan-percobaan, unsur-unsur yang tidak dikehendaki dan kotoran-kotoran dapat dihindarkan atau dibersihkan, penambahan besi bekas dan bahan tambahan lainnya pada akhir proses menyebabkan susunannya dapat diatur sebaik-baiknya.
7. Dapur listrik digunakan untuk pembuatan baja yang tahan terhadap suhu tinggi.

**d. Tugas**

Setelah anda membaca dan memahami pembuatan besi kasar, cobalah anda kerjakan latihan di bawah ini. Dengan demikian anda akan dapat memahami dan menjelaskan lebih jauh dari materi ini.

1. Sebutkan macam-macam bijih besi untuk membuat besi dan baja.
2. Jelaskan reaksi utama pada proses dapur tinggi.
3. Mengapa besi kasar yang dihasilkan dari dapur tinggi belum dapat dipakai sebagai barang jadi.
4. Jelaskan prinsip kerja konvertor.
5. apakah yang dimaksud dengan proses asam, proses basa dan proses oksida di dalam konvertor.
6. sebutkan keuntungan pembuatan baja dengan menggunakan dapur Siemens Martin dibandingkan dengan menggunakan konvertor.

Untuk memeriksa hasil latihan anda bagian ini tidak disediakan kunci jawaban. Oleh karena itu hasil latihan anda sebaiknya anda bandingkan dengan hasil latihan siswa/kelompok lain. Diskusikanlah dalam kelompok untuk hal-hal yang berbeda dalam hasil latihan itu. Dalam mengkaji hasil latihan itu anda sebaiknya selalu melihat teori proses pembuatan besi kasar yang diuraikan sebelumnya. Jika terdapat hal-hal yang tidak dapat di atasi dalam diskusi kelompok, bawalah persoalan tersebut ke dalam pertemuan tutorial. Yakinlah dalam pertemuan tersebut anda akan dapat memecahkan persoalan itu.

**e. Tes Formatif (H.01.1)**

Pilihlah salah satu kemungkinan jawaban yang menurut anda paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, atau d.

1. Bahan utama untuk membuat besi kasar adalah ....
  - a. Biji atom
  - b. Biji besi
  - c. Batu bara
  - d. Batuan
  
2. Bijih besi diolah menjadi besi kasar melalui proses ....
  - a. Dapur tinggi
  - b. Dapur kuba
  - c. Dapur kerucut
  - d. Dapur tempa

3. Dapur pembuat besi kasar terbuat dari bahan ....
  - a. Batu granit
  - b. Batu kapur
  - c. Batu tahan api
  - d. Batu apung
4. Bahan bakar untuk dapur tinggi untuk mengolah bijih besi adalah
  - a. Kukas
  - b. Kakus
  - c. Kokos
  - d. Kokas
5. Prinsip dari proses dapur tinggi adalah....
  - a. Reduksi
  - b. Reaksi
  - c. Reactor
  - d. Reaktif
6. Untuk menurunkan kadar karbon dan unsur tambahan lainnya dari besi kasar digunakan proses ....
  - a. Konveyor
  - b. Konvertor
  - c. Konduktor
  - d. Konveksi
7. Konvertor Bessemer adalah sebuah bejana baja dengan lapisan batu tahan api yang bersifat ....
  - a. Asam dan Basa

- b. Asam sulfat
  - c. Asam laknat
  - d. Asam
8. Konverter Thomas sering disebut konverter .....
- a. Asam
  - b. Asam dan basa
  - c. Basa serta asam
  - d. Basa
9. Proses Thalbot menggunakan dapur yang dapat diputar-putar dan diungkitkan yaitu dapur ....
- a. Siemens Martin.
  - b. Listrik.
  - c. Busur cahaya.
  - d. Induksi
10. Batu kapur sebagai bahan tambahan berfungsi untuk mengikat....
- a. Biji besi
  - b. Besi kasar
  - c. Abu kokas
  - d. Batu bara

Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban yang terdapat pada bagian akhir Buku Materi Pokok ini. Hitunglah jumlah jawaban anda yang benar, kemudian gunakanlah rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi Kegiatan Belajar ini.

Rumus :

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100 \%$$

Arti tingkatan penguasaan yang anda capai :

90 % - 100 % : Baik Sekali

80 % - 89 % : Baik

70 % - 79 % : Cukup

≤ 69 % : Kurang

Bila tingkat penguasaan anda mencapai 80 % ke atas, anda dapat meneruskan ke kegiatan belajar berikutnya, bila bagus, tetapi apabila nilai yang anda capai di bawah 80 %, anda harus mengulangi kegiatan belajar ini, terutama pada bagian yang belum anda kuasai.

**f. Lembar Kerja**

(1). Alat :

- ? OHP
- ? Papan tulis
- ? Gambar kerja

(2). Bahan yang digunakan adalah :

- ? Modul

(3). Langkah kerja :

- ? Siswa memahami tentang teori proses pembuatan besi kasar
- ? Siswa dapat menjelaskan proses pembuatan besi kasar
- ? Siswa dapat mengidentifikasi proses pembuatan besi kasar

## **2. Klasifikasi Besi dan Baja**

### **a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran**

Siswa dapat memahami, mengidentifikasi, memilih dan menentukan klasifikasi besi dan baja.

### **b. Uraian Materi**

Besi atau baja yang dihasilkan dari dapur-dapur baja disebut besi atau baja karbon, yaitu campuran antara besi dengan zat arang (karbon). Sedangkan unsur lainnya seperti fosfor, belerang dan sebagainya juga ada didalamnya, namun dalam prosentase yang kecil sekali sehingga dianggap tidak mempengaruhinya.

Unsur paduan itu diberikan dengan maksud memperbaiki atau memberi sifat baja yang sesuai dengan sifat yang dikehendaki pada baja. Berdasarkan banyaknya karbon yang dikandung besi atau baja, dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu :

- a. Besi atau baja tempa yang mengandung berkisar antara 0,01 s/d 1,7 % karbon.
- b. Besi atau baja tuang yang mengandung berkisar antara 2,3 s/d 3,5 % karbon, baja ini sangat tidak baik untuk ditempa.

Besi atau baja yang kadar karbonnya berkisar antara 1,8 s/d 2,2 %, tidak dibuat karena pada prosentase tersebut sifatnya kurang baik.

**(1). Baja Karbon**

Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon sampai 1,7 %. Baja karbon digolongkan menjadi tiga kelompok berdasarkan banyaknya karbon yang terkandung dalam baja, yaitu :

a. Baja karbon rendah.

Baja yang mengandung karbon antara 0,10 s/d 0,30 %. Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam bentuk pelat, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin, dan lain-lain.

b. Baja karbon sedang.

Baja ini mengandung karbon antara 0,30 s/d 0,60 %. Baja karbon sedang dalam perdagangan biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum, pegas, dan lain-lain.

c. Baja karbon tinggi.

Baja yang mengandung karbon antara 0,70 s/d 1,5 %. Baja karbon ini banyak digunakan untuk keperluan pembuatan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima dan mengalami panas, misalnya landasan, palu, gergaji, pahat, kikir, mata bor, bantalan peluru, dan sebagainya.

Berdasarkan penggunaan baja dapat diklasifikasikan dalam dua grup yaitu baja konstruksi dan baja perkakas. Baja konstruksi termasuk konstruksi bangunan dan konstruksi mesin. Baja konstruksi bangunan umumnya mengandung karbon sampai 0,3 % dengan kekuatan tarik dan batas regang



rendah serta tidak dapat dikeraskan. Sedangkan baja mesin umumnya memiliki kadar karbon berkisar 0,3 s/d 0,6 %, mempunyai kekerasan yang lebih besar, kekuatan tarik dan batas regang agak tinggi serta dapat dikeraskan.

Kedua grup baja di atas masih digolongkan lagi menjadi baja yang tidak dipadu, baja paduan rendah dan baja paduan tinggi, yaitu :

- a. Baja yang tidak dipadu mengandung 0,06 s/d 1,5 % karbon, dengan sedikit mangan (Mn), silisium (Si), fosfor (P), dan belerang (S).
- b. Baja paduan rendah mengandung 0,06 s/d 1,5 % karbon dengan tambahan 5 % bahan paduan.
- c. Baja paduan tinggi mengandung 0,03 s/d 2,2 % karbon dengan lebih dari satu bahan paduan sebanyak 5 % atau lebih.

## **(2). Baja Kontruksi**

Baja kontruksi digunakan untuk keperluan kontruksi bangunan dan pembuatan bagian-bagian mesin. Berdasarkan campuran dan proses pembuatannya , baja kontruksi dibedakan menjadi :

- a. baja karbon biasa.
- b. Baja kontruksi kualitas tinggi.
- c. Baja spesial.

Adapun baja konstruksi dikelompokkan dalam tiga jenis terdiri dari :

a. Baja konstruksi umum.

Baja konstruksi umum terdiri atas jenis baja karbon dan baja kualitas tinggi yang dipadu. Penggunaan baja ini didasarkan atas pertimbangan tegangan tarik minimumnya yang cukup tinggi. Baja ini banyak digunakan pada konstruksi bangunan gedung, jembatan, poros mesin dan roda gigi.

Baja konstruksi umum diperdagangkan dalam dua jenis kualitas yang biasanya dibedakan dengan pemberian nomer kode 2 dan 3.

Contoh : St. 44 – 2 untuk kualitas tinggi.

St. 44 – 3 untuk kualitas istimewa (khusus).

b. Baja otomat.

Baja otomat terdiri atas baja kualitas tinggi yang tidak dipadu dan baja kualitas tinggi paduan rendah dengan kadar belerang (S) dan fosfor (P) yang tinggi. Baja ini mengandung 0,07 s/d 0,065 % karbon, 0,18 s/d 0,4 % belerang, 0,6 s/d 1,5 % mangan, dan 0,05 s/d 0,4 % silisium.

Untuk keperluan menghaluskan permukaan ditambahkan lagi dengan timbal (Pb) 0,15 s/d 0,3 %. Karena mengandung belerang (S) dan fosfor (P) yang cukup tinggi, maka baja otomat sangat tidak baik untuk pekerjaan las.

c. Baja case hardening.

Baja case hardening diperoleh dengan menaruh baja lunak diantara bahan yang kaya dengan karbon dan memanaskannya hingga di atas suhu kritis atasnya (900 – 950<sup>o</sup> C) dalam waktu yang cukup lama untuk mendapatkan lapisan permukaan yang banyak mengandung karbon.

Baja case hardening ini terdiri atas baja kualitas tinggi yang tidak dipadu dan baja spesial yang tidak dipadu maupun yang dipadu. Supaya benda kerja tetap liat, diusahakan kandungan karbon pada bagian permukaan benda kerja yang telah dikarbonisasikan tadi berkisar antara 0,6 – 0,9 %.

**(3). Baja Perkakas**

Baja perkakas banyak digunakan untuk bahan membuat perkakas, misalnya stempel, kaliber, serta alat-alat potong. Baja perkakas dikelompokkan berdasarkan :

1. Keadaan paduan : tidak dipadu, paduan rendah, dan paduan tinggi.
2. Bahan pendingin : air, minyak, dan udara.
3. Proses pengerasan : pengerjaan panas dan pengerjaan dingin.

Sifat-sifat baja perkakas tanpa paduan yang terpenting adalah sebagai berikut :

- a. Kandungan karbon antara 0,35 – 1,6 %.
- b. Temperatur pengerasan 750 – 850<sup>o</sup> C.
- c. Temperatur tempering 100 – 300<sup>o</sup> C.
- d. Temperatur kerja sampai 200<sup>o</sup> C.

Penggunaan baja perkakas tanpa paduan ditentukan oleh kandungan karbonnya, contoh :

- a. 0,5 % karbon untuk pembuatan martil dan landasan tempa. Sifatnya rapuh.
- b. 0,8 % karbon untuk pembuatan peniti, gunting, dan pisau. Sifatnya rapuh.
- c. 0,9 % karbon untuk pembuatan perkakas tukang kayu dan pahat. Sifatnya rapuh dan keras. setengah keras.
- d. 1,1 % karbon untuk pembuatan kikir, penggores, dan gunting. Sifatnya setengah keras.
- e. 1,3 % karbon untuk pembuatan mata bor, skraper, dan dies. Sifatnya keras dan rapuh.
- f. Lebih dari 1,3 % karbon untuk pembuatan reamer dan matres. Sifatnya sangat keras.

Kondisi umum dari baja perkakas adalah pada temperatur di atas 200<sup>0</sup> C kemampuan potongnya hilang, oleh sebab itu baja perkakas tanpa paduan digunakan untuk pembuatan alat-alat dan perkakas yang tidak mengalami temperatur kerja yang tinggi. Karena kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, baja ini digunakan pula sebagai bahan untuk alat-alat ukur. Baja perkakas dapat disepuh dengan baik dan dikeraskan dengan mencelupkannya ke dalam air.

#### **(4). Baja Paduan**

Baja paduan adalah campuran antara baja karbon dengan unsur-unsur lain yang akan mempengaruhi sifat-sifat baja, misalnya sifat kekerasan, liat, kecepatan membeku, titik cair, dan sebagainya yang bertujuan memperbaiki kualitas dan kemampuannya. Penambahan unsur-unsur lain dalam baja karbon dapat dilakukan dengan satu atau lebih unsur, tergantung dari karakteristik atau sifat khusus yang dikehendaki.

Unsur-unsur paduan untuk baja ini dibagi dalam dua golongan yaitu :

- a. Unsur yang membuat baja menjadi kuat dan ulet, dengan menguraikannya ke dalam ferrite (misalnya Ni, Mn, sedikit Cr dan Mo). Unsur ini terutama digunakan untuk pembuatan baja konstruksi.
- b. Unsur yang bereaksi dengan karbon dalam baja dan membentuk karbida yang lebih keras dari sementit (misalnya unsur Cr, W, Mo, dan V). unsur ini terutama digunakan untuk pembuatan baja perkakas.

Pengaruh unsur paduan untuk memperbaiki sifat-sifat baja antara lain:

Silisium (Si) dapat menambah sifat elastis dan mengurangi perkembangan gas di dalam cairan baja, sehingga persenyawaannya lebih homogen. Makin besar unsur Si semakin sukar ditempa atau di las. Baja dengan paduan silisium biasanya digunakan untuk membuat pegas.

Mangan (Mn) merupakan unsur yang harus selalu ada di dalam baja dengan jumlah yang kecil dan sebagai pencegah oksidasi, dengan demikian setiap proses kimia dan proses metalurgi dapat berlangsung dengan baik.

Penambahan unsur mangan di dalam baja paduan menambah kekuatan dan ketahanan panas baja paduan itu serta penampilan yang lebih bersih dan mengkilat.

Nikel (Ni) dapat mempertinggi kekuatan dan regangannya sehingga baja paduan ini menjadi liat dan tahan tarikan. Penambahan unsur nikel di dalam baja karbon berpengaruh pula terhadap ketahanan korosi. Oleh karena itu baja paduan ini biasa digunakan untuk bahan membuat sudu-sudu turbin, roda gigi, bagian-bagian mobil dan sebagainya.

Chromium (Cr) dapat memberikan kekuatan dan kekerasan baja lebih meningkat, tahan korosi dan tahan aus. Dengan sifat-sifat itu membuat baja paduan ini baik untuk bahan poros, dan roda gigi. Penambahan unsur chromium biasanya diikuti dengan penambahan nikel.

Molibdenum (Mo) dengan penambahan molibdenum akan memperbaiki baja karbon menjadi tahan terhadap suhu yang tinggi, liat, dan kuat. Baja paduan ini biasa digunakan sebagai bahan untuk membuat alat-alat potong, misalnya pahat.

Wolfram (W) dengan penambahan unsur ini memberikan pengaruh yang sama seperti pada penambahan molibdenum dan biasanya juga dicampur dengan unsur nikel (Ni) dan chromium (Cr). Baja paduan ini memiliki sifat tahan terhadap suhu yang tinggi, karenanya banyak digunakan untuk bahan membuat pahat potong yang lebih dikenal dengan nama baja potong cepat (HSS /High Speed Steel).

Vanadium (V) dengan penambahan unsur ini akan memperbaiki struktur kristal baja menjadi halus dan tahan aus, terlebih bila dicampur dengan chromium. Baja paduan ini digunakan untuk membuat roda gigi, batang penggerak, dan sebagainya.

Kobalt (Co) dengan penambahan unsur ini akan memperbaiki sifat kekerasan baja meningkat dan tahan aus serta tetap keras pada suhu yang tinggi. Baja paduan ini banyak digunakan untuk konstruksi pesawat terbang atau konstruksi yang harus tahan panas dan tahan aus.

Tembaga (Cu), baja paduan yang memiliki ketahanan korosi yang besar diperoleh dengan penambahan tembaga berkisar 0,5 – 1,5 % tembaga pada 99,95 – 99,85 % Fe. Baja paduan ini disebut baja Armco yang digunakan untuk membuat konstruksi jembatan, menara-menara, dan lain-lain.

### **(5). Besi Tuang**

Pada umumnya besi tuang adalah paduan antara besi dengan zat arang. Zat arang atau karbon yang terikat berkisar antara 2,3 – 3,6 %. Besi tuang digolongkan dalam dua kelompok utama yaitu :

1. Besi tuang yang mengandung grafit (besi tuang kelabu).
2. Besi tuang yang tidak mengandung grafit (besi tuang putih).

#### **(a). Besi Tuang Kelabu**

Bahan untuk membuat besi tuang kelabu adalah besi kasar kelabu. Besi kasar kelabu mempunyai kandungan silisium yang tinggi antara 1,5 – 5,5 % dan

kadar mangan yang rendah. Dengan kandungan silisium yang tinggi akan meningkatkan terbentuknya zat arang bebas, sehingga setelah pendingin, besi tuang kelabu mengandung grafit. Grafit muncul dalam besi sebagai pelat-pelat tipis yang disebut lamel grafit. Bentuk dan banyaknya lamel grafit tergantung dari campuran kimiawi dan kecepatan pendinginannya.

Silikon (Silisium) dan pendinginan yang lambat akan menaikkan pembentukan grafit. Sedangkan mangan dengan pendinginan yang cepat akan mengurangi pembentukan grafit. Lamel grafit mempunyai sifat lunak, kekuatan tarik rendah, regangan kecil, dapat menerima gaya tekan yang besar, meredam suara dan getaran. Besi tuang kelabu terdiri atas perlit dan grafit. Perlit (pearlit) terdiri atas *ferrit* dan *cementit*.

Selain besi tuang berlamel grafit, masih ada dua jenis dari besi tuang kelabu yaitu : besi tuang mekanik atau besi tuang berlamel grafit halus, dan besi tuang sferoidal atau besi tuang bergrafit bola.

- a. Besi tuang mekanik adalah besi tuang yang sepenuhnya terdiri atas grafit halus. Besi tuang mekanik mempunyai sifat tahan gesekan, mempunyai kekuatan kejut yang tinggi dan dapat dikeraskan.
- b. Besi tuang grafit bola juga sering disebut dengan nama besi nodular atau besi ductile. Besi tuang ini mengandung grafit yang berbentuk bola bundar, bagian tepinya tidak tajam dan strukturnya lebih bersambung. Dengan adanya penambahan sedikit logam magnesium (Mg) pada besi cair sebelum penuangan, grafit akan berada dalam bentuk bola.



**(b). Besi Tuang Putih**

Besi tuang putih mempunyai bidang patahan berwarna putih, yang disebabkan oleh sementit yang putih. Bahan baku untuk pembuatan besi tuang putih adalah besi kasar putih. Besi kasar putih memiliki kandungan silisium yang rendah kurang dari 0,5 % dan kadar mangan yang rendah. Karena kadar silisium yang rendah menyebabkan hanya terbentuk sementit dan pearlit. Dengan demikian besi tuang putih setelah didinginkan hanya terdiri atas pearlit dan sementit.

Termasuk didalam kelompok besi tuang putih adalah sebagai berikut :

- ? Besi tuang tempa ada dua macam yaitu besi tuang black heart dan besi tempa white heart.
  
- ? Besi tuang tempa black heart dibuat dari besi tuang putih dengan kandungan silisium yang rendah, dipanaskan hingga temperatur  $\pm 900^{\circ}$  C, dalam dapur yang selalu bebas dari oksigen di sekitarnya. Besi tuang putih tersebut dimasukkan perlahan-lahan kedalam daerah pemanasan menggunakan rangka bakar yang bergerak. Waktu pemanasan selama  $\pm 48$  jam. Pemanasan yang diperpanjang ini menyebabkan sementit hancur menjadi lapisan grafit yang kasar, karbon akan mengumpul seperti bunga mawar pada temper karbon. Permukaan pecahan tampak gelap karena kandungan karbon, sebab itulah besi tuang ini disebut black heart. Oleh karena strukturnya terdiri atas temper karbon dan ferrite, maka menjadi lunak dan ulet (ductile). Besi tuang tempa black

heart sering digunakan dalam industri mobil karena campuran antara sifat tuangan tahan getaran dan dapat dikerjakan dengan mesin.

- ? Besi tuang tempa white heart dibuat dari besi tuang putih yang berkadar silisium rendah. Dalam proses pembuatannya besi tuang putih ini dipanaskan hingga temperatur  $\pm 1000^{\circ}$  C selama 100 jam dan dihubungkan pada bahan oksidasi, seperti misalnya bijih besi merah atau hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Selama proses pemanasan, karbon pada permukaan tuangan dioksidasikan oleh bijih hematite dan akan hilang sebagai gas karbon dioksi ( $\text{CO}_2$ ). Sesudah proses ini selesai pada bagian yang tipis hanya akan mengandung ferrit dan pada bagian pecahan akan memberikan warna besi putih yang disebut white heart. Proses pembuatan besi tuang tempa white heart ini cocok untuk mengerjakan bagian-bagian tipis yang dikehendaki keuletan tinggi.
- ? Besi tuang keras dibuat dari besi kasar kelabu yang memiliki kadar silisium yang tinggi antara 1,5 – 5,5 % dan kadar mangan yang rendah. Besi tuang keras mempunyai lapisan luar yang tahan aus dan sangat keras, tetapi bagian inti kurang keras dan kenyal. Pada proses pembuatannya, benda tuang didinginkan secara cepat pada bagian luarnya, sedangkan bagian intinya didinginkan secara perlahan-lahan. Untuk memperoleh kecepatan pendinginan yang besar pada bagian luar proses penuangan dilakukan dengan cara menuang ke dalam cetakan yang terbuat dari logam seluruhnya.

? Dengan cara pendinginan seperti ini benda tuang memperoleh lapisan luar yang terdiri atas besi tuang putih dan bagian inti yang terdiri atas baja tuang campuran sampai ferrit. Besi tuang keras banyak dipakai untuk pembuatan rol pada mesin cetak, mesin gilingan padai, dan mesin penggiling karet.

### **(6). Baja Tuang**

Baja tuang adalah baja yang dituang dalam bentuk tertentu, setelah proses penunguan selesai, benda tuang dipanasi hingga temperaturnya antara 800 – 900<sup>o</sup> C kemudian didinginkan secara cepat pada temperatur 700<sup>o</sup> C dan akhirnya didinginkan perlahan-lahan hingga diperoleh struktur butiran yang halus. Baja tuang banyak digunakan untuk pembuatan mesin-mesin yang besar, seperti rumah turbin, sudu-sudu turbin, dan sebagai bagian-bagian motor bakar.

Kadar karbon dari baja tuang biasanya lebih rendah dari pada kadar karbon dari besi tuang dan biasanya kurang dari 1,0 % C. sebagai unsure tambahan selain karbon, baja tuang mengandung 0,20 – 0,70 % Si, 0,5 – 1,0 % Mn, fosfor dibawah 0,06 % dan belerang dibawah 0,06 %. Struktur mikro baja tuang yang mempunyai kadar karbon kurang dari 0,8 % terdiri atas ferrit dan perlit, kadar karbon yang lebih tinggi akan menambah jumlah perlit. Apabila kadar karbon lebih besar dari 0,8 %, baja tuang ini akan terdiri atas perlit dan sementit yang terpisah, kadar karbon yang lebih tinggi akan menambah jumlah sementit.

Sifat-sifat yang khas dari baja tuang adalah kalau kandungan karbon bertambah kekuatannya bertambah, sedangkan perpanjangannya meningkat dan nilai tahanan benturan berkurang, serta sukar di las. Penambahan mangan akan memberikan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Penormalan akan memberikan butir-butir halus dan meningkatkan batas regang dan kekuatan tariknya. Perbaikan sifat-sifat baja tuang akan sangat nyata apabila kadar karbonnya lebih tinggi. Apabila baja tuang ditemper pada suhu 650° C setelah dilunakkan, maka batas mulur dan kekuatan tariknya akan menurun sedangkan perpanjangan dan pengecilan luasnya lebih baik.

**c. Rangkuman**

1. Besi atau baja yang dihasilkan dari dapur-dapur baja disebut besi atau baja karbon.
2. Berdasarkan banyaknya karbon yang dikandung besi atau baja, dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu : Besi atau baja tempa, besi atau baja tuang.
3. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon sampai 1,7 %.
4. Berdasarkan penggunaan baja dapat diklasifikasikan dalam dua grup yaitu baja konstruksi dan baja perkakas.
5. Baja konstruksi digunakan untuk keperluan konstruksi bangunan dan pembuatan bagian-bagian mesin. Berdasarkan campuran dan proses pembuatannya, baja konstruksi dibedakan menjadi : baja karbon biasa, baja konstruksi kualitas tinggi, dan baja spesial.

6. Baja otomat terdiri atas baja kualitas tinggi yang tidak dipadu dan baja kualitas tinggi paduan rendah dengan kadar belerang (S) dan fosfor (P) yang tinggi.
7. Baja perkakas banyak digunakan untuk bahan membuat perkakas, misalnya stempel, kaliber, serta alat-alat potong.
8. Baja paduan adalah campuran antara baja karbon dengan unsur-unsur lain yang akan mempengaruhi sifat-sifat baja, misalnya sifat kekerasan, liat, kecepatan membeku, titik cair, dan sebagainya yang bertujuan memperbaiki kualitas dan kemampuannya.
9. Mangan (Mn) merupakan unsur yang harus selalu ada di dalam baja dengan jumlah yang kecil dan sebagai pencegah oksidasi, dengan demikian setiap proses kimia dan proses metalurgi dapat berlangsung dengan baik.
10. Besi tuang putih mempunyai bidang patahan berwarna putih, yang disebabkan oleh sementit yang putih. Bahan baku untuk pembuatan besi tuang putih adalah besi kasar putih.

**d. Tugas**

Setelah anda membaca dan memahami klasifikasi macam-macam besi dan baja., cobalah anda kerjakan latihan di bawah ini. Dengan demikian anda akan dapat memahami dan menjelaskan lebih jauh dari materi ini.

1. Jelaskan pengertian istilah baja tuang, baja karbon rendah, baja karbon tinggi dan baja paduan.
2. Sebutkan unsure-unsur pepadu dalam pembuatan baja.

3. Apakah yang dimaksud dengan besi tuang kelabu dan besi tuang putih.
4. Unsur apakah yang sangat berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan tarik baja.
5. Mengapa baja otomat tidak baik untuk pekerjaan las.

Untuk memeriksa hasil latihan anda bagian ini tidak disediakan kunci jawaban. Oleh karena itu hasil latihan anda sebaiknya anda bandingkan dengan hasil latihan siswa/kelompok lain. Diskusikanlah dalam kelompok untuk hal-hal yang berbeda dalam hasil latihan itu. Dalam mengkaji hasil latihan itu anda sebaiknya selalu melihat klasifikasi macam-macam besi dan baja yang diuraikan sebelumnya. Jika terdapat hal-hal yang tidak dapat di atasi dalam diskusi kelompok, bawalah persoalan tersebut ke dalam pertemuan tutorial. Yakinlah dalam pertemuan tersebut anda akan dapat memecahkan persoalan itu.

**e. Lembar Tes Formatif (H.01.2)**

Pilihlah salah satu kemungkinan jawaban yang menurut anda paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, atau d.

1. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon maksimal.
  - a. 1,7 %.
  - b. 1,8 %.
  - c. 1,9 %.
  - d. 1,10 %.

2. Baja karbon rendah yaitu baja yang mengandung karbon.
  - a. 0,09 – 0,30 %.
  - b. 0,10 – 0,30 %.
  - c. 0,11 – 0,30 %.
  - d. 0,12 – 0,30 %.
  
3. Baja karbon sedang yaitu baja yang mengandung karbon.
  - a. 0,33 – 0,60 %.
  - b. 0,32 – 0,60 %.
  - c. 0,31 – 0,60 %.
  - d. 0,30 – 0,60 %.
  
4. Baja karbon tinggi yaitu baja yang mengandung karbon.
  - a. 0,70 – 1,5 %.
  - b. 0,71 – 1,5 %.
  - c. 0,72 – 1,6 %.
  - d. 0,73 – 1,7 %.
  
5. Unsur paduan yang dapat memberikan kekuatan, kekerasan, dan tahan karat serta tahan aus pada baja adalah.
  - a. Nikel (Ni).
  - b. Chromium (Cr).
  - c. Mangan (Mn).
  - d. Silisium (Si).
  
6. Unsur paduan yang dapat memperbaiki struktur kristal baja menjadi halus dan tahan aus adalah.
  - a. Kobalt (Co).

- b. Tembaga (Cu).
  - c. Wolfram (W).
  - d. Vanadium (V).
7. Unsur paduan yang memiliki ketahanan karat atau korosi pada baja paduan adalah.....
- a. Kobalt (Co).
  - b. Tembaga (Cu).
  - c. Wolfram (W).
  - d. Vanadium (V).
8. Unsur paduan yang dapat bekerja pada temperatur tinggi adalah.....
- a. Kobalt (Co).
  - b. Tembaga (Cu).
  - c. Wolfram (W).
  - d. Vanadium (V).
9. Besi tuang adalah paduan antara besi dan unsur .....
- a. Silisium (Si)
  - b. Posfor (P)
  - c. Mangan (Mn)
  - d. Karbon (C)
10. Besi tuang kelabu mempunyai kandungan Silisium (Si) antara ..... %
- a. 1,2 – 2,5
  - b. 1,5 – 5,5
  - c. 1,8 – 7,5
  - d. 1,9 – 8,5



Cocokkanlah jawaban anda dengan kunci jawaban yang terdapat pada bagian akhir Buku Materi Pokok ini. Hitunglah jumlah jawaban anda yang benar, kemudian gunakanlah rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi Kegiatan Belajar ini.

Rumus :

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100 \%$$

Arti tingkatan penguasaan yang anda capai :

90 % - 100 % : Baik Sekali

80 % - 89 % : Baik

70 % - 79 % : Cukup

≤ 69 % : Kurang

Bila tingkat penguasaan anda mencapai 80 % ke atas, anda dapat meneruskan ke kegiatan belajar berikutnya, bila bagus, tetapi apabila nilai yang anda capai di bawah 80 %, anda harus mengulangi kegiatan belajar ini, terutama pada bagian yang belum anda kuasai.

**f. Lembar Kerja**

1. Alat :

- ? OHP
- ? Papan tulis
- ? Penggaris kayu

2. Bahan yang digunakan adalah :

- ? Modul
- ? Macam-macam besi dan baja

3. Langkah kerja :

- ? Siswa memahami tentang teori klasifikasi macam-macam besi dan baja.
- ? Siswa dapat menjelaskan klasifikasi macam-macam besi dan baja.
- ? Siswa dapat mengidentifikasi macam-macam besi dan baja.

### **3. Perlakuan Panas Pada Besi dan Baja**

#### **a. Pengertian Perlakuan Panas**

Perlakuan panas adalah proses pada saat bahan dipanaskan hingga suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan dengan cara tertentu pula. Tujuannya adalah untuk mendapatkan sifat-sifat yang lebih baik dan yang diinginkan sesuai dengan batas-batas kemampuannya. Sifat yang berhubungan dengan maksud dan tujuan perlakuan panas tersebut meliputi :

1. Meningkatnya kekuatan dan kekerasannya.
2. Mengurangi tegangan.
3. Melunakkan .
4. Mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pengerjaan sebelumnya.
5. Menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh terhadap keuletan bahan.

Menurut jenisnya dari perlakuan panas digolongkan menjadi tiga macam yaitu :

1. Hardening (mengeraskan) juga sering disebut dengan istilah menyepuh keras atau mengeraskan sepuh.
2. Tempering (memudakan) yaitu mendinginkan secara cepat bahan yang telah dikeraskan dengan maksud mengurangi kekerasannya.
3. Annealing (melunakan) yaitu memanaskan bahan yang telah dikeraskan agar kekerasannya berkurang tetapi kekuatannya meningkat.

Menurut proses yang terjadi pada perlakuan panas dapat dibagi menjadi empat tingkatan.

Tingkat I :

Pemanasan rekristalisasi adalah untuk membebaskan tegangan dalam, mengurangi kekerasan dan untuk meningkatkan keuletan dari bahan yang mengalami pengolahan pengerasan. Pada mulanya dengan menaikkan suhu pemanasannya, kemudian kerusakan elastisitas dari kristal bahan dihilangkan. Pada suhu yang lebih tinggi akan terbentuk butir-butir baru (rekristalisasi) akibatnya bahan menjadi lunak tetapi tetap memiliki keuletan yang tinggi.

Tingkat II :

Pemanasan penuh (full annealing) adalah rekristalisasi dari fase yang merupakan pemanasan campuran di atas suhu yang diperlukan untuk transformasi fase. Selanjutnya diikuti dengan pendinginan perlahan-lahan. Dengan cara ini sifat mekanis akan berubah dan juga dapat menghaluskan struktur butirnya.

Tingkat III :

Pemanasan bahan di atas suhu transformasi fase dan selanjutnya didinginkan dengan cepat sekali pada suhu kamar. Sehingga terbentuk suatu fase yang stabil pada suhu tinggi, pengerasan dengan cara ini mengakibatkan terbentuknya susunan yang tidak stabil.

Tingkat IV :

Tempering atau pemanasan kembali dari suatu bahan yang sudah dikeraskan hingga suatu suhu yang diperlukan dibawah perubahan fase dengan maksud mengembalikan keadaan bahan ke dalam fase yang stabil.

Untuk keperluan pemanasan bahan dari proses perlakuan panas tersebut digunakan dapur-dapur pemanas. Satu hal yang penting dari kondisi dapur pemanas ini adalah pengukuran temperatur kerja harus secermat mungkin.

### **(1). Dapur Pemanas**

Dapur pemanas benda kerja pada proses perlakuan panas menggunakan sumber panas dari listrik, minyak atau gas panas dari pembakaran kokas.

Berikut ini ada beberapa jenis dapur pemanas :

a. Dapur Pemanas Kamar

Dapur ini mempunyai ruangan bentuk kamar yang ditutup dengan sebuah pintu. Didalam ruangan tersebut diletakan benda kerja yang akan dipanaskan. Sedangkan diluar kamar dilengkapi dengan beberapa alat pengatur panas dan pengontrol temperatur. Dapur pemanas kamar dapat digunakan untuk segala macam pengolahan panas.

b. Dapur Sepuhan Garam

Dapur ini terdiri atas sebuah ruangan berbentuk bak atau bejana berisi cairan garam yang dipanaskan dengan temperatur yang dapat diatur dari tombol pengatur. Dalam cairan garam tersebut dimasukan benda kerja yang akan disepuh, dengan tercelupnya benda kerja langsung ke

dalam cairan garam tersebut, memungkinkan pemanasan benda kerja dengan cepat dan merata serta terhindar dari oksidasi, sebab tidak berhubungan dengan udara luar. Dapur ini dapat digunakan untuk segala macam perlakuan panas.

c. Dapur Bak

Dapur ini berbentuk bak yang ditutup pada bagian atasnya. Didalam bak tersebut dimasukan benda yang akan dipanaskan dan panas yang dikenakan pada benda kerja dapat diatur atau diukur dari peralatan pengatur. Dapur pemanas jenis ini terutama digunakan untuk benda kerja yang akan dipijarkan dan dimurnikan.

**a. Bahan Pendingin**

Bahan pendingin yang digunakan didalam proses perlakuan panas antara lain air, minyak, udara dan garam.

a. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendingin yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan juga garam dapur sebagai usaha mempercepat turunya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi tambah keras.

b. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada permukaan benda kerja yang diolah. Selain minyak yang digunakan sebagai bahan

pendingin pada proses perlakuan panas dapat juga digunakan minyak bakar atau solar.

Pendinginan dengan minyak akan memberikan kecepatan pendinginan yang sedang dan warna yang mantap dari benda kerja yang diproses.

c. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsure-unsur lain dari udara.

d. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendingin disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan didalam cairan garam akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang.

**(3). Diagram TTT (Time Temperature Transformation)**

Untuk mendapatkan sifat-sifat bahan yang lebih baik sesuai dengan karakter yang diinginkan dapat dilakukan melalui pemanasan dan pendinginan. Tujuannya adalah mengubah struktur mikro sehingga bahan dikeraskan, dimudahkan atau dilunakan.

Pemanasan bahan dilakukan diatas garis transformasi kira-kira pada 770<sup>o</sup> C sehingga perlit berubah menjadi austenit yang homogen karena terdapat

cukup karbon. Pada suhu yang lebih tinggi ferrit menjadi austenit karena atom karbon difusi ke dalam ferrit tersebut. Untuk pengerasan baja, pendinginan dilakukan dengan cepat melalui pencelupan kedalam air, minyak atau bahan pendingin lainnya sehingga atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit tidak sempat membentuk sementit dan ferrit akibatnya austenit menjadi sangat keras yang disebut martensit.

Pada baja setelah terjadi austenit dan ferrit kadar karbonnya akan menjadi makin tinggi sesuai dengan penurunan suhu dan akan membentuk hipoeutektoid. Pada saat pemanasan maupun pendinginan difusi atom karbon memerlukan waktu yang cukup. Laju difusi pada saat pemanasan ditentukan oleh unsure-unsur paduannya dan pada saat pendinginan cepat austenit yang berbutir kasar akan mempunyai banyak martensit.

Fase kristal dan besarnya butir yang terjadi akan membentuk sifat baja. Apabila ferrit dan sementit didalam perlit berbutir besar, maka baja tersebut makin lunak sebagai akibat pendinginan lambat. Sebaliknya baja menjadi semakin keras apabila memiliki perlit berbutir halus yang diperoleh pada pendinginan cepat. Baja dengan unsure paduan aluminium, vanadium, titanium dan zirkonim akan cenderung memiliki kristal berbutir halus. Untuk memahami macam-macam fase dan struktur kristal yang terjadi pada saat pendinginan dapat diamati dari diagram TTT .

Fasa austenit stabil berada di atas suhu  $770^{\circ}\text{C}$ . pada suhu yang lebih rendah akan terbentuk martensit dan mulai suhu tersebut martensit sudah tidak tergantung pada kecepatan pendinginan. Struktur bainit akan terbentuk



setelah terbentuknya ferrit dan sementit. Jadi campuran antara ferrit dan sementit adalah bainit seperti pada perlit. Perbedaan antara bainit dengan perlit adalah bentuknya halus sedangkan perlit kasar.

Diagram TTT dipengaruhi oleh kadar karbon dalam baja, makin besar kadar karbonnya maka diagramnya akan semakin bergeser kekanan, demikian pula dengan unsure paduan lainnya. Apabila baja dipanaskan sampai terbentuknya austenit, pendinginan akan berlangsung terus menerus tidak isothermal biarpun dilakukan dengan berbagai media pendingin.

Pengerjaan panas yang terpenting untuk baja, baja tuang, besi tuang dapat diuraikan sebagai berikut ini.

**(a). Memijar (Annealing)**

Memijar atau proses anil adalah pemanasan bahan hingga suhu tertentu dan mempertahankannya untuk beberapa waktu. Pada suhu tersebut selanjutnya didinginkan perlahan-lahan. Tujuan dari perlakuan panas ini pada umumnya untuk membuat bahan berkurang kekerasannya dan biasanya dilakukan untuk pengerjaan lanjut.

? **Proses anil untuk membebaskan tegangan**

Tujuannya adalah untuk mengurangi tegangan dalam yang diakibatkan oleh pengerjaan dingin (laku pemesian) maupun pengerjaan panas (tempa, rol dan las). Proses ini dilaksanakan untuk bermacam-macam baja, baja paduan, baja tuang dan besi tuang. Proses pemanasan bahan sampai suhu  $(550 - 650) ^\circ \text{C}$ , lalu

mempertahkannya selama  $\pm 2$  jam pada suhu tersebut, sehingga terbentuk struktur kristal baru, kemudian didinginkan.

? **Memijar lunak(Soft Annealing)**

Memijar lunak juga dikenal dengan istilah sferoidisasi atau proses anil untuk membentuk sementit yang berbentuk bola (spheroidal). Penggunaannya adalah untuk baja karbon tinggi, misalnya bantalan peluru. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan ketangguhan baja yang rapuh yaitu dengan mengubah bentuk lapisan sementit didalam perlit dan sementit. Pada beberapa jenis baja diperlukan adanya kadar karbida yang tinggi agar daya tahan ausnya meningkat. Struktur mikro perlit mempunyai ketangguhan yang rendah sekali sehingga dengan pemanasan tersebut akan diubah menjadi sementit yang berbutir-butir bulat (berbentuk bola).

Prosedur pemanasan apabila struktur mulanya perlit adalah bahan dipanaskan selama 16 – 24 jam pada suhu dibawah suhu kritis bawah atau kira-kira  $700^{\circ}$  C, lalu didinginkan perlahan-lahan diudara. Jika struktur mulanya martensit maka diperlukan pemanasan selama 1 – 2 jam pada suhu diatas titik kritis antara  $723 - 770^{\circ}$  C, setelah itu didinginkan perlahan-lahan didalam dapur dengan laju pendinginan antara  $25 - 30^{\circ}$  C perjam.

? **Memijar normal (Normalizing)**

Baja konstruksi, baja canai atau bahan yang mengalami penempaan biasanya tidak memiliki struktur yang sama. Hal ini disebabkan jumlah beban yang tidak sama pada waktu proses dan perubahan bentuk pada waktu pendinginan yang tidak bersamaan dari penampang yang tebal dan tipis. Sehingga akan menghasilkan ukuran-ukuran yang tidak tetap pada waktu laku pemesinan.

Guna memperbaiki dan menghaluskan struktur butiran dan membentuk struktur mikro agar terbentuk butir halus dan seragam, sehingga pengaruh dari pengerjaan dingin atau panas dapat dihilangkan, maka dilakukan normalisasi. Prosedur pemanasan dilakukan dengan memanaskan baja hingga 800 – 900 °C tergantung dari kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon akan lebih rendah suhu pemanasannya, dengan kadar karbon dalam baja maksimum 0,83 %. Selanjutnya menahan pada suhu tersebut selama 1 – 2 jam lalu didinginkan sampai suhu  $\pm 60$  °C karena pada suhu tersebut terjadi austenitisasi dalam daerah austenit murni. Proses selanjutnya didinginkan perlahan-lahan dengan pendinginan udara guna mencegah timbulnya segregasi praeutektoid yang berlebihan.

Ferrit yang terlalu banyak dari baja hipereutektoid masuk ke dalam campuran padar dan tidak akan mengalami rekristalisasi. Oleh karena itu cara ini digunakan terutama untuk eutektoid dan baja hipereutektoid. Pemanasan di atas titik kritis menyebabkan rekristalisasi yang seragam.

Adakalanya pemanasan yang terlalu tinggi dan pendinginan yang rendah akan membentuk susunan sementit dalam baja hipereutektoid.

? **Memijar habis (Full Annealing)**

Pemanasan baja hipoeutektoid pada suhu  $30 - 50^{\circ}\text{C}$  di atas titik kritis atau austenitisasi  $25 - 30^{\circ}\text{C}$  di atas stabilitas ferrit terakhir dan menahanya pada suhu tersebut untuk beberapa waktu kemudian disusul dengan pendinginan di dalam dapur  $30 - 20^{\circ}\text{C}$  perjam sehingga austenit terurai menjadi perlit kasar. Produk menjadi cukup lunak sehingga dapat dikerjakan dengan mesin, tetapi keuletanya berkurang. Dengan kondisi tersebut pada saat laku pemesinan akan membentuk geram dengan baik.

? **Homogenisasi**

Cara ini dilakukan untuk logam tuangan yang besar dan bentuknya yang rumit, untuk menyeragamkan komposisi bahan atau menghilangkan ketidak homogenan kimia di dalam kristal-kristal yang terpisah. Pada pembekuan benda padat pertama yang terbentuk tidak sama secara menyeluruh.

Prosedur pemanasannya dilakukan pada suhu setinggi mungkin asalkan logam tidak mencair dan tidak menimbulkan pertumbuhan butir yang berlebihan pada suhu  $1500^{\circ}\text{C}$ . selanjutnya penahanan suhu pada  $800 - 850^{\circ}\text{C}$  selama  $6 - 8$  jam dan didinginkan perlahan-lahan dengan udara biasa.

? **Isothermal Annealing**

Cara pemanasan yang dilakukan untuk perlakuan panas ini, baja dipanasi seperti pada annealing biasa, selanjutnya didinginkan dengan cepat sampai suhu  $\pm 80^{\circ}\text{C}$  kemudian ditahan pada suhu tersebut selama waktu tertentu. Keuntungan utama dari cara ini adalah pengurangan waktu dari yang diperlukan untuk pemanasan baja paduan.

**(4). Pengerasan Baja**

Pengerasan baja disebut juga penyepuhan (quenching) atau sering dikatakan menyepuh baja. Menyepuh adalah memanaskan baja sampai temperatur tertentu, pada perubahan fase yang homogen dan dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan dengan cepat sehingga menimbulkan suatu susunan yang keras sampai terjadi struktur yang disebut martensit.

Kadar karbon dari baja yang disepuh minimal 0,2 %, apabila kadar karbonnya kurang dari 0,2 % penyepuhan tidak ada gunanya, sebab tidak terbentuk martensit dan terlalu sedikit karbida besi sehingga baja tetap lunak.

**(a). Pemudaan baja (menemper)**

Penemperan adalah proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan sampai temperatur tertentu dibawah suhu  $721^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan mengurangi kekerasan baja. Pada pengerasan baja didalam struktur martensit yang sangat keras adakalanya tidak dapat dipakai

karena terlalu berlebihan kekerasannya dan terlalu getas. Untuk mengatasi kekerasan baja yang berlebihan tersebut dilakukan tempering.

**(b). Memurnikan**

Memurnikan atau memulihkan adalah memanaskan baja yang telah disepuh hingga mencapai suhu 600 – 700 °C. pekerjaan ini dilakukan pada jenis-jenis baja yang sangat rendah kadar karbonya untuk menambah kekuatan dan ketiutannya, misalnya pada bagian-bagian mesin yang mengalami muatan berubah-ubah. Namun dengan benda kerja yang telah dimurnikan dan dikerjakan lagi dengan jalan penempaan atau pemijaran akan merusak proses pemurniannya, oleh karena itu pemurnian dilakukan apabila benda kerja telah dikerjakan terlebih dahulu.

**(c). Mengadikan**

Mengadikan adalah menyepuh keras baja paduan. Prosedur ini lebih sulit dari pada baja zat arang biasa. Pada umumnya perlakuan panas ini tidak dapat menggunakan air sebagai media pendingin, karena pendingin dengan air berlangsung sangat cepat, sehingga baja paduan tersebut akan menjadi pecah. Untuk mengatasi hal ini pendingin yang digunakan adalah minyak yang sudah dipanaskan  $\pm 100 - 150$  °C. dengan demikian baja paduan yang diproses akan menjadi sangat keras dan sangat liat.

**c. Rangkuman**

1. Perlakuan panas adalah proses pada saat bahan dipanaskan hingga suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan dengan cara tertentu.
2. Tujuan perlakuan panas adalah untuk mendapatkan sifat-sifat yang lebih baik dan yang diinginkan sesuai dengan batas-batas kemampuan logam. sebelumnya.
3. Menurut jenisnya dari perlakuan panas digolongkan menjadi tiga macam yaitu : Hardening (mengeraskan), tempering (memudahkan), dan annealing (melunakan) baja.
4. Untuk keperluan pemanasan bahan logam dari proses perlakuan panas tersebut digunakan dapur-dapur pemanas. Satu hal yang penting dari kondisi dapur pemanas ini adalah pengukuran temperatur kerja harus secermat mungkin.
5. Dapur pemanas benda kerja pada proses perlakuan panas menggunakan sumber panas dari listrik, minyak atau gas panas dari pembakaran kokas.
6. Bahan pendingin yang digunakan didalam proses perlakuan panas antara lain air, minyak, udara dan garam.
7. Pendinginan dengan minyak akan memberikan kecepatan pendinginan yang sedang dan warna yang mantap dari benda kerja yang diproses.
8. Untuk mendapatkan sifat-sifat bahan yang lebih baik sesuai dengan karakter yang diinginkan, dapat dilakukan melalui pemanasan dan

pendinginan. Tujuannya adalah mengubah struktur mikro sehingga bahan dikeraskan, dimudahkan atau dilunakan.

9. Untuk memahami macam-macam fase dan struktur kristal yang terjadi pada saat pendinginan besi/baja dapat diamati dari diagram TTT .
10. Pengerasan baja disebut juga penyepuhan (quenching) atau sering dikatakan menyepuh baja.

#### **d. Lembar Tugas**

Setelah anda membaca dan memahami proses perlakuan panas baja, cobalah anda kerjakan latihan di bawah ini. Dengan demikian anda akan dapat memahami dan menjelaskan lebih jauh dari materi ini.

1. Jelaskan maksud dan tujuan perlakuan panas untuk baja.
2. Menurut jenisnya perlakuan panas itu ada beberapa macam, sebutkan.
3. Sebutkan macam-macam media pendingin untuk proses perlakuan panas.
4. Jelaskan cara proses anil untuk membebaskan tegangan.
5. Apakah yang dimaksud dengan full annealing dan apa tujuannya.
6. Dengan tujuan apa diperlukan penyepuhan baja dan apa yang harus diperhatikan dalam perlakuan panas.
7. Apa yang harus dilakukan setelah disepuh ternyata baja tersebut terlampau keras.
8. Jelaskan prosedur pengerasan baja untuk menghindari terjadinya retak yang biasa terjadi pada baja dengan kadar karbon yang tinggi.



9. Jelaskan apa yang dimaksud pengerasan baja dan sebutkan cara yang sering digunakan.
10. Pengerasan Besi/Baja dipengaruhi oleh beberapa faktor, jelaskan.

Untuk memeriksa hasil latihan anda bagian ini tidak disediakan kunci jawaban. Oleh karena itu hasil latihan anda sebaiknya anda bandingkan dengan hasil latihan siswa/kelompok lain.

Diskusikanlah dalam kelompok untuk hal-hal yang berbeda dalam hasil latihan itu. Dalam mengkaji hasil latihan itu anda sebaiknya selalu melihat proses perlakuan panas pada baja yang diuraikan sebelumnya. Jika terdapat hal-hal yang tidak dapat di atasi dalam diskusi kelompok, bawalah persoalan tersebut ke dalam pertemuan tutorial. Yakinlah dalam pertemuan tersebut anda akan dapat memecahkan persoalan itu.

**e. Lembar Tes Formatif (H.01.3)**

Pilihlah salah satu kemungkinan jawaban yang menurut anda paling tepat dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, atau d.

1. Tujuan perlakuan panas pada baja adalah ....
  - a. Sifat-sifat baja yang lebih baik.
  - b. Sifat-sifat baja yang tahan cair.
  - c. Sifat baja yang tahan rusak.
  - d. Sifat baja yang tahan panas.

2. Dalam proses perlakuan panas menggunakan suatu tempat yang disebut ...
  - a. Dapur tinggi.
  - b. Dapur tempa.
  - c. Dapur pemanas.
  - d. Dapur besi.
  
3. Media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas...
  - a. Air, minyak, udara dan pasir.
  - b. Air, minyak, udara dan garam.
  - c. Air, minyak, udara dan batu.
  - d. Air, minyak, garam dan pasir.
  
4. Proses anil untuk membebaskan tegangan memanaskan bahan sampai suhu ..... ° C.
  - a. 520 – 600
  - b. 530 – 610
  - c. 540 – 620
  - d. 550 – 650 .
  
5. Normallizing memanaskan baja sampai suhu ..... dan tergantung dari kadar karbon.
  - a. 800 – 900 ° C
  - b. 700 – 950 ° C
  - c. 570 – 820 ° C
  - d. 590 – 750 ° C

6. Penemperan baja dilakukan pada suhu ....<sup>0</sup>C
  - a. 100-500
  - b. 150-600
  - c. 200-700
  - d. 300-850
  
7. Memurnikan baja adalah memanaskan baja sampai mencapai suhu ..<sup>0</sup>C
  - a. 350-450
  - b. 400-500
  - c. 500-600
  - d. 600-700
  
8. Mengkarbonkan(Carburizing) adalah memanaskan bahan sampai suhu .....<sup>0</sup> C
  - a. 700-800
  - b. 900-950
  - c. 600-750
  - d. 750-900
  
9. Proses perlakuan panas menggunakan sumber panas dari ....
  - a. Minyak bakar
  - b. Listrik, minyak, dan gas panas dari pembakaran kokas
  - c. Matahari dan gas bumi
  - d. Arang dan listrik

10. Pemanasan dan pendinginan pada bahan logam bertujuan untuk .....
- Mengubah struktur sementit logam.
  - Mengubah struktur martensit logam.
  - Mengubah struktur mikro pada logam.
  - Mengubah struktur makro logam

**f. Lembar Kerja**

- Alat:
  - ? OHP
  - ? Papan tulis
  - ? Dapur tempa
  - ? Perlengkapan kerja
  - ? Peralatan kerja
- Bahan yang digunakan adalah :
  - ? Modul
  - ? besi dan baja
- Langkah kerja :
  - ? Siswa memahami tentang teori proses perlakuan panas baja.
  - ? Siswa dapat menjelaskan proses perlakuan panas baja.
  - ? Siswa dapat mengidentifikasi proses perlakuan panas baja.
  - ? Siswa dapat melakukan proses perlakuan panas baja.

### III. EVALUASI

Kompetensi : Teknologi Bahan dan teknik Pengukuran

Sub Kompetensi : Proses Pembuatan Besi dan Baja

Kode Sub Kompetensi : TPL-Prod/H.01

Nama Siswa :

Nomor Induk siswa :

Waktu	Nilai	Kognitif skill	Psikomotor skill	Attitude skill	Produk/benda kerja sesuai standar
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menjelaskan pembuatan besi kasar dan baja.</li> <li>- Menjelaskan proses dapur tinggi.</li> <li>- Menjelaskan klasifikasi besi dan baja.</li> <li>- Menjelaskan perlakuan panas pada besi dan baja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengidentifikasi pembuatan besi kasar dan baja.</li> <li>- Menguraikan proses dapur tinggi.</li> <li>- Mengidentifikasi klasifikasi besi dan baja.</li> <li>- Menguraikan perlakuan panas pada besi dan baja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cermat mengidentifika si pembuatan besi kasar dan baja.</li> <li>- Cermat menguraikan proses dapur tinggi.</li> <li>- Cermat mengidentifika si klasifikasi besi dan baja.</li> <li>- Cermat Menguraikan perlakuan panas pada besi dan baja.</li> </ul>	

**Kunci Jawaban Tes Formatif**

? **Kode H.01.1**

- |      |      |      |      |       |
|------|------|------|------|-------|
| 1. B | 3. C | 5. A | 7. D | 9. A  |
| 2. A | 4. C | 6. B | 8. D | 10. C |

? **Kode H.01.2**

- |      |      |      |      |       |
|------|------|------|------|-------|
| 1. A | 3. D | 5. B | 7. B | 9. D  |
| 2. B | 4. A | 6. D | 8. C | 10. B |

? **Kode H.01.3**

- |      |      |      |      |       |
|------|------|------|------|-------|
| 1. A | 3. B | 5. A | 7. D | 9. A  |
| 2. D | 4. D | 6. C | 8. B | 10. C |

#### **IV. PENUTUP**

Pada pembelajaran sub kompetensi proses pembuatan besi dan baja ini, menitik beratkan pada mengidentifikasi proses pembuatan besi kasar dan pembuatan baja, proses dapur tinggi, klasifikasi besi dan baja, perlakuan panas pada besi dan baja, memilih, menentukan besi dan baja dengan benar. Untuk itu pengetahuan-pengetahuan dasar mengenai pengetahuan logam dan non logam sebelumnya harus tetap dikuasai. Setelah menempuh ujian atau evaluasi maka secara teknis siswa telah mampu untuk memasuki lapangan kerja, namun untuk melengkapi program diklat teknologi bahan dan teknik pengukuran. Untuk selanjutnya menempuh uji kompetensi yang dilaksanakan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) melalui Panitia Uji Kompetensi dan Sertifikasi (PUKS) untuk mendapatkan sertifikat kompetensi. Sekolah merekomendasikan siswanya untuk mengikuti uji kompetensi melalui PUKS atau BNSP, dan setelah mengikuti uji kompetensi siswa dapat melanjutkan kegiatan belajar ke modul berikutnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Adnyana, 1993. **Metalurgi Las (Welding Metalurgy)**, Institut Sain dan Teknologi Nasional, Jakarta.
- Bangyo Sucahyo, 1999. **Ilmu Logam**, PT. Tiga Serangkai Pustaka Mandiri, Surakarta.
- Cubberly William H, 1983, **Metals Handbook Ninth Edition Vol. 1 Properties and Selection Iron and Steels**. American Society For Metals, New York.
- Hari Amanto dan Daryanto, 1999, **Ilmu Bahan**, Bumi Aksara, Jakarta.
- Yanmar Diesel. 1980. **Buku Petunjuk Mesin Diesel Yanmar**. PT. Yanmar Indonesia. Jakarta.
- Suyanto, 2001. **Bahan Bakar dan Minyak Lumas**, Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta.
- Tata Surdia dan Saito Shinroku, 1999, **Pengetahuan Bahan Teknik**, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Warsowiwoho dan Gandhi Harahap, 1984. **Bahan Bakar, Pelumas, Pelumasan dan Servis**, Pradnya Paramita, Jakarta.