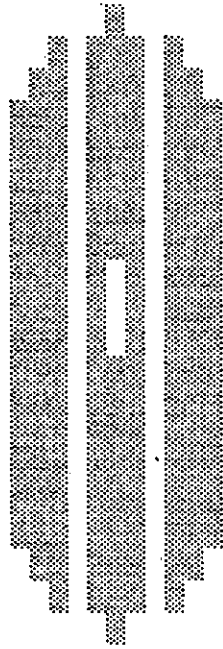


903/H0/91

PENGOLAHAN LOGAM FERRO



Oleh

Drs. IBRAHIM

JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

DITERBITKAN OLEH UPT PUSAT MEDIA PENDIDIKAN

FPTK IKIP PADANG

1990

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

KATA PENGANTAR

Bissmillahirrahmaanirrahiim.

Dengan izin Allah telah dapat diselesaikan penulisan sebuah buku pengolahan logam yang berjudul "Pengolahan Logam Ferro". Mudah-mudahan dengan tampilnya buku ini akan dapat memperkaya bahan-bahan bacaan yang berorientasi kepada pengembangan pengetahuan tentang logam.

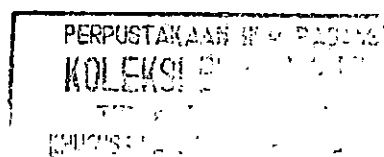
Sebenarnya pada zaman dunia moderen sekarang, buku yang berhubungan dengan pengkajian tentang logam sangat dibutuhkan. Namun disisi lain buku-buku yang sudah ada, masih merupakan kendala, yaitu kebanyakan teksnya berbahasa asing. Oleh sebab itu penulis berusaha memunculkan sebuah buku tentang pengolahan logam. Dengan terbitnya buku ini diharapkan dapat memperkecil kesukaran selama ini.

Buku dimaksud diusahakan untuk dapat mengantarkan para pembaca yang berminat tentang pengolahan logam, khususnya logam ferro, menelusuri dari dasar pengembangan yang lebih jauh. Disamping itu para mahasiswa teknik juga dapat memanfaatkan buku ini sekedar untuk bahan bandingan, dalam rangka pengembangan teknologi yang berkaitan dengan logam ferro.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan para sahabat yang sejawat, buku akan sukar dirampungkan. Atas dasar itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada para sahabat yang memberikan input-input dan motivasi yang sangat berguna dalam menyempurnakan buku ini. Selain dari itu dengan segala kerendahan hati penulis membuka pintu selebar-lebarnya, untuk mengharapkan kritik dan saran, guna perbaikan buku ini dimasa datang.

Padang, November 1990.

Penulis.



DAFTAR ISI

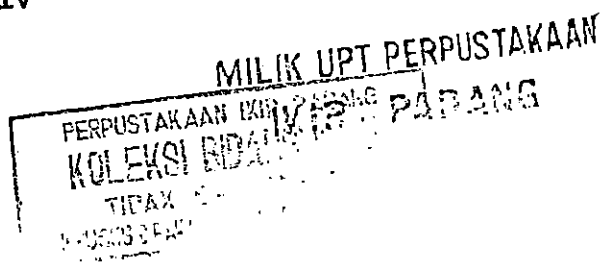
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
 BAB I BAHAN-BAHAN TEKNIK	 1
A. Logam	1
B. Non Logam	5
 BAB II PROSES PENGOLAHAN BESI KASAR	 7
A. Pengerjaan Pendahuluan	7
B. Tanur Tinggi	15
C. Proses Pengolahan Bijih Besi dalam Tanur Tinggi	26
D. Hasil Tanur Tinggi	31
 BAB III PROSES PENGOLAHAN BAJA MELALUI KONVERTOR DAN TANUR	 34
A. Konvertor	35
B. Konvertor Thomas	39
C. Konvertor Oksi	42
D. Tanur Siemen Martin	47
E. Baja Elektro	53
F. Dapur Aduk	58
G. Dapur Cawan	62

DAFTAR PUSTAKA

MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DATE RECEIVED	JUNI 1991.
SUBJECT AREA	H.D.
CODE	K.K.T.
NUMBER	905/Hd/91-10 (2)
CALL NO	621.902.167-10

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Bagan Proses Pembuatan Magnesium dari Air Laut	4
2. Perbedaan Konstruksi Tanur Tinggi Biasa	19
3. Pesawat Pemecah Kerucut	22
4. Pencucian Pancaran Air Dalam Bak	22
5. Tromol Magnit Listrik	23
6. Dapur Pemanggang	23
7. Tanur Tinggi Biasa Dengan Capingnya	24
8. Tanur Tinggi Listrik	24
9. Tanur Tinggi Modern Dengan Capingnya	25
10. Konvertor	41
11. Proses Pelaksanaan Oksigen	44
12. Konvertor L - D	45
13. Proses Rotor	46
14. Proses Kaldo	47
15. Tanur Siemen Martin	52
16. Tanur Listrik Busur Nyala	57
17. Tanur Induksi Frekwensi Tinggi	58
18. Tanur Aduk	62
19. Tanur Cawan	63



BAB I

BAHAN-BAHAN TEKNIK

Sebenarnya banyak sekali bahan-bahan teknik yang ber-
tebaran di alam ini. Pada dasarnya jelas untuk mensejahterakan kehidupan manusia, oleh sebab itu manusia dituntut untuk berusaha memanfaatkannya dengan berbagai pengolahan

Kita melihat begitu senangnya orang menggunakan berbagai macam pesawat, mesin-mesin, peralatan rumah tangga dan lain-lain. Tetapi itu didapat tidak hanya begitu saja melainkan memerlukan pikiran, perasaan dan tenaga bertahun-tahun lamanya. Sebagai contoh dapat kita lihat penggunaan besi atau baja dalam kehidupan sehari-hari. Besi yang ber-
tebaran di alam ini belum dapat dijadikan apa-apa, ia mempunyai sifat masih lunak, bercampur dengan macam-macam kotoran dan batu-batuan.

Untuk memperoleh agar besi dan baja dapat bermanfaat dalam kehidupan manusia, maka dilakukan proses pengolahan dengan berulang-ulang kali. Pengolahan dimaksud tidak hanya berlaku untuk bahan teknik besi atau baja, melainkan hampir seluruh bahan-bahan teknik yang ada mengalami proses.

Melihat begitu banyak bahan-bahan teknik di alam ini maka untuk memudahkan dalam memahami dan pengolahannya, perlu dikelompok-kelompokkan, seperti di bawah ini :

A. Logam (Metal)

Logam pada umumnya merupakan zat yang baik menghantar arus listrik. Disisi lain logam dapat dibedakan atas 2 macam, yaitu logam ferro dan logam non ferro.

1. Logam Ferro

Logam ferro adalah logam yang pada umumnya disebut besi atau baja, sebagaimana yang dikatakan W. Both, (1984 : 3) bahan kelompok logam yang bahan

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

pokoknya besi disebut logam besi atau logam ferro. Dan sebaliknya kelompok logam yang bahan pokoknya bukan besi disebut logam bukan besi atau logam bukan ferro.

Logam ferro dapat diklasifikasikan kedalam besi dan baja, seperti :

- Baja karbon (baja zat a-rang)
- Baja campuran
- Besi tempa
- Besi tuang

Dalam pengolahannya nanti baja campuran dan besi tuang dapat dikelompokkan sebagai berikut :

Baja Campur : - Baja Nikel
 - Baja Khrom
 - Baja Molibdem
 - Baja Wolfram
 - Baja Silisium
 - Baja Mangan

Besi Tuang : - Besi tuang putih
 - Besi tuang kelabu
 - Besi tuang campuran
 - Besi tuang tempa
 - Besi tuang kualitas tinggi

2. Logam Non Ferro

Logam bukan besi telah banyak dilakukan pengolahannya pada produk-produk industri baik dalam bentuk paduan maupun tidak. Menurut Sriati Djaprie, (1985 : 63) bahan logam bukan besi kurang lebih 20% telah diolah menjadi produk industri, seperti timah putih, tembaga, nikel dan aluminium. Ciri-ciri logam ini mempunyai daya tahan terhadap korosi, daya antar listrik yang baik dan pengubahan bentuk yang mudah.

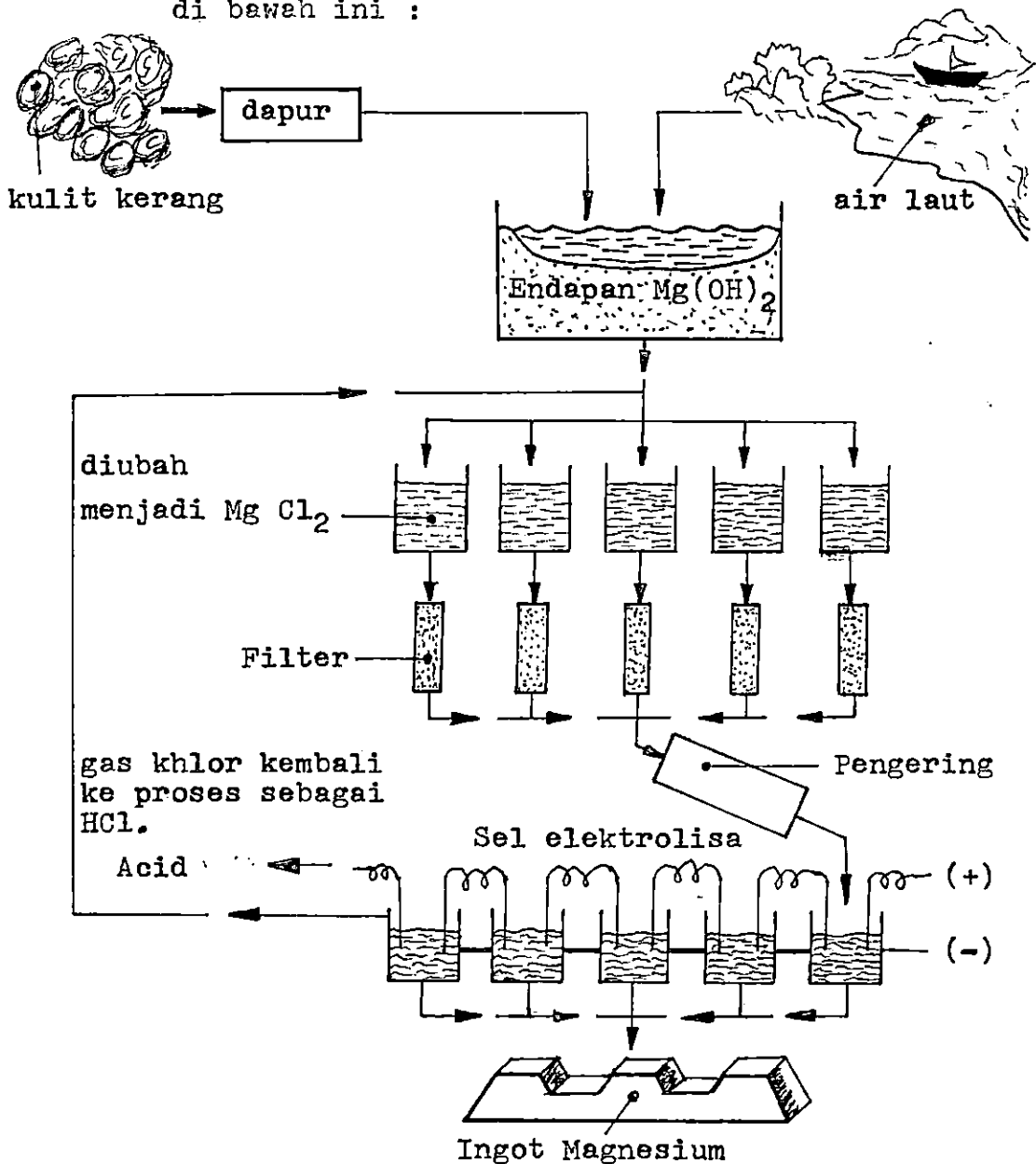
Namun demikian dalam penggunaannya masih dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Logam non ferro yang digunakan relatif luas dalam keadaan tidak bercampur atau sebagai pokok dari pada logam-logam campur, logam tersebut adalah :
- Alminium (Al)
 - Tembaga (Cu)
 - Timah hitam(Pb)
 - Timah putih(Sn)
 - Nikel (Ni)
 - Seng (Zn)
 - Magnesium (Mg)
 - Titenium (Ti)

Pemanfaatan logam non ferro sebenarnya juga mengalami proses pengolahan cukup panjang, sebagai contoh dapat kita lihat proses pembuatan Magnesium yang diungkapkan oleh Sriati dan Djaprie, (1985 : 66) bahwa pada air laut terdapat sejuta bagian magnesium bila direaksikan dengan kapur. Sedangkan kapur dihasilkan dengan membakar kulit kerang pada 1320°C . Air laut yang direaksikan dengan kapur akan menghasilkan endapan kental $\pm 12\%$ $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Setelah itu endapan kental disaring sehingga bertambah pekat, kemudian direaksikan dengan HCl dan membentuk MgCl_2 .

Melalui tahapan filtrasi dan pengeringan, konsentrasi MgCl_2 meningkat dan membentuk butiran dengan kadar 68% MgCl_2 . Langkah lanjut adalah memindahkan MgCl_2 ke dalam sel elektrolisa. Sel elektrolisa berukuran 100 m^3 dan beroperasi pada suhu 700°C . Dalam sel elektroda terjadi penguraian MgCl_2 yang mengakibatkan logam Magnesium terapung diatas larutan. Logam Magnesium yang terapung dituang membentuk Ingot dengan berat 8 kg.

Untuk lebih mudah memahami dapat dilihat gambar di bawah ini :



Gbr. 1 Bagan Proses Pembuatan Magnesium Dari Air Laut (Sriati Djaprie, 1985 : 67)

- b. Logam non ferro yang digunakan dalam keadaan tidak bercampur hanya dalam prosentase yang kecil atau unsur-unsur campuran dalam persentase kecil, logam dimaksud adalah sebagai berikut :

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

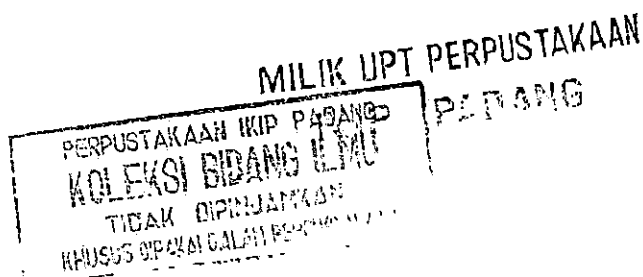
- Antimon	(Sb)	- Molibdenum	(Mo)
- Bismut	(Bi)	- Platina	(Pt)
- Boron	(B)	- Poladium	(Pd)
- Cadmium	(Cd)	- Radium	(Rh)
- Cerium	(Ce)	- Perak	(Ag)
- Chromium	(Cr)	- Selenium	(Se)
- Kobalt	(Co)	- Tantalium	(Ta)
- Iridium	(Ir)	- Tellurium	(Te)
- Germanium	(Ge)	- Torium	(Th)
- Mangan	(Mn)	- Wolfrom	(W)
- Mercury	(Hg)	- Vanadium	(V)

Menurut Syamsul Arifin, (1984 : 8) bahwa selain dari logam bukan besi yang digunakan dalam bentuk kecil seperti diatas, masih ada 4 (empat) macam lagi, yaitu Berilium (Be), Haforium (Hf), Niobium (Nb) dan Zirkonium (Zr). Logam logam inilah yang disebut orang logam baru.

B. Non Logam

Bahan-bahan bukan logam dewasa ini sudah banyak menggantikan fungsi logam, pada beberapa kepentingan kehidupan manusia. Hal ini terlihat dari adanya roda gigi yang diproduksi dengan menggunakan bahan polimer. Tidak hanya itu tetapi sudah meluas pada kebutuhan alat-alat rumah tangga, mobil, sepeda motor bahkan bahagian dinding pesawat Helikopter sudah menggunakan viber glass.

Bahan yang tergabung kedalam bukan logam (non metal) banyak sekali sekali, antara lain adalah plastik (polimer), asbes, bahan asah (abrosive), semen, kaca, intan, karet alam, bahan-bahan padat, cair dan gas, keramik dan lain-lain.



Seluruh bahan bukan logam untuk dimanfaatkan juga mengalami hal yang sama dengan bahan ferro dan non ferro. Hanya saja cara prosesnya yang berbeda-beda, tergantung atas kebutuhan yang akan dipenuhi.

Sebagai contoh salah satu pengolahan bahan non logam yang bahan dasarnya karet atau getah. Dimana getah berasal dari pohon Hevea Brasiliensia yang hanya dapat tumbuh di daerah-daerah tropis. Pada kulit pohon-pohon getah dibuat penyayatan untuk memperolehnya, nanti akan keluar cairan berwarna putih yang disebut Lateks.

Pengolahan getah ini pernah dikemukakan oleh Soedjono, (1978 : 104) bahwa cairan putih yang disebut Lateks perlu ditambahkan asam cuka agar didapat karet yang sebenarnya kemudian dijadikan lembaran. Dalam pemanfaatan karet dilakukan vulkanisir atau diberikan campuran belerang agar sifat plastis dapat berubah menjadi elastis atau kenyal. Sebenarnya karet dalam keadaan asli berwarna bening. Jadi kalau ingin memberi warna lain bisa saja, tergantung dari kebutuhan atau orang yang memproduksinya. Karet yang sudah diolah mempunyai angka gesekan yang cukup tinggi, oleh sebab itu sering digunakan untuk ban-ban mobil, sepeda motor, sabuk-sabuk mesin dan ban-ban pengangkut. Selain dari itu mempunyai sifat kekenyalan dan dapat dipergunakan bahan-bahan paking, slang dan bahan penahan getaran.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

BAB II

PROSES PENGOLAHAN BESI KASAR

Bagaimanapun bentuknya hasil industri besi dan baja, pada hakekatnya ia berasal dari salah satu unsur yakni ferro yang diberikan simbol Fe dengan berat atom 55,85 dan dibulatkan 56. Logam ferro dimaksud sangat sulit didapat dalam bentuk murni. Biasanya ia ditemukan bentuk campuran dengan unsur-unsur lain, seperti carbon, mangan, Silisium, Phospor, Sulfur, Cobalt, Timah hitam dan lain-lain. Selain dari logam ferro juga ditemui dalam bentuk bongkalan-bongkalan keras, butiran-butiran dan berupa tanah gembur. Keseluruhan bentuk penemuan itu masih kotor, terutama ada yang bercampur dengan batu-batuan tanah lempeng, tanah napal dan berbagai jenis pasir.

Setelah unsur ferro diperoleh dari dalam perut atau kulit bumi dengan jalan penambangan, baik tambang terbuka maupun tertutup, namun tetap dilakukan pembersihannya. Hasil pembersihan penambangan dimaksud disebut bijih besi dan membentuk ikatan-ikatan kimia yang sering disebut dengan ikatan besi oksigen. Langkah-langkah yang ditempuh untuk mendapatkan ikatan besi oksigen (bijih besi) tidak hanya sekedar penambangan, tetapi lebih dari itu sebagaimana yang dikatakan Soedjono, (1978 : 1) bahwa bahan asal pembuatan besi didapat dalam tanah berbentuk butiran-butiran, yang disebut bijih besi. Sebelum bijih besi ini dimasukkan ke dalam dapur tinggi, haruslah melalui pengerjaan-pengerjaan pendahuluan, seperti pencucian, pemecahan, pemisahan dan pendinginan.

Selesai pengerjaan pendahuluan, baru diolah ke dalam sebuah tenun yang disebut dapur tinggi. Hasil akhir dari pengolahan dapur tinggi akan membentuk besi kasar.

A. Pengerjaan Pendahuluan

Apa yang telah dijelaskan di atas, bahwa untuk mendapatkan bijih besi yang akan diolah atau diproses

dalam dapur tinggi, ini sangat perlu diberikan perlakuan pendahuluan. Usaha pendahuluan tidak hanya penambangan, tetapi masih ada 4 proses pengerjaan yang harus dilalui, seperti :

1. Pengerjaan Pencucian

Hasil penambangan yang berbentuk bungkalan-bungkalan dengan ukuran yang tidak sama besar dan bercampur dengan berbagai kotoran dan batu - batuan oleh sebab itu diperlukan perlakuan pencucian.

Usaha pencucian ini dapat menghilangkan tanah lembung (tanah liat), pasir halus dan kotoran-kotoran yang hilang karena air. Ada 4 macam teknik pencucian hasil penambangan logam ferro, seperti :

a. Pencucian Alam

Usaha pencucian alam adalah kreativitas pertama dari seluruh model pencucian. Cara pencuciannya ialah membawa bungkalan bijih besi ke tempat-tempat lapangan terbuka dan ditempat itu dibuat tumpukan-tumpukan. Setelah tumpukan bijih besi bertebaran pada suatu lapangan, maka dilakukan pencucian dengan air hujan.

Pekerjaan seperti ini jelas mempunyai banyak kelemahan, usaha pencucian dapat tertunda, karena terpaksa menunggu musim hujan. Cara ini dapat diatasi dengan mengatur perputaran pekerjaan dan setiap saat siap dengan sebanyak mungkin tumpukan-tumpukan bungkalan bijih besi.

b. Pencucian Pancaran Air Dalam Bak

Pencucian seperti ini adalah langkah maju untuk mengatasi masalah yang timbul dari pencucian dengan air hujan. Caranya ialah gumpalan-gumpalan bijih besi dimasukkan kedalam sebuah bak besar. Setelah tumpukan-tumpukan bijih besi berada dalam bak, maka dilakukan penyemprotan

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
KIP PADANG

dengan air secara kuat dan cepat. Pada gumpalan bijih besi terjadi pukulan air yang sangat kuat dan terpancar, akibatnya dapat menanggalkan dan menghancurkan tanah lempeng dan kotoran lain.

Kemudian air bekas semprotan tersebut jatuh kebagian bawah bak dan mengalir kepipa-pipa menuju penyaringan. Dalam bak penyaringan air kotor terbagi 2 saluran, yaitu saluran pembuang kotoran dan saluran air untuk dikembalikan ke pompa semprot.

Proses inilah yang dilakukan berulang kali sampai seluruh tumpukan gumpalan bijih besi bersih dalam bak. Kemudian bak tadi diisi kembali dengan gumpalan-gumpalan bijih besi yang baru, seperti itu seterusnya.

c. Pencucian Bandar Miring

Sistim pencucian pengaliran dengan bandar miring juga menggunakan bak penyaring yang sekaligus merupakan bak kontrol. Teknis bandar miring sedikit berbeda dengan pencucian pancaran. Dimana pada sistim pancaran menggunakan bak besar tempat tumpukan bijih besi, sedangkan sistim bandar miring membuat bandar miring dari plat, besar dan panjang. Kemudian pada bandar miring tersebut ditebarkan gumpalan bijih besi, baik ukuran besar maupun kecil.

Setelah bijih besi bertumpuk dan bertebar secara teratur, maka dilakukan penyemprotan dengan air. Akibat pukulan penyemprotan secara cepat, kotoran akan mengalir pada bak penyaring, seperti halnya pencucian dengan pancaran dalam bak dan bijih besi bergerak terbalik. Akhirnya tumpukan bijih besi yang telah bersih dikeluarkan dari bandar miring dan diganti dengan gumpalan-gumpalan yang masih kotor.

d. Pencucian dengan Tromol

Sistim pencucian bijih besi seperti ini dilaksanakan dalam 3 buah bak yang dilengkapi dengan tromol pencuci. Caranya tromol berputar dan dialirkan air, maka bijih besi yang dari tambang dimasukkan dan ia ikut berputar. Kotoran dialirkan dan bijih besi yang tinggal dipindahkan pada bak yang kedua. Selesai pada bak yang kedua bijih besi dipindahkan pada bak yang ketiga. Hasil dari pengeluaran bijih besi pada bak dapat diuraikan sebagai berikut :

- Tromol I kadar Fe : (60 - 70) %
- Tromol II kadar Fe : (30 - 60) %
- Tromol III kadar Fe : (0 - 30) %

Pencucian pada bak atau tromol yang ke III, biasanya dibuangkan saja baik kotoran maupun sisa yang lainnya.

2. Pemecahan

Gumpalan bijih besi yang sudah dicuci dipisahkan antara ukuran besar dan kecil. Ukuran bijih besi yang besar perlu dilakukan pemecahan sebelum diteruskan ke proses pemisahan pada tromol magnet. Seperti yang diungkapkan oleh Ing.K.W Vohdin, (1981: 7) bahwa bijih besi dari tambang masih bercampur dengan batu-batuan. Oleh sebab itu bongkah-bongkah yang berukuran besar perlu dipecah menjadi butir-butiran. Bongkahan bijih besi dimasukkan ke dalam pesawat pemecah yang digerakkan oleh sebuah motor. Melalui motor dimaksud dapat bergerak roda gigi payung dan roda gigi payung menggerakkan kerucut pemecah yang ada pada mesin.

Bijih besi dengan ukuran besar di masukkan ke dalam mesin pemecah melalui rahang kerucut pemecah.

Pada kerucut pemecah digilas dalam keadaan berputar, setelah beberapa lama, maka hasil pemecahan dikeluarkan dengan ukuran butiran yang telah disesuaikan menurut keinginan.

Klasifikasi dari pesawat pemecah yang membedakan besr kecilnya produk ada 3 macam, yaitu :

- a. Mesin pemecah besar, digunakan pemecah rahang dan rol.
- b. Mesin pemecah sedang, digunakan pemecah kerucut.
- c. Mesin pemecah kecil, digunakan pemecah palu.

Hasil dari pesawat pemecah adalah butiran berukuran 40 - 60 mm, biasanya ukuran 20 - 40 mm masih dapat diteruskan keproses pemisahan.

3. Pekerjaan Pemisahan

Bungkalan-bungkalan bijih besi yang telah mengalami pemecahan, belum dapat dipastikan keseluruhannya bijih besi. Untuk mensortir bungkalan kecil atau butir yang sangat halus digunakanlah tromol magnet yang diletakkan dibawah ayakan bergoyang.

Hasil pemecahaan ditambah dengan butiran halus yang tidak melalui mesin pemecah, diletakkan diatas ayakan bergoyang, bungkalan dan butiran yang ada diatas ayakan akan meloncat kepermukaan tromol magnet yang sedang berputar. Dari pesawat tromol magnet terjadi pemisahan, yang mengandung unsur ferro atau besi akan ditarik oleh magnet tromol dan yang tidak ada unsur besi terlempar keluar.

Hasil pemisahan ini sudah dapat dikatakan bijih besi atau bahan mentah, selanjut menunggu proses pemanggangan, sebagai proses awal sebelum masuk ke dapur tinggi. Tidak seluruh bijih besi langsung dapat dipanggang, hanya yang berukuran 20 - 60 mm, sebagaimana dikatakan Ing. K.W.Vohdin, (1981 : 9)

bahwa bijih besi halus dan butiran-butiran yang lebih kecil dari 18 mm haruslah diaglomera di dalam dapur sinter atau panci sinter, untuk bijih besi bubuk lebih baik dipakai pan sinter. Biasanya saat mengaglomir bijih besi halus, ditambah dengan debu bijih besi yang berjatuhan pada perusahaan dapur tinggi.

Proses sinter bertujuan untuk mendapatkan bijih besi yang berukuran sesuai dengan kebutuhan, sebab bijih besi yang berbentuk pasir dan debu dapat memperlambat dan menyusahkan dalam bekerja lanjutan seperti melakukan pekerjaan pemasangan atau pemanasan awal.

Cara kerja proses sinter dilakukan dalam sebuah panci sinter, yaitu bijih besi yang berbentuk krekel kecil, pasir dan debu dimasukkan ke dalamnya. Pertama dimasukkan ke dalam panci adalah yang berbentuk krekel halus, dengan maksud dapat menahan bijih besi agar tidak jatuh ke dalam rangka bakar. Untuk lebih cepat mengisikan bahan ke dalam panci sinter, dipakai gerobak isi.

Setelah selesai mengisikan bahan bijih besi ke dalam panci sinter, maka dilaksanakanlah pembakaran dengan menggunakan gas-gas proses. Pembakaran ini berlanjut terus sampai bahan bijih besi mulai mencair dan meng-aglomir, akan tetapi saking cepatnya proses berlangsung, sampai-sampai tidak ada waktu untuk mereduksi. Apabila selesai proses dalam panci sinter, maka secara mekanik panci berputar menjatuhkan bahan bijih besi ke dalam gerobak-gerobak pembawa. Bahan yang panas dalam gerobak didinginkan sampai menjadi bijih besi.

Dari gerobak-gerobak dimasukkan ke dalam sebuah pesawat pemotongan agar diperoleh bungkalan bijih

besi yang mempunyai ukuran sesuai dengan ketentuan yang diperlukan. Biasanya pemecahan cara ini dilakukan setelah didahului oleh proses pemisahan bijih besi.

4. Pemanggangan Awal

Proses pemanggangan awal dapat dilakukan sebelum bijih besi dimasukkan ke dalam dapur tinggi. Maksud dari proses pemanggangan ini adalah :

- a. Mengurangi banyaknya unsur belerang (S) yang terkandung dalam bijih besi. Dengan artian kurangnya unsur ini dapat membuat bijih besi berpori-pori.
- b. Mengurangi berat bijih besi sampai 30 % dengan cara mengeluarkan zat asam arang. Dengan arti dapat meringankan beban pengangkutan dan menguntungkan dalam ekonomi.
- c. Mempermudah dan mempercepat terjadi panas pembuatan besi kasar dalam dapur tinggi.

Dalam dapur pemanggang awal temperatur berkisar 600 - 800°C atau tidak boleh lebih dari temperatur titik cair, yaitu 1000 - 1100°C. Dapur pemanggang ini dilapisi dengan batu tahan api pada bagian dalam, bagian luar dilingkari oleh plat baja dan bagian bawah diberi lobang-lobang tempat keluar udara.

Hasil pengerjaan pendahuluan sudah dapat dianggap bijih besi yang siap diolah dalam tanur tinggi. Sebenarnya bijih besi yang melalui pengerjaan pendahuluan dan akan diteruskan kepada proses pengelolaan lanjutan banyak sekali golongannya. Tetapi yang sering ditambang dan diolah hanya tidak berapa jenisnya, sebagaimana yang dikatakan Van Vliet, (1984 : 69) bahwa bijih besi yang digali pada permukaan bumi atau kadang-kad-

dang dari tambang-tambang, banyak sekali jenisnya di dunia ini. Secara kasar terdapat empat jenis bijih yang perlu diketahui dan sering diproses.

Disini Van Vliet tidak menjelaskan dan merinci keempat jenis bijih besi itu. Setelah dilihat beberapa informasi lain, maka keempat jenis bijih besi itu adalah sebagai berikut :

1. Bijih Besi Merah Tua (Limonite)

Bijih besi ini sering juga disebut dengan bijih besi coklat yang dalam kimia biasanya ditulis $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$. Kandungan unsur besi atau ferro(Fe) dalam bijih besi limonit ada sekitar 75 %, tetapi dalam prakteknya sering ditemui antara 40 - 50 %.

Biasanya bijih besi coklat didapat dengan jalan penambangan tertutup, seperti di daerah Perancis Utara, Jerman dan di Indonesia terdapat di daerah Jawa Barat (Kuningan) dan Jawa Tengah (Lamongan Pacitan)

2. Bijih Besi Merah

Bijih besi merah disebut Hematite yang mengandung unsur besi sekitar 60 % Fe, secara kimia Hematite dirumuskan Fe_2O_3 . Bijih besi ini banyak di Amerika, Inggris dan di Indonesia, yaitu Kalimantan Tengah dan Sumatera Selatan.

3. Bijih Besi Spaat

Dalam kimia bijih besi (batu besi) Spaat disimbulkan dengan rumus FeCO_3 dan disebut dengan Karbonat besi atau batu besi Kalsit. Bila dihitung secara Kimia batu besi Spaat mengandung besi sekitar 50 % dan 50 % lagi unsur lain yang terikat bersamanya. Bila dilihat dari komposisi kimia, maka batu besi yang terikat berupa FeCO_3 , satu-satunya bijih besi yang mengandung unsur Karbon. Unsur Karbon

tersebut memudahkan untuk pembakaran, berarti besi menguntungkan dalam mengolah bahan mentah menjadi bahan setengah jadi (besi kasar). Bijih besi Karbonat banyak terdapat di Inggris, Australia dan Jerman

4. Bijih Besi Magnetit

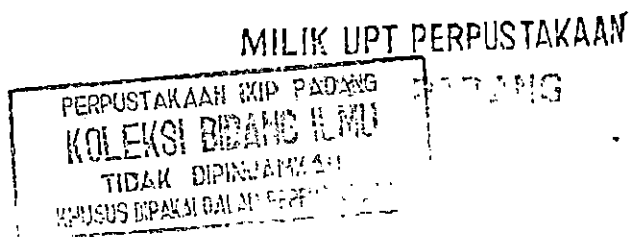
Bijih besi ini bersifat magnetite secara kimia disimbulkan dengan rumus Fe_3O_4 . Bila dihitung persentase unsur Fe dalam rumus tersebut, maka terdapat di dalamnya 72,4 % Fe. Bijih besi magnetite banyak terdapat di Amerika, Swedia, Afrika, Norwegia dan di Indonesia terdapat berbentuk pasir besi yang mengandung titan atau TiO_2 9 - 12 %. Umumnya pasir besi yang terdapat di Indonesia adalah daerah berpantai seperti pantai Jawa sampai Nusa Tenggara dan di Sumatera Barat terdapat di perpantaraan Padang Pariaman. Sedangkan dalam bentuk bungkalan berada di Solok Selatan.

Unsur besi magnet yang jenis pasir besi banyak juga terdapat di luar negeri, seperti di daerah pantai Australia, Hawaii dan perpantaraan Jepang.

B. Tanur Tinggi

Sebelum tanur tinggi direncanakan, terlebih dahulu harus dipersiapkan 3 macam bahan pokok, seperti batu kapur ($CaCO_3$), batu bara (C) dan yang paling penting adalah bijih besi. Bahkan sangat menguntungkan sekali bila didapat pada suatu daerah ketiga macam bahan tersebut dalam kondisi berdekatan. Artinya kelancaran produksi dari tanur tinggi akan lebih terjamin dan penggunaan waktu sangat efektif.

Tanur tinggi sering juga disebut dengan dapur tinggi, yang menurut penggunaan tenaga panas dibedakan



atas dua, yaitu tanur tinggi biasa dan tanur tinggi listrik. Tanur tinggi biasa bahan bakar yang dipergunakan adalah kayu dan cokes. Sedangkan tanur tinggi listrik menggunakan tenaga listrik, yang sering diperoleh melalui tenaga air dan tenaga diesel.

Menurut Ing K.W.Vohdin, (1989 : 19) bahkan dalam perkembangan konstruksi dapur tinggi terjadi perbedaan yang menjolok antara Amerika dan Eropa. Dimana Eropa masih menggunakan konstruksi gaya lama, yaitu kapasitas produksinya sekitar 700 ton sehari semalam. Sedangkan di Amerika dan Rusia sudah dapat berproduksi dengan kapasitas 1500 ton sehari semalam. Agar lebih jelasnya pemahaman tentang tanur tinggi biasa dan listrik perlu dilihat uraian perkembangannya sampai saat ini.

1. Tanur Tinggi Biasa

Tanur tinggi yang berkapasitas sampai 700 Mg (700 ton) sehari semalam, ia mempunyai konstruksi berbentuk kerangka baja bagaikan kerucut terpancung. Biasanya bagian atas lebih panjang dari pada bagian bawah.

Tanur tinggi dimaksud menggunakan arang kayu sebagai bahan bakar, mempunyai kapasitas kurang memadai, karena tingginya sekitar 15 meter. Disamping itu ia mempunyai nilai bakar lebih rendah, yang paling menyusahkan lagi untuk membuat tanur tinggi arang kayu, terpaksa mencari daerah yang kaya akan kayu atau daerah hutan yang banyak menghasilkan kayu. Setelah diperhitungkan secara matang maka tanur tinggi arang kayu kurang efektif digunakan untuk mengimbangi kebutuhan akan besi kasar.

Sebagai pengganti bahan bakar arang kayu digunakanlah kokas yang berasal dari batu bara. Tanur tinggi dengan bahan bakar batu bara mempunyai tinggi 30 - 35 meter dan diameter kerucut terbesar

6 - 7 meter. Bagian dalam dari tanur tinggi dilapisi batu tahan api, sebelah atas dilengkapi dengan penutup dan cerocok isi, yang bila dimasukkan bahan-bahan, gas-gas tidak dapat keluar begitu saja.

Disisi lain manfaat dari dirancangnya tanur tinggi berbentuk gabungan dua permukaan besar kerucut terpancung, adalah untuk mempermudah gas-gas keluar dapur, mempertahankan panas lebih banyak tinggal dalam dapur dan mengatur pemasukan bahan yang akan diolah secara teratur. Dilihat dari sudut produksinya, bentuk kerucut lebih menguntungkan dalam pemisahan terak dan besi kasar.

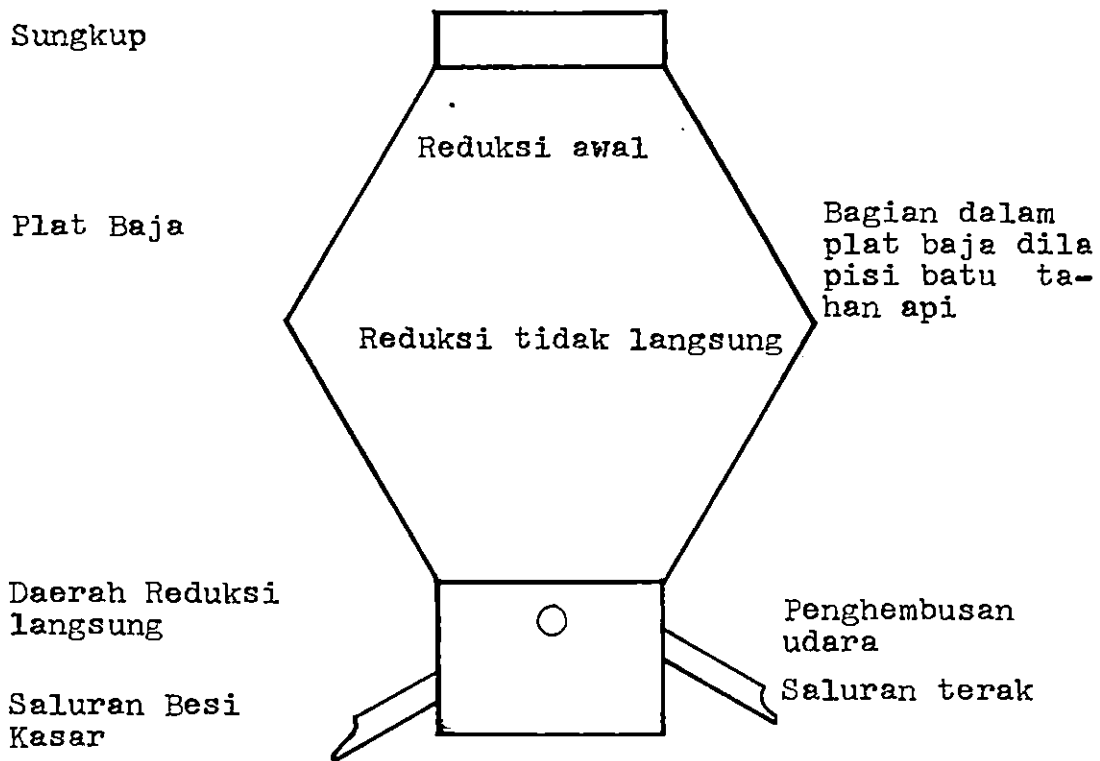
Untuk lebih lengkapnya contoh konstruksi sebuah dapur tinggi yang masih menggunakan dua kerucut terpancung dengan tinggi dari hentian kecorong sekitar 30 meter dan diameter dalam yang paling besar sekitar 7 meter. Garis tengah mulut dapur kira-kira 4,5 meter, sedangkan bagian dalamnya dilapisi dengan batu tahan api. Corong yang berdiri diatas tiang terbuat dari besi tuang sebanyak 12 buah. Yaitu corong ditumpu dari luar oleh sebuah konstruksi besi balot (tiang) yang tebalnya 20 mm. Tebal dinding hentian dan corong kira-kira 1 meter, sedangkan tebal mulut dapur kurang dari itu.

Dinding-dinding itu didinginkan dengan pertolongan pipa-pipa pendingin dari besi tuang yang terpasang dalam tembok batu tahan api, pada pipa-pipa mengslir air dingin. Didalam hentian, yaitu di bawah sekali, terdapat lobang cerat besi dan tinggi dari itu sedikit berhadapan dengan lobang cerat ada lagi lobang untuk mengalirkan terak. Kira-kira 0,5 meter diatasnya berada 8 - 12 buah mulut tiup untuk memasukkan udara panas dengan suhu sampai 900°C. Mulut tiup terbuat dari perunggu fosfor, garis tengahnya 80 - 200 mili meter.

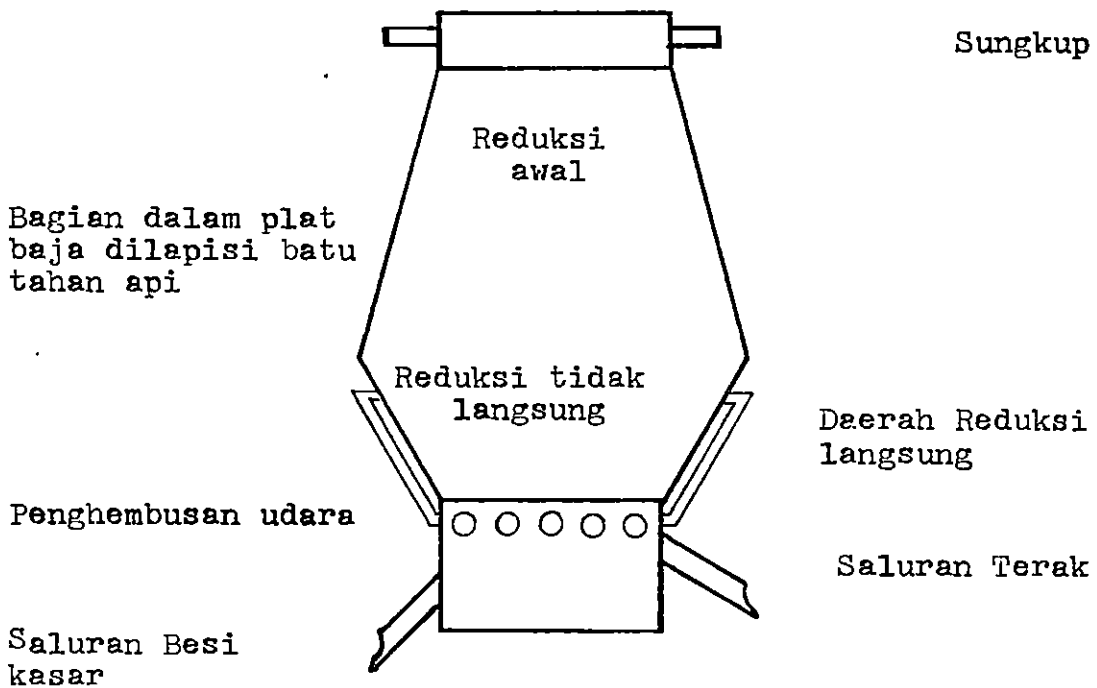
Muncung-muncung tiup itu dihubungkan dengan saluran udara induk oleh saluran-saluran cabang. Saluran induk itu garis tengahnya kira-kira 1 m, berlingkar pada dapur.

Penutup yang terletak di sebelah atas muncung dapur terbuat dari plat-plat besi. Lapisan batu tahan api tidak diperlukan, oleh karena suhu dalam penutup itu lebih rendah. Di dalam penutup berada pipa-pipa saluran (biasanya 4) untuk gas dapur tinggi, yang dilengkapi dengan katup-katup ledak. Selanjutnya penutup itu mempunyai cerocok isi, sungkup kecil dan sungkup besar untuk dapat memasukkan bijih dan kokas selama dapur tinggi bekerja. Apabila cerocok isi telah penuh, maka alas cerocok isi itu yang bentuknya seperti sungkup diturunkan ke bawah, sehingga muatan jatuh. Tetapi jatuhnya itu tidak langsung ke dalam dapur tinggi, melainkan mula-mula ke atas sungkup besar. Kemudian sungkup kecil ditutup kembali dan sungkup besar dibuka, supaya muatan jatuh ke dalam dapur.

Melihat kebutuhan besi kasar yang semakin besar, maka tanur tinggi yang ada di Amerika, Jerman, Rusia dan Jepang mulai dikembangkan. Dimana negara tersebut telah mengembangkan tanur tinggi dengan ukuran yang lebih besar, yaitu tingginya kira-kira 60 meter dan lebar diameter terbesar sekitar 8-10 m. Tanur tinggi yang telah dimodifikasi mempunyai bentuk seperti corong tunggal, namun model dua kerucut terpancung masih tetap dipertahankan. Hanya saja sisi tajam kedua gabungan kerucut itu semakin mendekati radius, dengan panjang bagian atas dari kerucut bertambah, inilah yang menyebabkan ia berbentuk corong tunggal. Perhatikanlah perbedaan dari kedua tanur tinggi biasa pada gambar di halaman berikut ini.



Gbr. 2a Tanur Tinggi Biasa yang Menggunakan Arang Kayu sebagai bahan Bakar



Gbr. 2b Tanur Tinggi Biasa yang Menggunakan Arang Kokas sebagai bahan Bakar
Gambar 2a, 2b disadur dari (Beumer, 1978 : 52).

2. Tanur Tinggi Listrik

Dalam rangka pemanfaatan tenaga air, untuk mengolah bijih besi, maka dirancanglah tanur tinggi listrik. Oleh sebab itu perencanaan tanur tinggi listrik sangat dipengaruhi oleh daerah yang banyak cadangan airnya. Bila daerah ini terpenuhi, maka biaya pembangunan tenaga listrik lebih murah.

Konstruksi tanur tinggi listrik jika dibandingkan dengan tanur tinggi biasa, jauh lebih rendah dan kecil. Biasanya ia mempunyai ukuran kira-kira 15 meter dengan diameter 3 - 4 meter dan tungkunya bergaris tengah sekitar 5,5 meter.

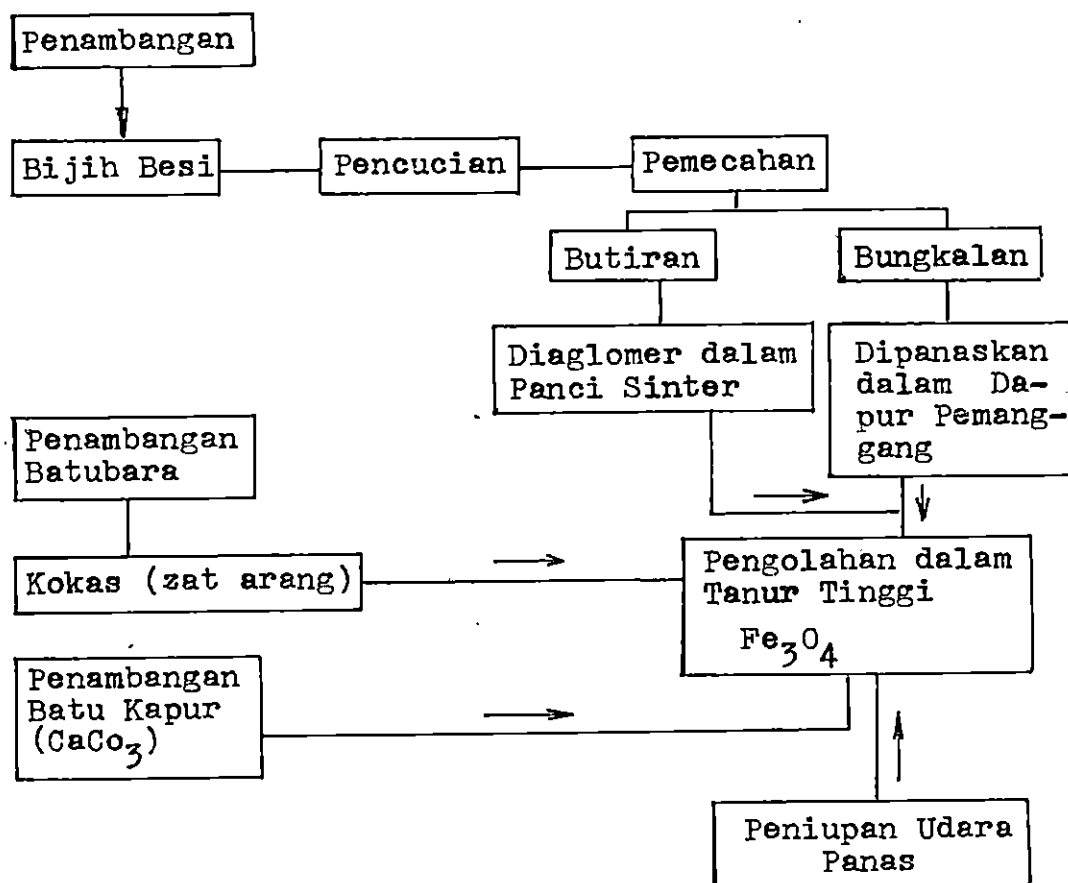
Bertolak dari konstruksi tanur tinggi listrik dapat dibedakan atas dua, yaitu yang mempunyai elektroda banyak, sampai-sampai 418 elektroda yang dipasang pada bagian tungku. Tanur yang memakai elektroda banyak mempunyai bentuk lonjong tinggi. Kedua tanur tinggi yang mempunyai elektroda sedikit, yaitu sekitar 4 - 6 elektroda arang. Tanur tinggi seperti ini mempunyai bentuk gemuk pendek. Pada kedua macam tanur juga dilengkapi dengan berbagai komponen lain, seperti cerocok pengisi, pengisap gas bebas, canal pengeluaran terak dan besi kasar.

Disini kebutuhan akan arang untuk melancarkan proses reduksi, tidak terlalu memilih sebagaimana yang diungkapkan Ing.K.W Vohdin, (1981 : 21) bahwa dalam pemakaian arang tidak begitu dikhususkan, tetapi cukup arang kayu, batu bara, kokas yang berbentuk butiran halus. Pada saat pemanasan yang mengakibatkan pencairan bahan dalam dapur oleh busur cahaya listrik, maka arang tersebut berguna untuk mereduksi.

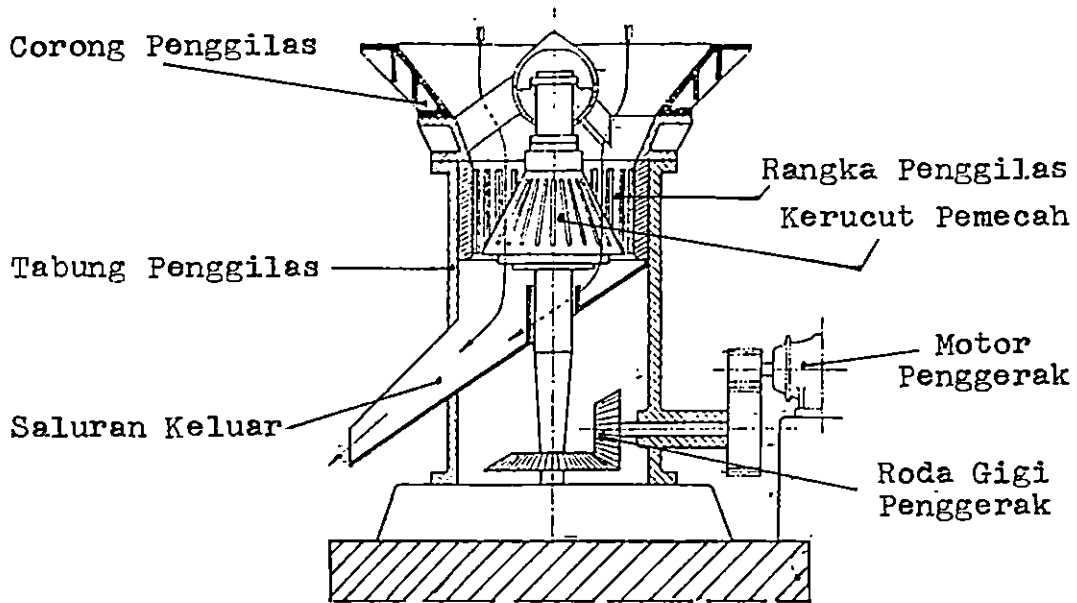
Tanur tinggi listrik yang konstruksinya pendek gemuk dapat menghasilkan kira-kira 700 m³ gas, yang

mengandung 80% CO dengan nilai pembakarannya sebesar 1.950.000 kilogram kalori setiap ton besi mentah. Artinya dapur ini 400.000 kilogram kalori lebih banyak menggunakan panas untuk 1 mg besi mentah dibanding dari tanur tinggi biasa.

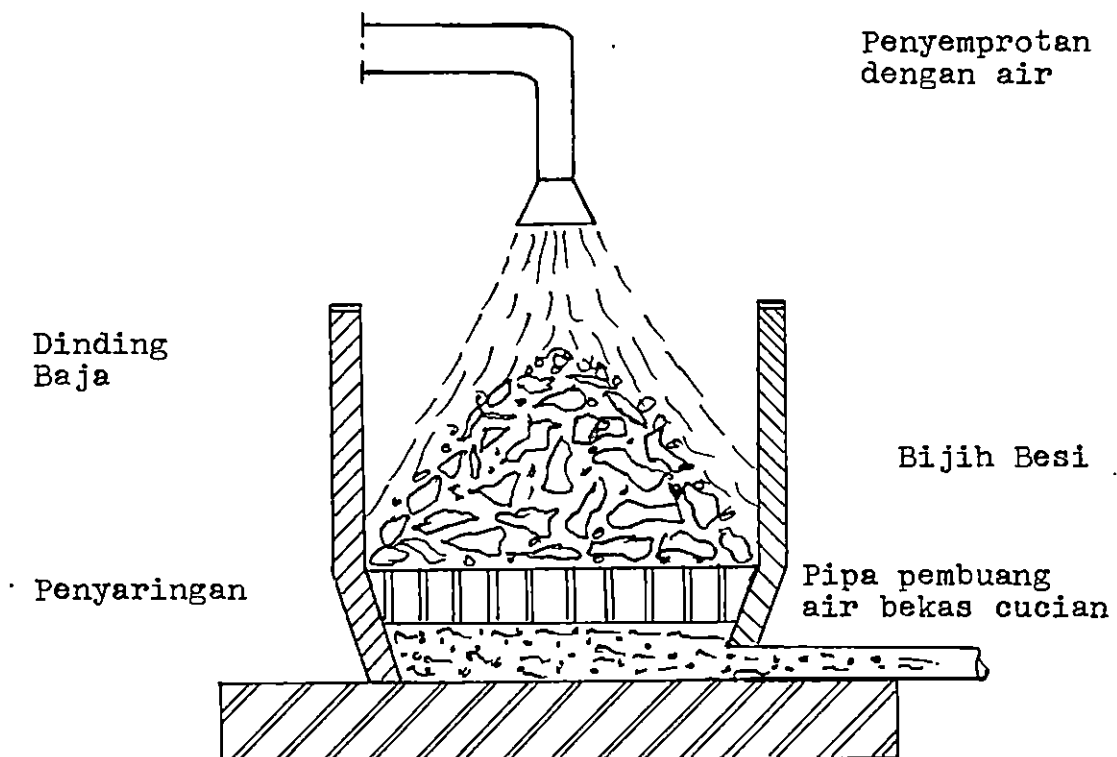
Sebaliknya tanur ini memakai pula kira-kira 2500 Kwh tenaga listrik dan 350 kg arang setiap Mg (ton) besi mentah. Tanur tinggi listrik yang normal biasanya menghasilkan 20 - 35 Mg besi mentah setiap hari. Sekarang juga sudah ada tanur tinggi listrik yang memproduksi 80 Mg besi mentah setiap hari. Selain besi mentah tanur ini menghasilkan terak dan udara panas, yang panasnya mencapai 150°C. Panas yang 150°C ini mengeluarkannya melalui pipa isap.



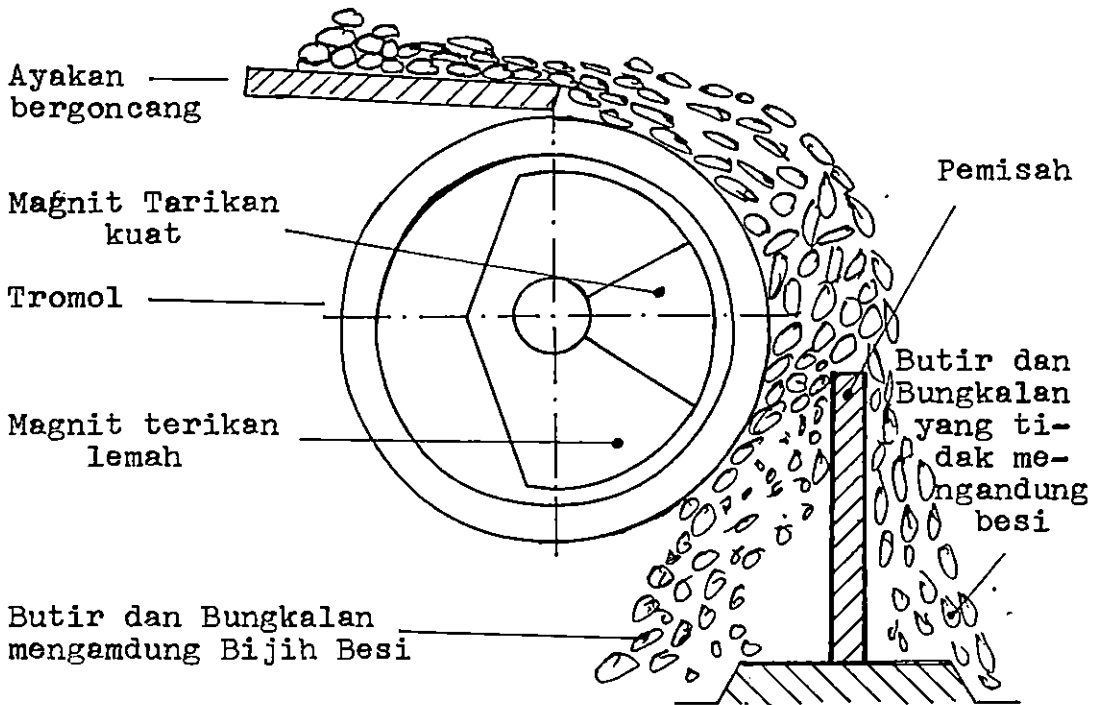
Skema Pengolahan Bijih Besi ke Besi Kasar



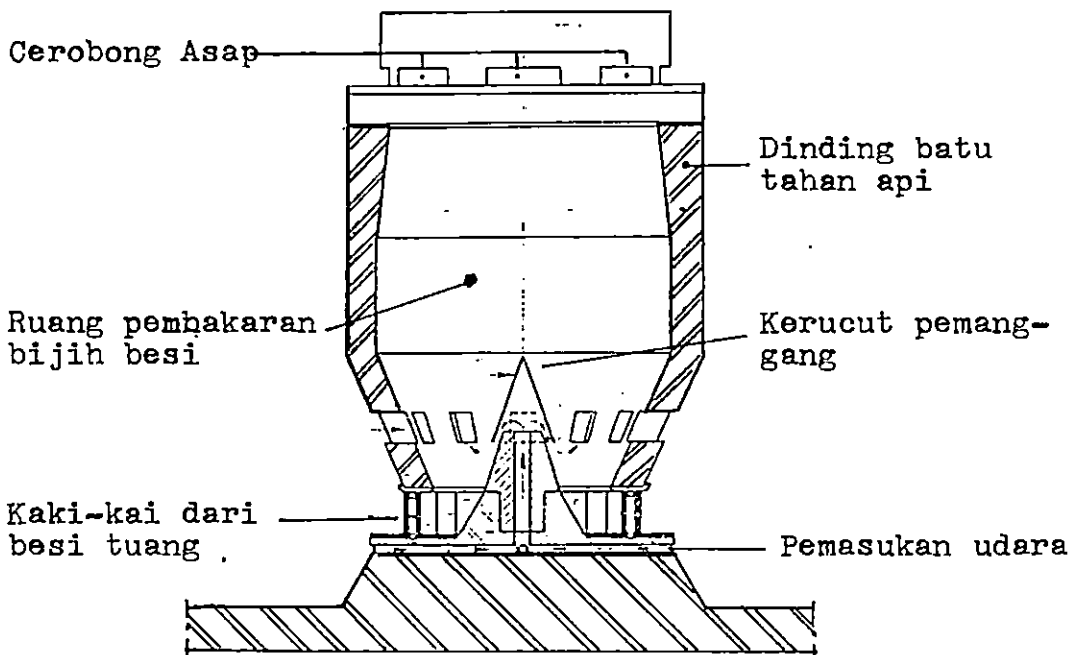
Gbr. 3 Pesawat Pemecah Kerucut
(Soedjono, 1978 : 2)



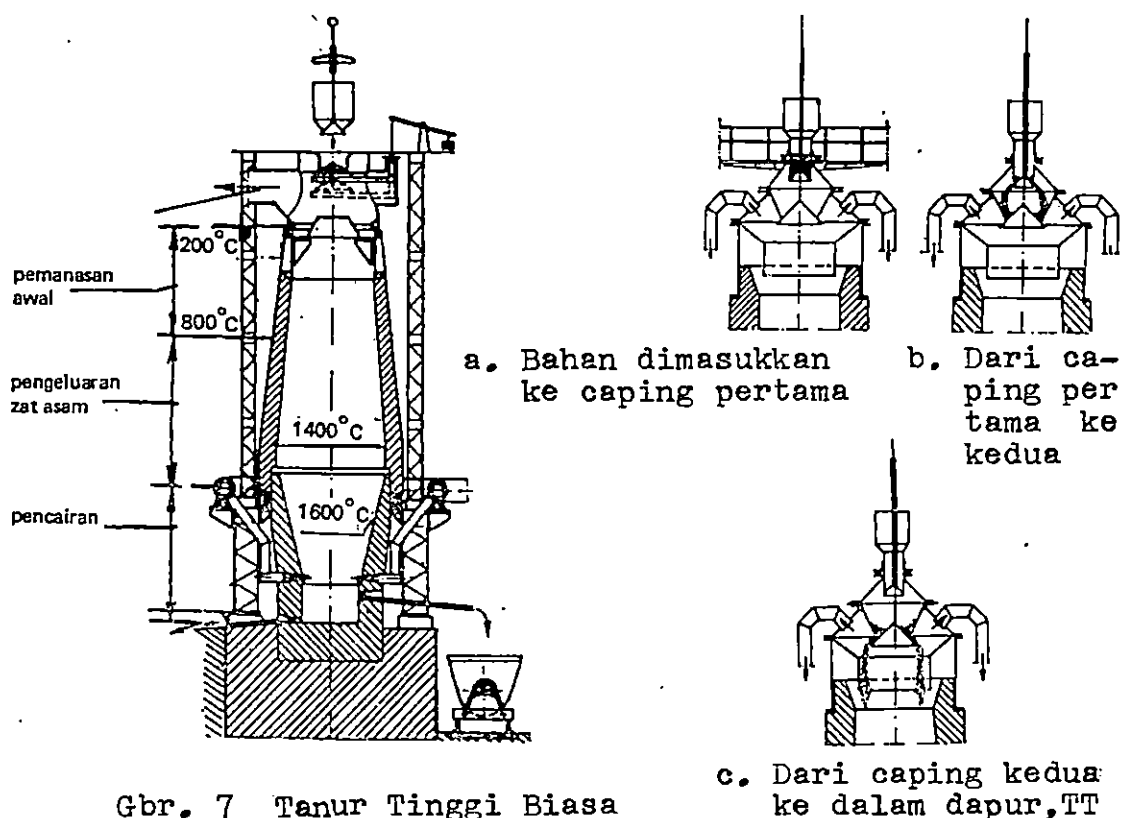
Gbr. 4 Pencucian Pancaran Air Dalam Bak
(Soedjono, 1978 : 2)



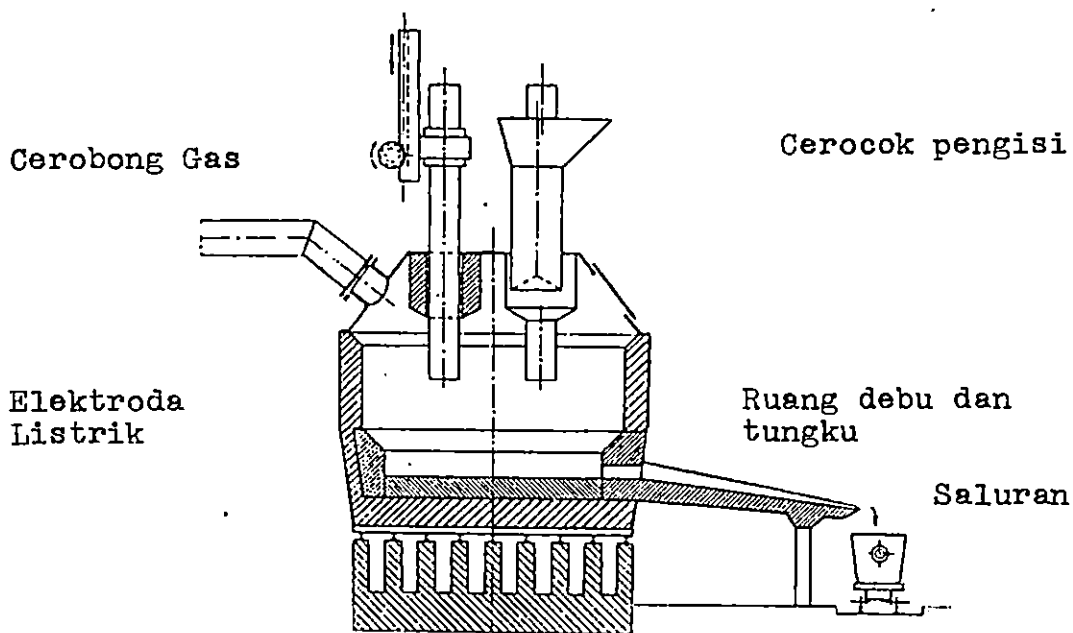
Gbr. 5 Tromol Magnet Listrik (Pesawat Pemisah)
(Soedjono, 1978 : 3)



Gbr. 6 Dapur Pemanggang
(Soedjono, 1978 : 3)

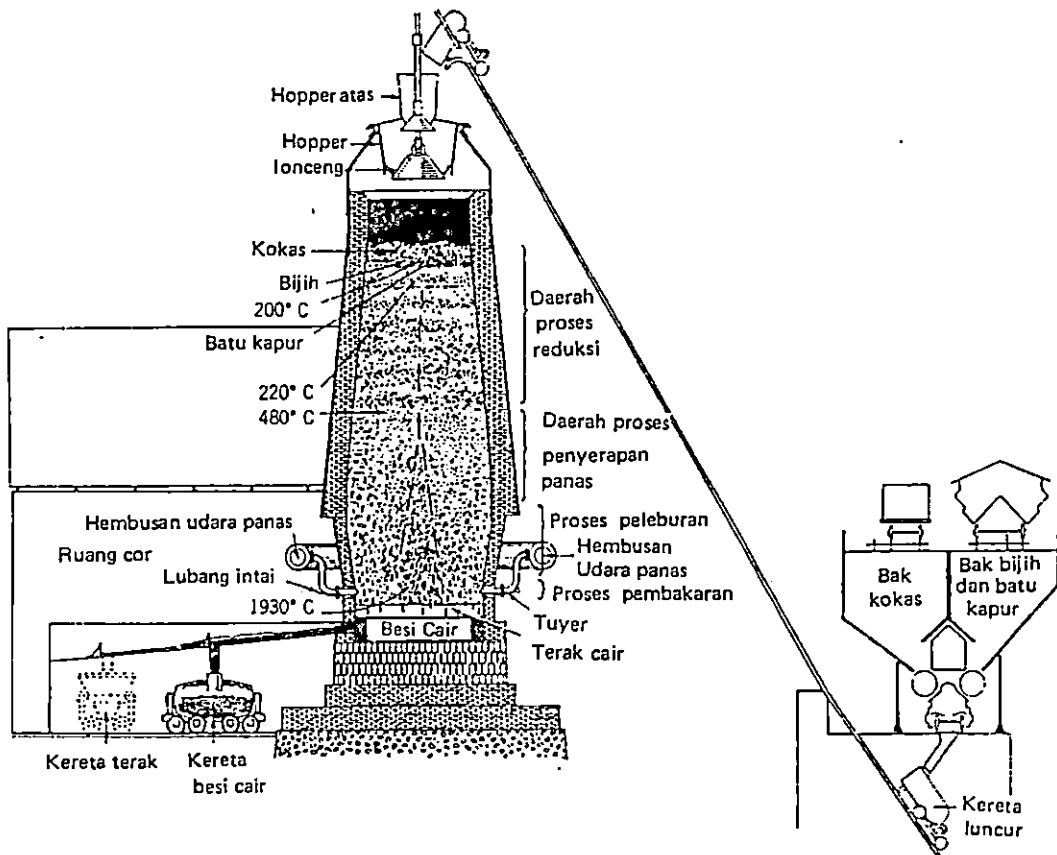


Gbr. 7 Tanur Tinggi Biasa (Soedjono, 1978 : 10)

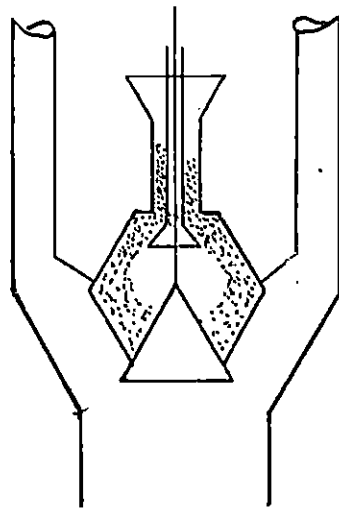


Gbr. 8 Tanur Tinggi Listrik (Ing.KW.Vohdin, 1981 : 21)

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
 WIP PADANG



Gbr. 9a Tanur Tinggi Modern
(Sriati Djaprie, 1985 : 35)



Gbr. 9b Capping yang sedang diisi dengan Muatan
(Sriati Djaprie, 1985 : 35)

naAAN
PADANG

C. Proses Pengolahan Bijih Besi Dalam Tanur Tinggi

Bila dimulai pertama kali penggunaan tanur tinggi atau tanur tinggi yang sudah lama tidak beroperasi karena sudah mengalami perlakuan perbaikan akibat rusaknya batu-batu tahan api, baik pada dinding maupun pada tungku (cemuk).

Pertama-tama dipanasi dengan udara panas selama 10 - 12 hari, dimana besar temperatur di dalamnya berkisar 600 - 800°C. Setelah itu diisikan kira-kira sepertiga bagian kokas dan batu kapur, yang pada saat itu api mulai dinyalakan.

Apabila suhu naik perlahan-lahan, pemanas angin beserta kompresornya mulai bekerja dan dapur dapat diisi dengan selapis bijih besi. Kemudian secara terus menerus dimasukkan berganti-ganti bahan bakar (arang-kokas), lapisan bijih besi dan bahan tambah seperti batu kapur CaCO_3 . Tanur yang telah hidup dengan normal harus dijaga dengan baik, supaya tidak berhenti-henti bekerja. Biasanya tanur tinggi hidup bertahun-tahun lamanya, sehingga pada akhirnya batu tahan api dan berbagai saluran mengalami kerusakan atau tidak dapat dipakai lagi.

Sistim pemasukkan bahan ke dalam tanur tinggi setelah ditimbang adalah berlapis-lapis. Untuk menghasilkan 1000 Mg (ton) besi kasar diperlukan bahan baku sebagai berikut :

- Bijih besi (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 dan FeCO_3) 2000 Mg.
- Kokas atau arang batu (C) sebanyak 800 Mg.
- Batu kapur (CaCO_3) 500 Mg.
- Udara panas sebesar 4000 Mg.

Usaha agar bahan baku dapat masuk berlapis-lapis dan teratur, maka digunakanlah hopper (caping), sebagaimana yang diungkapkan Soedjono, (1978 : 11) bahan-

bahan diangkut dengan gerobak-gerobak dan ditarik secara otomatis dengan tenaga motor listrik kecorong pengisi. Dari corong turun ke caping kecil, setelah itu diturunkan lagi kecaping besar. Isi caping besar tiga kali caping kecil, setiap pengisian atau bahan turun dari caping kecil kecaping besar, caping kecil berputar 60° .

Perlakuan secara otomatis yang dimaksud terlihat pada waktu caping kecil sudah tiga kali mengisi caping besar, dengan sendirinya mulut caping besar terbuka dan mulut caping kecil tempat keluar bahan baku kecaping besar tertutup. Apa artinya, pada saat bahan baku jatuh kedalam tanur tinggi, gas panas yang ada dalam tanur tinggi tidak sempat keluar. Kedua caping akan tertutup rapi bila pengisian sudah diperkirakan sekitar 70 - 80 % dari ruang yang telah tersedia. Sedangkan kekosongan 20 - 30 % dimanfaatkan untuk gas-gas panas.

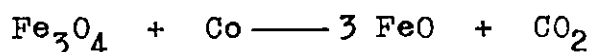
Bahan baku yang berada dalam tanur tinggi akan berproses dalam 3 daerah, yaitu mulai dari muncung dapur ke bawah bagian tungku. Pertama disebut daerah panas pendahuluan (daerah pengeringan) dengan suhu $200 - 800^{\circ}\text{C}$. Kedua daerah reduksi, yaitu daerah yang paling lebar dan luas, dengan suhu $800 - 1400^{\circ}\text{C}$ dan ketiga disebut daerah pelelehan atau daerah panas tinggi yang dimulai dari tempat hentian bahan sampai kemulut tiup dengan suhu diatas 1400°C .

Sebagai contoh proses pengolahan dalam tanur tinggi dapat dikemukakan 2 macam jenis bijih besi yang sering diolah :

1. Pengolahan bijih besi magnit (Fe_3O_4)

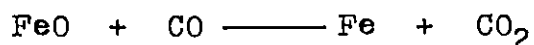
Muatan-muatan yang baru dimasukkan, lebih dahulu dikeringkan pada daerah pengeringan dengan bantuan gas dapur tinggi akan keluar kecer-

bong. Bagian bawah dari daerah cerobong, yaitu sekitar 400°C oksid-oksida yang tinggi, mulai dirubah menjadi oksid-oksida yang rendah dengan monoksida arang (Co) yang naik kepermukaan dapur, sebagaimana proses di bawah ini :

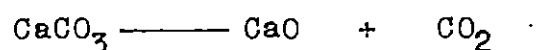


Perubahan dengan bantuan monoksida arang (CO) dinamakan perlakuan reduksi tidak langsung.

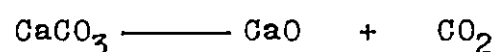
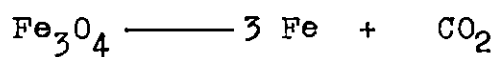
Pada daerah $400 - 900^{\circ}\text{C}$ yang penurunan bahan baku dalam tanur tetap beraturan. Dimana proses reduksi tidak langsung semakin cepat, seperti rumus dibawah ini :



Dalam daerah 900°C tidak saja bijih besi seperti yang terurai, melainkan batu kapur juga terurai seperti :

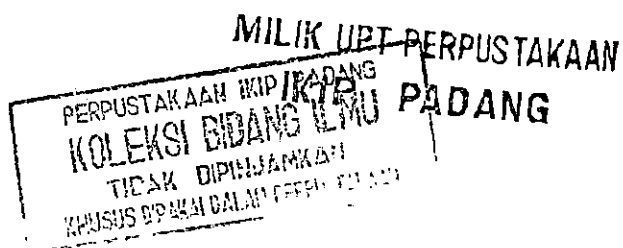


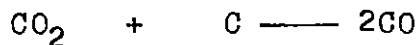
Setelah terurainya bijih besi magnet (Fe_3O_4) bersama bahan hambah (CaCO_3), menjadi :



Maka pada saat ini sudah dapat dikatakan masuk daerah bersuhu tinggi. Pada kondisi yang demikian zat arang (C) dengan mudah larut dalam bijih besi yang telah terurai. Oleh sebab itu suatu konklusi (kesimpulan) terdapat unsur Fe, menurut teori bijih besi dalam tanur tinggi bisa diperoleh secara murni, tetapi kenyataannya tidak. Walaupun dari suatu sisi kokas akan tetap terbakar menurut rumus

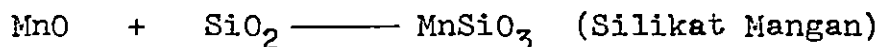
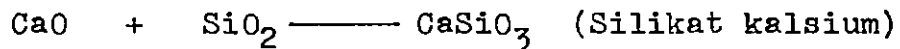
$\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$, kemudian direduksi kembali oleh kokas yang pijar menjadi :





CO yang diproduksi pada suhu tinggi ini akan naik kepermukaan dapur untuk mereduksi tidak langsung dan sebagian lagi ikut memanaskan daerah tempat ia berproses.

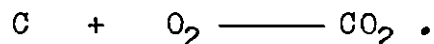
Namun bagian zat arang (karbon) akan terikat dengan sendirinya pada Fe yang telah terurai tadi dan menjadi suatu persenyawaan yang disebut karbit besi (Fe_3C). Disisi lain batu-batu ikutan, abukokas dan unsur lain, seperti silisium dan mangan akan besenyawa dengan batu kapur yang terurai (CaO) dan membentuk terak, seperti :



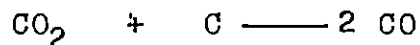
Kalau bijih besi tinggi kadar belerangnya (S), dalam proses pengolahan harus dilebihkan penambahan batu kapur (CaCO_3), agar mudah terjadi persenyawaan terak yang mengandung belerang.

2. Pengolahan bijih besi Hematit (Fe_2O_3)

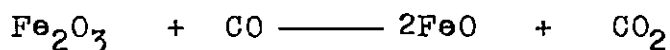
Zat arang dari kokas membakar, yang disebut proses oksidasi seperti :



Sebagian dari CO_2 yang terbentuk akan bereaksi lagi dengan zat arang yang berada ditempat lebih atas, atau dekat permukaan muncung dapur, dengan rumus :

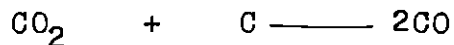


Pada temperatur $300 - 800^\circ\text{C}$ oksid besi yang lebih tinggi dirubah menjadi oksid-oksida lebih rendah, oleh reduksi tidak langsung dengan CO yang diproduksi diatas, seperti :

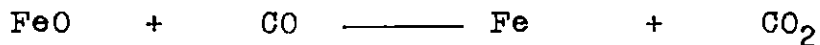


Muatan yang membentuk FeO akan turun secara

beraturan dan CO_2 naik menuju permukaan tanur membentuk lagi bersama zat arang (C), menurut :



Sedangkan muatan yang turun (FeO) mereduksi tidak langsung, secara cepat dengan sebagian CO , seperti:



Muatan yang tidak dapat direduksi tidak langsung, karena suhu semakin tinggi, kenaikan CO semakin cepat, maka FeO akan beraksi dengan zat arang (C) dan disebut proses reduksi langsung bagaikan :



Pengertian akan reduksi langsung dan tidak langsung, ditemukan oleh Beumer, (1978 : 51) bahwa disebut reduksi tidak langsung, karena bukan zat arang yang dipergunakan. Sedangkan reduksi langsung terjadi diatas pipa tiup diatas pada suhu leleh, dengan menggunakan zat arang (C).

Hal yang dirasakan bijih besi juga terlaksana pada bahan himbuh atau batu kapur CaCO_3 . Pada suhu 900°C terjadi penguraian batu kapur bagaikan :



Dimana CO_2 akan membantu untuk mereduksi tidak langsung dengan baik dan CaO bersenyawa dengan batu-batu ikatan, debu kokas dan unsur lain, membentuk terak dengan rumus kimia FeSiO_3 atau bentuk lain.

Sementara Fe yang terlepas akibat reduksi langsung bersenyawa dengan zat arang (C) secara cepat dan membentuk karbit besi (Fe_3C) bila silisium (Si) rendah dan disebut dengan besi kasar putih. Sedangkan saat mengandung silisium tinggi, maka zat arang berada sebagai grafit diantara atom-atom besi dan disebut besi kasar kelabu ($\text{Fe} + \text{C}$).

D. Hasil Tanur Tinggi

Setelah berproses dalam tanur tinggi bijih besi, kokas, bahan tambah dan diembuskan udara panas, untuk mempercepat proses reduksi dan penghematan kokas. Lamanya proses sekitar 4 - 6 jam, setelah itu akan dapat dihasilkan besi kasar, terak dan udara panas bekas (gas tanur tinggi).

1. Besi Kasar

Menurut Vohdin, (1981 : 17) bahwa bijih besi yang dominan mengandung belerang atau Silisium harus banyak dimasukkan batu kapur. Dari bijih besi yang kadar Silisiumnya tinggi akan diperoleh besi kasar (besi mentah) "Kelabu", oleh karena itu bila zat silisium tinggi, zat arang sewaktu besi mau mem beku sebagian akan keluar sebagai grafit C, inilah sebagai penyebab besi berwarna kelabu.

Selain dari besi kasar kelabu, ada lagi besi kasar putih, biasanya bijih besi yang mengandung banyak phospor dan nantinya pada proses akhir tanur tinggi zat arang tinggal berhubungan dengan karbit besi dan membentuk (Fe_3C) , berbeda dengan besi kasar kelabu pada akhirnya ia membentuk grafit antara atom-atom besi menjadi $Fe + C$. Besi kasar yang dihasilkan tanur tinggi pada umumnya mengandung 3-4,5 % karbon, dimana besi kasar kelabu mempunyai titik cair $1100^{\circ}C$ dengan berat jenis $(7,5 - 7,7)kg/dm^3$.

Untuk memahami besi kasar hasil tanur tinggi yang akan diolah pada proses lanjutan sangat ditentukan oleh kedua macam besi kasar. Kenyataan bahan dasar dimaksud, akan terlihat pada pengolahan lanjutan yang diprakarsai dengan konvertor. Penemuan pertama konvertor tidak dapat melakukan proses lanjutan dalam berbagai bentuk besi kasar. Untuk melihat perbedaan besi kasar secara mendasar dapat di-

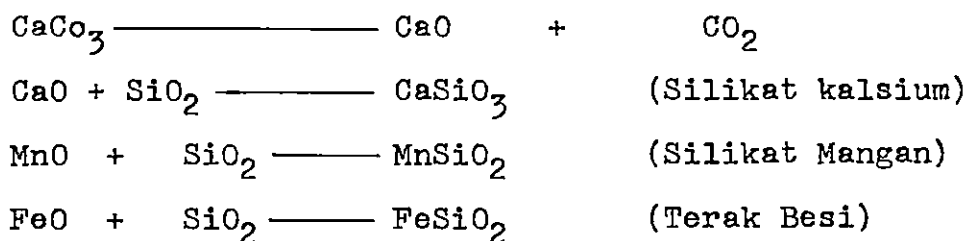
lihat tabel di bawah ini :

Tabel : 1 Besi Kasar yang akan Melalui Proses Lanjutan
(Vohdin, 1981 : 26)

JENIS	% C	%Si	% Ma	P
Besi Kasar Kelabu				
P. Rendah	4,0	2,0-3,0	1,0	0,1
P. Normal	4,0	2,0-3,0	0,6	0,6
P. Tinggi	4,0	2,0-3,0	0,5	1,7
Mengolah dengan Bessemer	3,5	1,5-2,0	1,0	0,1
Ferro Silisium	1,6-2,8	12,0-16,0	1,0	1,0
Besi Kasar Putih				
Besi cermin	4,0-5,0	0,2-1,3	10,0-30,0	0,1
Ferro Mangan	5,0-7,0	0,2-1,3	20,0-80,0	0,2
Mengolah dengan Thomas	3,5	0,5-0,6	1,0-1,5	1,7-2,0
Mengolah dengan Aduk				
P. tinggi	3,3-3,6	0,2-0,8	0,3-0,6	1,5-2,0
P: rendah	3,5-3,8	0,3-1,0	3,0-5,0	0,1-0,3
Besi Mentah Mortin	3,5-4,0	0,3-1,0	3,0-6,0	0,08-0,3

2. Kotoran Dapur Tinggi (Terak)

Setelah bahan imbuah berproses akan terjadi pengikatan bermacam kotoran dalam dapur tinggi, yaitu



Proses pengeluaran terak yang terapung di atas besi kasar dapat diseret keluar melalui canal yang sudah dipersiapkan didaerah tungku tanur tinggi.

Dalam proses yang dikendalikan dengan sempurna, untuk terak ini berwarna putih, abu-abu putih kebiru-biruan atau hijau. Bila berwarna hitam menunjukkan adanya persenyawaan dengan besi. Berat jenis terak ini $\pm P = (2,5 - 3) \text{ kg/dm}^3$, oleh karenanya terapung dan dialirkan ke gerobak-gerobak/kereta-kereta sehingga setelah membeku akan keras sekali dan dicetak dalam bentuk balok-balok. Balok-balok terak umumnya dapat dimanfaatkan pada pembuatan jalan dan bendungan-bendungan air. Pasir terak dapat dikerjakan menjadi semen terak. Bila terak yang sedang mengalir keluar diserbukkan dengan pancaran uap air maka diperoleh wol-terak, yang dipergunakan untuk mengisolasi.

Hasil terak dari dapur tinggi jumlahnya sama dengan dengan hasil besi kasarnya, tetapi karena berat jenisnya lebih ringan, maka jumlah volume terak itu kira-kira 3 kali dari volume besi.

BAB III
PROSES PENGOLAHAN BAJA
MELALUI KONVERTOR DAN TANUR

Besi kasar belum dapat dikatakan bahan setengah jadi karena ia masih mengandung elemen-elemen atau berbagai unsur yang dianggap tidak baik dalam besi atau baja. Pada umumnya elemen-elemen tersebut adalah zat arang (C), Fosfor (P), Belerang (S), Silisium (Si) dan Mangan (Mn). Akibat dari kandung zat yang berlebihan ini, maka besi kasar terbagi atas dua, yaitu besi kasar putih yang mengandung unsur Fosfor dan besi kasar kelabu, banyak mengandung unsur Silisium.

Sebagai gambaran pengaruh dari elemen-elemen berlebihan itu pada besi atau baja dapat dijelaskan, antara lain :

- Karbon (C) Kalau dilihat besi yang memasukkan diri dengan karbon, maka kelihatanlah besi tersebut mempunyai sifat lembek atau lunak. Sebaliknya besi yang banyak mengandung karbon akan menimbulkan kegetasan. Ini berarti unsur C berpengaruh pada baja yang menjadi besi atau baja yang bersifat keras.
- Mangan (Mn) Mangan dianggap sebagai unsur Desoksidasi, artinya unsur yang baik untuk memperbaiki proses kimia dan proses metalurgi, disamping itu ia dapat membentuk lebur tinggi.
- Fosfor (P) Menjadikan baja bersifat rapuh, tetapi adanya memudahkan baja dikerjakan dengan perkakas-perkakas patung. Dengan sifatnya yang seperti ini, ia harus ada sedikit didalam baja.
- Belerang (S) Mengakibatkan kurangnya sifat dapat di-

tempa dan dilas serta menjadikan baja rapuh dalam keadaan merah pijar. Pada umumnya belerang mempunyai sifat merugikan, oleh sebab itu ada unsur belerang dalam baja haruslah ditentukan dibawah ukuran ukuran tertentu. Penggunaan ini terlihat pada baja otomat yang mengandung S maksimal 2 %.

- Silisium (Si) Dapat memperlambat proses pengolahan dalam baja, karena dengan Silisium perkembangan gas dalam cairan akan berkurang. Disisi lain unsur Si memperlemah pengaruh karbon, serta menjadikan baja dapat ditempa dan dilas.
- Zat Asam (O) Pengaruh Oksigen akan terlihat bila ia berjumlah besar dalam satu ikatan atau senyawaan.

Untuk mengurangi, menambah dan menghilangkan unsur-unsur yang dianggap kurang baik di atas, maka diperlukan proses lanjutan. Proses ini sering dilakukan dalam korvertor, tungku atau dapur.

A. Konvertor

Kira-kira tahun 1886 seorang bangsa Inggris bernama Henry Bessemer, mencoba mengolah besi kasar dengan pertolongan konvertor.

Melihat dari konstruksi konvertor mempunyai tinggi bejana 6 meter, dengan garis tengah 3,5 m. Dinding sebelah luar terbuat dari plat baja dan bagian dalam dilapisi dengan batu tahan api, yang tebalnya 30-40cm. Konvertor berdiri diantara 2 batang tiang besi yang

tingginya 8,5 m, berarti tinggi konvertor secara keseluruhan adalah 11,5 m.

Batu tahan api bagian dinding akan diganti bila diperkirakan telah berproses sekitar 200 kali. Sedangkan batu tahan api bagian tungku, penggantinya agak lebih cepat karena berhubungan langsung dengan panas tinggi. Dimana penggantian batu tahan api pada tungku diperkirakan telah berproses sekitar 40 sampai 50 kali. Pada bagian tungku juga dilengkapi dengan saluran atau pipa udara panas sebanyak 120 - 200 buah dengan garis tengah saluran sekitar 20 mm.

Basi mentah yang diolah dalam konvertor biasanya mempunyai komposisi, sebagai berikut :

- Karbon (zat arang)	3,5	%
- Silisium	1,5 - 2	%
- Mangan	1,0	%
- Fosfor	0,1	%
- Ferro (bijih besi)	93-95	%

Dari komposisi besi kasar diatas terlihat, bahwa unsur Silisium cukup tinggi. Besi kasar dengan unsur Silisium tinggi digolongkan dengan proses asam. Oleh sebab itu, maka batu tahan api dari konvertor ini terbuat dari proses asam, yaitu Asam Silikat (SiO_2) dan sering juga disebut kwarsa asam.

Konvertor buat pertama kali dipanaskan dengan penyaluran gas-gas panas kedalamnya. Setelah beberapa selang waktu, kemudian baru dimasukkan besi mentah panas, yang diikuti dengan pemberian bahan himbuh, seperti batu kapur (CaCO_3).

Tumpukan besi kasar, bahan tambah dan hembusan udara panas mulai proses, dimana CO yang menyingkir sambil membawa terak dan bagian-bagian besi, terbakar menjadi CO_2 . Pada saat ini suara nyala api dalam konvertor gemuruh dengan tinggi nyala mencapai 6 m dan

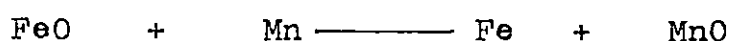
berwarna putih kebiru-biruan serta menjadikan daerah lingkungannya menjadi terang benderang.

Proses tetap berlangsung kira-kira 5 menit panas naik 1300°C - 1600°C hal ini disebabkan banyaknya kalor yang bebas, akibat terbakarnya unsur-unsur, secara teori unsur tersebut akan dapat menaikkan suhu, seperti :

- 1 % Silisium dapat menaikkan $190 - 335^{\circ}\text{C}$
- 1 % Mangan dapat menaikkan $46 - 76^{\circ}\text{C}$
- 1 % Karbon dapat menaikkan 57°C
- 1 % Phospor dapat menaikkan 120°C
- 1 % Ferro dapat menaikkan 63°C

Dalam kondisi suhu tinggi, seluruh unsur atau elemen yang tidak diperlukan dapat larut dengan mudah. Setelah unsur Fe bebas dari berbagai unsur lain, maka panas mulai turun, sampai nyala api mengecil dan kemudian hilang, diganti dengan nyala yang berwarna coklat, pertanda proses telah berakhir. Memeriksa nyala api dapat dilakukan dengan pertolongan analisis spektrum pada waktu itu nampak di dalam pesawat timbul garis-garis absorpsi dari campuran-campuran yang terbakar. Kadang kala ada yang memakai selfoto- elektrik yang menghentikan kompresor-kompresor dan mengembalikan konvertor secara otomatis.

Menurut Vohdin, (1981 : 30) proses yang terjadi dalam konvertor sejak awal sampai penceratan, kira-kira 20 menit. Saat proses akhir sebelum konvertor di balikkan, pada baja diberikan kadar zat arang yang sesuai dengan kebutuhan. Zat arang diambilkan dari besi cermin yang sudah dicairkan dalam dapur kubah. Besi cermin mendesoksidasi FeO yang tidak berguna menurut rumus :



Setelah proses berakhir udara masih tetap dihem-

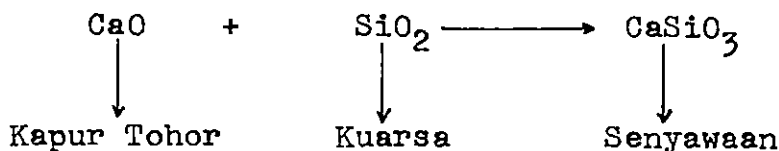
buskan secara perlahan-lahan selama beberapa menit, untuk kesempurnaan campuran. Bila campuran dan komposisi dianggap baik, maka terak dituangkan kedalam gerobak terak dan baja dituang ke dalam panci tuang. Terak yang dihasilkan oleh proses Bessemer tidak berharga dalam perdagangan.

Isi konvertor Bessemer sekitar 10-30 Mg(ton), setiap sekali 20 menit, maka dalam jangka waktu 24 jam sehari semalam dapat memuntahkan besi sekitar 50 - 60 kali atau menghabiskan besi kasar + 1000 Mg. Menurut pengalaman dari 100 kg besi kasar dapat menghasilkan besi kasar sekitar 88-90 kg baja dan 0,05 - 0,6 %C.

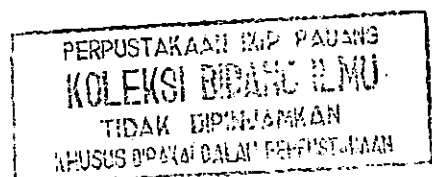
Ternyata dari pengolahan besi mentah tidak seluruhnya dapat diproses dengan baik melalui konvertor Bessemer, hal ini terlihat adanya besi mentah yang tidak dapat diolah. Besi mentah dimaksud adalah besi kasar putih yang dominan mengandung unsur fosfor (P). Sebagai gambaran bahwa sulit pengolahan fosfor dalam sistim Bessemer dapat dilihat rumus di bawah ini :



Fosfor yang telah dibakar tidak akan menjadi terak, tanpa diberikan bahan tambah. Umumnya bahan tambahan untuk mengikat fosfor adalah batu kapur yang membentuk kapur tohor (CaO). Keinginan untuk menambahkan kapur tohor kedalam konvertor Bessemer lebih banyak, mengakibatkan kerusakan pada batu tahan api. Sebagai gambaran dapat dilihat rumus di bawah ini :



$CaSiO_3$ adalah pengikisan terhadap batu tahan api



B. Konvertor Thomas

Menurut George Love, (1986 : 9) untuk menghilangkan karbon, mangan dan silikon tidak merupakan persoalan yang besar dan dapat ditangani dengan baik dalam proses-proses basa atau asaman. Tetapi menghilangkan fosfor dan belerang hanya bisa dalam proses "Basa", dimana kapur disertakan dalam pembebanan untuk membentuk campuran dengan kedua elemen tersebut dan memindahkannya kedalam terak basa.

Ungkapan dari George Love jauh sebelumnya telah dikemukakan Sidney Gilchrist Thomas pada tahun sekitar 1879, dengan menemukan batu tahan api "Dolomit", yaitu semacam batu yang dibakar. Lebih jelas lagi yang dibakar itu adalah kapur atau karbonat kalsium (CaCO_3) dan karbonat magnesium (MgCO_3). Dolomit yang dibakar hangus atau ($\text{CaO} + \text{MgO}$) digiling dan digempal dengan terpanas pada tekanan tinggi dalam cetakan-cetakan besi tuang hingga ia membentuk batu-batu akan dijadikan dinding dan tungku konvertor.

Setelah batu tahan api dolomit dipasangkan pada konvertor, didalamnya dihidupkan api kokas yang tidak menyala keras. Bagian-bagian ter yang mudah terbang menyingkir dan sisa kokas serta ter yang tinggal melengket pada dinding batu.

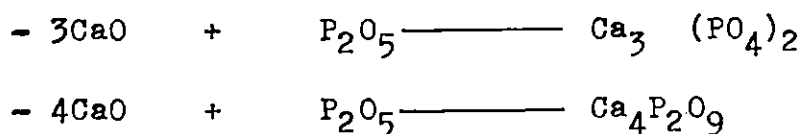
Tidak berapa lama pemanasan konvertor yaitu sekitar 4 mm dimasukkan besi kasar putih, dengan komposisi kimia yang sering dipakai, sebagai berikut :

- Karbon (C)	35 %
- Silisium (Si)	0,15-0,6 %
- Mangan (Mn)	1,0 -1,5 %
- Fosfor (P)	1,7- 2,0 %
- Ferro (Fe)	92 - 95 %

Dari komposisi diatas kelihatan unsur fosfor

memang mempunyai prosentase cukup besar, oleh sebab itu perlu disingkirkan. Disisi lain fosfor dapat menaikkan suhu sampai 1700°C , makanya proses ini berlangsung lebih cepat, yaitu sekitar 12-15 menit. Untuk mengambil unsur P dalam konverter ditambahkan batu kapur cukup banyak.

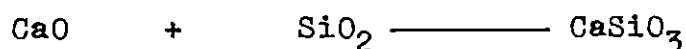
Udara panas terus ditiupkan, di dalam bejana suhu semakin tinggi, maka P terbakar menjadi pentosid fosfor berbentuk P_2O_5 . Kemudian P_2O_5 berhubungan dengan kapur tohor (CaO), dengan proses sebagai berikut



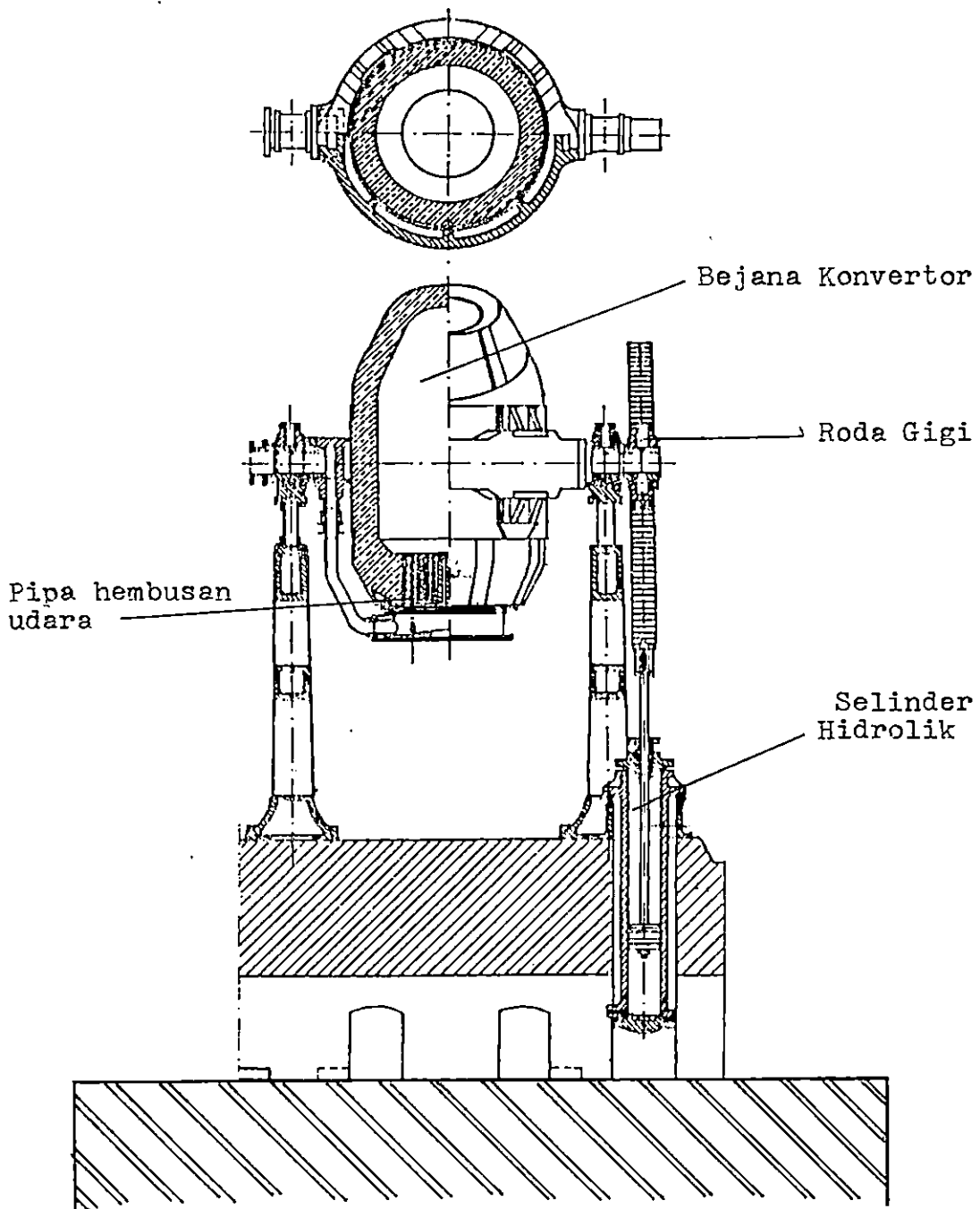
Senyawaan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$ disebut kotoran konverter Thomas yang banyaknya $\frac{1}{3}$ kali dari kotoran Bessemer. Kotoran seperti ini disebut dengan terak yang berasal dari fosfor kalsium sekitar (12 - 25% P_2O_5). Kotoran atau terak digiling halus dan disebut rabuk atau pupuk buatan yang berharga sekali.

Hasil akhir dari konverter Thomas, ialah baja berkadar karbon 0,05 - 0,6 % $^{\circ}\text{C}$, tetapi ini tidak mutlak tergantung dari kebutuhan. Sebenarnya hasil konverter Bessemer dan Thomas dapat bervariasi antara 0,05 - 1,5 % $^{\circ}\text{C}$.

Perlu sekali diawasi pemasukan besi mentah kedalam konverter Thomas, tidak boleh yang kaya dengan silisium. Hal ini disebabkan silisium merusak batu tahan api, sebagaimana rumus berikut ini :



Dari rumus diatas dapat dianalisa, bahwa kapur tohor yang tadinya merupakan campuran batu tahan api Thomas akan diambil oleh asam silikat yang didatangkan dari bijih besi yang kaya dengan unsur silisium.



Gbr. 10 Konvertor
Soedjono, (1978 : 21)

C. Konverter Oksi

Setelah dipelajari lebih jauh tentang konverter Bessemer dan Thomas, kedua-duanya mempunyai kelemahan. Titik tolak dari kelemahan terletak dari proses pengolahan dalam konverter, yang mana kedua sistem tidak berhasil menetapkan untuk memakai segala macam besi mentah. Disamping itu karena teknologi semakin maju, maka kebutuhan akan besi setengah jadi merupakan persoalan yang sangat rumit.

Akhirnya dikembangkanlah sistem konverter kearah yang objektif dan efektif. Maksudnya sistem yang baru ini dapat mengatasi kendala-kendala yang ditemui dari konverter dan dapat memproduksi lebih besar dalam waktu relatif cepat. Sistem tersebut adalah penyemprotan oksigen murni kepermukaan besi kasar panas yang ada dalam konverter. Proses pengolahan seperti ini sering juga disebut dengan proses tanur oksigen basa (Basic Oxygen Furnace, BOF).

Operasional dari proses penyemprotan oksigen, bermula dari pemasukan besi kasar sekitar 70 - 80 %. Besi kasar dalam kondisi panas, disemprotkan oksigen melalui sebuah pipa ganda, dimana bagian tengah pipa diperlukan untuk laluan oksigen dan canal bagian luarnya digunakan untuk pengaliran air pendingin.

Oksigen ditiupkan dengan kecepatan tinggi, yang mana tempat permukaan oksigen keluar berjarak 0,75-lm kepermukaan besi kasar.

Menurut Sriati Djaprie, (1985 : 39) bahwa oksigen yang dihembuskan segera menimbulkan nyala api dan suhu akan naik mendekati titik didih besi yaitu $\pm 1650^{\circ}\text{C}$. Unsur-unsur karbon, mangan dan silikon akan teroksidasi. Pada saat itu dimasukkan bahan tambah batu kapur dan kalsium fluor untuk mengikat kotoran-kotoran seperti fosfor dan belerang membentuk terak.

Senada dengan Sriati Djaprie . juga dikemukakan oleh Van Vliet, (1984 : 72). Panas yang terjadi dalam konvertor sangat tinggi, sehingga besi kasar harus di dinginkan dengan menambahkan serpihan-serpihan baja Jadi proses oksidasi ini tidak perlu penambahan panas dari luar.

Banyaknya besi bekas atau serpihan baja dimaksud oleh Van Vliet adalah sekitar 20-30 %. Jalannya proses pengolahan atau siklus yang terjadi sejak pemasukan besi mentah panas sampai penuangan kedalam panci-panci memakan waktu kira-kira 40-45 menit dengan kapasitas produksi sekitar 250-350 Mg (ton). Untuk menghasilkan 1 Mg baja diperlukan oksigen sekitar 50 m^3 . Hasil yang demikian besar diproduksi oleh sebuah konvertor yang berukuran tinggi bejana kira-kira 10,5 m dengan diameter 8 meter dan bagian luar dibuat dari plat baja dengan lapisan batu tahan api bersifat basa.

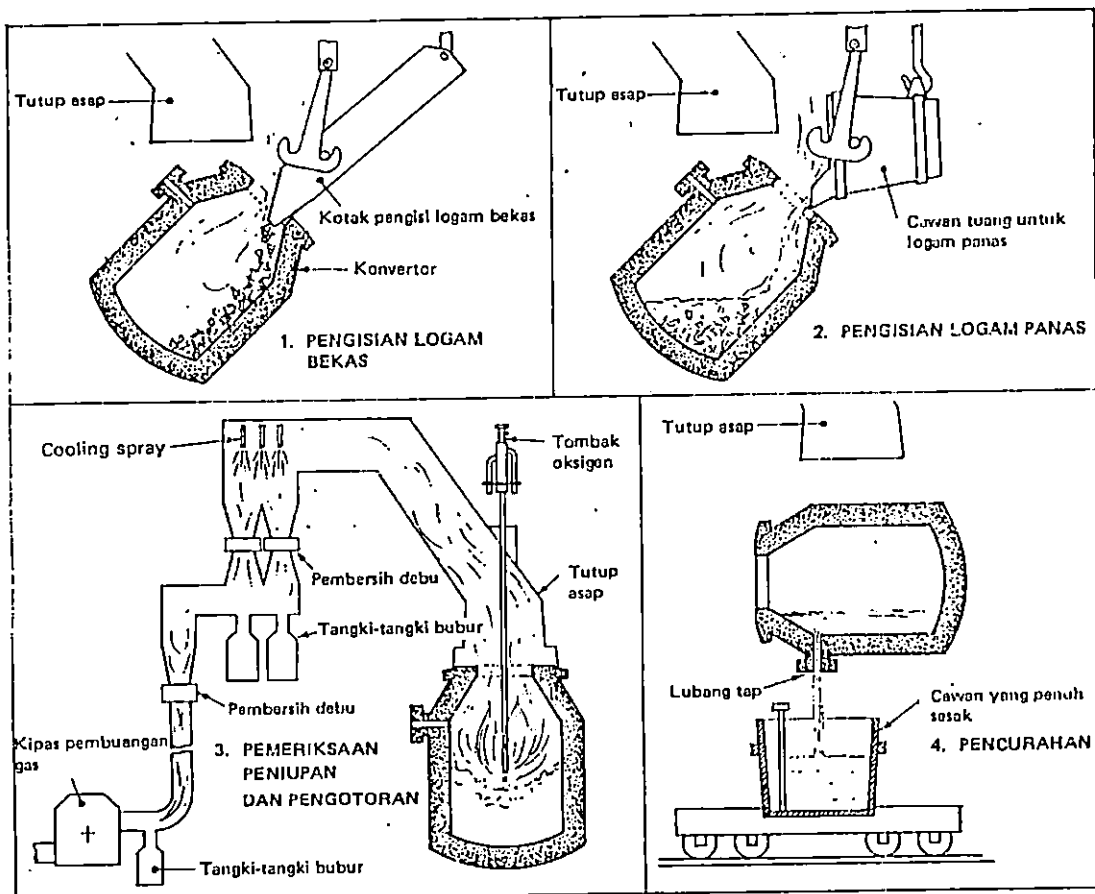
Proses akhir dalam konvertor terlihat nyala mulai menyusut, suara yang tadinya gemuruh dan menimbulkan cahaya putih biru mulai berkurang sampai hilang. Setelah itu aliran oksigen diperlambat dan kemudian dihentikan, pipa penyemprot dikeluarkan dari bejana konvertor. Sebenarnya penghembusan oksigen secara cepat dan kuat sebelum proses akhir berlangsung, maka penyempnotan oksigen secara konstan hanya 15 menit.

Sehabis proses akhir dapur dimiringkan untuk mengeluarkan terak ke dalam panci-panci terak. Kemudian suhu logam panas (baja) dan kadar karbon diukur, jika telah memenuhi persyaratan menurut kebutuhan maka konvertor dimiringkan lagi sampai batas akhir, hal ini diperlukan untuk penuangan baja cair kedalam kereta ladel.

Sejak proses pengolahan baja oksidasi, hampir seluruh konvertor dengan sistem Bessemer dan Thomas tidak digunakan lagi. Karena kedua macam sistem telah dapat

diatasi dengan baik, secara penyemprotan dengan oksigen murni atau oksigen dasar.

Keuntungan besar dari proses penyemprotan murni ialah mampu mengatasi perbedaan-perbedaan komposisi dari pada besi kasar. Ia akan mengolah logam-logam mentah yang panas dengan kandungan 0,2-2,0 % silikon, 0,4-2,5 % mangan dan 0,3-0,4 fosfor dengan satu terak. Bila terak basa kedua terjadi, maka proses akan dapat berhubungan dengan logam panas yang mengandung fosfor sampai 2 %.



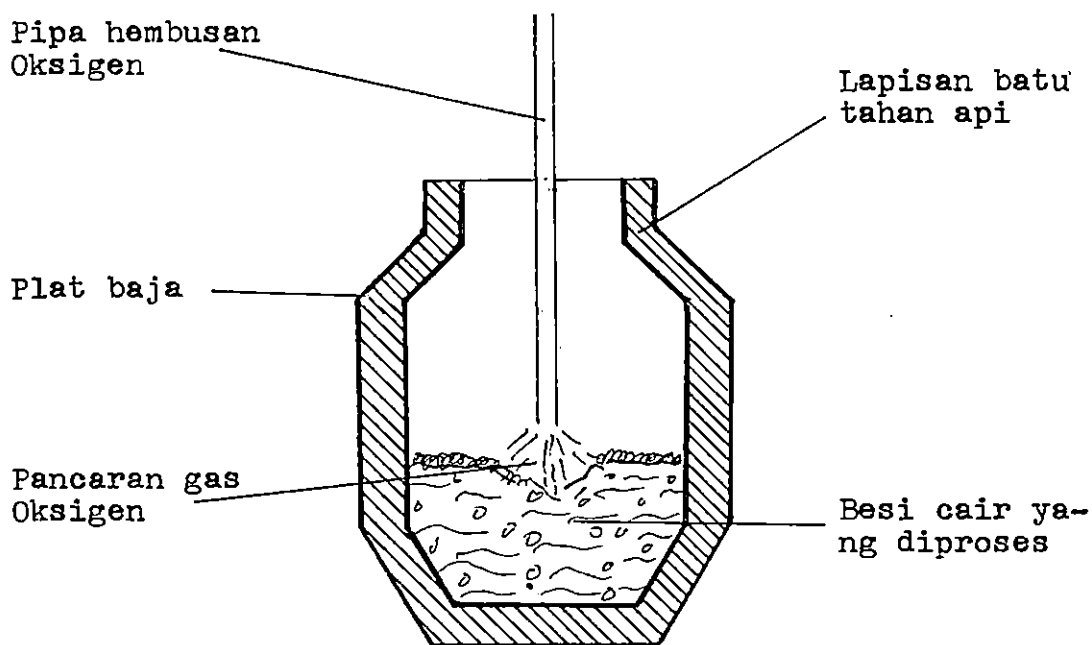
Gbr. 11 Proses Pelaksanaan Oksigen dalam Pembuatan Baja. George Love, (1986 : 11)

Selain dari proses penyemprotan oksigen murni, yang menggunakan konvertor biasa, ada lagi tiga macam proses konvertor yang memakai sistim tiupan oksigen pada permukaan cairan besi kasar, antara lain :

1. Proses L-D (Linz-Donawitz)

Proses ini adalah peniupan oksigen dalam konvertor yang tetap pada posisi vertikal. Besi kasar yang diolah tidak saja mengandung unsur phospor rendah, tetapi sebaliknya diperlukan untuk mengolah besi kasar dengan kadar phospor yang lebih dari 2 %. Dalam proses yang seperti ini keberadaan unsur phospor sangat diperlukan, karena berfungsi menambah kenaikan temperatur.

Pengembangan proses peniupan oksigen dalam konvertor vertikal, pertama kali dilakukan di negara Australia. Untuk lebih jelasnya bentuk konvertor ini, dapat dilihat gambar di bawah ini :

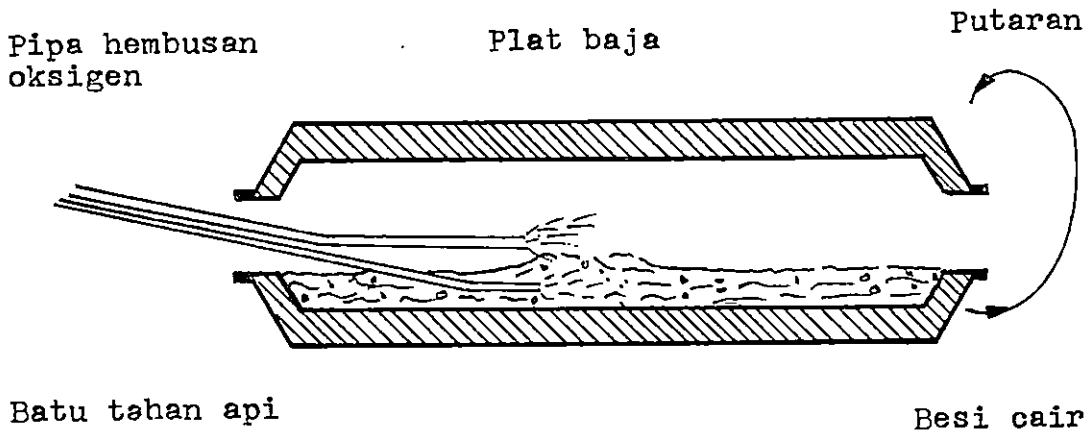


Gbr. 12 Konvertor L - D
(George Love, 1986 : 12)

2. Proses Rotor

Proses ini dikembangkan di negara Jerman, dimana konstruksinya berbentuk konvertor mendatar. Pada mulut konvertor dilengkapi dengan dua batang pipa tiupan oksigen. Dimana salah satu pipa dipergunakan untuk menghembuskan oksigen ke dalam logam cair, sedangkan yang satu lagi diperlukan peniupan oksigen pada permukaan besi kasar panas.

Saat hembusan terjadi di permukaan logam cair maka pembakaran dapat merubah CO menjadi CO_2 . Peniupan oksigen berlangsung ketika konvertor dalam keadaan berputar, secara teori ia akan berputar $\frac{1}{2}$ -2 putaran tiap menit, perhatikanlah gambar konvertor dengan sistim rotor di bawah ini :



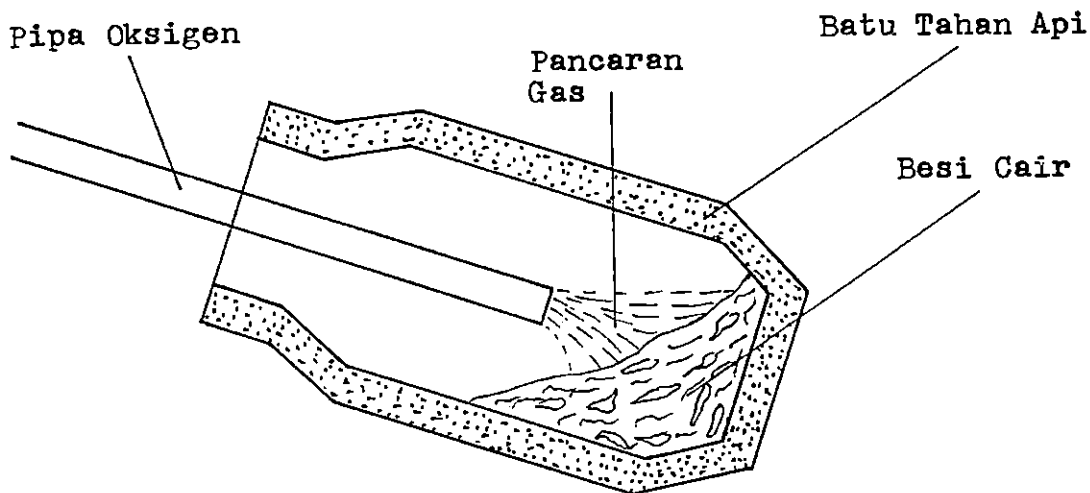
Gbr. 13 Proses Rotor (George Love, 1986 : 13)

3. Proses Kaldo

Konstruksi proses kaldo ialah sebuah konvertor yang diletakkan miring 17° pada posisi mendatar. Kemudian konvertor berputar dengan kecepatan 30 putaran permenit (Rpm). Sesast konvertor berputar, pada mulutnya sudah dipasang sebatang pipa untuk mengalirkan oksigen dengan kecepatan tinggi.

Proses pengolahan seperti ini berlangsung cu-

kup lama yaitu sekitar 90 menit dan besi kasar dimaksud mengandung unsur phospor diatas 2%. Kebaik-an dari proses ini, dapat dilakukan pengetahuan jarak dekat pada baja cair, perhatikanlah gambar berikut ini.



Gbr. 14 Proses Kaldo (George Love, 1986 : 14)

D. Tanur Siemen Martin

Tanur ini sering diistilahkan dengan tungku terbuka, yang mempunyai ukuran yang bervariasi, tetapi pada dasarnya ia termasuk tanur berkapasitas tinggi dan menghasilkan baja dengan kualitas baik. Proses pengolahan pada tanur terbuka dilakukan dalam sebuah tungku (dapur), yang dilengkapi dengan batu tahan api jenis asam atau basa. Biasanya lebih banyak memakai batu tahan api jenis basa (bases), yaitu lapisan magnesium. Dengan lapisan basa kadar phospor, belerang, mangan, karbon dan silikon dapat dikurangi atau mungkin dihilangkan. Sebaliknya jika tanur memakai batu tahan api jenis asam, maka yang apat diturunkan adalah silikon, mangan dan karbon.

Pada bagian bawah tungku terdapat 4 buah kamar pemanas (regenerator), 2 diantaranya digunakan untuk pemanas gas dan 2 lagi dipakai untuk pemanas udara. Perbandingan isi kamar udara dengan isi kamar gas adalah 4 : 3, berarti ruangan udara lebih besar dari ruangan gas.

Langkah pemanfaatan gas dan udara adalah dengan memanaskan dua kamar yaitu satu kamar gas dan satu kamar udara. Caranya ialah melalui generator dimasukkan gas ke kamar pemanas gas, dimana gas dari generator tersebut sebelumnya sudah dipanaskan. Sesampai pada kamar pemanas gas, suhu dapat dinaikkan 900-1200 °C. Sedangkan pada kamar pemanas udara dialirkan udara melalui alat kompresor. Pada kamar pemanas udara dimaksud dapat dinaikkan suhu dari 900 - 1200 °C. Senada dengan proses ini juga diungkapkan oleh Ing.K.W. Vohdin, (1981 : 31) bahwa didalam dua buah dari keempat kamar regenerator ini gas dan udara dipanaskan lebih dahulu, sementara mengalir diantara batu-batu hangat, sedangkan dua kamar yang lain dipanaskan oleh gas-gas yang mengalir keluar. Setiap tiga perempat jam aliran udara dan gas-gas itu diubah tujuannya.

Gas dan udara yang telah dipanaskan, menurut Ing. K.W.Vohdin tadi dipergunakan untuk proses pengolahan baja dalam tanur terbuka (SM). Muatan dari tanur Siemen Martin ada 3 alternatif, yaitu besi kasar cair, baja bekas (baja rongsokan) dan campuran baja bekas dengan besi kasar cair.

Prosesnya berlangsung cukup lama, setelah dapur (tungku) dipanaskan dengan gas dan udara yang diproses pada kamar pemanas, maka dimasukkan baja bekas dan besi kasar. Sekitar 2 atau 3 jam kedua macam muatan melebur, yang mana suhu dapur saat itu kira-kira 1500 °C. Kemudian ditambahkan besi cair, setelah enam

atau tujuh menit suhu naik bahkan ada yang mencapai 2000°C . Pada kondisi mendidih seperti ini ditambah bahan hembuh (fluks), untuk mengikat kotoran dan kemudian menjadi terak. Saat kira-kira delapan menit sudah berlalu, di dalam dapur besi sedang mendidih, bahkan 5 - 8 % ada yang terbakar.

Melihat begitu hebatnya panas dalam dapur, kemungkinan besar besi cair kehilangan karbon. Oleh sebab itu diperlukan pengontrolan yang cermat agar dapat ditambahkan besi kaca sesuai dengan kebutuhan. Begitu juga hasilnya terhadap unsur-unsur paduan lain. Sekitar 10 - 12 jam proses berlangsung, isi dapur dapat dituangkan. Menurut Syamsul Arifin, (1980 : 39). Selesai proses dalam dapur, baja cair dituangkan ke dalam panci-panci besar dimana terak akan mengapung di atasnya. Bila panci tuang telah penuh sampai batas yang ditentukan, maka terak menceret dengan sendirinya pada panci-panci tuang yang kecil. Setelah terak habis menceret keluar, maka baja cair dituangkan ke dalam cetakan-cetakan.

Waktu proses pengolahan dengan tanur terbuka ini dapat dipercepat atau dapat berkurang sekitar 25 % dari yang biasa, yaitu dengan jalan menyemprotkan oksigen kedalam dapur saat proses berlangsung. Selain dari oksigen ada yang menggunakan bahan bakar minyak, yang dipancarkan dengan kuat dan cepat ke permukaan leburan besi.

Akan tetapi bila muatan atau besi kasar yang dimasukkan mengandung unsur fosfor cukup tinggi, maka dipakailah proses "Duplex". Proses dimaksud adalah kerja sama antara 2 tanur, seperti konverter dengan Tanur Siemen Martin. Caranya besi kasar, baja bekas, dan batu kapur di proses dalam konverter, hingga kadar fosfor turun 0,1 - 0,15 %. Kemudian untuk mempertinggi kadar zat arang ditambahkan kokas yang

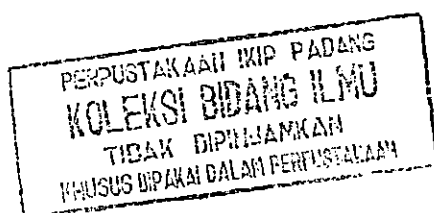
sudah digiling. Baja cair dalam konvertor inilah yang dilanjutkan proses pengolahannya ke tanur terbuka. Kalau besi kasar yang tinggi kadar fosfornya tidak dilakukan proses duplex, tetapi dilangsungkan saja ke tungku tanur terbuka, maka ke dalam tungku tanur terpaksa harus banyak menambahkan batu kapur (CaCO_3). Akibatnya apa yang terjadi, jika dapur memakai batu tahan api basa, tentu sudah merupakan kejelasan terak akan bertambah tebal.

Sebagaimana yang telah dikatakan diatas, bahwa tanur terbuka termasuk golongan berkapasitas besar ia dapat memproduksi 20 - 22 ton baja setiap jam. Dimana ruang tungku kira-kira bermuatan 300 ton, bahkan sekarang sudah ada yang menggunakan tanur terbuka luas dasar tanur bermuatan 540 Mg (ton). Disamping itu kita tidak melupakan, adanya tanur SM yang berkapasitas kecil 10 - 100 ton, tetapi sekarang sudah tidak dipakai lagi.

Muatan yang dimaksud diatas, yaitu besi mentah dan besi kasar, dapat digunakan dalam keadaan cair dan padat. Kalau ia berbentuk balok-balok tuangan, biasanya dilebur dulu dalam "Dapur Kuba", kemudian dilakukan proses lanjutan dengan tanur SM. Muatan yang berasal dari besi bekas atau besi rongsokan haruslah besi itu dipotong-potong sama besar, setelah dibuat bagaikan paket-paket dan dikempa, maksudnya adalah mempercepat pengisian tanur dan pengolahannya.

Hasil tanur terbuka disebut baja-Martin, baja ini bermutu baik dan diproduksi dalam bentuk ingot yang disesuaikan dengan pekerjaan selanjutnya, seperti :

- Berpenampang segi delapan, digunakan untuk pekerjaan tempa yang berat.
- Berpenampang segi empat, kalau akan digiling menjadi batang dan profil.



- Persegi panjang untuk pembuatan plat.

Balok besi atau ingot yang dituangkan ke dalam cetakan, berbentuk penampang atau profil haruslah melalui proses cetak yang cukup rumit. Cetakan itu di buat dari besi tuang yang tidak mengandung phospor, kemudian berbentuk tirus dari bawah keatas. Tujuan membuat tirus agar mudah saat pengeluarannya.

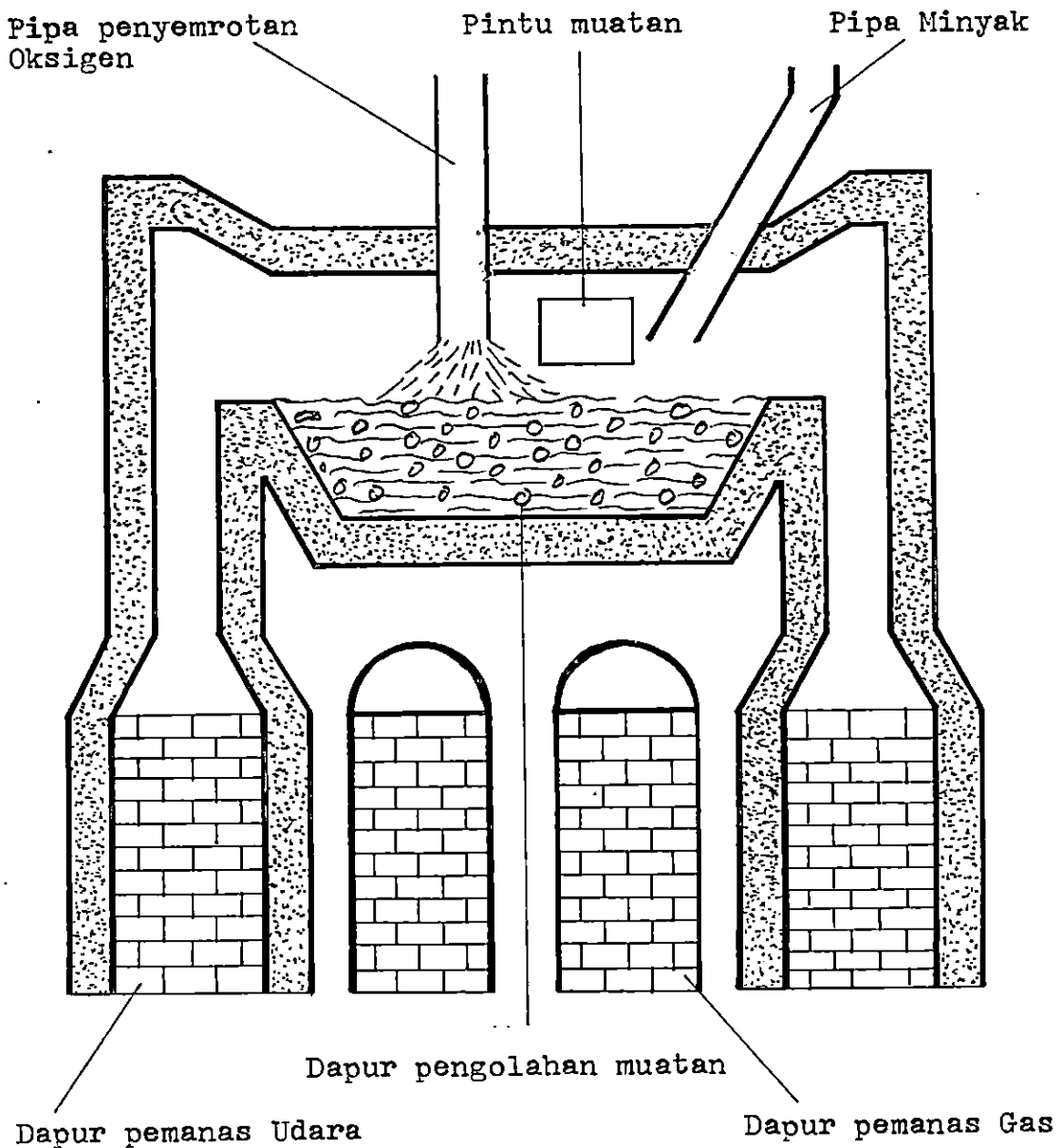
Bagian dalam cetakan tersebut dipulas dengan air kapur atau grafit bercampur tanah liat, yaitu untuk mencegah hubungan langsung antara besi cair dengan cetakan. Cetakan-cetakan ini ada pula yang dibuat berhubungan misalnya enam buah dihubungkan langsung dari bawah melalui saluran-saluran.

Baja cair ini dituangkan dari tengah-tengah melalui saluran-saluran pengisi dan dalam cetakan-cetakan akan naik sesuai dengan (seperti) bejana berhubungan. Ketika besi menjadi keras, bahan itu menyusut sehingga ditengah-tengah terjadi rongga-rongga menyusutan.

Campuran kotoran berkumpul di bagian atas dari balok besi, yang mana bagian ini sepertiganya dari balok dipotong dengan gergaji untuk divairkan kembali. Untuk memperkecil kerugian-kerugian tersebut di atas balok besi didinginkan dalam tekanan menurut sistim Harmet.

Balok-balok besi ini ketika sedang mengeras ditekan pula kebawah. Karena itu disini tidak hanya terdapat kekuatan dalam jurusan memanjang tetapi juga dalam jurusan melintang dan sebagai pendinginnya air. Balok besi yang didapat dengan jalan ini adalah sama dan merata.

Baja yang telah dicetak akan diproses lagi untuk mendapatkan benda jadi, seperti pembuatan konstruksi dan bagian-bagian mesin. Umpunya baut, poros engkol, poros, batang-batang penggerak dan pasak.



Gbr. 15 Tanur Terbuka (Tanur Siemen Martin)
(Syamsul Arifin, 1980 : 41)

Pada gambar diatas adalah tanur baja Siemen Martin dengan kapasitas cukup besar, yang mana bagian luar dilapisi dengan plat baja dan lapisan kedua dengan batu tahan api. Hal yang sama juga dilengkapi pada tungku pemanas udara dan tungku pemanas gas. Kalau diperhatikan proses kerja dari tungku pemanas udara dan gas, terdapat dua katup, yaitu katup gas dan katup udara.

E. Baja Elektro

Baja elektro diperoleh dua cara, pengaliran arus listrik yang pertama disebut dengan pengaliran metoda busur nyala atau busur cahaya (Electric Arc Furnace). Sekarang pemakaian tanur busur nyala dimaksud, telah dibagi dua, yakni pemakaian busur nyala secara langsung dan pemakaian secara tak langsung. Kedua menggunakan pengaliran secara induksi atau tahanan, dua metoda itulah yang dikatakan tanur listrik.

1. Tanur listrik busur nyala

Tanur listrik yang berproses secara tak langsung, caranya adalah memancarkan busur api dari elektroda yang terletak diatas logam. Akibat radiasi yang menimbulkan panas cukup tinggi, yakni sebagaimana yang dikatakan T. Polderman, (1954, 78) bahwa busur-busur cahaya dapat mencapai suhu sampai 4500°C , busur cahaya memancarkan cahaya cukup kuat, sehingga menjadi berbahaya untuk selapur jala mata. Karena itu ketika melakukan pemeriksaan pada logam cair, diharuskan memakai kaca mata yang mempunyai gelas berwarna hitam.

Melihat perkembangan tanur listrik busur nyala yang semakin cepat, maka busur nyala secara tak langsung ini dianggap tidak ekonomis lagi. Sebagai gantinya adalah tanur listrik busur nyala dengan sistim langsung. Dimana elektroda langsung berhubungan dengan logam yang akan diproses.

Konstruksi tanur secara prinsip tidak berubah antara sistim busur langsung dengan yang tidak langsung, yaitu memakai batu tahan api, baik bersifat asam maupun basa. Batu tahan api jenis asam memakai ala serbuk ganister dan berdinding batu silika (SiO_2), sedangkan batu tahan api berjenis basa, menggunakan alas magnetit dinding magnesia dan

aluminia. Bagian luar dari tanur dilapisi dengan plat baja, dan bagian atas diberi tutup yang dilengkapi dengan batang elektroda. Tutup dimaksud dapat naik keatas dan bergeser kesamping bersamaan dengan batang elektroda.

Tanur listrik busur nyala yang menggunakan batu tahan api jenis asam hanya dapat dengan baik melebur logam yang mempunyai kadar fosfor dan belerang yang rendah. Sedangkan tanur yang memakai batu tahan api jenis basa bermanfaat untuk pengolahan logam yang tinggi fosfor dan belerang.

Melihat dari besar kecilnya konstruksi yang sering dioperasikan, maka produksi baja melalui tanur elektroda bervariasi, yakni 5 - 300 Mg(ton)sekalijalan. Bahkan pada perusahaan-perusahaan kecil ada yang memakai tanur dengan kapasitas dibawah 1 Mg(ton).

Elektroda grafit yang digunakan sebagai media untuk melahirkan busur nyala listrik, mempunyai diameter 350 - 750 mm dan panjangnya mencapai 12.000 ampere dengan tegangan 40 volt. Pemakaian daya menurut Sriati Djaprie, (1985 : 41) untuk kapasitas tanur 115 Mg(ton) diperlukan waktu peleburan sekitar 3 jam dengan besar energi listrik 50.000 kwh dan biaya peleburan sangat ditentukan oleh harga listrik.

Kedalam tanur listrik busur nyala dapat diolah logam-logam ferro bekas dan besi kasar cair atau yang kental (dingin). Tanur ini dulunya berproduksi khusus untuk baja campuran, baja karbon berkualitas tinggi dan baja-baja spesial, tetapi sekarang telah dipergunakan orang untuk pembuatan baja-baja karbon biasa.

Untuk memulai proses ini mula-mula muatan baja bekas yang telah dipotong-potong dengan ukuran

tertentu dimasukkan kedalam tanur. Kemudian ditambahkan bahan himbuh seperti batu kapur (CaCO_3) dan Fluorspor. Tujuan untuk memberikan bahan himbuh adalah membentuk terak oksida basa. Disamping itu ada juga yang ditambah besi cair yang sudah diproses pada dapur-depur sebelumnya.

Setelah muatan lengkap dalam ruangan tanur, atap atau penutup tanur yang dilengkapi dengan elektroda-elektroda, dikembalikan pada posisi semula. Pekerjaan selanjutnya menurunkan elektroda-elektroda kedalam muatan yang telah siap untuk diproses. Dalam menurunkan elektroda, perlu diatur jaraknya dengan muatan yang sudah diisi tadi, sehingga bila arus dialirkan busur api dengan sendirinya akan memancar pada ruangan yang strategis. Pancaran nyala api tersebut akan dapat diatur secara otomatis, agar menghasilkan panas yang tinggi energi panas yang diproduksi dengan mudah melebur besi.

Bila proses pengolahan dianggap selesai, perlu diambil atau dilihat sedikit logam dalam tanur, maksudnya untuk dianalisa dari komposisi terak dan besi cair. Melihat dari hasil analisa, ternyata unsur fluorspor masih perlu dihilangkan, maka dibuat terak basa kedua. Tetapi jika hasil analisa menyatakan kelebihan unsur karbon, dilakukanlah proses ulang dengan penyemprotan oksigen secara cepat.

Pengontrolan atau pemeriksaan terakhir melahirkan hasil penganalisaan memuaskan, ini berarti memberi komando bahwa pemeriksaan telah sempurna. Langkah selanjutnya adalah membuang terak dan sesudah itu melakukan pencampuran dengan elemen-elemen yang diperlukan. Kapan pencampuran telah dianggap sesuai dengan kebutuhan, maka tanur kembali

dimiringkan, guna menuangkan baja ke dalam ember-ember penuangan.

Mengamati proses pengolahan baja pada tanur listrik busur nyala, akan terlihat persamaan-persamaan terhadap proses pengolahan pada tanur terbuka atau baja martin.

2. Tanur listrik Induksi

Konstruksi dari dapur ini boleh dikatakan tidak begitu rumit, seolah-olah seperti bejana biasa saja yang bagian luarnya dilapisi dengan plat baja. Sedangkan bagian dalam dilapisi dengan batu tahan api dan dilengkapi sekelilingnya dengan kumparan-kumparan.

Kumparan-kumparan (cail) dimaksud dipergunakan untuk membangkitkan arus induksi pada baja yang akan diolah. Efek dari arus induksi adalah pada dinding-dinding dapur, yang mana sedikit mendapat pengaruh, tetapi hal ini tidak merupakan suatu kendala berat.

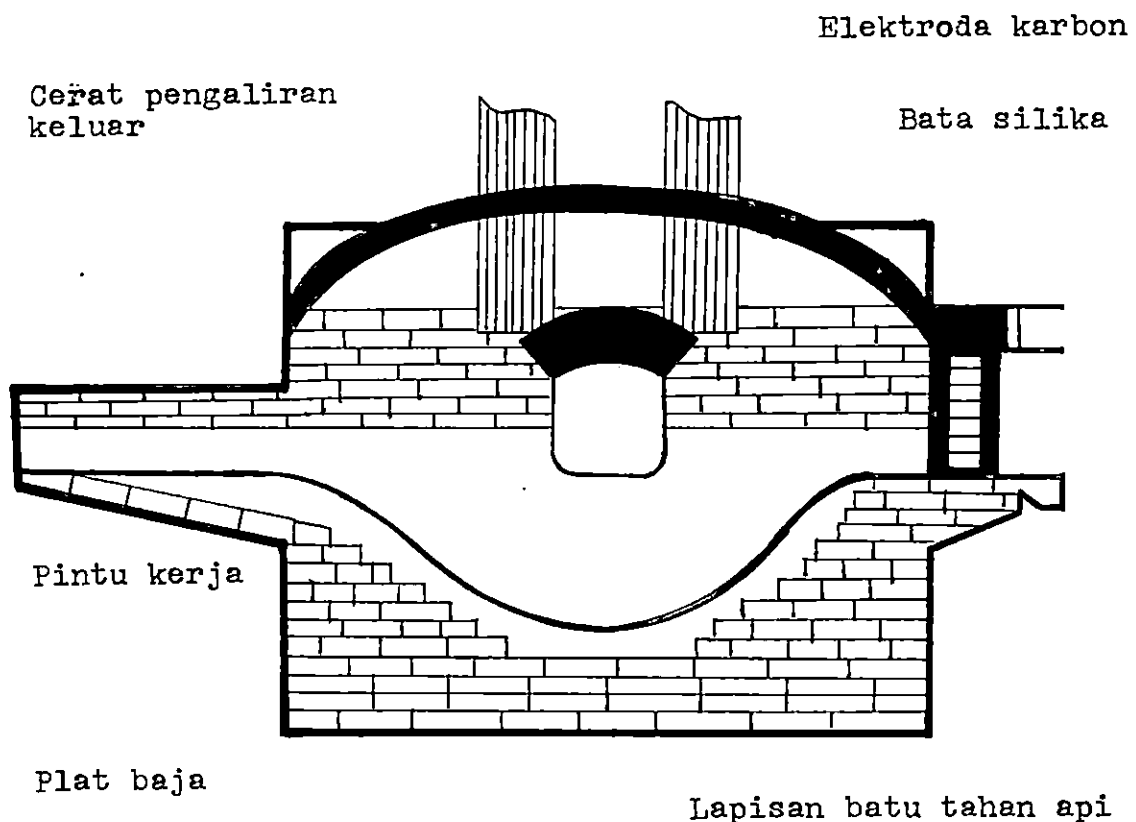
Jika dalam kumparan tanur dialirkan arus bolak-balik, terjadi aliran pusaran dalam tanur. Cara ini adalah aliran listrik hubungan singkat yang dapat membangkit energi panas tinggi, sehingga dengan panas yang begitu tinggi akan dapat melumerkan atau mencairkan muatan-muatan yang ada dalam tanur.

Tanur induksi frekwensi tinggi hanya dapat dioperasikan untuk peleburan saja, tidak untuk pembersihan. Artinya dalam tanur ini hanya mengolah baja yang sudah tidak lagi merupakan besi kasar, tetapi lebih bersih dari itu. Hasil akhir dari tanur induksi adalah baja paduan dari berbagai jenis, yang jumlahnya sedikit.

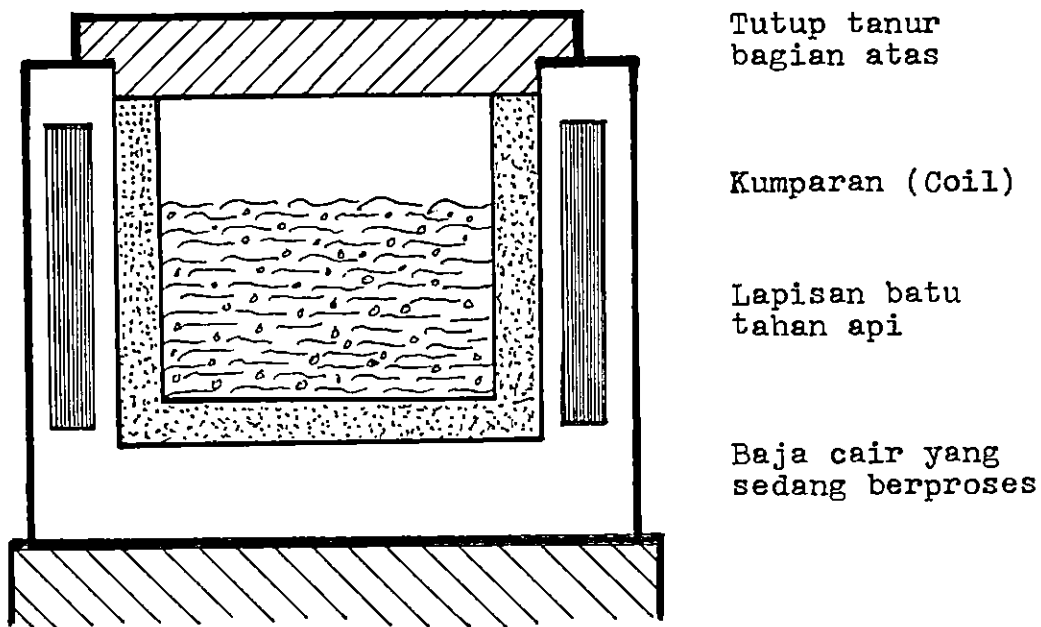
Menurut George Love, (1986 : 14) bahwa tanur

induksi digunakan untuk potongan logam dari baja paduan. Dimana peleburan itu dilakukan dalam suatu wadah silinderid yang terbuat dari batangan tembaga yang berbentuk pipa. Pada pipa tembaga itu mengalir arus dengan frekwensi tinggi dan tenaga magnetik yang timbul disekitar lilitan akan menyebabkan terjadinya arus kisar (eddy current) pada potongan-potongan logam. Tahanan dalam arus ini akan menghasilkan panas yang tinggi untuk peleburan.

Kita perlu memahami, bahwa sifat utama dari panas induksi selalu berputar atau berkisar. Arus kisar tersebutlah yang menyebabkan terjadinya sirkulasi elemen-elemen campuran yang ditambahkan dapat terbagi rata.



Gbr. 16 Tanur Listrik Busur Nyala
(Sriati Djaprie, 1985 : 42)



Gbr. 17 Tanur Induksi Frekwensi Tinggi
(Sriati Djaprie, 1985 : 43)

F. Dapur Aduk

Menurut Vohdin (1981 : 36) bahwa proses aduk adalah cara yang pertama dan kedua untuk pembikinan baja. Besi mentah dilebur dalam sebuah dapur nyala api dengan kapasitas 300 - 500 kg sekali proses. Proses ini berlangsung dengan jalan mengaduk, yang dalam bahasa Inggris disebut to puddle.

Dapur aduk (Puddling Furnace) yang dimaksud oleh Vohdin, terdiri dari 2 macam tungku, yakni tungku api dan tungku proses. Tungku proses berhubungan dengan tungku api melalui sebuah jembatan api. Bagian atas dari kedua tungku ditutupi dengan dinding baja yang dilapisi dengan batu tahan api, terbuat dari pada oksid besi dan silika. Dalam ruangan proses juga dilengkapi dengan lobang cerobong yang berhubungan melalui pipa kesebuah ketel uap, dari ketel baru dilepaskan keluar. Pada umumnya untuk menentukan kapasi-

tas dapur tergantung dari ukuran tungku proses, dimana tungku proses ini mempunyai panjang 1,7 - 2 meter dan lebarnya 1,6 - 1,7 meter.

Batas pada sisi dapur dituang kosong, dengan maksud daerah yang kosong itu dialiri dengan air pendingin, sebagai pelindung isi dapur dari proses di atas 1200°C . Lapisan dinding sebelah luar yang terbuat dari plat baja disatukan dengan memakai angkur.

Bermulanya proses dalam dapur aduk adalah membakar batu bara yang kaya dengan gas pada tungku api. Pada bagian bawah tungku api dipasang kisi-kisi, kemudian dihembuskan udara, kadang kala udara yang dihembuskan itu berlebihan, maka gas-gas yang terjadi pada saat pembakaran secepatnya menuju kecerobong. Setelah tungku pembakar batu bara cukup banyak, maka panas akan merambat ke tungku proses melalui jembatan api. Sedangkan panas yang menguap keatas akan memanaskan atap dapur. Karena atap dapur dirancang sedemikian rupa, panas yang ada padanya akan memantul kembali dan terus memanaskan tungku proses.

Setelah tungku proses mempunyai panas sekitar $600 - 800^{\circ}\text{C}$, dimasukkanlah besi kasar. Udara ditiup dengan volume lebih banyak dan cepat, pada akhir di permukaan dapur proses sangat banyak gas-gas asam arang (CO_2), disamping itu zat-zat asam banyak yang terurai. Dengan turunnya kadar zat arang dan berkurangnya kotoran-kotoran dalam besi, maka suhu dalam dapur proses akan tambah naik, dengan sendirinya pencairan besi kasar akan lebih cepat.

Mengingat kelemahan dari dapur aduk, yang tidak dapat menahan panas lebih dari 1300°C , dengan sendirinya pengeluaran zat asam arang dan kotoran tidak sempurna. Dalam dapur semakin lama semakin berkurang akibatnya besi yang tadinya cair berubah berbentuk

ubur-ubur dan kemudian mengental keras. Berarti besi cair yang tadinya besi kasar sekarang telah berubah menjadi baja yang belum sempurna.

Untuk mengatasi problema yang terjadi terhadap hasil dapur aduk, maka baja yang sudah keras tadi dibagi-bagi atau dipotong-potong dengan berat \pm 50 kg, bila jumlah besi kasar kelabu 500 kg, maka akan dapat dibagi 10 bagian.

Sesudah muatan dipotong-potong suhu dapur mulai dinaikan kembali, besi yang telah dipotong dipanaskan sekali digulung-gulungkan kian kemari agar menjadi bulat dan padat. Setelah itu baja yang masih dianggap kotor tadi didorong ke jembatan api, kemudian suhu dapur tambah dipertinggi, akibatnya terak-terak yang masih ada pada dapur akan keluar. Kenyataannya baja masih mengandung kotoran-kotoran yang perlu dikeluarkan, maka untuk itu perlu diusahakan cara lain, agar baja tambah baik.

Usaha lain dimaksud adalah sebagaimana yang dikatakan oleh Soedjono, (1978 : 31). Gumpalan-gumpalan tadi kemudian ditempa berulang kali dengan martil uap, sehingga sebahagian besar dari kotoran-kotoran pembakar masih tertinggal dapat dikeluarkan seluruhnya dan bagian-bagian menjadi padat.

Hasil dapur aduk dimasukkan kedalam bak pendingin dan sesudah digiling hingga membentuk batang-batang besi atau menjadi besi-besi gelagar.

Batang-batang gelagar diuji zat arangnya dengan cara mematahkan dan memeriksa bekas patahan. Bila menginginkan hasil dapur aduk berkualitas baik, maka batangan-batangan gelagar dipotong dengan ukuran sekitar 1 meter. Batangan baja ukuran 1 meter tadi diikat dengan kawat dan dibuat bagaikan paket-paket. Batang yang berbentuk paket akan diolah pada dapur

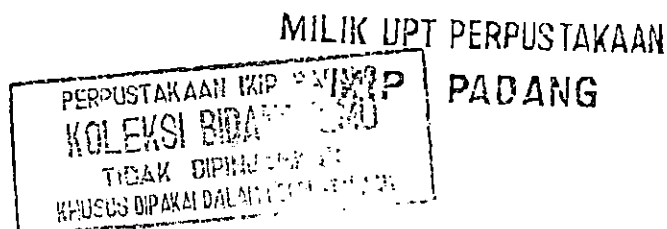
atau tanur lain, seperti tanur listrik, tanur terbuka dan lain-lain.

Melihat dari proses pengolahan diatas dapat disimpulkan, bahwa proses dapur aduk secara garis besar dapat dibagi 5, yaitu :

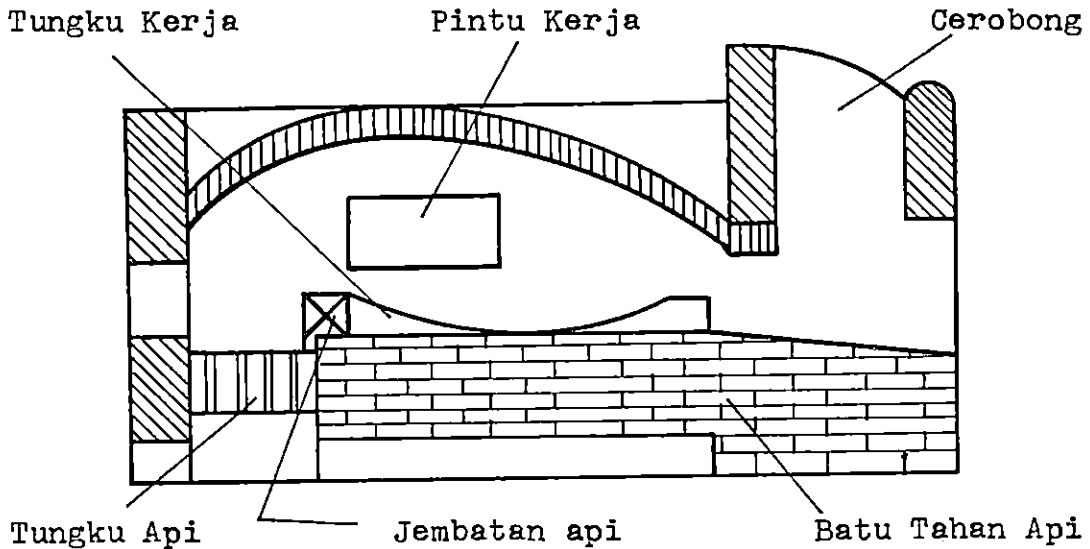
- a. Proses awal, dimana pada saat ini muatan mengalami panas untuk melebur kemencair dengan suhu 600 sampai 1000°C.
- b. Proses pencairan rata, disini terlihat secara jelas muatan rata-rata telah mencair akan bergerak menuju pendidihan dengan suhu 1000°C - 1200°C.
- c. Proses pengurangan karbon, selama proses ini karbon mulai berkurang dengan membentuk gas CO dan CO_2 .
- d. Proses penyelesaian tidak sempurna, berhubung kemampuan dapur aduk terbatas dalam menahan panas, yaitu tidak boleh lebih dari 1300°C, akibatnya tidak seluruh kotoran dan zat asam arang keluar.
- e. Proses penyelesaian sempurna, muatan-muatan yang tadinya sudah membeku, maka dilakukan proses lanjutan dengan membagi-bagi muatan sekitar 50 kg dan kemudian dipanaskan serta diproses lagi.

Bila yang diproses itu besi kasar putih, maka pengeluaran zat arangnya lebih cepat, karena boleh dikatakan unsur silisium tidak ada yang melindungi. Proses pengolahan besi kasar putih atau besi kasar kelabu dalam dapur aduk pada dasarnya diharap dapat menghasilkan baja atau besi tempa.

Baja atau besi tempa sering juga disebut besi aduk yang mengandung unsur besi (Fe) kira-kira 98-99% unsur karbon (C) berkisar sekitar 0,01-0,2 %. Baja ini mempunyai sifat kenyal, keras dan tahan karat dalam atmosfer. Baja ini mudah dilas, ditempa, pada dunia perdagangan sering digunakan untuk membuat rantai



rantai, kopleng, takal, jalan kereta api dan tahan terhadap goncangan yang berselang seling.



Gbr. 19 Tanur Aduk
(Syamsul Arifin, 1980 : 30)

G. Dapur Cawan

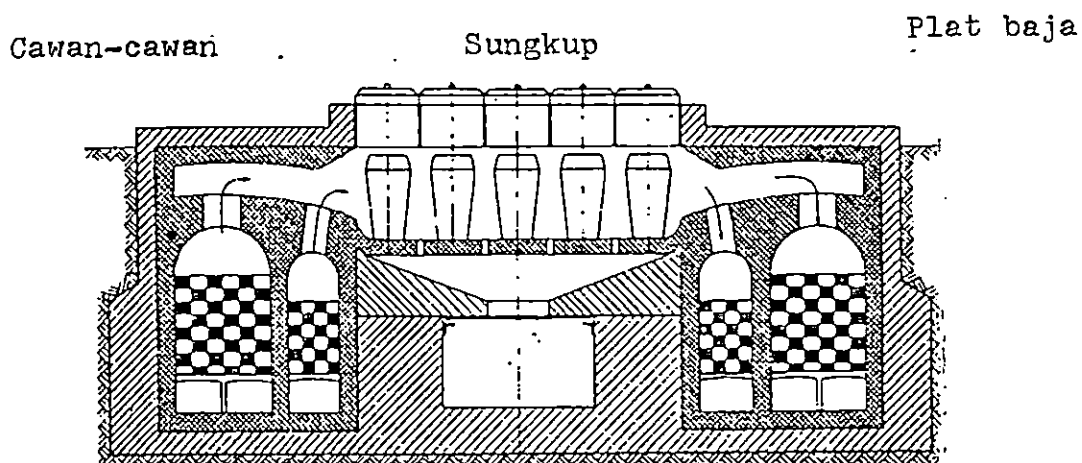
Dapur cawan ialah sebuah dapur nyala api regenerator seperti dapur Siemens-Martin. Tetapi pencairan tidak berlangsung di dalam tungku, melainkan di dalam cawan-cawan yang berdiri didalam dapur dalam leretan, banyaknya 20 sampai 100 buah. Cawan-cawan itu terbuat dari tanah liat tahan api dengan grafit (C). Membuatnya dengan jalan mengempa dan membubut, kemudian dikeringkan di udara sebulan lamanya, setelah itu dikeringkan kembali pada suhu 50°C dan dipijarkan didalam sebuah dapur.

Sebuah cawan isinya kira-kira 30 kg baja. Oleh karena cawan-cawan itu mempunyai tutup, maka gas-gas pembakaran tidak merugikan pada baja secara oksidasi. Oleh sebab itu baja cawan mempunyai kadar oksid yang kecil sekali. Sebagai bahan mentah dipakai baja semen

yang tidak mengandung fosfor dan silisium, yakni baja lunak yang dibungkus didalam arang kayu dan dipijarkan 8 hari lamanya dan mempunyai kadar zat arang 0,9-1,5 %. Sebagaimana yang diungkapkan oleh Vohdin (1981 : 34) bahwa bila dikehendaki kedalam cawan-cawan itu dapat ditambahkan campuran-tambahan lain (Ni, Cr, W, Mo, V dan lain-lain), yang ditimbang dengan teliti.

Dengan demikian diperolehlah segala jenis baja yang dicampur dalam kualitas yang murni dan homogen. Pembuatannya banyak memakan ongkos dan dilakukan hanya untuk jenis-jenis baja yang terbaik.

Sebagian dari zat-asam (O) yang diperlukan untuk proses cawan terdapat pada udara didalam cawan, sebagian lagi diberikan oleh karat dan kulit besi. Zat-arang (C) terbakar menjadi CO dan mendidihkan cairan. Disamping itu terjadi FeO. Kekurangan zat-arang diperbaiki oleh pengambilan zat-arang dari dinding-dinding cawan, sehingga sebagian FeO kembali direduksi. Sungguhpun demikian terak encer diatas cawan-cawan, yang terjadi dari kulit besi dan SiO₂ dari dinding cawan, banyak mengandung besi (FeO) yang berarti suatu kerugian. Suhu didalam dapur harus dijaga supaya tinggal tetap kira-kira 1700 °C.



Gbr. 19 Tanur Cawan
(Vohdin, 1981 : 34)

DAFTAR PUSTAKA

Polderman. T. 1954. Materialenkennis voor Metaalbewerkers
Teknik. H. STAM.

Beumer. B.J.M. 1978. Materialkunde, Jakarta: P.T.Bhratara
Karya Aksara.

Love George. 1986. Kerja Logam. Jakarta : Erlangga.

Vohdin. Ing. K.W. 1981. Mengolah Logam. Jakarta : Pradya
Paramita.

Djapri Sriati. 1985. Teknologi Mekanik I. Jakarta : Er-
langga.

Soedjono. 1978. Pengetahuan Logam. Jakarta : Departemen
Pendidikan Dan Kebudayaan.

Arifin Syamsul. 1980. Ilmu Logam I. Padang : FPTK IKIP.

Wardoyo. 1982. Proses Pengolahan Baja. Padang : FPTK IKIP.

Djapri Sriati. 1984. Teknologi Pengolahan Bahan. Jakarta:
Erlangga.