

KARYA ILMIAH

PERANCANGAN DAPUR KUPOLA

Oleh

Nama : Ir. Amra Siregar, MT.

Nip : 131 996 163



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2008**

KARYA ILMIAH

PERANCANGAN DAPUR KUPOLA

Oleh

Nama : Ir. Amru Siregar,MT.

Nip : 131 996 163



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2008**

KARYA ILMIAH

PERANCANGAN DAPUR KUPOLA

Oleh

Nama : Ir. Amru Siregar,MT.

Nip : 131 996 163

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UMA



(Drs. Dadan Ramdan, M.Eng.MSc.)

Penulis



(Ir. Amru Siregar, MT.)

Mengetahui

Ketua Lembaga Penelitian UMA



(Ir. Roeswandi)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini dengan baik. Hasil rancangan ini dimanfaatkan untuk melengkapi persyaratan kenaikan Jabatan fungsional dan pangkat & Golongan sebagai staf pengajar. Adapun judul karya ilmiah ini berjudul “ Perancangan Dapur Kupola ”.

Dalam penyusunan tugas rancangan ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan yang terjadi, oleh sebab itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan tugas rancangan ini.

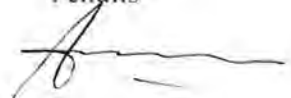
Pada kesempatan ini tidak lupa pula penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya atas segala bantuan, arahan dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas rancangan ini, yaitu kepada :

1. Bapak Ir. Roeswandi selaku Ketua Lembaga Penelitian UMA.
2. Bapak Drs. Dadan Ramdan, M.Eng.Sc. selaku Dekan Fak.Teknik UMA
3. Bapak-Bapak seluruh staf pengajar Fakultas Teknik UMA.

Akhir kata semoga tugas rancangan ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan untuk perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dimasa yang akan datang

Medan, Oktober 2008

Penulis



Ir. Amru Siregar, MT.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	2
1.3. BATASAN MASALAH	3
1.4. TUJUAN PERANCANGAN	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. PENGECORAN LOGAM	4
2.2. BAHAN CORAN	15
2.3. DAPUR KUPOLA	16
2.4. KAPASITAS PELEBURAN	20
2.5. PENGOPERASIAN KUPOLA	21
BAB III METODE PERANCANGAN	
3.1. JENIS DAPUR KUPOLA	26
3.2. PROSEDUR PERANCANGAN	27
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN	
DAPUR KUPOLA	
4.1. GEOMETRI DAPUR KUPOLA	29
4.2. BAHAN BAKAR DAPUR KUPOLA	33
4.3. BAHAN MUATAN DAPUR KUPOLA	34
4.4. LAPISAN BAHAN MUATAN	35
4.5. BAHAN MUATAN CAMPURAN LOGAM	38
4.6. KAPASITAS UDARA PEMBAKARAN	43

4.7. BALANCE MATERIAL SECARA KESELURUHAN	45
4.8. PEMBAKARAN DALAM DAPUR KUPOLA	45
4.9. PEMILIHAN BLOWER DAN MOTOR PENGGERAK	47
BAB V KESIMPULAN	48
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Diagram alir proses pengecoran	4
2. Gambar 2.2 Proses pembuatan cetakan secara manual	6
3. Gambar 2.3 Permukaan cetakan yang telah dipadatkan dan dihaluskan	7
4. Gambar 2.4 Kemiringan pola	9
5. Gambar 2.5 Kemiringan pada tebal dinding	10
6. Gambar 2.6 Sistem saluran pada pengecoran	12
7. Gambar 2.7 Diagram laju penuangan	14
8. Gambar 3.1 Jenis dapur kupola	26
9. Gambar 3.2 Diagram alir perancangan	27
10. Gambar 4.1 Geometri Dapur Kupola	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pengecoran logam merupakan suatu proses peleburan logam melalui pemanasan di dalam suatu dapur tinggi dan terkadang diberi perlakuan untuk mengubah komposisi kimia, selanjutnya dituangkan ke dalam wadah atau cetakan dan kemudian didinginkan.

Proses pengecoran merupakan proses pembentukan yang paling banyak digunakan dalam proses pembuatan benda-benda dari logam. Proses pengecoran memiliki fleksibilitas dan kemampuan/keandalan yang tinggi. Oleh karena itu proses pengecoran merupakan proses yang paling diminati dalam pembuatan komponen-komponen; mesin-mesin, peralatan industri, dan produk-produk teknologi lainnya.

Ada beberapa proses dalam kaitannya dengan proses pengecoran ini yaitu : (1) Proses pembuatan cetakan, (2) Proses pencairan logam, (3) Proses penuangan logam cair ke dalam tuangan, (4) Proses pendinginan, (5) Proses pembongkaran cetakan, dan (6) Proses penyelesaian akhir.

Pada produksi massal logam ferrous, cetakan dari bahan pasir selalu menjadi pilihan yang paling tepat, karena sifat-sifat cetakan pasir sangat fleksibel. Dengan sifat-sifat cetakan pasir ini menyebabkan hasil proses pengecoran ini mempunyai nilai ekonomis yang dapat bersaing dan sifat-sifat yang sesuai dengan yang diinginkan. Cetakan pasir biasanya dibuat dengan jalan memadatkan pasir yang telah dicampur dengan air dan bahan pengikat. Penggunaan bahan pengikat untuk memperkuat

cetakan dan juga memudahkan pembuatan cetakan. Pasir cetak dengan bahan pengikat akan menunjukkan berbagai sifat sesuai dengan kadar air. Karena itu kadar air harus diatur dengan baik begitu juga bahan pengikat.

Logam ferros merupakan salah satu logam cor, yang mempunyai nilai mampu cor cukup tinggi dan sangat sesuai dengan sifat-sifat cetakan pasir. Pada proses pengecoran logam ferrous aliran logam cair dipengaruhi oleh viskositas logam cair dan kekasaran permukaan cetakan pasir. Viskositas logam cair dipengaruhi oleh temperatur, sedangkan kekasaran permukaan sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat pasir cetak.

Selain masalah pada proses pembuatan cetakan, masalah pada tahapan pencairan logam juga merupakan masalah yang sangat penting diperhatikan dalam rangkaian pengecoran logam ini. Penggunaan dapur kupola memiliki banyak parameter yang perlu diperhitungkan. Konstruksi dapur kupola memungkinkan dilakukan suatu peleburan yang kontinu dan dimungkinkan pula pengontrolan komposisi kimia dengan tepat atau dimungkinkan diperoleh laju peleburan yang besar, sehingga diperoleh biaya pengecoran yang relatif rendah. Persoalan-persoalan ini masih memerlukan pembahasan yang lebih mendalam, sehingga pada akhirnya diperoleh suatu dapur kupola yang efektif dan efisien.

1.2. PERMASALAHAN

Perancangan dapur kupola merupakan permasalahan yang menjadi pokok bahasan dalam perancangan ini, sehingga pada akhirnya diperoleh suatu dapur kupola

yang efektif dan efisien untuk kapasitas yang dikehendaki. Selain perhitungan ukuran-ukuran utama dapur kupola, juga sistem peralatan lainnya menjadi bahan pembahasan pada perencanaan ini.

1.3. BATASAN MASALAH

Sebagaimana dijelaskan pada bagian latar belakang bahwa masalah-masalah pada perencanaan dapur kupola sangat kompleks. Dengan demikian pada perencanaan ini perlu dibatasi ruang lingkup perencanaan dapur kupola yaitu :

- (a) Geometri dapur kupola (bentuk dan ukuran dapur kupola).
- (b) Geometri komponen-komponen utama.
- (c) Analisa bahan baku pada proses peleburan.
- (d) Analisa bahan-bahan tambahan lainnya.

1.4. TUJUAN PERANCANGAN

Sebagaimana dijelaskan pada bagian batasan masalah dapatlah dibuat tujuan yang jelas dari perencanaan ini yaitu untuk mendapatkan geometri suatu dapur kupola dengan kapasitas 1 ton/jam bahan coran, dimana dapur kupola ini diharapkan bekerja dengan efisien dan efektif.

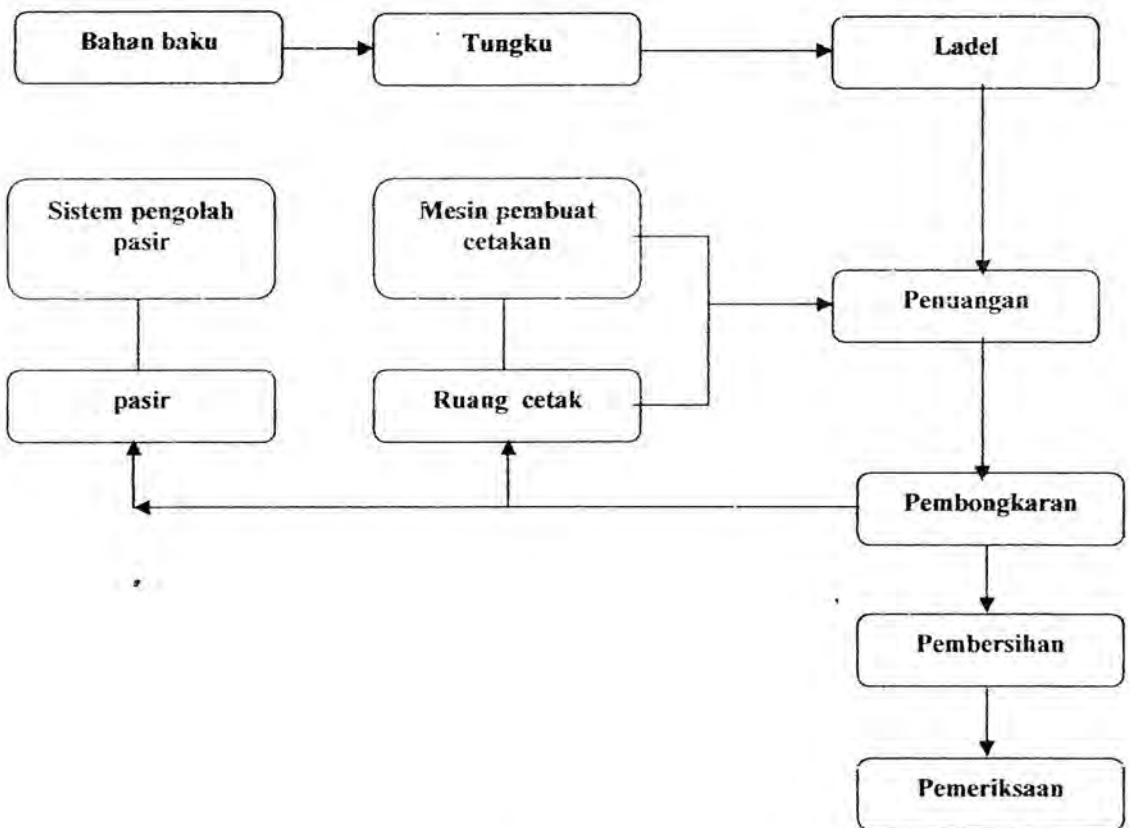
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. PENGECORAN LOGAM

2.1.1. Proses Pengecoran

Coran dibuat dari logam yang telah dicairkan yang dituang ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Proses pengecoran logam terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari persiapan bahan baku sampai pemeriksaan akhir coran seperti diperlihatkan pada diagram alir proses pengecoran di bawah ini :



Gambar 2.1. Diagram alir proses pengecoran

Untuk memperoleh logam cair yang baik, sebaiknya dipergunakan jenis dapur yang disesuaikan dengan bahan baku yang akan dicairkan, misalnya; untuk besi cor dipergunakan dapur induksi frekwensi rendah, sedangkan untuk membuat coran bahan baja tuang dipergunakan dapur induksi frekwensi tinggi dan untuk paduan tembaga atau coran paduan logam-logam ringan dipergunakan dapur kurs.

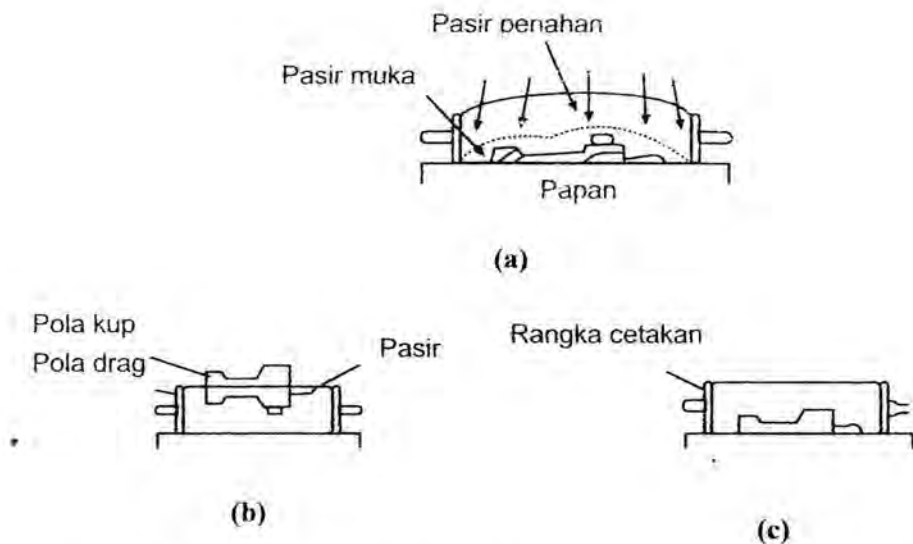
Proses penuangan logam cair melalui pintu cetakan yang disebut saluran masuk. Saluran masuk harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran coran, serta tidak ada udara yang terkurung atau terjebak di dalam cetakan. Setelah penuangan, coran didinginkan sampai membeku dan dilanjutkan dengan proses tahapan akhir yaitu coran dikeluarkan dari cetakan, dibersihkan, proses finishing, dan pemeriksaan geometri benda coran.

2.1.2. Pembuatan Cetakan

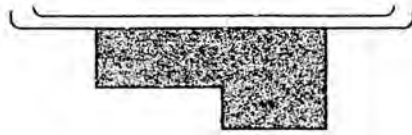
Cetakan pasir dibuat dari pasir cetak yang dipadatkan. Pasir cetak yang digunakan biasanya pasir alam atau pasir yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal asal memakai pasir cetak yang cocok. Permukaan cetakan biasanya diberi bahan pengikat, seperti : air kaca, semen, resin, furan resin fanol atau minyak pengering yang bertujuan memperkuat cetakan atau mempermudah pembuatan cetakan. Ada 2 cara untuk membuat cetakan :

(a) Pembuatan cetakan dengan tangan. Pembuatan cetakan pasir dengan tangan yaitu dari pasir basah dengan urutan sebagai berikut ; (1) Pola dan rangka cetakan untuk drang diletakkan di atas papan cetakan, (2) Tebalnya pasir 30 sampai 50

mm, dimana letak saluran turun ditentukan terlebih dahulu, (3) Pasir muka yang telah banyak ditaburkan untuk menutupi permukaan pola dalam rangka cetak. Lapisan pasir muka dibuat setebal 30 mm (gambar 2.2.a), (4) Pasir cetak ditimbun di atasnya dan dipadatkan, setelah pasir memadat cetakan diangkat bersama pola dari papan cetakan, (5) Cetakan dibalik dan diletakkan pada papan cetakan, dan setengah pola lainnya bersama-sama rangka cetakan untuk kup dipasang di atasnya, kemudian bahan pemisah ditaburkan dipermukaan pisah dan dipermukaan pola, (gambar 2.2.b), (6) Inti yang telah selesai dibalik atas pengering seperti (gambar 2.2.c) berikut dan dibulatkan pada sudut-sudutnya oleh spatula atau dihaluskan permukannya, (gambar 2.3)



Gambar 2.2 Proses pembuatan cetakan secara manual, (a) pasir muka untuk menutupi pola, (b) pemasangan kup dan drag, (c) cetakan dibalik dan diletakkan pada papan cetakan



Gambar 2.3. Permukaan cetakan yang telah dipadatkan dan dihaluskan

- (b) Telapak inti. Inti biasanya mempunyai tapak inti yang bertujuan agar pada hasil coran nantinya akan terbentuk lubang. Lubang saluran ini juga dapat berfungsi menyalurkan udara dan gas dari cetakan pada saat pengecoran.

2.1.3. Pasir Cetak

- (a) Syarat pasir cetak. Pasir cetak memerlukan sifat – sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut : (1) Mampu bentuk dengan kekuatan yang sesuai, (2) Permeabilitas yang baik, (3) Distribusi besar butiran pasir yang cocok, (4) Tahan panas terhadap temperatur logam yang dituang, (5) Kompisisi yang sesuai, (6) Mampu dipakai ulang, (7) Pasir harus murah.
- (b) Jenis-jenis pasir cetak, adalah sebagai berikut ; (1) pasir gunung, (2) pasir pantai, (3) pasir sungai, (4) pasir silika.

Titik maksimum dari kekuatan dan permeabilitas adalah keadaan dimana butir-butir pasir dikelilingi oleh ketebalan tertentu dari campuran lempeng dan air.

2.1.4. Pola

Pola yang digunakan untuk pembuatan cetakan benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan kayu. Pola logam digunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran coran, terutama produksi massal dan bisa tahan lama serta produktivitasnya lebih tinggi. Pola kayu dibuat kayu, murah, mudah dan pembuatannya lebih cepat dibanding pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir.

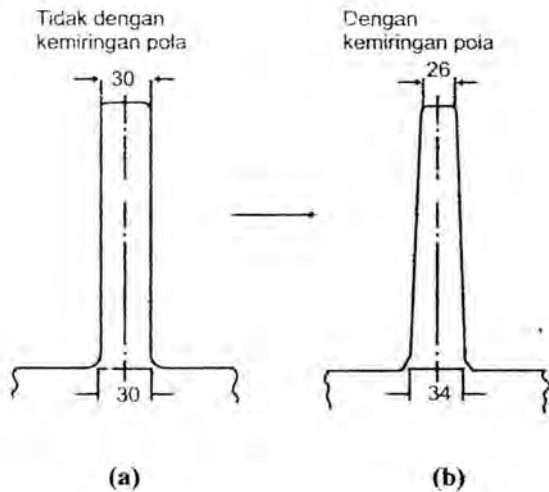
Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambar perencanaan menjadi gambar untuk pengecoran. Dalam hal ini dipertimbangkan bagaimana membuat coran yang baik, bagaimana menurunkan biaya pembuatan cetakan, bagaimana membuat pola yang mudah, bagaimana menstabilkan inti – inti, bagaimana cara mempermudah pembongkaran cetakan, kemudian menetapkan arah krup dan drag, posisi permukaan pisah, bagian yang dibuat cetakan utama dan bagian yang dibuat oleh inti.

(a) Tambahan Penyusutan. Coran menyusut pada waktu pembekuan, sehingga ukuran pola perlu mempergunakan “Mistar susut” yang telah diperpanjang sebelumnya sebanyak tambahan penyusutan pada ukuran pola. Ukuran coran dibuat dengan kelebihan tebal penyusutan seperlunya. Kelebihan tebal ini berbeda menurut jenis bahan, besarnya ukuran, menurut arah kup dan drag, dan keadaan pekerjaan mekanis. Pada tabel 2.1 diperlihatkan variasi tebal penyusutan tersebut.

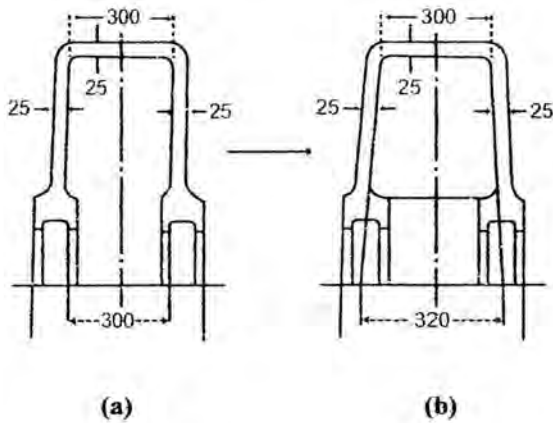
Tabel 2.1. Tambahan Penyusutan yang disarankan

Tambahan Penyusutan	Bahan
8/1.000	Besi cor, baja cor tipis.
9/1.000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut.
10/1.000	Sama dengan di atas dan alumunium.
12/1.000	Paduan alumunium, brons, baja cor (tebal 5-7 mm).
14/1.000	Kuningan kekuatan tinggi, baja cor.
16/1.000	Baja cor (tebal lebih dari 10 mm).
20/1.000	Coran baja yang besar.
25/1.000	Coran besar dan tebal.

(b) Kemiringan Pola. Permukaan-permukaan tegak dari pola dimiringkan mulai dari permukaan pisah, untuk memudahkan pengangkatan pola dari cetakan. Pola logam membutuhkan kemiringan 1/200, dan pola kayu membutuhkan kemiringan 1/30 s/d 1/100.



Gambar 2.4. (a) tidak dengan kemiringan pola. (b) dengan kemiringan pola



**Gambar 2.5 (a) Kemiringan pola pada tebal dinding
(b) Kemiringan pola pada keseluruhan**

Pada saat pembekuan coran, selain penyusutan juga terjadi kelenturan yang tergantung pada bentuknya. Untuk menghindari hal ini, maka pola disengaja dilenturkan dengan membuat petunjuk dalam rencana pembuatan pola, agar disampingkan ke arah yang berlawanan, seperti dengan jalan menempatkan rusuk-rusuk atau penambahan tebal sesuai dengan besarnya lenturan yang diharapkan.

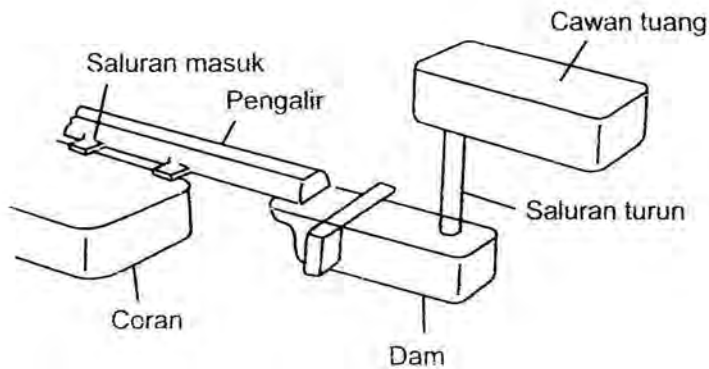
- (c) **Bahan Pola.** Bahan-bahan yang dipakai untuk pola ialah kayu, resin atau logam. Dalam hal khusus dipakai plaster atau lilin; (1) **Kayu**, umumnya dipakai untuk pembuatan pola adalah kayu saru, jati aras, pinus, mahoni. Pemilihan kayu tergantung pada macam dan ukuran pola, jumlah produksi, dan lamanya dipakai. Kayu dengan kadar air lebih dari 14% tidak dapat dipakai karena terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air kayu. (2) **Resin sintesis.** Epoksi adalah jenis sintetis yang baik digunakan karena mempunyai sifat penyusutan yang kecil pada waktu mengeras, daya tahan arus tinggi dengan menambah pengenceran

maka akan memberikan pengaruh yang baik. (3) **Pola logam.** Bahan yang dipakai untuk pola logam adalah besi cor. Umumnya digunakan besi cor kelabu karena sangat tahan aus, tahan panas dan tidak mahal. Kadang-kadang besi cor liat dipakai agar lebih kuat. Paduan tembaga juga sering dipakai untuk pola cetakan kulit agar dapat memanaskan cetakan yang tebal secara merata. Alumunium adalah ringan dan mudah diolah, sehingga sering dipakai untuk plat pola atau pola untuk mesin membuat cetakan. Baja khusus dipakai untuk pena atau pegas sebagai bagian dari pola yang memerlukan keuletan.

2.1.5. Rencana Pengecoran

Pada pembuatan cetakan, harus memperhatikan saluran turun yang mengalirkan cairan logam ke dalam rongga cetakan. Besar dan bentuknya ditentukan oleh ukuran tebalnya irisan dan macam logam yang dicairkan. Kualitas coran tergantung pada saluran turun, penambah keadaan penuangan dan lain-lainya, maka penentuannya memerlukan pertimbangan yang diteliti.

(b) Sistem Saluran. Sistem saluran adalah jalan masuk cairan logam yang dituangkan ke dalam rongga cetakan. Cawan tuang merupakan penerima cairan logam langsung dari ladle. Saluran turun adalah saluran yang pertama membawa cairan logam dari cawan tuang ke dalam pengalir dan saluran masuk. Pengalir adalah saluran yang membawa logam cair dari saluran turun ke bagian – bagian yang cocok pada cetakan. Saluran masuk adalah yang mengisikan logam cair dari pengalir ke dalam rongga cetakan.



Gambar 2.6 Contoh sistem saluran pada pengecoran

(c) **Bentuk sistem aliran.** (1) **Cawan tuang.** Cawan tuang berbentuk corong dengan saluran turun di bawahnya. Konstruksinya harus tidak dilalui yang terbawa dalam logam cair dari ladle. Oleh karena itu cawan tuang tidak boleh terlalu dangkal. (2) **Saluran turun.** Saluran turun dibuat lurus tegak dan irisan berupa lingkaran. Kadang – kadang irisannya sama dari atas sampai bawah, atau mengecil dari atas ke bawah. Pertama dipakai kalau dibutuhkan yang cepat dan lancar. Sedangkan yang kedua apabila diperlukan penahan kotoran sebanyak mungkin. (3) **Pengalir.** Pengalir biasanya mempunyai irisan trapesium atau setengah lingkaran sebab irisan demikian mudah dibuat pada permukaan pisah, lagipula pengalir mempunyai luas permukaan terkecil untuk satu luas irisan tertentu, sehingga lebih efektif untuk pendinginan yang lambat, (4) **Saluran Masuk.** Saluran masuk dibuat dengan irisan yang lebih kecil dari pada irisan pengalir, agar dapat mencegah kotoran masuk ke dalam rongga cetakan. Bentuk irisan saluran masuk biasanya bujur sangkar, trapesium, segitiga atau setengah lingkaran yang membesar ke arah rongga cetakan

untuk mencegah terkikisnya cetakan. Operator pembuat cetakan biasanya menentukan sistem saluran untuk pengecoran secara empiris.

2.1.6 Pemilihan sistem saluran

Pemilihan system saluran dilakukan sebagai berikut :

- (a) **Menentukan waktu tuang.** Waktu tuang T dipilih sesuai dengan jumlah berat logam cair yang dituang W, dengan menggunakan rumus empiris.
- (b) Menentukan volume penuangan Q persatuan waktu dari jumlah berat yang dituang W, waktu tuang T dan berat jenis logam (γ).

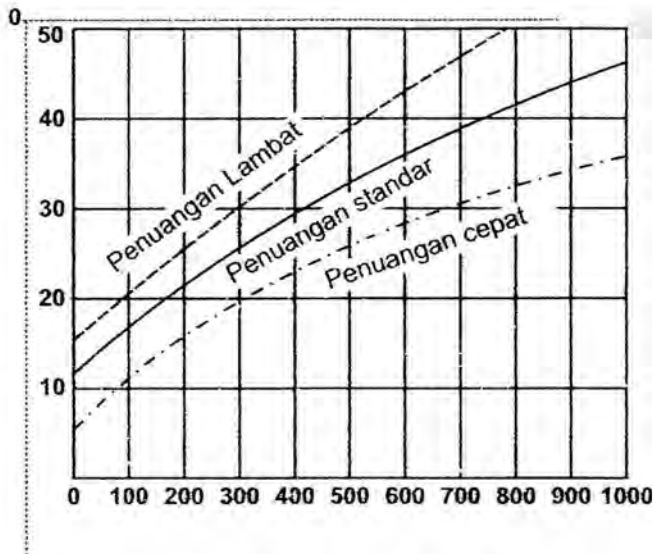
$$\frac{W}{T \cdot \gamma} = Q = V \cdot a \dots\dots\dots(\text{Surdia})$$

- (c) **Volume Tuang.** Volume tuang Q persatuan waktu ialah parkalian dari luas irisan dari saluran masuk a dan kecepatan rata-rata logam v, sehingga a ditentukan dari v dan v dihitung dari tinggi saluran h dengan :

$$V = C \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \dots\dots\dots (\text{Surdia})$$

Dimana g adalah percepatan gravitasi, dan C adalah kefisien aliran

- (d) Kalau saluran masuk lebih dari dua, luas irisan dibagi oleh banyaknya saluran masuk.
- (e) Ukuran saluran turun dan alir ditentukan dari jumlah luas irisan saluran masuk.



Gambar 2.7 Diagram laju penuangan

2.1.7. Penuangan Besi Cair

- (a) **Ladel Penuang.** Besi cair yang dialirkan dari tanur pelebur diterima oleh ladel kemudian dituang ke dalam cetakan, ladel biasanya berbentuk kerucut atau silinder, ladel dibuat dari plat baja dan bagian dalamnya dilapisi bahan tahan api. Ladel terdiri dari jenis gayung. Ladel dengan jepitan pembawa, ladel yang dapat dimiringkan dengan luas tangan (kapasitas 10-2000 kg), ladel yang dapat dimiringkan dengan roda gigi dan sebagainya.
- (b) Pengeringan ladel yang telah dilapisi dikeringkan dengan burner gas atau burner minyak residu selama setengah jam sampai satu jam. Pengeringan ladel yang tidak sempurna menyebabkan turunnya temperatur logam cair, oksidasi dari cairan seperti coran, seperti rongga udara, lubang-lubang jarum dan sebagainya.
- (c) Temperatur penuangan banyak mempengaruhi kualitas pengecoran, kalau temperatur terlalu rendah waktu pembekuannya pendek, kecairan yang buruk akan

menyebabkan cacat coran seperti rongga penyusutan, rongga udara, salah alir dan sebagainya.

(d) Waktu penuangan dalam penuangan logam cair dilakukan dengan tenang dan cepat. Selama penuangan yang perlu ditentukan dengan mempertimbangkan berat tebal coran, sifat cetakan dan sebagainya.

2.2. BAHAN CORAN

2.2.1. Besi Cor

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon, sisilium, mangan, fosfor, dan belerang. Besi cor ini digolongkan menjadi enam macam yaitu : Besi cor kelabu, Besi cor kelas tinggi, Besi cor kelabu paduan, Besi cor bergrafit bulat, Besi cor yang dapat ditempa.

2.2.2. Baja Cor

Baja cor dapat digolongkan dalam baja karbon dan baja paduan. Coran baja karbon adalah paduan besi karbon dapat digolongkan menjadi tiga macam , yaitu baja karbon rendah ($C < 0,20\%$) baja karbon menengah ($0,20 - 50 \% C$) dan baja karbon tinggi ($C > 0,5\%$). Baja paduan adalah baja cor yang ditambahkan unsur-unsur paduan. Salah satu atau beberapa dari unsur-unsur paduan seperti mangan, khrom, molibden atau nikel dibutuhkan untuk memberikan sifat-sifat khusus dari baja paduan.

2.2.3. Coran Paduan Tembaga

Macam-macam coran tembaga adalah perunggu, kuningan, kuningan kekuatan tinggi, perunggu, alumunium dan sebagainya. Perunggu adalah paduan antara tembaga

dan timah, dan perunggu yang biasanya dipakai mengandung kurang dari 15%. Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng. Kuningan kekuatan tinggi adalah kuningan yang mengandung tembaga, aluminium, besi, mangan, nikel. Perunggu aluminium adalah tembaga, aluminium, yang meningkatkan sifat ketahanan aus dan korosi.

2.2.4. Coran Paduan Tinggi

Coran paduan tinggi adalah coran paduan magnesium, aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanis yang jelek. Oleh karena itu dipergunakan paduan aluminium dengan penambahan tembaga, silikon, magnesium, mangan dan nikel.

2.2.5. Coran Paduan lainnya

Paduan seng yang mengandung sedikit aluminium dipergunakan untuk pengecoran cetak. Logam monei adalah paduan nikel yang mengandung tembaga dan hasteloy mengandung molibden, chrom dan silikon. Paduan timbal adalah paduan antara timbal, tembaga dan timah, dan logam bantalan adalah paduan dari timbal, tembaga dan stibium.

2.3. DAPUR KUPOLA

2.3.1. Kontruksi Dapur Kupola

Kontruksi kupola yang umum dibuat dari silinder baja yang tegak lurus, yang dilapisi bata yang tahan api, secara luas kupola dipergunakan untuk peleburan besi cor, sebab mempunyai keuntungan unik seperti :

- (a) Kontruksinya sederhana dan operasinya mudah.
- (b) Memberikan kemungkinan peleburan kontinu.
- (c) Memungkinkan untuk mendapatkan peleburan yang besar untuk tiap jamnya.
- (d) Ekonomis untuk alat-alat peleburan.
- (e) Memungkinkan pengontrolan komposisi kimia

Bahan baku pada dapur kupola yaitu logam dan kokas masuk dari pintu pengisian. Udara ditiupkan ke dalam dapur melalui tuyer, kokas terbakar dan bahan logam mencair. Logam yang cair dan terak keluar melalui cerat dan lubang terak, terletak dibagian bawah dapur kupola. Jadi di dalam kupola logam dipanaskan langsung oleh panas pembakaran dari kokas hingga mencair, oleh karena itu dapur kupola sangat efisien.

2.3.2. Tinggi Efektif

Tinggi efektif dapur kupola dihitung sebagai tinggi dari pertengahan tuyer sampai bagian bawah pintu pengisian. Di daerah ini logam dipanaskan mula, oleh karena itu kupola yang panjang dan efektif untuk perpindahan panas, tetapi kupola yang terlalu panjang nantinya akan mempunyai tahanan yang besar terhadap aliran gas sehingga akan memiliki resiko terjadinya penghancuran kokas. Jadi syarat-syarat ini dipertimbangkan sehingga tinggi efektif kupola yang standart biasanya empat sampai lima kali diameter alam, diukur dari ketinggian tuyer.

2.3.3. Daerah Krus

Daerah krus adalah daerah bagian tuyer sampai ke dasar kupola. Daerah kupola memiliki perapian muka dibuat dangkal, sebab tidak perlu menyimpan logam cair di dalamnya. Tetapi tanpa perapian muka daerah krus dari kupola dibuat di dalam. Biasanya ukuran luas dipilih sedemikian sehingga dua atau tiga kali pengisian dapat ditampung dalam krus tersebut.

2.3.4. Lubang Carat dan Lubang Terak

Lubang carat dan lubang terak terletak di daerah krus, bentuk dari susunan dari lubang-lubang ini berbeda menurut cara pengeluaran besi cair dan terak. Proses pengeluaran besi cair dan terak melalui lubang-lubang tersebut sewaktu-waktu dilakukan dengan operasi tangan. Dalam proses itu unsur-unsur dalam besi cair berubah karena persentuhan langsung dengan kokas dan terak.

Proses pengeluaran terak dari depan (gambar 2.5) berlangsung dimana terak mengalir secara kontinu bersama logam dan sekaligus terak terpisah dari logam. Proses ini paling baik karena mempunyai kadar rebdah dari unsur-unsur lain.

Proses pengeluaran terak dari belakang (gambar 2.6) dalam proses ini lubang carat dan lubang terak dibuat pada yang berlainan sehingga tidak perlu lagi memisahkan terak.

1.3.5. Tuyer

Tuyer berfungsi memasukkan barang untuk pembakaran kokas pada aliran volume dan tekanan yang memadai. Jadi jumlah luas penampang tuyer yang terlalu kecil menyebabkan kecepatan udara terlalu tinggi dan menurunkan temperatur dari gas pembakaran. Sebaliknya luas yang besar menurunkan temperatur dari gas pembakaran yang tidak seragam tidak tercapai. Biasanya perbandingan tuyer 5 – 6 untuk kupola kecil, dan 8 – 12 untuk kupola besar, jumlah tuyer dipilih secara empirik dalam jumlah genap seperti dalam tabel 2.2. berikut :

Tabel 2.2 Jumlah Tuyer Pola

Diameter dalam dari kupola (mm)	< 600	600 – 900	> 900
Jumlah tuyer	4 – 6	6 – 12	10 – 12

Bentuk tuyer yang biasa dipakai adalah : silinder, bujur sangkar, bentuk kipas. Bentuk kipas biasanya dipakai untuk kupola besar dan sedang karena irisan sebelah kanannya lebih besar dengan maksud tiupan udara ke dalam dapur akan merata. Untuk bahan tuyer disarankan besi cor atau baja cor, sebab bahan tersebut mempunyai sifat dapat mempertahankan ukuran tuyer dengan teliti dalam operasi.

2.3.6. Kotak Udara

Kotak udara gunanya untuk mengumpulkan udara yang ditiupkan oleh blower dan memberikan udara secara merata ke dalam dapur melalui tuyer. Lebar kotak udara standart sama dengan diameter pipa tiup dengan tingginya empat kali lebih besar.

2.3.7. Pembagian Daerah Dalam Kupola

Bagian dari mulai pintu pengisian sampai lubang keluar dibagi menjadi beberapa daerah seperti disebutkan di bawah ini sesuai dengan keadaan bahan baku dalam kupola, yaitu :

- (a) **Daerah Pemanasan Mula.** Adalah bagian dari pintu pengisian sampai di tempat dimana logam mulai cair selama turun di daerah ini logam melalui pemanasan mula
- (b) **Daerah Lebur.** Adalah bagian atas dari alas kokas dimana logam mencair
- (c) **Daerah Panas Lanjut.** Adalah bagian dari bawah daerah lebur sampai rata tuyer. Logam cair dipanaskan lanjut selama turun ke daerah ini
- (d) **Daerah Krus.** Adalah bagian dari tuyer sampai dasar kupola, logam cair dan sebagian kecil terak ditampung ke daerah ini
- (e) **Daerah Oksidasi.** Adalah dari mulai sampai rata tengah alas kokas. Dalam daerah ini kokas dioksidasi oleh udara yang ditiupkan melalui tuyer
- (f) **Daerah Reduksi.** Adalah bagian dari daerah oksidasi dimana gas CO₂ yang timbul di daerah oksidasi reduksi oleh kokas.

2.4. KAPASITAS PELEBURAN

Kapasitas peleburan dari kupola dinyatakan oleh laju peleburan dalam ton/jam. Kapasitas peleburan berubah menurut volume udara tiup. Perbandingan besi dan kokas serta syarat-syarat operasi peleburan lainnya yang mempunyai diameter kupola sama. Kapasitas peleburan dari kupola bisa ditunjukkan pada tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3. Hubungan Antara Diameter Kupola

Diameter dalam D(mm)	Luas irisan A(m ²)	Laju Peleburan (ton/jam)					
		Perbandingan Efktif Besi Pada Kokas (%)					
		8	10	12	14	16	18
300	0.071	0.74	0.64	0.57	0.52	0.47	0.42
350	0.096	1.0	0.9	0.8	0.7	0.64	0.58
400	0.126	1.3	1.1	1.0	0.9	0.83	0.76
450	0.159	1.7	1.4	1.3	1.2	1.05	0.95
500	0.196	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2
550	0.238	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	1.4
600	0.283	3.0	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7
650	0.323	3.5	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0
700	0.385	4.1	3.5	3.1	2.8	2.6	2.3
750	0.442	4.7	4.0	3.6	3.3	2.9	2.7
800	0.503	5.3	4.6	4.1	3.7	3.3	3.0
850	0.567	6.0	5.2	4.6	4.2	3.8	3.4
900	0.636	6.7	5.8	5.2	4.7	4.2	3.8
950	0.709	7.5	6.4	5.8	5.2	4.7	4.3
1000	0.785	8.3	7.1	6.4	5.8	5.2	4.7
1.050	0.866	9.2	7.9	7.0	6.3	6.7	5.2
1.100	0.950	10.0	8.6	7.7	7.0	6.3	5.7
1.150	1.039	11.0	9.5	8.4	7.3	6.9	6.3
1.200	1.131	12.0	10.3	9.2	8.3	7.5	6.8
1.250	1.227	13.0	11.2	10.0	9.0	8.1	7.4
1.300	1.327	14.0	12.1	10.8	9.7	8.8	8.0
1.350	1.431	15.1	13.0	11.6	10.5	9.5	8.6
1.400	1.539	16.3	14.0	12.5	11.3	10.2	9.3
1.450	1.651	17.5	15.0	13.4	12.1	11.0	10.0
1.500	1.767	18.7	16.1	14.3	13.0	11.7	10.6

2.5. PENGOPERASIAN KUPOLA

2.5.1. Pelapisan

Bahan yang dipergunakan untuk lapisan kupola adalah batu tahan api atau bahan tahan api penambal yang dapat dicorkan. Operasi dengan lapisan asam memerlukan bahan tahan api samotatau batu talek. Sedangkan operasi dengan lapisan basa memerlukan bahan tahan api maknesia atau dolomit.

Ketebalan yang dikehendaki dari adonan kira-kira 3 mm sampai 4 mm dan untuk pengikat dipakai air sedikit mungkin. Kupola yang baru dilapisi sebaiknya dikeringkan

secara alamiah untuk 2 atau 3 hari, kemudian dilanjutkan dengan membakar kokas atau kayu sekurang kurangnya satu hari satu malam.

persiapan kupola dimulai dengan memperbaiki lapisan yang terkena erosi selama pembakaran yang lalu. Mula-mula pintu dasarnya dibuka dan baru tempat yang terkena erosi diperbaiki setelah bagian dalam dari kupola mendingin. Perbaikan ini dibatasi pada daerah lebur yang bertemperatur tinggi. Terak, kokas dan besi yang melekat pada dinding dedaerah lebur dibuang dengan pahat atau palu pneumatik sampai batu tahan api terlihat. Lapisan diperbaiki dengan batu tahan api atau bahan penambah tergantung pada dasarnya erosi, sampai pada ukuran semula. Sebaiknya kadar air pada adik mortir dan bahan penambah diusahakan sekecil mungkin. Pada perbaikan tuyer dan lubang ceret terus diperhatikan ukuran, bentuk dan sudut.

Setelah perbaikan dinding dan lubang selesai, pintu dasar tutup dan pasir cetak ditebarkan di atasnya setebal 30 mm sampai 50 mm. Selanjutnya pasir dasar ditabur diatas pasir cetak dan terus dipadatkan campuran pasir dilihat tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4. Campuran Pasir Alas Kupola

Contoh Campuran	Bahan (%)				
	Pasir silika	Tepung Bata samot	Lempung	Bata api Mortir	Tempung Kokas
A	40	7	3		
B	20	40	40		
C	70-80			20-30	

Dasar dibuat miring daerah lubang cetak dengan kemiringan 5/1000 sampai 10/1000 kemiringan ini memberikan hasil baik pada pengeluaran pada besi cair.

Tebalnya sekurang-kurangnya 200 mm dan ditentukan dengan memperhatikan ukuran kupola dan jam pemakaian.

2.5.2. Persiapan

Setelah kupola diperbaiki dan dikeringkan, pelayanan harus dipersiapkan kira-kira 3 sampai 4 jam sebelum jadwal waktu pengeluaran. Pemanasan mula dilakukan dengan membakar alas kokas, kayu dan diberi minyak atau dengan burner disertai tiupan, apabila digunakan burner gas khusus untuk penyalaan, alas kokas langsung bisa nyala tanpa kayu bakar.

Tiupan mula dilakukan juka api pembakaran telah mencapai bagian atas dari alas kokas, lubang-lubang pengintip ditutup dan peniupan mulai dilakukan selama 3 sampai 5 menit, selama tiupan mula alas kokas harus diatu sampai mencapai tinggi yang benar, yaitu diukur dari pintu pengisian dengan menggunakan rantai atau batang baja. Untuk kopola kecil yang diameter dalamnya kurang dari 700 mm tingggi alas kokasnya 1,5 sampai 1,8 kali diameter dalam dan untuk kupola besar 1200 sampai 1300 mm.

Jumlah bahan logam sebagai muatan dihitung berdasarkan daftar penyusunan bahan. Berat satu muatan logam disarankan $1/10 + 1/15$ dari laju peleburan perjam. Jumlah muatan kokas ditentukan berdasarkan angka perbandingan besi dan kokas. Jumlah batu gamping sebagai sumber terak disarankan 25%÷35% dari berat kokas.

2.5.3. Cara Pengoperasian

Setelah bahan bakar dimuat sampai mencapai bagian bawah pintu pengisian, logam dipanaskan mula selama 15÷20 menit tanpa tiupan. Pemanasan mula yang terlalu lama menyebabkan turunnya tinggi alas kokas karena alas kokas terus terbakar. Setelah pemanasan mula, tiupan udara dimulai. Tetesan besi cair dapat dilihat melalui lubang pengintip 3 atau 4 menit berikutnya. Biasanya pembukaan pertama dari lubang cerat dilakukan 20 menit setelah tiupan dimulai.

Logam cair yang pertama mempunyai temperatur rendah dan mempunyai perubahan komposisi yang besar. Karena logam tersebut tidak dipakai untuk coran. Untuk mendapatkan logam cair yang bertemperatur tinggi sejak permulaan dipergunakan alas kokas yang tinggi dan tiupan udara yang berlebih atau ditambah 1÷2% kalsium karbida pada muatan kokas yang pertama.

Kokas, batu gamping dan logam harus dimasukkan pada sewaktu-waktu tertentu untuk mengisi kupola. Selama proses pencairan perlu dilakukan pengecekan pada laju pencairan, temperatur besi cair, tekanan udara tiup dan lain-lain. Jadi keadaan tungku yaitu temperatur, tekanan, tinggi alas kokas dan sebagainya harus diusahakan stabil. Walaupun kupola beroperasi pada angka perbandingan yang cocok antara besi dan kokas, namun karena pemakaian yang telah lama akan terjadi penurunan alas kokas disebabkan erosi pada pelapisan dalam tungku di daerah cair. Oleh karena itu, agar tinggi alas kokas tetap, maka perlu diisikan kokas tambahan kira-kira satu muatan untuk tiap-tiap 1 jam atau ½ jam. Menjelang akhir operasi, tekanan udara turun disebabkan penurunan tinggi alas kokas, karena itu katup udara perlu diturunkan agar

volume udara tiup tetap. Kalau operasi dilanjutkan sampai logam dalam dapur semuanya mencair, hal ini dapat menyebabkan melekatnya besi pada lapisan dalam dapur karena percikan besi cair, erosi dari bata tahan api, oksidasi dari besi dan lain sebagainya. Oleh karena itu tiupan udara dihentikan sementara 2 atau 3 muatan berada diatas kokas.

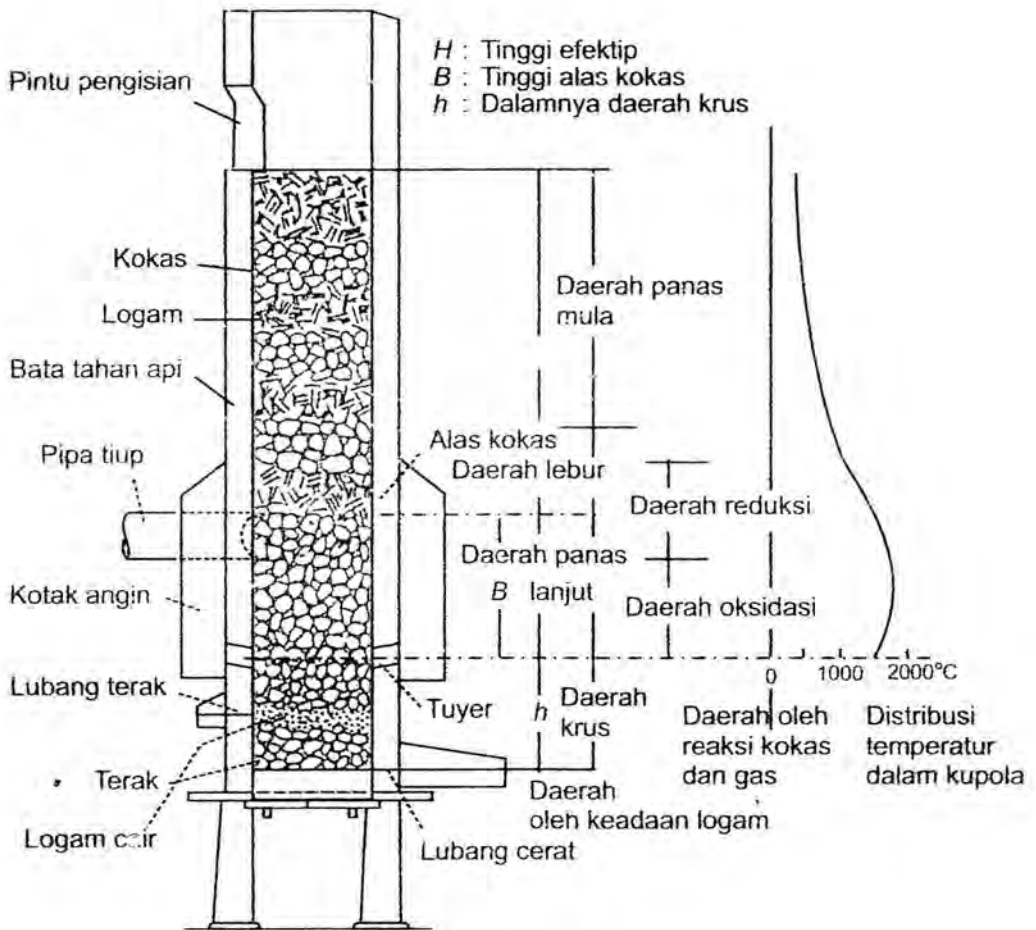
Serentak dengan penghentian tiupan udara, lubang intip tuyer dibuka, besi dan terak dikeluarkan dari lubang cetak dan lubang terak. Kemudian pintu dasar kupola dibuka dan intinya dijatuhkan diatas pasir yang sudah ditabur di bawah kupola.

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1. JENIS DAPUR KUPOLA

Sebagaimana telah dijelaskan pada landasan teori, jenis dapur yang akan adalah jenis dapur kupola, seperti diperlihatkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Jenis dapur kupola

3.2 PROSEDUR PERANCANGAN

Dalam perancangan ini, penulis membuat suatu prosedur perancangan seperti mengikuti diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan

3.2.1 Pemilihan judul perancangan. Tahapan yang paling awal dari rangkaian perancangan ini adalah pemilihan judul tugas perancangan. Adapun judul tugas rancangan ini sesuai dengan yang telah diuraikan pada bagian latar belakang sebelumnya, bahwa pada tugas rancangan ini penulis ingin memberi kontribusi inovasi dalam perancangan dapur kupola. Dalam hal ini dapur kupola merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam proses

pegecoran. Hasil rancangan ini dapat dilanjutkan dengan proses pembuatan (manufacture), sehingga diperoleh sebuah dapur kupola yang efisien.

3.2.2 Dapur kupola pembeding. Konstruksi dapur kupola yang dirancang dapat diadopsi seperti diperlihatkan pada gambar 3.1, yaitu sebuah dapur kupola yang sederhana dan masih digunakan hingga saat ini.

3.2.3 Studi Literatur. Untuk mendukung perancangan ini, diperlukan beberapa teori yang berhubungan dengan proses pengecoran dan konstruksi jenis dapur kupola yang telah ada digunakan hingga saat ini. Teori-teori tersebut diperoleh dari beberapa referensi yang diperoleh melalui tinjauan pustaka.

3.2.4 Analisa Perhitungan. Pada tahapan ini, akan dianalisa tentang geometri dari komponen-komponen utama dari dapur kupola tersebut. Analisa ini meliputi pertimbangan bentuk maupun perhitungan dimensi dan selanjutnya pemilihan spesifikasi dari komponen-komponen dapur kupola tersebut. Pada perancangan ini komponen-komponen yang dianalisa meliputi: perhitungan dan pertimbangan dapur kupola, perhitungan dan pemilihan system saluran, perhitungan bahan baku, perhitungan bahan-bahan tambahan dan perhitungan bahan bakar kokas, dan lain-lain. Kemudian dari hasil perhitungan dibandingkan untuk menentukan spesifikasi komponen yang digunakan.

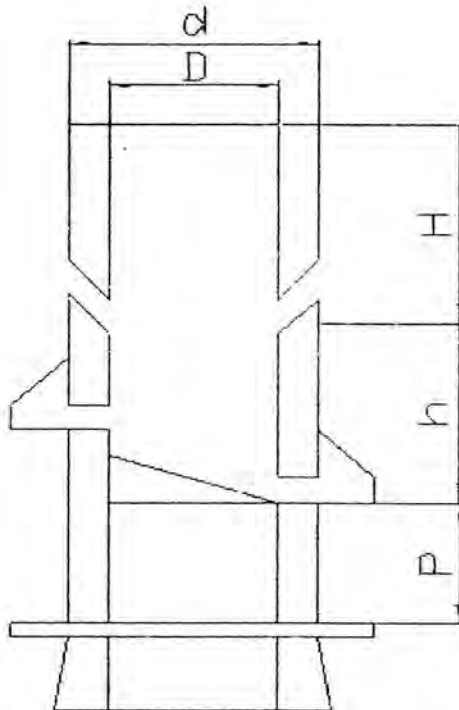
3.2.5 Gambar Teknik. Pada tahapan akhir dari perancangan ini adalah membuat gambar teknik dari sebuah dapur kupola. Dengan terbentuknya gambar teknik ini, maka selesailah tahapan-tahapan perancangan ini.

BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN DAPUR KUPOLA

4.1. GEOMETRI DAPUR KUPOLA

Geometri dapur kupola merupakan bentuk dan ukuran-ukuran utama dari dapur kupola. Bentuk kupola dipilih silindris seperti ditunjukkan pada gambar sket 4.1 dibawah ini :



Gambar.4.1. Geometri dari dapur kupola

Keterangan gambar :

- D = diameter dalam kupola
- d = diameter luar kupola
- h = tinggi efektif
- H = daerah krus
- P = tebal dasar dapur kupola

Pada perencanaan dapur kupola ukuran-ukuran utama dari konstruksi dapur

kupola antara lain:

- (1) **Diameter dalam kupola.** Berdasarkan tabel 2.3 untuk kapasitas peleburan 1,0 ton/jam pada perbandingan besi dan kokas 12 % maka diperoleh; (a) diameter dalam kupola (D) = 400 mm, (b) Ketebalan dinding kupola = 5 mm, (c) Ketebalan plaster semen SK 34 bagian dalam = 30 mm, (d) Ketebalan plaster semen SK bagian luar = 40 mm, (e) Ketebalan batu tahan api = 90 mm, Sehingga didapat ketebalan dari bahan tahan api adalah 30 mm + 40 mm + 90 mm = 160 mm

$$\text{Maka: } d = 400 + 160 + 5 = 565 \text{ mm}$$

- (2) **Tinggi efektif (H).** Tinggi efektif dihitung dari pertengahan lubang udara (tuyer) sampai bawah pintu pengisian, tinggi efektif dapur dicari melalui persamaan :

$$\begin{aligned} \frac{H}{D} &= 5 \div 6 \dots\dots\dots \text{Kazuo} \\ H &= 5 \times D \\ &= 5 \times 400 \text{ mm} \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- (3) **Ketinggian daerah krus.** Ketinggian daerah krus untuk jenis kupola biasa adalah 350 mm ÷ 450 mm, dimana tinggi krus yang besar tidak dikehendaki sebab besi cair mengaborsi karbon dan belerang dari kokas, maka direncanakan $h = 350 \text{ mm}$

(4) **Ketebalan pasir dasar.** Ketebalan pasir dasar sekurang-kurangnya 200 mm.

Dasar dibuat miring kearah lubang cerat dengan kemiringan 5/1000 ÷ 10/1000. kemiringan ini memberikan hasil yang baik pada pengeluaran besi cair.

Sehingga tinggi dapur kupola dapat dihitung:

$$\begin{aligned} &= H + h + \text{pasir dasar} + \text{pasir cetak} \\ &= 2000 \text{ mm} + 350 \text{ mm} + 200 \text{ mm} + 30 \text{ mm} \\ &= 2580 \text{ mm} \end{aligned}$$

(5) **Lubang cerat dan lubang terak.** Lubang cerat sebagai jalan keluar logam cair ke ledel, terletak pada daerah krus tepatnya diatas pasir dasar. Adapun diameter saluran lubang cerat adalah

$$D_c = 30 \text{ mm} \div 50 \text{ mm} \dots\dots\dots\text{Kazzou}$$

Direncanakan $D_c = 30 \text{ mm}$ dan panjang saluran = 40 mm dengan kemiringan 6° lubang terak sebagai jalan keluar terak, terletak pada daerah krus, 200 mm dibawah lubang tuyer dengan diameter:

$$D_t = 50 \text{ mm} \dots\dots\dots(\text{Surdia})$$

(6) **Tuyer.** Luas irisan tuyer ditetapkan oleh perbandingan tuyer yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{Luas irisan} = \frac{A}{n \times Y} \dots\dots\dots(\text{Surdia})$$

Dimana:

Y = perbandingan tuyer (6 direncanakan)

n = jumlah tuyer (4 direncanakan)

$A = \text{luas irisan dalam kupola} = 0,126 \text{ m}^3$

Jadi luas irisan dari 1 tuyer :

$$\begin{aligned} a &= \frac{0,126 \text{ m}^3}{4 \times 6} \\ &= 0,0053 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

sedangkan diameter tuyer adalah:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0053 \text{ m}^3}{\pi}} \\ &= 0,0822 \text{ m} \\ &= 8,22 \text{ cm} \\ &= 82,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- (7) **Pipa udara.** Pipa berfungsi untuk mensuplay udara yang dialirkan oleh blower kedalam kotak udara, kemudian udara masuk kedalam tuyer. Ukuran pipa udara dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$dp = \sqrt{1,06 \times D^2 \times \%} \text{ cm}$$

Dimana: $dp = \text{diamter pipa udara (cm)}$

$D = \text{diameter dalam kupola (cm)}$

$\% = \text{perbandingan besi dan kokas} = 12 \%$

$$dp = \sqrt{1,06 \times 40^2 \times 0,12\%}$$

Maka:

$$= 14,27 \text{ cm}$$

$$= 142,7 \text{ mm}$$

$$= 5,6''$$

(8) **Kotak udara.** Lebar kotak udara standart dengan diameter pipa tiup dan kertinggiannya empat kali dari lebar kotak udara. Bentuk dari kotak udara yang akan direncanakan.

(9) **Dimensi kotak udara.** Lebar kotak udara (T) adalah $T \geq dp = 14,27 \text{ cm} = 142,7 \text{ mm}$. Tinggi kotak udara (L) adalah $L \geq 4T = 4 \cdot 14,27 = 57,08 \text{ cm} = 570,8 \text{ mm}$.

4.2. BAHAN BAKAR DAPUR KUPOLA

(1) **Alas kokas.** Untuk mencapai operasi yang sempurna, alas kokas harus diusahakan setinggi mungkin, agar mendapatkan temperatur yang tinggi, juga dapat mencegah oksidasi dari besi. Alas kokas berfungsi sebagai bahan bakar dasar peroses awal pembakaran.

Adapun tinggi alas kokas untuk kupola yang kecil yangggg diameter dalamnya kurang dari 700 mm adalah: $(1,5 \div 1,8) D$ (1,5 direncanakan)

(a) Maka tinggi alas kokas adalah:

$$\begin{aligned} L_a &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 400 \text{ mm} \\ &= 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

(b) Volume alas kokas adalah :

$$\begin{aligned}
 V_a &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L_a \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 0,4^2 \times 0,6 \\
 &= 0,08 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

(c) Berat alas kokas

$$m_{ak} = \rho_k \times V_a$$

dimana:

$$\rho_k = 1,700 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 m_{ak} &= \rho_k \times V_a \\
 &= (1,700 \times 10^3) / 0,08 = 136 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.3. BAHAN MUATAN KUPOLA

(1) **Muatan besi (m_{besi}).** Muatan besi terdiri dari besi kasar, skrap baja, dan skrap cor. Berat muatan besi disarankan ($1/10 \div 1/15$) dari laju peleburan perjam.

Diambil ($1/10$).

Dimana : $Q_1 = 1.0 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$ (drencanakan)

Maka: $m_{besi} = 1/10 \cdot Q_1 = 1/10 \cdot 1000 = 100 \text{ kg}$

(2) **Muatan kokas.** Dari tabel 2.3 untuk diameter dalam kupola 400 mm maka perbandingan muatan kokas diambil 12 % sehingga berat kokas adalah:

$$m_{koks} = 0,12 \times 100 \text{ kg} = 12 \text{ kg}$$

(3) **Muatan batu gamping.** Jumlah muatan batu gamping disarankan (25% ÷ 30%)

dari berat kokas. Maka diambil 25 % sehingga:

$$m_{bg} = 25 \% \times 12 \text{ kg} = 3 \text{ kg}$$

Sehingga total jumlah bahan muatan (Q_2) dapat dihitung :

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_{besi} + m_{kokas} + m_{bg} \\ &= 100 \text{ kg} + 12 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 115 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan perbandingan muatan (Q):

$$Q = \frac{Q_1}{Q_2} = 8,7 \text{ kg}$$

Sehingga jumlah muatan sesungguhnya:

$$m_{BS} = 8,7 \times 100 = 870 \text{ kg}$$

$$m_{ks} = 8,7 \times 12 = 104 \text{ kg}$$

$$m_{BGs} = 8,7 \times 3 = \underline{26 \text{ kg}}$$

$$\text{total} = 1000 \text{ kg}$$

4.4. LAPISAN BAHAN MUATAN

(1) Tinggi muatan besi untuk 1 lapisan (Lb)

$$L_b = \frac{\frac{m_{besi}}{\rho B}}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

dimana:

$$P_B = 7,870 \cdot 10^3$$

maka:

$$L_b = \frac{100}{\frac{7,870 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{4} \times 0,4^2}} \\ = 101 \text{ mm}$$

(2) Tinggi muatan kocs untuk 1 lapisan.

$$L_k = \frac{\frac{m_k}{\rho_k}}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

Dimana:

$$\rho_k = 1,70 \cdot 10^3$$

$$L_k = \frac{12}{\frac{1,70 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{4} \times 0,4^2}} \\ = 0,056 \text{ m} \\ = 56 \text{ mm}$$

(3) Tinggi muatan batu gamping untuk 1 lapisan (L_{BG})

$$L_{BG} = \frac{\frac{m_{BG}}{\rho_{BG}}}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

Dimana:

$$\rho_k = 2,68.10^3$$

$$\begin{aligned} L_k &= \frac{2,68.10^3}{\frac{\pi}{4} \times 0,4^2} \\ &= 0,008 \text{ m} \\ &= 8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga total tinggi 1 lapisan bahan muatan

$$\begin{aligned} L_m &= L_b + L_k + L_{BG} \\ &= 101 \text{ mm} + 56 \text{ mm} + 8 \text{ mm} = 165 \text{ mm} \end{aligned}$$

Banyaknya lapisan bahan muatan pada dapur kupola

$$\begin{aligned} &= \frac{(H + h + -La)}{L_m} \\ &= \frac{(2000 + 350 - 600)}{165} \\ &= 10,6 \text{ lapisan} \end{aligned}$$

4.5. BAHAN MUATAN CAMPURAN LOGAM

Bahan muatan untuk proses peleburan pada dapur kupola terdiri dari besi, kokas dan batu gamping dengan komposisi dan persentasi sebagai berikut:

Tabel 3.1. Komposisi bahan tambahan (Surdia)

Bahan muatan	Komposisi	%	FV
Besi 100 kg	Fe ₂ O ₃	54,93	0,5493
	FeO	8,48	0,0848
	CaO	9,58	0,0958
	Mn ₃ O ₄	4,97	0,0497
	Al ₂ O ₃	3,00	0,0300
	SiO ₂	4,82	0,0482
	H ₂ O	4,48	0,0448
	CO ₂	7,81	0,0781
	MgO	1,83	0,0183
Besi tuang kelabu 406 kg	C	3,12 %	0,0312
	Si	1,52 %	0,0152
	Mn	2,22 %	0,0222
	Fe	93,14 %	0,9314
Kokas 12 kg	C	72,54	0,7254
	O	10,44	0,1044
	H	4,95	0,0495
	N	1,44	0,0144
	H ₂ O	6,00	0,0600
	Ash	4,00	0,0400
Batu gamping 3 kg	SiO ₂	78,38	0,7838
	Al ₂ O ₃	13,99	0,1399
	CaO	0,53	0,0053
	Fe ₂ O ₃	3,90	0,0390
	H ₂ O	3,20	0,0320

(1) **Berat terak.** Berat terak dapat ditentukan dengan perhitungan material balans pada komposisi

$$(a) \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ dalam muatan besi} = \frac{870 \times 0,5493}{159,70} = 2,9924 \text{ kg.mol}$$

$$(b) \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ dalam muatan batu gamping} = \frac{26 \times 0,039}{159,70} = 0,0063 \text{ kg.mol}$$

$$(c) \text{ Mn}_3\text{O}_4 \text{ dalam } M_B = \frac{870 \times 0,0497}{228,97} = 0,1889 \text{ kg.mol}$$

$$(d) \text{ CaO dalam } M_B = \frac{870 \times 0,0958}{56,08} = 1,4883 \text{ kg.mol}$$

$$(e) \text{ CaO dalam } M_{BG} = \frac{26 \times 0,0053}{56,08} = 0,00226 \text{ kg.mol}$$

$$(f) \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ dalam } M_B = \frac{870 \times 0,0300}{100,16} = 0,2606 \text{ kg.mol}$$

$$(g) \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ dalam } M_{BG} = \frac{26 \times 0,1399}{100,16} = 0,0363 \text{ kg.mol}$$

$$(h) \text{ SiO}_2 \text{ dalam } M_B = \frac{870 \times 0,0492}{60,09} = 0,7123 \text{ kg.mol}$$

$$(i) \text{ SiO}_2 \text{ dalam } M_{BG} = \frac{26 \times 0,3838}{60,09} = 0,1661 \text{ kg.mol}$$

$$(j) \text{ H}_2\text{O dalam } M_b = \frac{870 \times 0,0448}{18,016} = 2,1653 \text{ kg.mol}$$

$$(k) \text{ H}_2\text{O dalam } M_k = \frac{104 \times 0,0700}{18,016} = 0,4041 \text{ kg.mol}$$

$$(l) \text{ H}_2\text{O dalam } M_{bg} = \frac{26 \times 0,0320}{18,016} = 0,0462 \text{ kg.mol}$$

$$(m) \text{ CO}_2 \text{ dalam } M_B = \frac{870 \times 0,0781}{44,01} = 1,5439 \text{ kg.mol}$$

$$(n) \text{ MnO dalam } M_B = \frac{870 \times 0,0183}{40,32} = 0,3948 \text{ kg.mol}$$

(2) Neraca kesetimbangan bahan

Kesetimbangan Fe	
Input	Output
a. Dari $M_B (Fe_2O_3)$ $2 \times (2,9924) = 5,9848 \text{ kg. Atom}$ b. Dari M_B $\frac{870 \times 0,0884}{71,85} = 1,0704 \text{ kg. Atom}$ c. Dari $M_{BG} (Fe_2O_3)$ $2 \times (0,0063) = 0,0126 \text{ kg. Atom}$ Total = 7,0678 kg. Atom	a. Fe pada besi $\frac{406 \times 0,9314}{55,85} = 6,7708 \text{ kg,Atom}$ b. Fe pada terak $= 0,2970 \text{ kg. Atom}$ Total = 7,0678 kg. atom

Kesetimbangan MnO	
Input	Output
a. Dari $M_B (Mn_3O_4)$ $3 \times (0,1889) = 0,5667 \text{ kg. Atom}$ Total = 0,5667 kg. Atom	a. Mn pada besi $\frac{406 \times 0,0222}{54,93} = 0,1641 \text{ kg,Atom}$ b. Mn pada terak $= 0,4026 \text{ kg. Atom}$ Total = 0,5667 kg. atom

Maka berat FeO pada terak adalah :

$$= 0,2970 \times 71,85 = 21,34 \text{ kg}$$

dan berat MnO pada terak adalah :

$$= 0,4026 \times 71,85$$

$$= 28,93 \text{ kg}$$

Kesetimbangan Al_2O_3	
Input	Output
a. Dari $M_B (Al_2O_3)$ $870 \times (0,03) = 26,1 \text{ kg. Atom}$ b. Dari M_{BG} $26 \times (0,1399) = 3,64 \text{ kg}$ Total = 29,74 kg. Atom	a. Al pada besi $= 0$ b. Al pada terak $= 29,76 \text{ kg. Atom}$ Total = 29,76 kg. atom

Maka berat Al_2O_3 pada terak adalah :

$$= 29,76 \text{ kg}$$

Keseimbangan SiO ₂	
Input	Output
a. Dari M _B (SiO ₂) $\frac{807 \times 0,0492}{60,06} = 0,6611 \text{ kg.}$ Atom b. Dari M _{BG} $\frac{26 \times 0,7838}{60,06} = 3,64 \text{ kg. Atom}$ Total = 1,0004 kg. Atom	a. Si pada besi $\frac{406 \times 0,0152}{28,06} = 0,2199 \text{ kg. atom}$ b. Si pada terak = 0,7805 kg. Atom Total = 1,0004 kg. atom

Maka berat SiO₂ pada terak adalah :

$$= 0,7805 \times 60,06$$

$$= 46,87 \text{ kg}$$

Keseimbangan CaO	
Input	Output
a. Dari M _B $870 \times 0,0958 = 83,35 \text{ kg. Atom}$ b. Dari M _{BG} $26 \times 0,053 = 1,38 \text{ kg. Atom}$ Total = 84,73 kg. Atom	a. Dalam besi = 0 b. Mn pada terak = 84,73 kg. Atom Total = 84,73 kg. atom

Maka berat CaO pada terak adalah :

$$= 84,73 \text{ kg}$$

Keseimbangan SiO ₂	
Input	Output
a. Dari M _B $870 \times 0,0183 = 15,92 \text{ kg}$ Total = 1,0004 kg. Atom	a. di dalam besi = 0 b. di dalam terak = 15,92 kg Total = 15,92 kg

Maka berat MgO pada terak adalah :

$$= 15,92 \text{ kg}$$

Keseimbangan Abu	
Input	Output
a. Dari M_K $12 \times 0,02 = 0,24 \text{ kg}$ Total = 0,24 kg. Atom	a. Dalam pada besi = 0,24 kg Total = 0,24kg

Maka berat abu pada terak adalah :

$$= 0,24 \text{ kg}$$

Jadi berat terak keseluruhan adalah		
Komposisi	Berat (kg)	%
FeO	21,34	0,0937
MnO	28,83	0,1270
Al_2O_3	29,76	0,1306
SiO_2	46,87	0,2057
CaO	84,73	0,3710
MgO	15,92	0,0699
Abu	0,24	0,0011
Total	227,79	

Maka efisiensi dapat dihitung :

$$= \frac{\text{Jumlah input}}{\text{Jumlah terak}}$$

$$= \frac{1000 \text{ kg}}{227,79 \text{ kg}} = 772,21 \text{ kg}$$

atau :

$$= \frac{1000 - 227,79}{1000} \times 100 \% = 77,22 \%$$

Maka efisiensi dapur = 77,22 %

4.6. KAPASITAS UDARA PEMBAKARAN

Karbon dalam 1 kg udara kering mengandung : $\text{CO}_2 = 12,62 \%$, $\text{CO} = 25,56 \%$,
 $\text{CH}_4 = 0,69 \%$, $\text{H}_2 = 1,34 \%$, dan $\text{N}_2 = 59,79 \%$

Berat gas kering yang terbentuk pada dapur kupola dapat dihitung dari kesetimbangan elemen karbon	
Input	Output
a. Dari M_B $\frac{807 \times 0,0781}{49} = 1,5442 \text{ kg. Atom}$	a. Dalam besi $\frac{406 \times 0,03}{12} = 1,015 \text{ kg. atom}$
b. Dari M_K $\frac{104 \times 0,7254}{12} = 6,2868 \text{ kg. Atom}$	b. C dalam gas $= 6,816 \text{ kg. Atom}$
Total = 7,831 kg. Atom	Total = 7,831 kg. atom

Maka kebutuhan (C) adalah :

$$= 0,1262 + 0,2556 + 0,0069$$

$$= 0,3887 \text{ kg. Atom}$$

Dengan berat gas kering :

$$= \frac{6,816}{0,3887}$$

$$= 17,5353 \text{ kg. Mol}$$

Gas	Kg. Mole	Kg
CO_2	$17,5353 \times 0,1262 = 2,2130$	$2,2130 \times 44 = 97,372$
CO	$17,5353 \times 0,2556 = 4,4820$	$4,4820 \times 28 = 125,496$
CH_4	$17,5353 \times 0,0069 = 0,1210$	$0,1210 \times 16 = 1,436$
H_2	$17,5353 \times 0,0134 = 0,2350$	$0,2350 \times 2 = 0,470$
N_2	$17,5353 \times 0,5979 = 10,4843$	$10,4841 \times 28 = 293,562$
Total	$= 17,5353$	$= 518,830$

$$\text{Berat molekul gas kering} = \frac{518,836}{17,553} = 29,5882$$

Berat udara tiup dapat dihitung berdasarkan proses	
Input	Output
a. dari M_K $\frac{104 \times 0,0144}{28} = 0,05882 \text{ kg Mole}$	a. udara kering = 10,4309 kg. Mole
b. selisih berat udara tiup = 10,4309 kg. Mole	total = 10,4309 kg.mole
total = 10,4843 kg.mole	

Komposisi udara kering biasanya dianggap konstan yang mengandung :

$$= \frac{10,4843}{0,79}$$

$$= 13,2712 \text{ kg. Mole}$$

Atau :

$$= 13,2712 \times 29,5882$$

$$= 392,6728 \text{ kg. Udara tiup}$$

Berat udara basah yang terbentuk didalam kupola dapat dihitung dari H_2O	
Input	Output
a. dari M_B $\frac{870 \times 0,0448}{18} = 2,1653 \text{ kg Mole}$	a. sebagai gas kering Dalam CH_4 = 10,4309 kg. Mole
b. dari M_K $\frac{104 \times 0,06}{18} = 0,3466 \text{ kg. Mole}$	= 0,484 kg.mole Dalam H_2 basah = $0,2350 \times 2$ = 0,47 kg. Mole
c. dari hidrogen yang tersedia $\frac{104 \times 0,06}{18} = 2,574 \text{ kg. Mole}$	b. sebagai uap air adalah selisih pada uot put = 4,1781 kg. Mole
d. dari M_{BG} $\frac{26 \times 0,032}{18} = 0,0462 \text{ kg. Mole}$	total = 5,1321 kg.mole
total = 5,1321 kg.mole	

Jadi berat udara basah adalah :

$$= 4,1781 \times 18 = 75,2058 \text{ kg}$$

4.7. MATERIAL BALANCE SECARA KESELURUHAN

Input	Output
1. Muatan besi = 870 kg	1. besi = 406 kg
2. Muatan kokas = 104 kg	2. terak = 227,79 kg
3. muatan BG = 26 kg	3. udara kering = 518,836 kg
4. udara tiup = 392,6728 kg	4. uap air = 75,2028 kg
total = 1392,6728 kg	total = 1227,8288 kg

Jadi selisih antara input dan output = 164,844 kg, atau 11,8 % merupakan factor kesalahan perbedaan antar lapangan dengan data teori. Persentase kandungan karbon pada besi cor dalam kupola, dapat berubah-ubah, hal ini disebabkan karena oksidasi logam cair dengan gas yang keluar dari cerobong, dan sebaliknya yaitu pengarbonan yang disebabkan antara logam cair dengan kokas yang mana dipengaruhi sekali oleh keadaan operasional. Besi cor hasil dari kupola mengandung :

- C = 3 %
- Si = 1 %
- Mn = 1 %
- P = 1 %
- Fe = 94 %

Paduan besi seperti Fe-si, Fe-Mn perlu diperhatikan untuk mendapatkan kualitas yang cukup baik. Kalau persentase (C) dari baja bertambah maka Si dan Mn harus ditambah juga.

4.8. PEMBAKARAN PADA DAPUR KUPOLA

- (i) **Persyaratan pembakaran.** Pembakaran adalah suatu proses reaksi kimia yang terjadi antara unsure-unsur yang terkandung dalam bahan bakar dengan oksigen dari udara pembakaran dan muatan logam. Terjadinya pembakaran yang

sempurna bias mempunyai syarat : (a) Komposisi bahan bakar yang tepat, (b) Tersedia oksigen dalam jumlah yang cukup, (c) Tercapainya temperatur pembakaran awal. Dalam proses pembakaran bahan bakar yang bereaksi dengan O_2 akan menimbulkan gas asap dan panas pembakaran. Panas ini kemudian ditransferkan untuk melebur besi, baik secara konduksi, konveksi ataupun radiasi. Jumlah udara pembakaran yang disuplai kedapur harus sesuai dengan jumlah bahan bakar, karna jumlah udara pembakaran yang kurang maka akan terjadi perubahan yang kurang sempurna hal ini akan mengurangi panas yang dihasilkan. Untuk mengatasi hal ini diperlukan jumlah udara berlebih dari yang dibutuhkan secara teoritis.

- (2) **Proses Pembakaran kokas.** Pada perencanaan ini kokas yang digunakan adalah berasal dari batu bara, dimana batu bara tersebut menghasilkan masa batu bara yang memfusi ketika terbakar, sehingga banyak karbon yang tetap tidak terbakar. Dari analisa proksimasi, batu bara menghasilkan fraksi massa dari karbon tetap (F_c), bahan dapat menguap (VM), kebasahan (M) dan abu (A) dilakukan dengan memanaskan lapisan kokas hingga terbakarnya alas kokas selama proses peleburan berlangsung. Berdasarkan hukum Pettit dan Dulong panas pembakaran kokas dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_p = (33950 \times C) + 144200 \left[H_2 - \frac{O_2}{8} \right] + (9400 \times S) \text{ KJ/kg}$$

$$= (33950 \times 0,7254) + 144200 \left[0,0495 - \frac{0,1044}{8} \right] + (9400 \times 0,63) \text{ KJ/kg}$$

$$= 29942,66 \text{ kJ/kg} = 7156,47 \text{ kcal/kg. Kokas}$$

kemudian dengan muatan kokas :

$$= 104 \times 715,47$$

$$= 744272,88 \text{ kcal}$$

4.9. PEMILIHAN BLOWER DAN MOTOR PENGGERAK

(1) **Blower.** Blower digunakan pada dapur untuk menyuplai udara ke dalam dapur untuk pembakaran bahan bakar kokas, yaitu untuk pemenuhan kebutuhan udara :

- (a) Merk = CKE, (b) Jenis = Turbo, (c) Kapasitas = 20 m^3 /menit, (d) Daya = 2 kw, (e) Putaran = 1000 rpm.

(2) **Pemilihan Motor Penggerak.** Untuk menggerakkan blower pada umumnya pakai motor penggerak dari berbagai jenis seperti : (a) Elektro motor, (b) Motor bakar, dan (c) Sistem gas turbin. Dari jenis-jenis motor penggerak tersebut diatas, dipilih jenis elektor motor dengan pertimbangan : (1) Daya yang dibutuhkan, (2) Putaran yang dihasilkan, (3) Dapat dioperasikan secara kontinu, (4) Bobot mesin ringan, (5) Biaya operasi kecil, (6) Pengawasan tidak perlu kontinu, (7) Harga dari perawatan mesin lebih rendah, dan (8) Membutuhkan ruang operasi yang kecil. Oleh karna itu elektro motor (motor listri) lebih cocok dalam perencanaan dapur kupola ini. Untuk memilih daya motor penggerak disesuaikan dengan daya blower dan ukuran yang ada dipasaran.

BAB V

KESIMPULAN

Untuk mencairkan logam berbagai jenis tanur/dapur yang dapat digunakan dan disesuaikan dengan material yang akan dicairkan. Jenis dapur yang dirancang adalah jenis kupola. Dari perhitungan dan perencanaan dapat disimpulkan :

(1) Dimensi dapur

- (a) Dimensi dalam dapur = 400 mm
- (b) Diameter luar dapur = 730 mm
- (c) Tebal dinding luar = 5 mm
- (d) Diameter luar dinding = 720 mm
- (e) Tebal lining (BTA) = 160 mm
- (f) Tinggi lining = 2580 mm

(2) Kapasitas dapur

- (a) Kapasitas peleburan = 1000 kg/jam
- (b) Muatan besi = 870 kg
- (c) Muatan kokas = 104 kg
- (d) Muatan batu gamping = 26 kg

(3) Temperatur

- (a) Temperatur peleburan besi = 1280 °C
- (b) Temperatur penuangan besi = 1380 °C
- (c) Temperatur penuangan besi = 300 °C

- (4) Berat udara kering yang terbentuk dari kesetimbangan elemen karbon
- (a) Karbon dalam udara = 6,816 kg. Atom
 - (b) Berat udara kering = 17,5353 kg. Mol
 - (c) Berat molekul dari udara kering = 29,5882 gr/mol
- (5) Berat udara tiup yang dihitung berdasarkan nitrogen = 392,6728 kg.udara
- (6) Berat udara basah dari kesetimbangan H_2O = 75,2058 kg
- (7) Berat terak seluruhnya = 227,79 kg
- (8) Effisiensi dapur = 77,22 kg
- (9) Blower yang digunakan
- (a) Merk = CKE
 - (b) Jenis = turbo
 - (c) Kapasitas = 20 m²/menit
 - (d) Daya = 2 Kw
 - (e) Putaran = 1000 rpm
- (10) Pipa tiup yang digunakan = Φ 5,6 Inchi

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Surdia, T., & Shijiwa, K., 1991, Teknik Pengecoran Loga, Prad. Paramita, Jakarta.
- (2) Hougen, A., Watson, K.M., dan Ragatz, A.R., 1976, Chemical Process Principle, part I Material and Energi Balances, New York.
- (3) Heine, R., Loper, C.R., and Rosenthol, P., 1986, Priciple Of Metal Casting, Graw Hill, New Delhi.
- (4) Bolz, E., and Tuve, G.E., 1987, Hand Book of Tabel Applied Engineering Science, 2nd Edition, GC Press Inc.
- (5) Chulp, A.W., 1991, Prinsip-Prinsip Konversi Energi, Erlangga, Jakarta.
- (6) Holman, J.P., 1988, Perpindahan Kalor, Edisi 6, Erlangga, Jakarta.
- (7) Kazzuo, T., Iron Foundry Practice, 1st Edition, Industrial Research Institute.