

# PEREKAYASAAN ALAT SIMULASI REDUKSI PELET BIJIH BESI BERKARBON

**Edi Herianto, Yusuf, Arifin Arif**  
Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI  
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang 15314  
E-mail : edih001@lipi.go.id

## Intisari

Sumber daya bijih besi Indonesia ada tiga tipe seperti besi laterit yang paling potensial, diikuti oleh pasir besi dan terakhir besi metasomatik. Dilihat dari langkanya batubara antrasit dan berlimpahnya bituminus /sub bituminus di Indonesia serta sifat viskositas slag dari pasir besi tampaknya proses reduksi langsung) untuk mendapatkan besi spons (sponge iron) adalah proses pengolahan yang lebih sesuai bagi semuanya. Terkait dengan itu telah dilakukan perencanaan pembuatan tungku reduksi dengan umpan berupa pellet bijih bercampur dengan batubara. Faktor utama dalam proses perencanaan ini adalah kapasitas (skala lab) dan bentuk tungku. Diantara bermacam tungku yang ada ditentukan yang akan didisain adalah jenis *Paired Straight Hearth (PSH) furnace*. Diharapkan selain untuk mendapatkan besi spons, reduksi juga memungkinkan untuk mendapatkan besi nugget. Oleh karena itu tungku didisain untuk dapat bekerja pada temperatur 1200 °C dan bila memungkinkan sampai temperatur 1500 °C. Kapasitas alat dirancang untuk bijih besi dengan umpan seberat 16,7 kg pelet dan menggunakan bahan bakar solar atau gas elpiji.

*Kata kunci : Bijih besi, Perancangan alat simulasi, Reduksi temperatur tinggi, Direct reduced iron (DRI), PSH furnace, Tunnel kiln*

## Abstract

*There are three types of iron ore resources in Indonesia such like iron laterite as the most potential, followed by iron sand and the last is iron metasomatic ore, where all of them still have not developed. According to the lack of anthracite and the abundant of bituminous / sub bituminous coal in Indonesia, beside the slag viscosity of iron sand it looks that the direct reduction process to get sponge iron (DRI) is more suitable to threat all of the ores. For that the plan to design a simulation reduction furnace for treating coal bearing pellets of the iron ores have been carried out. The main factors in design are the type and capacity of the furnace (lab.scale). Among the kind of furnaces that decided to design is Paired Straight Hearth (PSH) furnace. It is expected beside to get sponge iron, the reduction also possible to get nugget iron. Due to the furnace is designed to be capable for a temperature of 1200 °C and if possible for 1500 °C. The capacity of the simulation furnace for iron ore is designed for 16,7 kg green pellets of feed, and using heavy fuel oil or LPG as its fuel.*

*Keywords : Iron ore, Design simulation furnace, High temperature reduction , Direct reduced iron (DRI), PSH furnace, Tunnel kiln*

## PENDAHULUAN

Perkembangan dunia dalam pengolahan bijih besi saat ini dilakukan dengan reduksi langsung, karena teknologi ini banyak keuntungannya dibandingkan dengan teknologi konvensional. Diantaranya lebih ramah lingkungan dan sangat efisien. Bahan reduktor yang digunakan tidak perlu menggunakan kokas, namun dapat digunakan batubara. Sehingga bahan

reduktor yang digunakan juga jauh lebih murah jika dibandingkan dengan kokas. Diantara teknologi langsung yang telah berhasil untuk teknologi baru dalam kapasitas komersil adalah *Rotary Hearth Furnace (RHF)* yang dikembangkan oleh Midrex dan Kobe Steel. Lebih dikenal dengan proses FASTMET, FASTMELT dan ITmk3. Teknologi yang dikembangkan oleh Midrex dan Kobe Steel adalah reduksi langsung dengan bahan reduktor batubara

menggunakan *rotary hearth furnace* (RHF). *Rotary heart furnace* terbuat dari plat baja dengan lapisan dalam menggunakan bata api. Bagian heart dari RHF dilapisi bata api yang berputar sambil di panasi dengan temperatur tinggi, panas tersirkulasi di dalam tungku seperti *tunnel kiln*. Dimana bahan baku berupa bijih besi halus dicampur dengan batubara halus kemudian dibuat pellet (*agglomerate*) lalu diumpankan ke dalam RHF. Bahan bakar yang digunakan berupa *natural gas, fuel oil, waste oil* atau *pulverized coal*.

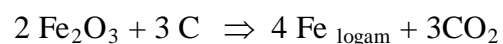
Indonesia yang berlimpah dengan cadangan besi laterit, pasir besi maupun bijih besi konvensional serta bahan reduktor berupa batubara yang juga berlimpah sangat cocok untuk mengembangkan teknologi reduksi langsung sebagai bahan baku pembuatan besi dan baja. Bahan baku berupa bijih besi sebelumnya dibuat pelet dengan campuran karbon, dan selanjutnya direduksi untuk menghasilkan *sponge iron* atau dikenal juga *direct reduced iron* (DRI) atau *hot DRI* <sup>[1,6]</sup>, yang selanjutnya dapat diolah menggunakan *electric arc furnace* (EAF), atau kalau mungkin dilebur dengan kupola yang dimodifikasi, dimana selama ini kupola menggunakan udara dingin diganti dengan udara panas, sehingga temperatur didalam kupola dapat ditingkatkan lebih tinggi. Jika memungkinkan perekayasa alat reduksi dapat juga digunakan untuk menghasilkan besi nuget. Dalam proses pengolahan besi nuget ini paling tidak diperlukan suatu peralatan tungku reduksi dan peralatan tungku peleburan/pelelahan, sehingga di perlukan suatu perekayasa peralatan untuk pengolahan mineral besi tersebut yang dapat bekerja pada suhu tinggi 1100 °C samapi 1500 °C.

Maka untuk memanfaatkan bijih besi tersebut perlu dilakukan penelitian lebih mendalam, terutama perekayasa alat reduksi pelet bijih besi berkarbon pada temperatur tinggi, sehingga melalui kegiatan ini diharapkan penelitian pengolahan material dapat dilaksanakan lebih mendalam. Peralatan simulasi ini di

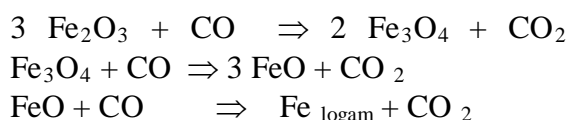
rancang untuk kapasitas 16,7 kg per jam pellet mentah (*green pellets*) bijih besi.

## PELET BIJIH BESI BERKARBON

Pelet bijih besi berkarbon adalah pellet besi yang telah dicampur dengan karbon, sehingga pada saat direduksi karbon yang berada di dalam pellet menjadi bahan reduktor untuk mereduksi besi menjadi pellet. Pelet berkarbon ini jika direduksi pada temperatur yang sesuai maka metalisasi besi lebih cepat terjadi, dan jika temperatur pelelehan tercapai maka dapat di produksi menjadi iron nugget. Selama proses reduksi berlangsung oksida besi akan mengalami reduksi menjadi logam besi. Reduksi terjadi reaksi antara C dan oksida besi serta dapat juga terjadi oleh gas CO yang dihasilkan dari oksidasi carbon didalam pelet menjadi gas CO (karbon monoksida). Mekanisme reduksi yang terjadi dapat secara langsung kontaknya unsur C dengan oksida logam yang ada atau mekanisme melalui gas CO yang terbentuk dari hasil reduksi bahan reduktor, namun persentase ini kecil sekali, karena reduksi dilakukan pada kondisi minim oksigen. Mekanisme reaksi yang mungkin terjadi di dalam pellet dapat digambarkan sebagai berikut :



Atau melalui mekanisme reaksi reduksi melalui gas CO yang dihasilkan dari oksidasi oksigen yang ada dengan karbon didalam bahan reduktor,  $2\text{C} + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{CO}$  selanjutnya gas CO yang terbentuk bereaksi dengan logam Fe, adapun mekanisme reaksinya sebagai berikut <sup>[7]</sup>:



Masalah yang mungkin di ditemui dalam pembuatan pelet berkarbon tersebut diantaranya kekuatan pelet yang rendah, sehingga masalah ini merupakan tantangan

yang harus dicari pemecahannya sehingga pelet yang dihasilkan mempunyai kekuatan yang tinggi, seperti kehalusan dari bijih besi atau diperlukan binder yang cocok dalam pembuatan pelet tersebut. Karena jika pelet berkarbon memiliki kekuatan yang rendah maka reduksi pelet tidak bisa digunakan *Rotary Kiln* atau Tanur Tegak, sejenis Midrex dan HyL3.

Sehingga dari kekurangan tersebut peralatan reduksi yang dapat di gunakan adalah tanur lorong (*tunnel kiln*) yang dikembangkan menjadi *Paired Straight Hearth (PSH) furnace* [3-4], atau *Rotary Hearth Furnace (RHF)*.

### PROSEDUR PERCOBAAN

Maksud dari kegiatan ini diharapkan pada akhir penelitian tersedianya peralatan atau prototip alat reduksi pelet bijih besi berkarbon dan kalau memungkinkan dapat dimanfaatkan untuk pengolahan besi nugget. Pada tahap awal perancangan alat reduksi pelet bijih besi berkarbon tersebut masih dalam bentuk disain peralatan saja belum sampai pada tahap pabrikan atau rancang bangun.

Sedangkan metode yang dilakukan dalam penelitian tahap awal Perencanaan peralatan pengolahan mineral logam secara garis besarnya meliputi :

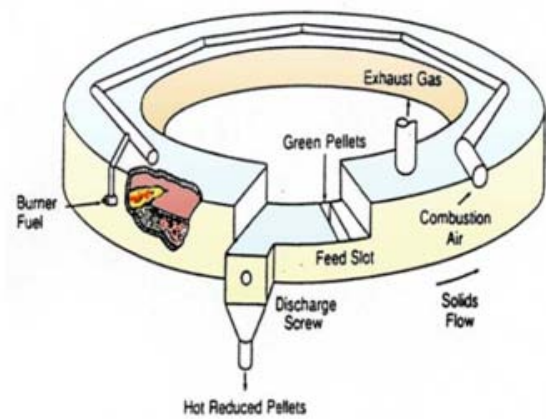
1. Studi literatur, dimana studi literatur dilakukan untuk mempelajari jenis atau tipe tungku reduksi langsung untuk menghasilkan *sponge iron* atau *direct reduced iron (DRI)* dan peleburan pada suhu tinggi sehingga dapat menghasilkan besi nugget.
2. Basic disain, dimana basic disain dilakukan mulai dari perencanaan perancangan peralatan, gambar perancangan, perhitungan-perhitungan sampai dengan pemilihan bahan-bahan yang diperlukan untuk perancangan peralatan.
3. Perencanaan : Disain, perhitungan, pengujian/karakterisasi bahan dan pemilihan material, studi banding (*tunnel kiln, rotary heart furnace, tube*

*furnace, arc furnace*) yang bekerja pada temperatur tinggi di atas 1100 °C.

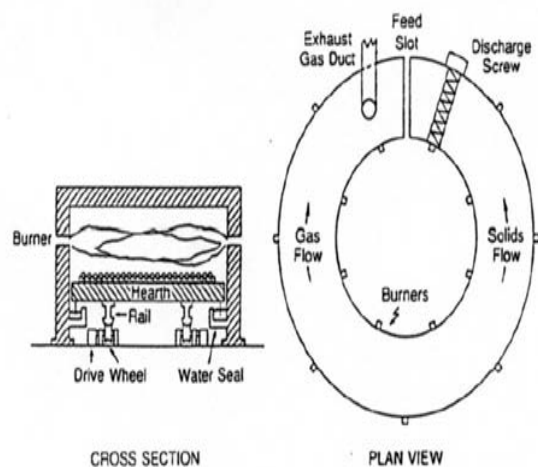
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Rotary Hearth Furnace (RHF)*

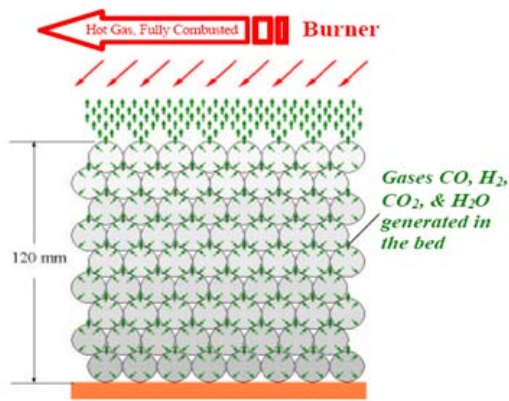
Dari hasil penelusuran literatur yang dapat diambil sebagai dasar pemikiran perancangan peralatan yang akan dilakukan diantaranya, dapat dilihat pada gambar berikut Gambar 1 dan Gambar 3. Pada Gambar 1 menggambarkan profil tungku *Rotary Hearth Furnace (RHF)* secara umum [2], sedangkan pada Gambar 3 merupakan mekanisme dari pengolahan mineral logam dengan reduksi langsung menggunakan peralatan *rotary hearth furnace* [1,3].



Gambar 1. Profil RHF secara umum



Gambar 2. Penampang bagian dalam dari RHF



**Gambar 3.** Ketinggian tumpukan pelet terhadap penyerapan panas dari bahan bakar

Dari dasar pemikiran ini dapat dicermati seberapa tinggi tumpukan dari pelet yang akan di reduksi di dalam tungku reduksi, sehingga pemerataan panas sampai ke bagian terbawah dari pelet dapat tereduksi. Beberapa tungku reduksi baik dalam penelitian laboratorium maupun dalam skala pilot juga ditampilkan pada Gambar 6 [3]. Dalam disain tungku *rotary hearth furnace* (RHF), beberapa bagian penting yang perlu diperhatikan diantaranya ratio antara luas *heart* (bagian dalam bawah tungku) terhadap lingkaran bagian luar furnace (*peripheral ring*) untuk tumpukan pelet yang poporsional untuk tinggi tumpukan yang sama, dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [3].

Luas dari *peripheral ring* dari RHF ( $A_{PR}$ ), bagian ini dapat diamati pada Gambar 3.

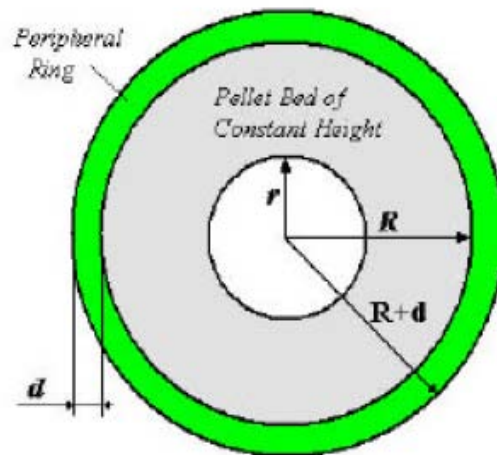
$$A_{PR} = \pi[(R + d)^2 - R^2]$$

Luas *heart* untuk tumpukan pelet dengan tinggi yang tetap ( $A_C$ )

$$A_C = \pi (R^2 - r^2)$$

Presentase luas *peripheral ring* terhadap Luas *heart* untuk tumpukan pelet dengan tinggi yang tetap adalah :

$$\frac{A_{PR}}{A_C} = \frac{\pi[(R + d)^2 - R^2]}{\pi (R^2 - r^2)}$$



**Gambar 4.** Luas distribusi dari RHF untuk tinggi tumpukan pelet

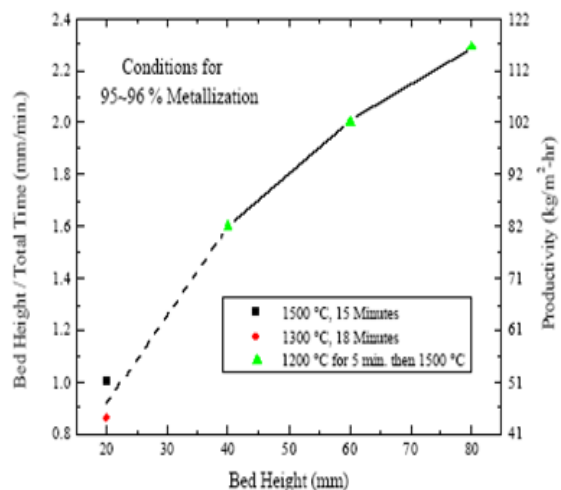
Dimana :

$R$  = Diameter terluar dari RHF (m)

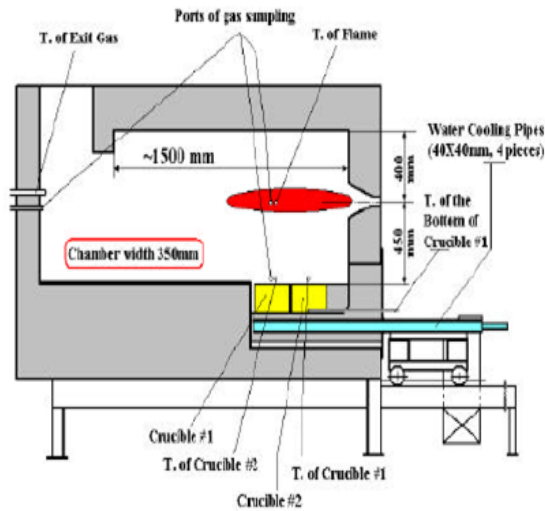
$r$  = diameter bagian dalam RHF (m)

$D$  = lebar *peripheral ring* RHF (m)

Tinggi dari tumpukan pelet terhadap luas heart furnace berpengaruh terhadap produktivity ( $\text{kg/m}^2\text{-hr}$ ) dari metalisasi logam yang ada didalam pelet, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [3], ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hubungan produktivity terhadap tinggi tumpukan dari pelet

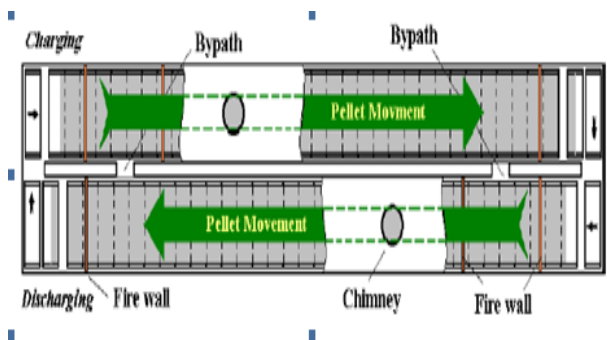


**Gambar 6.** Salah satu tungku peleburan dengan bahan bakar gas alam

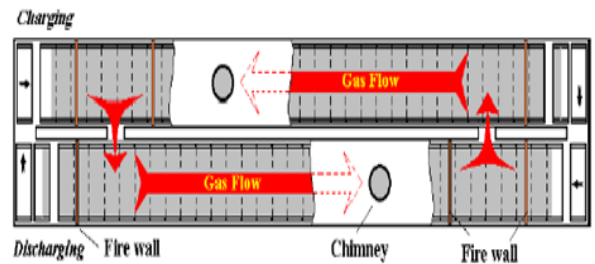
### Paired Straight Hearth (PSH) Furnace

Disamping tungku RHF juga dikembangkan jenis tungku *Paired Straight Hearth (PSH) furnace*. Tungku jenis ini mekanisme prosesnya mirip dengan RHF, namun material berupa pelet direduksi dengan berjalan lurus, berbeda dengan RHF yang berjalan memutar, seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8<sup>[3]</sup>.

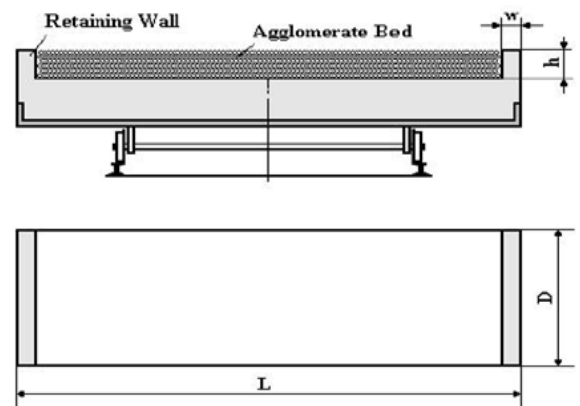
Sedangkan bagian dalam dari tungku *paired straight hearth (PSH)*<sup>[4]</sup> furnace ditampilkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Ukuran dari tungku tersebut berdasarkan rasio  $w/h = 0,8 - 1,2$  sedangkan  $D/L = 0,3 - 0,5$ .



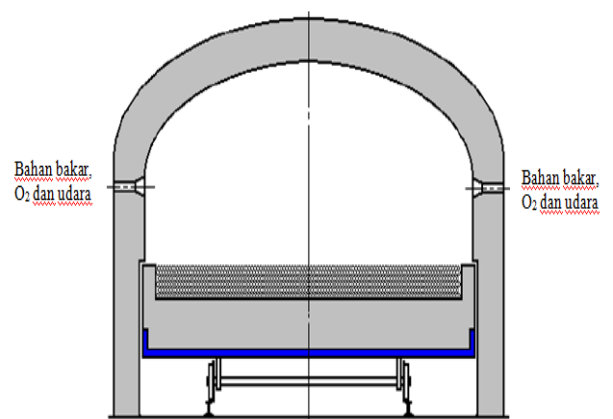
**Gambar 7.** Pandangan atas dari PSH furnace, dan laju perpindahan pellets



**Gambar 8.** Pandangan atas dari PSH furnace, dan laju aliran gas



**Gambar 9.** Pandangan depan dan atas dari profil PSH furnace



**Gambar 10.** Pandangan depan profil keseluruhan dari PSH furnace

## Perancangan Alat Simulasi Reduksi Pelet Berkarbon

Perbedaan yang terlihat antara tungku *Rotary Hearth Furnace* (RHF) dan *paired straight hearth* (PSH) *furnace* seperti terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 10 terletak pada bagian atas atau atap tungku. Dari literatur yang ada maka perancangan alat simulasi reduksi pelet berkarbon mengaju pada *paired straight hearth* PSH *furnace*, dimana tungku ini cukup mewakili untuk skala laboratorium, disamping itu tungku ini hampir mirip dengan rel pada *tunnel kiln*. Proses yang terjadi secara *counter current* yaitu aliran gas berlawanan dengan laju pelet yang ada di dalam tungku, seperti yang terjadi pada Gambar 6 dan Gambar 7. Bentuk atap berbentuk setengah lingkaran seperti terlihat pada Gambar 10, akan lebih baik untuk laju gas dan pemerataan aliran gas di dalam tungku jika dibandingkan dengan atap datar seperti yang terlihat pada Gambar 2.

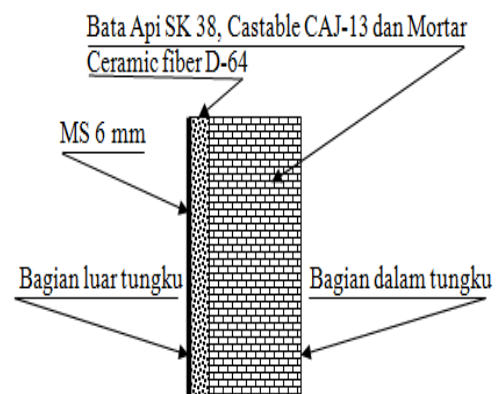
Sedangkan untuk tempat pelet dibuat seperti crusibel berjalan untuk menampung pelet yang akan direduksi, untuk bagian bawah dari crusibel dibuat lory di atas rel sehingga crusibel dapat dijalankan. Pada disaen dibuat untuk memuat 6 buah crusibel berjalan, dengan bahan bata tahan api SK 38 dan castable CAJ-13, juga sebagai isolasi digunakan Ceramic fiber D-64. Sedangkan pembungkus atau cashing tanur seperti terlihat pada Gambar 10 dibuat dari plat baja mild steel tebal 6 mm, di letakan diatas tumpuan penyangga hal ini dibuat untuk memudahkan kontrol dan pengoperasian peralatan, dan bagian dalam dilapisi dengan bata api SK 38 dan castable CAJ-13. Adapun desaien dari tungku yang akan dibuat ditampilkan pada Gambar 12 dan Gambar 13, sedangkan bahan bakar yang digunakan adalah gas elpiji.

Pada perancangan ini hanya dibuat satu lorong saja, jadi pengoperasian atau dalam pengujian reduksi mineral dilakukan dalam satu kali perjalanan dari crusibel

pengumpanan dan dijalankan sampai krusibel pengeluaran, namun waktu tinggal (*resident time*) didalam lorong dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.

Bahan Konstruksi digunakan :

1. Cashing plat MS 6 mm
2. Bagian lantai MS 6 mm
3. Filler material Ceramic fiber D-64
4. Bata api SK-38
5. Kastabel CAJ-13 dan Tiang penyangga UNP 5 dan 10



**Gambar 11.** Profil bagian dari perancangan peralatan pengolahan mineral

Dasar Perancangan :

Diameter dalam tunel disesuaikan dengan ukuran bata api yang ada dipasaran sehingga pemasangan bata untuk membuat lengkungan bagi atas akan lebih mudah dan harganya batanya jauh lebih murah dibandingkan jika kita memesan dengan ukuran tertentu.

Diameter dalam tunel = 0,65 meter, sehingga panjang crusibel diambil 0,65 meter.

Dimensi crusibel panjang (L) 0,65 m, sedangkan lebar crusibel diambil berdasarkan rumus  $D$  (lebar crusibel) / L (panjang crusibel) = 0,3 – 0,50<sup>[4]</sup>.

Rasio diambil maksimal = 0,5  $\rightarrow D/L = 0,5 \rightarrow D = 0,50 \times 0,65 \text{ m} = 0,325 \text{ m}$

Untuk tinggi crusibel diambil berdasarkan rumus  $w$  (tebal dinding crusibel) /  $h$  (tinggi pelet didalam cusibel)

= 0,8 – 1,2 <sup>[4]</sup>. Sedangkan tebal crusibel diambil 0,065 m.

Ratio diambil terendah = 0,8 → w / h = 0,8 → h = 0,065 m / 0,8 = 0,0825 m

Sehingga bagian dalam crusibel:

D = 0,325 m – ( 2 x 0,065 m ) = 0,195 m

L = 0,650 m – ( 2 x 0,065 m ) = 0,52 m

Volume crusibel = 0,195 m x 0,52 m x 0,0825 m = 0,0084 m<sup>3</sup>

Sehingga crusibel dapat menampung pelet (perhitungan diwakili untuk bijih besi, jika untuk pasir besi dan nikel laterit) daya tampung berbeda karena berat jenisnya berbeda, namun cara perhitungannya sama.

$$\rho = m / v$$

Dimana :

$\rho$  = berat jenis bijih besi = 2,5 ton/m<sup>3</sup>

m = berat bijih besi ( ton)

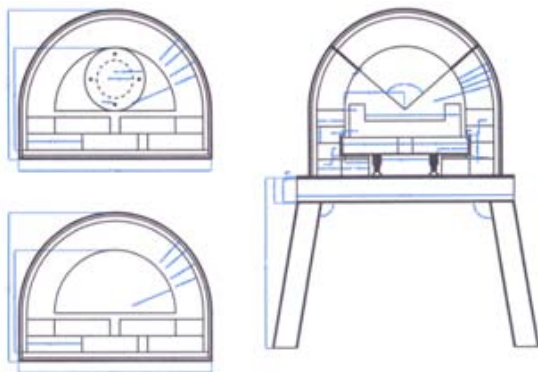
V = volume ruang crusibel (m<sup>3</sup>).

Sehingga m = 2,5 ton /m<sup>3</sup> x 0,0084 m<sup>3</sup> = 0,0209 ton

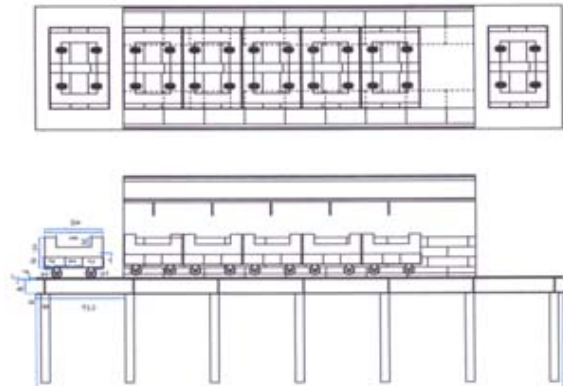
atau = 20,9 kg ≈ 21 kg

Spasi pelet di dalam crusibel 20 % = 16,7 kg. Jadi volume crusibel dapat menampung = 16,7 kg green pelet

Sehingga kapasitas tunnel direncanakan satu crusibel per jam, sehingga kasitas dapat dikatan 16,7 kg per jam green pelets sesuai untuk volume pelet yang dapat ditampung oleh satu crusibel.



**Gambar 12.** Pandangan depan alat reduksi



**Gambar 13.** Pandangan atas alat reduksi

## KESIMPULAN

Dalam perancangan peralatan mineral logam dibuat tungku untuk reduksi langsung dengan tungku yang berjalan atau kontinyu beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. Tingginya tumpukan pelet didalam tungku reduksi harus diperhatikan, kondisi ini sangat mempengaruhi pendistribusian panas samapai pada pelet bagian bawah dari tumpukan. Jika panas tidak merata maka reduksi pelet tidak merata atau kurang sempurna, sehingga *sponge iron* atau *direct reduced iron* (DRI) yang dihasilkan metalisasi logamnya rendah dan juga tidak merata, hal ini dapat mengakibatkan kualitasnya produk kurang bagus.
2. Tungku yang dirancang harus dapat menghasilkan panas bekisar 1100 °C sampai 1500 °C, kondisi ini dapat dicapai dengan perekayasaan yang benar untuk pembakaran bahan bakar, apalagi bahan bakar yang digunakan berupa gas, namun jika dikembangkan dalam skala pilot atau komersil juga harus dapat digunakan BBM ataupun batubara.
3. Bahan konstruksi yang digunakan harus sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan, sehingga panas yang ada didalam tungku tidak mudah terbuang secara konveksi melalui dinding tungku.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direct from midrex, 2007/2008”RHF Tecnologes”, Spesial report Winter.
- [2] Mikko Angermen, 2004, ”Alternative Process for Iron and Steel Making”,University of Oulu.
- [3] Lu,W.K, 2002”Technology of Low Coal Rate ang High Productivity of RHF Iron Making”,AISI/Doe, Technology Rodmap Program, 15 September.
- [4] USA Patent No.60.257879, 2001, Huang D and Lu, W.K,”Paired Straight Hearth (PSH) Furnace for Mertal Oxide Reduction”, Issuedon Juli.
- [5] Jack Robert Miller, 1976. “The Direct Reduction of Iron Ore”, America Scientific.
- [6] Isao Kobayashi, Yasuhiro T dan Akira U,”New Process To Produce Iron Directly From Fine Ore and Coal”, Engineering Company, Kobe Steel, Ltd, Osaka Japan, www.midrex.com.
- [7] Biswas, A.K, 1981,”Principles of Blast Furnace Ironmaking”, Cootha Publishing House,,Brisbane, Australia.

## RIWAYAT PENULIS

**Edi Herianto**, dilahirkan di Jambi 16 Mei 1964, selesai S1 Teknik Kimia dari Universitas Sriwijaya (UNSRI) Palembang tahun 1989. Tahun 1990 sampai 1996 bekerja di UPT. Peleburan Bijih Besi Lampung – LIPI, tahun 1997 sampai sekarang bekerja di Puslit Metalurgi – LIPI, sebagai Peneliti Madya IV C. Tahun 1997 mengikuti training pengolahan limbah Industri, rumah sakit dan domestik di MIYAMA, Co, Ltd, Jepang.