

# KONSEP DAN APLIKASI SIMULATOR TANUR PUTAR

**Rahardjo Binudi**

Pusat Penelitian Metalurgi LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314

E-mail : rbinudi@yahoo.com

*Masuk tanggal : 20-02-2013, revisi tanggal : 07-03-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 21-03-2013*

## Intisari

**KONSEP DAN APLIKASI SIMULATOR TANUR PUTAR.** Pengambilan sampel dari material untuk mengetahui kondisinya pada setiap posisi sepanjang tanur pada pengujian dalam operasi tanur putar (*rotary kiln*) sulit untuk dilakukan. Untuk mengatasinya telah dikembangkan konsep penggunaan simulator tanur putar dengan ukuran lebih kecil yang mengikuti prinsip fenomena perpindahan (*transport phenomena*) masa dan energi. Konsep penggunaan simulator tanur putar pada ukuran yang lebih kecil (percobaan laboratorium) diharapkan dapat mengamati kejadian seperti pada operasi tanur putar sebenarnya. Pengamatan hasil proses pemanasan suhu tinggi terhadap material seperti tingkat reduksi, metalisasi, bentuk dan ukuran metalisasi, jenis slag yang disebabkan oleh perubahan parameter-parameter seperti kecepatan putar, laju material masuk, temperatur operasi, laju gas pemanas dapat dipelajari lebih akurat dan lebih mudah. Simulator ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu komponen pembakaran, komponen pemanas, dan komponen stack dan dilengkapi dengan tempat pengumpanan bahan baku dan pengeluaran sampel, instrumentasi dan peralatan pengendalian.

*Kata kunci : Simulator, Tanur putar, Suhu tinggi, Komponen, Sampling material*

## Abstract

**THE CONCEPT AND APPLICATION OF ROTARY KILN SIMULATOR.** *The sampling of the material to know its condition at any position along of the rotary kiln during operation is difficult to carry out. To overcome this concept for using such like small size (laboratory scale) which basis on mass and energy transport phenomena have been developed. The concept of the use of rotary kiln simulator on the smaller size (laboratory experiments) are expected to observe the event as the actual rotary kiln operation. Observation of high temperature heating process results against such material, the level of reduction, metallized, metallized shapes and sizes, types of slag caused by changing parameters such as rotation speed, rate of incoming material, operating temperature, the rate of gas heaters can be studied more accurately and more easily. This simulator consists of three main components, namely combustion components, component heaters, and stack components and equipped with a feeder of raw materials and expenses sample, instrumentation and control equipment.*

*Keywords : Simulator, Rotary kiln, High temperature, Component, Material sampling*

## PENDAHULUAN

Sumber daya mineral Indonesia cukup potensial terutama berupa mineral logam seperti besi, nikel, tembaga, emas dan lainnya yang belum banyak dimanfaatkan, dimana sebagian dari mineral tersebut diekspor masih berupa bahan baku bijih (bahan mentah) dengan harga sangat murah.

Pemerintah berusaha untuk memanfaatkan sebesar-besarnya potensi

mineral di dalam negeri dengan mengolah menjadi bahan jadi. Undang-undang dan peraturan pemerintah dan peraturan menteri juga disiapkan untuk mendukung terlaksananya pengolahan dan pemurnian bahan baku mineral di dalam negeri.

UU Minerba no 4 tahun 2009 telah menetapkan bahwa pada tahun 2014 mendatang tidak boleh lagi mengeksport barang mentah mineral ke luar negeri, semua bahan mineral harus diolah dan dimurnikan di dalam negeri<sup>[1]</sup>.

Kebijakan pemerintah dengan hilirisasi pertambangan di wilayah ini diyakini akan berdampak pada pengembangan ekonomi Wilayah Indonesia Timur yang potensi sumber daya mineralnya tinggi, sekaligus akan mendorong kesejahteraan masyarakat sekitarnya. Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) mencetuskan bahwa sudah saatnya Indonesia tidak lagi mengeksport bahan mentah semua produk pertambangan hingga 2014, seperti nikel dan alumina, bijih besi harus sudah diolah di dalam negeri dan dijadikan salah satu penggerak pertumbuhan ekonomi.

Proyek feronikel PT Aneka Tambang Tbk (Antam) di Halmahera menjadi bagian dari MP3EI yang terletak dalam koridor enam dimana Maluku dan Papua yang ditargetkan menciptakan sumber pertumbuhan ekonomi sekitarnya. Dalam dokumen MP3EI, pemerintah mengindikasikan total kebutuhan investasi untuk pengembangan koridor enam, yakni Kepulauan Maluku dan Papua mencapai Rp 602 triliun. Dalam dokumen MP3EI juga disebutkan, investasi kegiatan utama dan investasi infrastruktur di koridor Papua-Maluku masing-masing membutuhkan dana sebesar Rp 440,9 triliun dan Rp161,4 triliun<sup>[2]</sup>.

Pengolahan mineral menyangkut teknologi yang tinggi dan biasanya padat modal, sehingga investornya diperlukan perusahaan besar, BUMN atau kerjasama dengan pemegang teknologi pengolahan. Diperlukan penguasaan teknologi terutama pengolahan bijih besi dan nikel.

Alih teknologi pengolahan dan pemurnian mineral mengalami kendala, sehingga penelitian dan aplikasi seakan tidak berhubungan, hal ini disebabkan oleh kurang sinerginya industri dan lembaga riset nasional. Pengembangan di laboratorium akan dilakukan oleh lembaga riset untuk mengatasi masalah yang dibutuhkan oleh industri.

Pada proses pengolahan bijih besi dan nikel banyak menggunakan tungku putar (*rotary kiln*) seperti pembuatan *sponge*

*iron* dan feronikel. Pengembangan proses dengan tanur putar ini meliputi teknologi konstruksi dan proses yang sudah dikuasai, sehingga tinggal memperdalam penguasaan prosesnya, mempelajari perubahan fasa terbentuknya logam pada saat reduksi, bentuk lelehan pada permukaan pelet, dan pengetahuan tentang *slag*.

Untuk mempelajari hal-hal tersebut sulit dilakukan dalam operasi tanur putar sebenarnya yang cukup panjang dan berdiameter besar (panjang = 72 meter dan diameter 3,8 meter), sehingga diperlukan simulator atau tungku putar kecil yang dapat dioperasikan sesuai kondisi sebenarnya tetapi memudahkan para peneliti melakukan pemantauan terhadap proses yang terjadi<sup>[3]</sup>.



## SIMULATOR TANUR PUTAR

Simulator tungku putar (*Rotary Kiln*) adalah alat didasarkan pada model matematika yang mendasar untuk proses reduksi langsung bijih besi atau bijih nikel oleh batubara dalam tanur putar. Simulator ini memanfaatkan sifat bijih dan batubara seperti distribusi ukuran partikel dan analisis kimia sepanjang tungku dan profil udara sebagai masukan. Neraca panas dan *massa*, reaksi-reaksi antara fasa yang berbeda termasuk dalam pemodelan untuk memprediksi temperatur gas dan padatan serta profil komposisi sepanjang kiln, derajat metalisasi dan analisa gas buang.

Penelitian laboratorium bersifat tidak kontinu dan ditujukan untuk mempelajari secara sangat sempurna sesuai dengan

teori, sehingga penerapannya di dalam skala komersial masih menghadapi kendala. Sebagai contoh apabila kita mempelajari reduksi bijih besi dengan reduktor karbon padat, biasanya dalam bentuk campurannya bisa berupa bongkah, *powder*, pelet atau briket. Pengamatan terhadap proses reduksi dapat dikendalikan dengan baik misalnya temperatur dapat dikendalikan, kondisi operasi dapat dijaga kedap terhadap udara luar, tetapi metode operasi biasanya *batch*, yang tidak sesuai dengan skala komersial yang dilakukan secara kontinu dan kapasitas yang sangat besar.

Untuk mengkaji dan mempelajari kejadian pada proses reduksi dan metalisasi beberapa riset juga telah dilakukan dengan menggunakan tanur putar mini laboratorium, dimana tanur putar sebenarnya ukurannya dikecilkan. Kondisi operasi dicoba untuk disesuaikan dengan tanur putar sebenarnya, temperatur, ukuran partikel, campuran reduktor dan bahan baku, laju udara pemanas dan lainnya. Kesulitan awal yang akan timbul adalah pada waktu mengendalikan kondisi operasi karena ruang pemanas yang kecil, maka panas yang hilang ke lingkungan terlalu besar, serta fluktuasi hasil percobaan, yang kedua pada pengambilan sampel dari posisi yang diinginkan disepanjang tanur tidak mudah dilakukan.

Usaha untuk memperbaiki kesulitan seperti yang terjadi pada penggunaan tanur putar mini laboratorium di atas dilakukan dengan memberikan panas melalui pemanas listrik (*heating elemen*), sehingga pengendalian panas (*thermo controller*) dapat dilakukan dengan baik terhadap hasil reduksi dan metalisasinya. Persoalan mendasar adalah mengevaluasi/mempelajari kinerja tungku putar sebenarnya dengan menggunakan tungku putar skala laboratorium, dimana variabel kondisi proses dan operasi sangat kompleks, sehingga penggunaan tungku putar skala laboratorium dengan model apapun tidak relevan. Hal ini disebabkan karena model tidak mudah dibuat dengan

hanya mengandalkan parameter yang konvensional dalam melakukan modeling untuk skala yang sangat besar.



**Gambar 2.** Tanur putar mini Pusat Penelitian Metalurgi LIPI Serpong

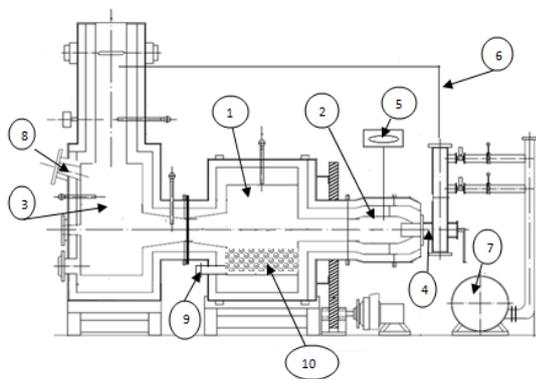
Setelah mempelajari beberapa bentuk permodelan skala laboratorium yang kurang menunjukkan kondisi operasi yang sebenarnya, maka dibuatlah pengecilan skala tungku putar mini artinya skala peralatan tungku putar tersebut cukup dan dianggap dapat menyamai pada kondisi sebenarnya. Percobaan dengan model ini cukup baik, tetapi kalau peralatan tersebut digunakan untuk memantau atau uji coba dengan material baru yang diharapkan dapat diterapkan pada tungku besar yang sesungguhnya menjadi mahal dan perlu waktu lama.



**Gambar 3.** Tanur putar laboratorium

## KONSEP DISAIN

Simulator tanur putar direncanakan untuk riset penelitian pengolahan bahan mineral dengan kapasitas 50 -100 kg bahan dalam bentuk bongkah, serpih pelet, briket dan *powder*, dengan atau tanpa menggunakan bahan reduktor. Disain simulator ini berupa tungku putar yang mempunyai diameter lebih lebar dibandingkan panjang silinder tanur, dan yang paling penting memudahkan operator untuk mengambil sampel bahan padatan maupun sampel gas hasil reaksi (Gambar 4)



### Keterangan Gambar :

1. Reaktor
2. Pembangkit panas
3. Cerobong asap
4. Bumer
5. Oxygen analyzer
6. Pipa sirkulasi
7. Blower
8. Tempat pengambilan sampel gas
9. Tempat pengambilan sampel padatan
10. Material percobaan

Gambar 4. Model simulator tanur putar

Komponen simulator tanur putar ini terdiri dari komponen utama, komponen penunjang dan beberapa peralatan instrumentasi.

## KOMPONEN UTAMA SIMULATOR

1. Ruang reaktor pembakaran adalah tempat dimana terjadinya reaksi reduksi bahan baku bijih dengan reduktor menjadi logam, dengan bantuan panas.

Reaktor ini berupa silinder yang berputar dan terdiri dari :

- Sistem pemasukan umpan *vibrating feeder*
  - Sistem pengeluaran umpan dan tempat pengambilan sampel padatan.
  - Termokopel
2. Ruang pembangkit panas  
Ruang ini digunakan untuk membangkitkan panas yang terdiri dari pembakar utama (*burner*), pemasok udara (*blower*), bagian ini terdiri dari beberapa komponen yaitu :
    - *Burner* atau pembangkit panas dengan bahan bakar gas atau minyak bakar (solar, minyak tanah, IDO). Bagian ini terpisahkan dengan bagian tanur putar dan disekat supaya tidak ada udara yang masuk sistem pembakaran.
    - *Blower* digunakan untuk memasok udara sebagai sumber oksigen dalam reaksi pembakaran dibagian burner
  3. Cerobong asap (*stack*) digunakan untuk menampung dan mengeluarkan gas dan debu hasil reaksi, bagian ini mempunyai kelengkapan sebagai berikut :
    - Tempat pengambilan sampel gas dibagian cerobong asap (*gas sampling point*)
    - *Damper* pengatur laju gas buang keluar dari pembakaran
    - Termokopel
    - Indikator perbedaan tekanan

## KELENGKAPAN

1. Oksigen meter (*oxygen analyzer*) digunakan untuk mengetahui kandungan oksigen di dalam ruang pemanasan, sehingga dapat diatur kandungan oksigen di dalam ruang reaksi dengan mengatur jumlah gas buang yang dikembalikan sebagai pengencer oksigen.
2. Pipa sirkulasi digunakan untuk menyalurkan gas buang (*flue gas*) yang

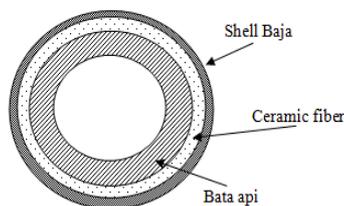
kaya dengan  $N_2$  dan  $CO_2$  dimasukkan ke dalam ruang bakar untuk menurunkan kadar oksigen, sehingga terjadi suasana reduksi dalam ruang reaksi.

3. Pengendali panas (*thermocontroller*), untuk mengendalikan panas di dalam ruang reaksi pada temperatur 25 – 1350 °C.

## KONSTRUKSI

Konstruksi dari simulator tanur putar ini terdiri dari :

1. Bagian luar (*shell*) dibuat dari bahan baja (*mild steel*) dengan ketebalan 6 mm.
2. Bagian dalam terdiri dari dua material yaitu: refraktori atau bata api yang dipasang melingkar sepanjang silinder.
3. Penyekat panas (isolasi) digunakan untuk menahan panas keluar dari ruang reaksi (reaktor) berupa serat keramik dengan tebal 5 cm.

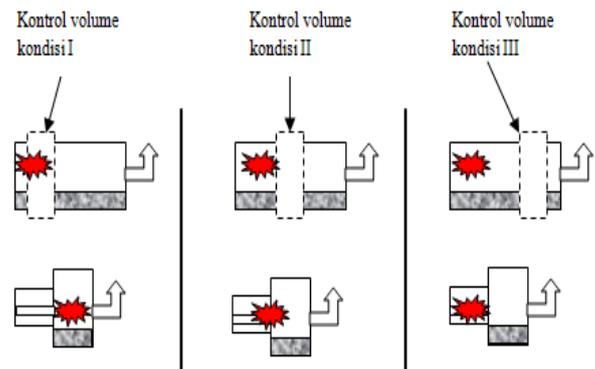


**Gambar 5.** Susunan silinder tanur dalam penelitian ini

## PEMODELAN

Dasar dari penggunaan simulator tanur putar ini adalah mempelajari kontrol volume padatan di dalam simulator tanur putar yang memungkinkan untuk memprediksi apa yang terjadi dalam tungku putar sebenarnya. Pada simulator tanur putar kontrol volume dipelajari dalam model *batch*, bahan di dalam tanur berputar tetapi tidak bergerak secara aksial. Beberapa posisi bahan dalam tanur bervariasi sesuai dengan panas yang diberikan oleh *burner* terhadap permukaan bahan, garis putus-putus adalah kontrol

volume dalam simulator *batch*, ditunjukkan pada Gambar 6<sup>[4]</sup>.



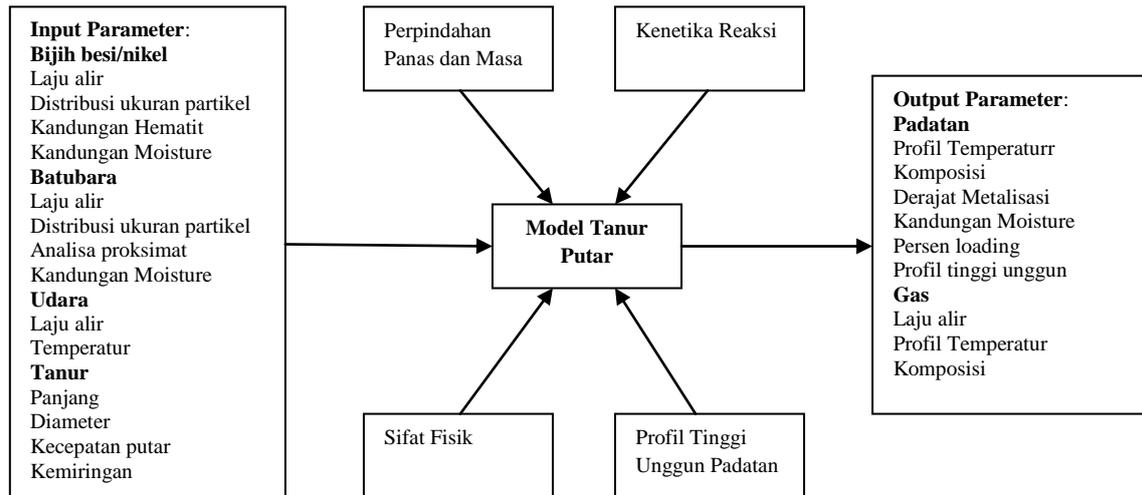
**Gambar 6.** Konsep tanur putar simulator kontrol volume konsep

Tantangan utama dalam memproses besi nikel adalah memaksimalkan produktivitas tanur dan meminimalisasi konsumsi bahan bakar, dan dapat menggunakan batubara kadar rendah dari berbagai sumber. Dengan adanya simulator tanur putar di P2M-LIPI akan memberikan bantuan pemecahan persoalan terhadap tantangan tersebut di atas melalui model yang didasarkan pada optimasi dan pengendalian.

Simulator tanur putar ini didasarkan pada model matematis untuk reduksi langsung bijih besi dan nikel dengan batubara di dalam suatu tungku putar. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan untuk memproses besi spons dalam tungku putar hal-hal sebagai dasar pemodelan yaitu<sup>[5]</sup> :

- Termodinamika reaksi reduksi dan gasifikasi
- Karakteristik bahan baku dan perannya dalam proses
- Kinetika reaksi peran reduksibilitas bijih besi dan reaktivitas batubara, begitu juga dasar pemilihan bijih besi dan batubara
- Pergerakan padatan dalam tanur putar dan waktu tinggalnya
- Produksi dan laju alir gas
- Perpindahan panas, profil temperatur dan model proses.

Skema struktur model tungku putar ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur model tungku putar

## APLIKASI SIMULATOR TANUR PUTAR

Simulator tanur putar salah satu bentuk penurunan skala menjadi tanur putar kecil namun mempunyai unjuk kerja yang mendekati tanur putar sebenarnya. Pemotongan tanur tiup menjadi lebih pendek, tetapi diameter masih cukup lebar, sehingga memudahkan pengambilan sampel sesaat seperti pada kondisi sebenarnya. Kalau ditinjau dari geometri dan ukuran tanur ini dapat disebut sebagai bagian dari tanur sebenarnya yang terdiri dari *stove*, tanur putar, bagian *stack* dan kelengkapan lain seperti pengeluaran sampel yang memudahkan operator.

Simulator tanur putar ini dapat digunakan untuk meneliti proses-proses pengolahan mineral berbasis bijih besi dan nikel dengan metode *direct reduction iron ore* (DRI) yang biasanya dilakukan di dalam tanur putar atau *rotary heart furnace* (RHF) antara lain :

- Pembuatan *Luppen* FeNi  
Proses SL-RN dan *Krupp Sponge Iron* untuk mengolah bijih besi dengan mereduksi oksida besi dan nikel dengan kokas, antrasit dan kokas temperatur rendah/semi kokas. Campuran yang mengandung bijih dan reduktor dilewatkan dalam tungku putar yang

berlawanan arah dengan gas pemanasnya sehingga terjadi reduksi dan menghasilkan *luppen* (sinter bongkahan dimana besi dan nikel lelehan menyatu). Dengan menggunakan simulator tanur putar ini dapat dilakukan dengan lebih teliti pengamatan terhadap zona terjadinya reduksi besi dan nikel keseluruhan dan zona terjadinya lupen.

- Pembuatan Besi Spons  
Proses pembuatan besi spons yang biasa dilakukan dalam tanur putar dengan mereduksi bijih besi dengan reduktor padat yang dipanaskan pada temperatur 1350 °C dalam waktu 12 jam. Dengan menggunakan simulator tanur putar ini dapat dilakukan pengendalian pada zona terjadinya reduksi dan oksidasi pemanasan dengan mengatur udara masuk sepanjang tanur putar<sup>[6]</sup>.
- Pembuatan Besi *Nugget*  
Pembuatan besi *nugget* biasa dilakukan dengan *rotary hearth furnace* dimana campuran bijih besi dengan reduktor dilewatkan pemanas yang kedap udara secara bertahap sampai proses reduksi dan melting berlangsung<sup>[7]</sup>. Dengan menggunakan simulator tanur putar dapat dipelajari berlangsungnya peristiwa reduksi dan mengumpulnya

besi lelehan menjadi *nugget*, sepanjang nampan berputar.

- Pengamatan juga dapat dilakukan terhadap proses pembentukan *luppen*, *nugget* dari pasir besi, mengatasi cincin penahan bijih (*dam ring*), pengaruh aditif, bentuk umpan curah vs briket, pengaruh temperatur.
- Kemungkinan mengganti RHF dengan RK. Dengan mempelajari kesesuaian pengolahan bijih dengan cara mereduksi dengan reduktor padat, bisa terjadi penggunaan RHF yang kapasitasnya terbatas dan operasi yang rumit dapat digantikan dengan tanur putar<sup>[8]</sup>.
- Aplikasi lain dari penggunaan simulator tanur putar adalah untuk pabrik semen, kalsinasi kapur, kalsinasi bijih mineral dan karbonisasi batubara<sup>[9]</sup>.

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Penggunaan peralatan simulator tanur putar ini dapat membantu untuk mempelajari hal-hal yang sulit dilakukan dalam operasi tanur putar yang sebenarnya yang panjangnya mencapai 72 meter dan berjam 3,8 meter, sehingga diperlukan simulator atau tungku putar kecil yang dapat dioperasikan sesuai kondisi sebenarnya sehingga memudahkan untuk melakukan pemantauan terhadap proses yang terjadi.
2. Kelemahan tanur putar skala kecil belum memenuhi syarat sebagai simulator.
3. Simulator tanur putar salah satu bentuk penurunan skala menjadi tanur putar kecil yang mempunyai unjuk kerja yang mendekati tanur putar sebenarnya, memenuhi dasar-dasar fenomena perpindahan (*transport phenomena*) masa dan energi. Pemotongan tanur tiup menjadi lebih pendek, tetapi diameter masih cukup lebar, sehingga memudahkan pengambilan sampel sesaat seperti pada kondisi sebenarnya.

4. Simulator tanur putar dapat digunakan untuk mempelajari proses-proses yang menggunakan tanur putar sebagai peralatan utamanya antara lain : pembuatan *luppen ferronickel* (proses nippon yakin), pembuatan besi spons dan pembuatan besi *nugget*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 23 Tahun 2010, Tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [2] Hilirisasi Pertambangan Digenjot, Thursday, December 01, 2011 08:37 WIB, <http://www.ipotnews.com>
- [3] Hitoshi TSUJI. 2012., 'Behavior of Reduction and Growth of Metal in Smelting of Saprolite Ni-ore in a Rotary Kiln for Production of Ferro-nickel Alloy'. *ISIJ International*: Vol. 52, No. 6, pp. 1000–1009.
- [4] Paul M.Lemieux., David W. Pershing. 1988. *Design And Construction Of A Rotary Kiln Simulator For Use In Studying The Incineration Of Hazardous Waste*. The University of Utah, Department of Chemical Engineering, Salt Lake City, Utah.
- [5] Tata Consultancy Service, Sponge Iron Rotary Kiln Simulator, Innovation Labs. [www.tcs.com](http://www.tcs.com)
- [6] Anil Kumar Prasad, Vivek Kumar and Shabina Khanam. 2011., 'Generation of Energy Conservation Measures for Sponge Iron Plants'. *Proceedings of the World Congress on Engineering*: Vol. III, WCE 2011, July 6-8, 2011, UK.
- [7] Dayton Superior Corporation, *Mesabi Nugget Plant In Silver Bay*, Minnesota, US, [www.daytonsuperior.com](http://www.daytonsuperior.com).
- [8] Xiao Yan Liu, E. Specht, O. Guerra Gonzalez, P. Walzel. 2006., 'Analytical solution for the

rolling-mode granular motion in rotary kilns, *Chemical Engineering and Processing*”: 45, 515–521.

- [9] Mujumdar, K S., Ganesh, KV., *Rotary Kiln Cement Simulator : Integrated Modelling of Preheater, Calciner, Kiln and Klinker Cooler.*, *Chemical Engineering Science*, 62 (2007) 2590-2607.

## **RIWAYAT PENULIS**

**Rahardjo Binudi**, dilahirkan di Blitar, Jawa Timur pada tanggal 7 Pebruari 1954. Lulus Sarjana Teknik Kimia- ITB tahun 1984. Sampai saat ini bekerja di Pusat Penelitian Metalurgi LIPI.