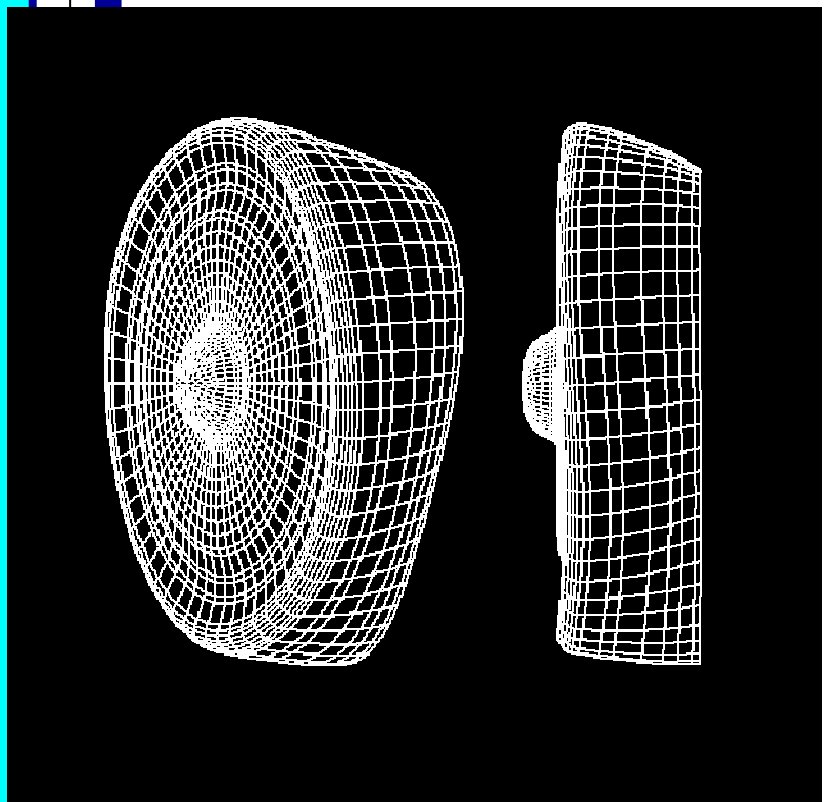


Jurnal Teknik Mesin  
Volume 21, No.2, Oktober



## EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua)  
A. Suwono  
D. Suharto  
K. Bagiasna  
S. D. Jenie  
S. S. Brodjonegoro  
Abdurrachim  
I. Nurhadi  
R. Suratman  
P. S. Darmanto

## MITRA BESTARI

Ign. P. Nurprasetio (ITB)  
I. S. Putra (ITB)  
A. I. Mahyuddin (ITB)  
Y. Yuwana M (ITB)  
Z. Abidin (ITB)  
P. Sutikno (ITB)  
T. Hardianto (ITB)  
T. A. F. Soelaiman (ITB)  
N. P. Tandian (ITB)  
S. Wiryolukito (ITB)  
A. Basuki (ITB)

## REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua)  
I M. Astina  
I. G. N. W. Puja  
Indrawanto  
W. Adriansyah  
A. Wibowo  
I N. Diasta

## ALAMAT REDAKSI

Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Bandung  
Jln. Ganesa 10, Bandung 40132  
Tel. :(022)-2504243  
Fax: (022)-2534099  
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id  
yadi@tu.ms.itb.ac.id

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun  
Bulan April dan Oktober.

## EDITORIAL

Jurnal Mesin Vol. 21 No. 2 merupakan edisi terakhir tahun 2006. Lima makalah diterbitkan dalam Jurnal ini yang mencakup berbagai disiplin ilmu dalam bidang Teknik Mesin. Makalah pertama, ditulis oleh I Wayan Suweca dan Eko Cahyono dari Laboratorium Perancangan Mesin ITB. Makalah ini membahas pengaruh frekuensi pribadi gong terhadap kualitas bunyi yang dihasilkan. Usulan metode optimasi perancangan gong yang berdasar pada metode *Sequential Unconstrained Minimization Techniques* (SUMT) dan pemodelan elemen hingga dibahas dalam makalah. Hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan dapat menunjukkan bahwa daerah ujung bibir gong merupakan daerah yang paling berpengaruh terhadap kualitas suara yang dihasilkan.

Makalah kedua ditulis oleh Bagus Budiwantoro dkk. dari laboratorium Perancangan Mesin ITB. Makalah ini membahas metode analisis yang digunakan untuk memprediksi performansi bantalan luncur lokomotif yang mengalami beban impact. Beban impact dicurigai menjadi penyebab kegagalan pelumasan yang berakibat terjadinya kerusakan pada bantalan luncur. Untuk mengurangi frekuensi kegagalan, metode prediksi yang cukup akurat diperlukan metode yang diusulkan melibatkan parameter-parameter seperti ketebalan film minimum, eksentrisitas bantalan, koefisien gesek bantalan, laju aliran pelumas, peningkatan temperatur dan beban impact yang terjadi. Dari hasil analisis yang dilakukan pada bantalan luncur impor dan buatan lokal dapat diketahui beban impact kritik yang dapat diterima oleh bantalan tersebut.

Makalah yang ditulis oleh Prihadi Setyo Darmanto dari Laboratorium Teknik Pendingin ITB membahas mengenai masalah belum bakunya prosedur perancangan Kalsiner di beberapa pabrik semen. Hal ini menyebabkan besarnya variasi parameter serta ukuran kinerja antara satu desain dengan lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut makalah ini mengusulkan beberapa parameter yang harus ditetapkan antara lain derajat kalsinasi. Derajat kalsinasi ini nantinya akan menentukan waktu tinggal, besarnya panas yang diperlukan, volume kalsiner, dan kecepatan aliran aerosol.

Makalah keempat ditulis oleh Bambang Kismono Hadi dkk. dari Kelompok Keahlian Struktur Ringan FTI ITB. Makalah ini membahas kaji eksperimental penyerapan energi oleh tabung aluminium yang mengalami beban tekan arah aksial. Kajian ini menyatakan tabung silinder yang terdeformasi plastis akibat beban aksial dapat digunakan sebagai komponen penyerap energi yang efisien. Pengujian pada silinder aluminium berdiameter 60 mm dan 100 mm, dan ketebalan 2 mm yang mendapat beban aksial mengalami kolaps berbentuk lipatan plastis teratur yang menunjukkan penyerapan energi yang cukup besar. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penyerapan energi yang sebenarnya terjadi lebih besar dari prediksi teoritik.

Makalah kelima ditulis oleh Rachman Setiawan dkk. dari Kelompok Keahlian Perancangan Mesin FTI ITB. Makalah ini membahas hasil pengujian dan simulasi penyerapan energi pada modul penyerap energi impact. Modul yang dimaksud merupakan salah satu penerapan teknologi *crashworthiness* yang didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur untuk melindungi kargo atau penumpang ketika terjadi tabrakan (impact). Makalah ini membahas hasil-hasil simulasi dan kaji eksperimen kasus-kasus impact untuk memberi gambaran pengaruh beberapa parameter utama. Mekanisme penyerapan impact yang dicoba adalah *internal inversion* dan *controlled axial splitting*.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

---

# MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 21, No. 2, Oktober 2006

ISSN 0852-6095

---

Diterbitkan oleh : Program Studi Teknik Mesin,  
Fakultas Teknologi Industri - ITB

Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

---

## DAFTAR ISI

- Optimasi numerik struktur gong untuk memperoleh rasio frekuensi pribadi tertentu.*  
**I Wayan Suweca dan Eko Cahyono** 34-43
- Aplikasi metode rainmondi dan boyd pada perbandingan analisis performansi journal bearing lokomotif yang mengalami beban impak.*  
**Bagus Budiwanto, Ridha Firmansyah dan IGN Wiratmaja Puja** 44-52
- Perbandingan parameter desain dan parameter operasi beberapa kalsiner pabrik semen di Indonesia.*  
**Prihadi Setyo Darmanto** 53-58
- Kaji eksperimental penyerapan energi tabung aluminium yang mengalami beban tekan arah aksial.*  
**Bambang K. Hadi, Ichsan S. Putra dan Yanyan Tedy S.** 59-64
- Karakteristik modul penyerap energi impak mekanisme internal inversion dan axial splitting.*  
**Rachman Setiawan, M. Hisyam Amir, Bambang Sugiharto dan Sigit Fajrianto** 65-72

---

**M E S I N**

Jurnal Teknik Mesin

*Vol. 21, No. 2, Oktober 2006*

ISSN 0856-6095

---

# PERBANDINGAN PARAMETER DESAIN DAN PARAMETER OPERASI BEBERAPA KALSINER PABRIK SEMEN DI INDONESIA

Prihadi Setyo Darmanto

Laboratorium Teknik Pendingin, Program Studi Teknik Mesin, FTI ITB

## Ringkasan

*Kalsiner suatu pabrik semen merupakan reaktor tempat terjadinya proses dekarbonisasi atau kalsinasi batu kapur dan pembakaran bahan bakar secara simultan di suatu pabrik semen. Proses dekarbonisasi batu kapur merupakan proses endotermik yang memanfaatkan energi panas hasil pembakaran bahan bakar. Namun karena kedua proses tersebut menghasilkan CO<sub>2</sub>, efektivitas proses dekarbonisasi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi gas ini di dalam reaktor yang bervariasi sepanjang lintasan proses di dalamnya. Demikian pula kecepatan reaksi pembakaran juga terpengaruh oleh konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam gas hasil pembakaran. Hal inilah yang menjadi dasar pertimbangan dalam rancang bangun kalsiner, sehingga berakibat banyak sekali variasi hasil rancangan (desain) yang dapat ditemukan. Variasi desain ini mengakibatkan bervariasinya parameter rancangan maupun parameter operasinya. Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari suatu petunjuk memilih dan memberi nilai parameter desain kalsiner pabrik semen yang berbahan bakar batu bara sebagai pertimbangan agar hasil rancangan dapat beroperasi dengan baik sesuai harapan saat proses perancangan dilakukan.*

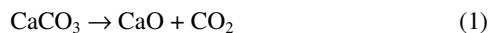
## Abstract

*Cement calciner is a reactor where the decarbonization of lime stone and fuel combustion processes take place simultaneously. Decarbonization of lime stone is endothermic process and uses the heat produced by the combustion of fuel. However, because these two simultaneous processes produce CO<sub>2</sub>, the effectiveness of both processes depend on the CO<sub>2</sub> concentration along the gas stream inside the calciner. The complexity of these simultaneous processes causes the variation of calciner design that could be found in cement industry. Especially for the calciner using coal as a fuel, this variation design influences significantly to the operation of the calciner. This paper presents a comparison study of design and operational parameters of some calciners in Indonesian cement manufacturers. The result of study could be used for designers to consider some principal parameters during design process so that the calciner could operate properly and give a better performance.*

**Keywords:** *calciner, decarbonization, combustion, design and operation parameters*

## 1. PENDAHULUAN

Kalsiner merupakan salah satu reaktor di dalam suatu pabrik semen dengan proses kering yang biasanya berkapasitas besar (> 5000 ton/hari atau TPD). Di dalam kalsiner tersebut terjadi proses dekarbonisasi batu kapur dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Reaksi tersebut merupakan reaksi endotermik di mana kebutuhan energinya dipasok oleh hasil pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam kalsiner itu pula. Dengan demikian di dalam kalsiner terjadi dua proses reaksi secara simultan yang keduanya menghasilkan gas CO<sub>2</sub>, yaitu dekarbonisasi batu kapur dan pembakaran bahan bakar. Kompleksitas dua reaksi simultan ini mengakibatkan rancangan bentuk, dimensi, dan parameter desain yang berkaitan dengan parameter proses lain seperti beban panas reaktor, kecepatan aliran, waktu tinggal material dan lain sebagainya menjadi bervariasi dengan rentang nilai parameter yang cukup lebar.

Penambahan kalsiner di dalam pabrik semen modern pada umumnya bertujuan untuk mengurangi beban panas *kiln*. Di dalam *kiln* pabrik semen terjadi dua

proses utama yaitu kalsinasi batu kapur dan klinkerisasi bahan baku. Pada *kiln* tanpa kalsiner proses kalsinasi batu kapur sebagian besar (hingga 90% atau bahkan lebih) terjadi di dalamnya. Dengan memindahkan proses kalsinasi batu kapur ini ke dalam kalsiner, tinggal sekitar 10% saja proses kalsinasi terjadi di dalam *kiln* sehingga ruangan yang tersedia dapat digunakan lebih banyak untuk proses klinkerisasi. Dengan demikian untuk ukuran *kiln* tertentu, pabrik yang memiliki kalsiner akan berkapasitas produksi lebih besar dibanding pabrik tanpa kalsiner. Selain itu, dengan adanya kalsiner, udara pendingin terak (*clinker*) yang tinggi temperaturnya dapat dimanfaatkan sebagai udara pasok pembakaran bahan bakar, sehingga kebutuhan bahan bakar dapat dihemat.

Namun demikian karena banyak sekali tipe kalsiner yang terpasang di pabrik semen, pantas diduga bahwa penelitian mengenai kalsiner ini masih belum selesai. Penelitian ini dilakukan atas dasar pengamatan bahwa kalsiner yang terpasang di pabrik semen di Indonesia sangat bervariasi baik dari sisi tipe, bentuk, dan ukuran, serta penempatannya di dalam konfigurasi peralatan pabrik secara keseluruhan. Variasi desain tersebut tentunya akan menimbulkan perbedaan parameter operasinya, yang berakibat pula pada perbedaan

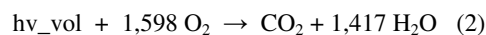
karakteristik operasional pabrik secara keseluruhan. Dengan latar belakang keingintahuan tentang *state of the art* desain dan operasi kalsiner inilah penelitian ini dilakukan, karena pengetahuan ini sangat diperlukan dalam pengembangan penelitian selanjutnya dalam rangka perbaikan kinerja sebuah kalsiner di pabrik semen.

## 2. PROSES SIMULTAN PEMBAKARAN BATUBARA DAN KALSINASI BATU KAPUR

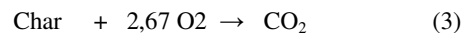
Pada umumnya pabrik semen di Indonesia berbahan bakar batu bara mengingat harganya yang masih relatif lebih murah dibanding bahan bakar minyak dan gas. Disamping itu temperatur yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara masih memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk proses klinkerisasi bahan baku semen yaitu sekitar 1450°C. Proses pembakaran batubara ini sebagian dilakukan di kalsiner dan sebagian lagi di *kiln*.

Pembakaran batu bara adalah reaksi berantai yang kompleks. Panas hasil pembakaran bahan bakar pertama-tama akan digunakan untuk meningkatkan temperatur gas hasil pembakaran bahan bakar. Di dalam sebuah kalsiner, karena gas tersebut membawa material bahan baku semen (*raw-mix*) yang salah satunya adalah batu kapur, maka panas tersebut akan digunakan baik untuk menaikkan temperturnya maupun menunjang terjadinya reaksi kalsinasi. Pada umumnya bahan bakar batubara yang digunakan terdiri dari *volatile matter* [ $hv\_vol$ ], *char* atau tar dan *ash*. Reaksi yang terjadi berlangsung melalui dua tahap, yaitu:

1. Tahap pembakaran *volatile matter* ( $hv\_vol$ ) berdasarkan basis molar dapat ditulis sebagai:



2. Tahap pembakaran tar [*char*] berdasarkan basis massa dapat ditulis sebagai:



Dari persamaan reaksi (2) dan (3) di atas, keduanya akan menghasilkan gas  $CO_2$  yang juga dihasilkan dari proses kalsinasi batu kapur sesuai dengan persamaan (1). Reaksi kalsinasi dan pembakaran batu bara tersebut secara simultan terjadi di dalam kalsiner sehingga konsentrasi  $CO_2$  di dalamnya akan dengan cepat sekali meningkat. Hal ini akan mempengaruhi kecepatan reaksi kalsinasi karena reaksi tersebut bersifat bolak-balik [3]. Sebagai konsekuensinya di dalam perancangan kalsiner ketidakpastian proses akan menyulitkan penentuan dimensi yang tepat atau yang mendekati benar.

## 3. PARAMETER OPERASI KALSINER

Para praktisi pabrik semen lebih memperhatikan parameter operasi yang dapat dievaluasi berdasarkan besaran-besaran operasional seperti temperatur, tekanan, laju aliran massa bahan bakar dan material, dan lain-lain. Beberapa parameter operasi kalsiner yang biasa dievaluasi untuk menentukan kinerjanya antara lain [3]:

- a. Derajat kalsinasi batu kapur yaitu prosentase massa batu kapur yang telah terurai menjadi kalsium oksida ( $CaO$ ) dan gas karbon dioksida seperti yang

dinyatakan dalam persamaan (1). Di dalam makalah ini derajat kalsinasi yang dievaluasi adalah saat material baku meninggalkan kalsiner karena nilainya merupakan target desain sebuah kalsiner. Selain itu nilai tersebut merupakan data awal bagi proses selanjutnya.

- b. *Specific cross section area load* (SCSAL) adalah perbandingan antara luas penampang (CSA) kalsiner dalam ( $m^2$ ) dengan kapasitas desain kiln (Cl.Prod) per jam dalam (Ton/jam atau TPH). Satuannya adalah  $\left(\frac{m^2}{\text{Ton}_{\text{klin ker}}/\text{jam}}\right)$ . Perumusan matematikanya adalah:

$$SCSAL = \frac{CSA}{Cl.Pr od} \quad (4)$$

- c. *Specific calciner load* (SCL) adalah perbandingan antara kapasitas produksi kiln (Cl.Prod) dengan Volume efektif (Vol) kalsiner ( $m^3$ ). Satuannya adalah  $\left(\frac{\text{Ton}_{\text{klin ker}}/\text{hari}}{m^3}\right)$ . Perumusan matematikanya adalah sebagai berikut:

$$SCL = \frac{Cl.Pr od \times 24}{Vol} \quad (5)$$

- d. Kecepatan rata-rata aliran gas ( $v_g$ ) adalah kecepatan rata-rata mengalirnya gas di dalam kalsiner. Kecepatan aliran gas dihitung berdasarkan debit ( $VA_g$ ) atau laju volume aliran gas ( $m^3/s$ ) dibagi dengan luas penampang (CSA) saluran peralatan ( $m^2$ ). Formulasi matematikanya adalah:

$$v_g = \frac{VA_g}{CSA} \quad (6)$$

- e. Waktu tinggal gas (*gas resident time*,  $t_g$ ) di kalsiner dalam detik (s) adalah waktu tinggal gas selama mengalir di dalam kalsiner sejak gas tersebut memasuki kalsiner hingga meninggalkannya. Waktu tinggal ini dihitung berdasarkan panjang efektif kalsiner ( $L_c$ ) dalam (m) dibagi dengan kecepatan rata-rata aliran gas di dalam kalsiner ( $v_g$ ) dalam (m/s). Penulisan persamaan matematikanya adalah:

$$t_g = \frac{L_c}{v_g} \quad (7)$$

- f. *Thermal Specific Load* (TSL) adalah nilai total laju energi dari pembakaran bahan bakar di dalam kalsiner (Mkal/jam) per satuan volume kalsiner ( $m^3$ ).

Satuan TSL adalah  $\left(\frac{\text{Mkal}/\text{jam}}{m^3}\right)$ . Formulasi untuk mengevaluasi TSL adalah:

$$TSL = \frac{m_{bb} \times NHV_{bb}}{Vol} \quad (8)$$

dimana  $m_{bb}$  dan  $NHV_{bb}$  adalah berturut-turut laju bahan bakar yang dibakar didalam kalsiner (kg/jam) dan nilai kalor *netto* bahan bakar (Mkal/kg) yang dalam penelitian ini dipakai sebesar 6 Mkal/kg.

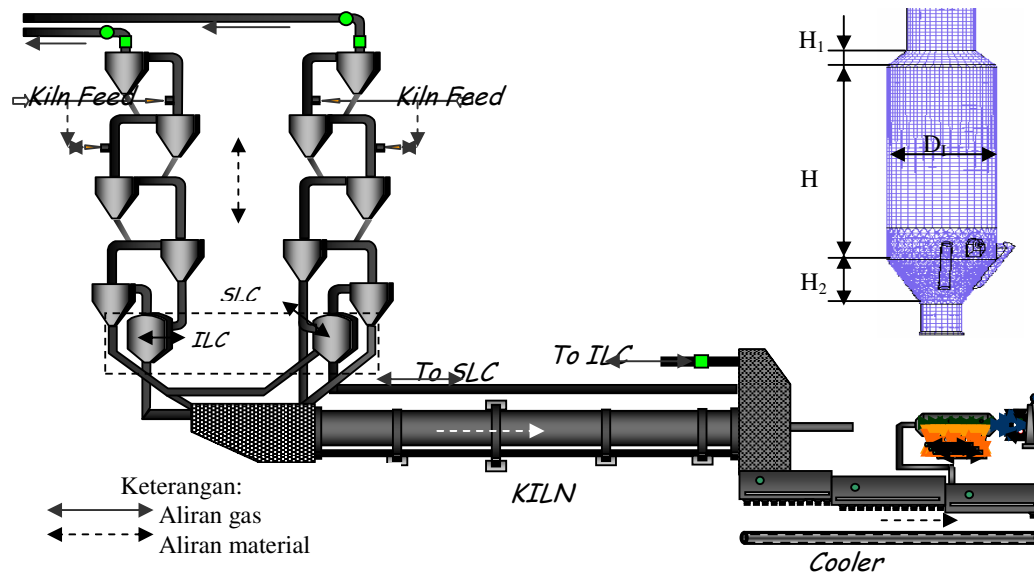
#### 4. DATA BEBERAPA KALSINER PABRIK SEMEN DI INDONESIA

Berdasarkan posisinya di pabrik semen relatif terhadap aliran gas melalui *kiln*, ada dua tipe kalsiner yang banyak dipakai di pabrik semen di Indonesia yaitu *in-line calciner* (ILC) dan *separated line calciner* (SLC). ILC menerima gas dari *kiln* sehingga tercampur dengan gas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam kalsiner itu sendiri. Sedangkan pada SLC aliran gas hanya berasal dari proses yang terjadi di dalam kalsiner tanpa ada masukan atau pencampuran dengan gas dari *kiln*. Pada umumnya prosentase proses kalsinasi di dalam ILC lebih sedikit dibanding yang terjadi di dalam SLC. Hal ini salah satu penyebabnya adalah kadar CO<sub>2</sub> gas saat masuk ILC biasanya lebih tinggi dibanding SLC sehingga reaksi kalsinasi menjadi lebih sulit terjadi. Tingginya kadar CO<sub>2</sub> dalam gas ini disebabkan oleh masuknya gas dari *kiln* melalui ILC, dimana gas dari *kiln* tersebut sudah mengandung CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi yang cukup tinggi sebagai hasil reaksi pembakaran bahan bakar serta proses kalsinasi lanjutan di dalam *kiln*.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas dari kedua jenis kalsiner ini di dalam suatu rangkaian

peralatan di pabrik semen, pada Gambar 1 diperlihatkan suatu contoh diagram skematik peralatan utama di sebuah pabrik semen yang kebetulan memakai kedua jenis kalsiner ini.

Di dalam penelitian ini, pabrik-pabrik yang diteliti antara lain Pabrik Indarung 4 dan 5, PT Semen Padang (P4 dan P5 PTSP), Pabrik 6 dan 11 PT Indocement Tunggul Prakarsa (P6 dan P12 PT ITP), Pabrik 4 PT Semen Cibinong (P4 PTSC), Pabrik 1 dan 2 PT Semen Gresik (P1 dan P2 PTSG), dan Pabrik 4 PT Semen Tonasa (P4 PTST). Data desain untuk kalsiner jenis ILC dan SLC, terutama mengenai dimensi utama kalsiner, kapasitas produksi, laju bahan bakar normal yang diumpungkan ke dalam kalsiner serta nilai kalornya, dan data penunjang lainnya untuk masing-masing pabrik berturut-turut diberikan dalam Tabel 1 dan 2. Dari kedua tabel tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan dimensi walaupun pabrik tersebut dirancang untuk kapasitas produksi yang sama atau mirip. Hal ini menunjukkan adanya variasi parameter-parameter desain dalam perancangan dimensi kalsiner. Sebagai konsekuensinya akan terjadi pula perbedaan kinerja dari setiap desain kalsiner yang dapat ditunjukkan dari hasil perhitungan parameter kinerja masing-masing.



**Gambar 1.** Posisi relatif ILC dan SLC dalam suatu pabrik semen dan gambaran sebuah kalsiner (inset)

**Tabel 1.** Data Dimensi Kalsiner Jenis ILC dan Kapasitas Produksi beberapa Pabrik Semen di Indonesia

Parameter	P5 PTSP	P4 PTSC	P6 PTITP	P12 PTITP	P1&P2 PTSG
Kapasitas Produksi Desain (TPD)	7800	7800	5000	7500	7500
Dimensi Kalsiner :					
- Diameter Dalam, $D_1$ (m)	5,700	5,196	4,62	6,2	5,2
- Diameter Efektif, $D_{eff}$ (m)	5,260	4,754	4,22	4,75	4,754
- Tinggi Silinder, H (m)	10,015	12,496	37	13	12,496
- Tinggi kerucut Atas, $H_1$ (m)	-	-	-	-	-
- Tinggi Kerucut Bawah, $H_2$ (m)	7,985	1,623	-	-	1,623
- Volume, $V_{eff}$ (m <sup>3</sup> )	217,63	221,8	518	230,25	221,9
- Luas Penampang, $A_{eff}$ (m <sup>2</sup> )	21,73	17,75	14	17,71	17,75
Laju bahan bakar (ton/jam)	6,9	6,2	13,5	5,9	6,2

**Tabel 2.** Data Dimensi Kalsiner Jenis SLC dan Kapasitas Produksi beberapa Pabrik Semen di Indonesia

Parameter	P4 PTSP	P5 PTSP	P12 PTITP	P4 PTSC	P1&P2 PTSG	P4 PTST
Kapasitas Produksi Desain (TPD)	5400	7800	7500	7800	7500	7500
Dimensi Kalsiner :						
- Diameter Dalam, $D_1$ (m)	7,484	7,200	7,700	7,800	7,800	7,984
- Diameter Efektif, $D_{eff}$ (m)	7,054	6,675	7,200	7,354	7,354	7,554
- Tinggi Silinder, H (m)	16,47	22,750	18,00	16,522	15,00	14,00
- Tinggi kerucut Atas, $H_1$ (m)	-	-	-	1,522	1,522	1,4
- Tinggi Kerucut Bawah, $H_2$ (m)	8,463	3,796	-	4,172	4,172	4,215
- Volume, $V_{eff}$ ( $m^3$ )	643,7	796,1	732,8	701,8	637,13	627,4
- Luas Penampang, $A_{eff}$ ( $m^2$ )	39,08	35,00	40,71	42,48	42,475	48,2
Laju bahan bakar (ton/jam)	16	18	15,9	22,2	22,2	28,6

## 5. EVALUASI PARAMETER KINERJA KALSINER DAN DISKUSI

Evaluasi parameter kinerja kalsiner dapat dilakukan apabila telah diperoleh data mengenai neraca massa dan panas untuk setiap pabrik. Perhitungan neraca massa dan panas berdasarkan data-data operasional masing-masing pabrik yang diteliti telah dilakukan dan dibukukan dalam referensi [2,5]. Khusus untuk parameter-parameter kinerja kalsiner yang diteliti, hasil perhitungan berdasarkan Persamaan (1) dan Persamaan (4) hingga Persamaan (7) pada kondisi kapasitas produksi desain diberikan dalam Tabel (3) untuk kalsiner jenis ILC dan Tabel 4 untuk kalsiner jenis SLC.

Dari Tabel 3 nampak bahwa target derajat kalsinasi bahan baku keluar dari kalsiner jenis ILC sangat bervariasi. Hal ini dapat dimaklumi karena ILC bukan merupakan tujuan akhir proses kalsinasi bagi pabrik yang dilengkapi dengan SLC. ILC lebih merupakan suatu alat konservasi energi panas yang terbawa oleh gas dari kiln yang selain bertemperatur cukup tinggi masih juga mengandung oksigen cukup sehingga masih dapat dipergunakan untuk membakar bahan bakar. Selain itu proses kalsinasi di dalam ILC merupakan proses yang cukup sulit mengingat gas dari kiln mengandung  $CO_2$  yang cukup banyak, sedangkan kalsinasi sendiri selain akan menghasilkan  $CO_2$  juga merupakan reaksi bolak-balik. Untuk target kalsinasi keluar ILC yang cukup tinggi, misalnya di P6 PT-ITP, diperlukan volume kalsiner yang besar dan waktu tinggal material di dalamnya cukup panjang. Pertimbangan lain dalam mendesain ukuran kalsiner ILC adalah material baku yang memiliki sifat berbeda antara tambang yang satu dengan yang lain. Parameter kinerja lain di dalam ILC yang cukup bervariasi adalah TSL (*thermal specific load*). Pertimbangan dalam menentukan TSL ini adalah selain apakah rancangan pabrik akan menggunakan SLC atau tidak, juga kemungkinan perluasan volume kalsiner yang dapat diperoleh saat material keluar kalsiner hingga menuju siklon untuk memisahkan partikel dari gas pembawanya. Beberapa desainer rupanya menganggap bahwa ruangan dari kalsiner menuju siklon beserta siklonnya sendiri merupakan bagian tak terpisahkan dari ILC. Dengan demikian volume efektif kalsiner meningkat. Pada umumnya desain pabrik dengan dua jenis kalsiner menganggap bahwa ILC hanya

merupakan bagian awal dari SLC. Dasar utama anggapan ini adalah kecepatan reaksi kalsinasi yang dipengaruhi oleh konsentrasi  $CO_2$  di dalam gas pembawa material [4]. Semakin tinggi konsentrasi  $CO_2$  dalam gas akan semakin rendah kecepatan reaksi kalsinasi. Di dalam desain pabrik menggunakan ILC dan SLC menurut hemat penulis [5] perubahan konsentrasi  $CO_2$  maksimum di dalam ILC adalah sekitar 16%. Sedangkan pabrik yang hanya menggunakan ILC perubahan konsentrasi  $CO_2$  dalam gas dapat mencapai 22%. Namun demikian nilai ini masih lebih rendah bila dibandingkan yang terjadi di SLC yang dapat mencapai lebih dari 30%. Perubahan konsentrasi  $CO_2$  di dalam SLC yang besar dimungkinkan karena udara pembawa material yang sekaligus sebagai pemasok kebutuhan oksigen untuk pembakaran bahan bakar belum mengandung  $CO_2$  saat memasuki SLC. Selain itu khusus desain pabrik dengan ILC saja memiliki keterbatasan menampung jumlah bahan bakar yang dibakar di dalamnya karena keterbatasan oksigen sisa yang berada di dalam gas pembawa. Untuk meningkatkan kemampuan pembakaran di ILC, biasanya pada pabrik dengan dua kalsiner, pasokan udara ditambah dari *cooler* seperti nampak pada Gambar 1.

Dari Tabel 4 nampak perbedaan parameter kinerja yang menonjol adalah target kalsinasi material dan *Thermal Specific Load* (TSL). Target kalsinasi pabrik P4 PTSP tidak terlalu tinggi mengingat pabrik ini hanya memiliki satu kalsiner dan dibuat pada dekade 80-an. Hal yang sangat berbeda adalah di P4 PTST yang menargetkan derajat kalsinasi 94% walaupun hanya memakai satu unit kalsiner. Pabrik ini dibuat tahun 1996. Selain tahun pembuatan berbeda lima belas tahunan dan material baku yang memiliki sifat yang berbeda, menurut penelitian penulis dari dua desain pabrik ini, asumsi yang diambil rupanya berbeda pula. Pada P4 PTST perluasan volume SLC diperoleh dari perpanjangan saluran dari kalsiner menuju siklon serta siklonnya sendiri. Disamping itu pabrik P4 PTST memakai dua buah siklon. Dengan penambahan volume yang besar tersebut praktis waktu tinggal partikel dan proses pembakaran baik batu bara maupun material baku menjadi lebih lama, sehingga meningkatkan efektifitas proses. Untuk pabrik-pabrik yang didesain memakai dua kalsiner pada umumnya target derajat kalsinasi ditetapkan di sekitar 80%. Hal

ini pada umumnya karena pertimbangan *flowability* dan *stickiness* material yang semakin tinggi dengan meningkatnya derajat kalsinasi, sehingga para perancang takut mengambil resiko terjadi penyumbatan atau bahkan material dengan mudah meluncur di dalam kiln (*flushing*).

Mengenai *thermal specific load* yang bervariasi menurut dugaan penulis adalah sebagai akibat pertimbangan sifat material tambang di masing-masing pabrik. Pada umumnya nilai TSL berkaitan erat dengan target kalsinasi material. Semakin tinggi target kalsinasi semakin tinggi pula TSL-nya.

Secara umum perbedaan parameter desain ini akan berakibat pada parameter operasi sehingga kemudahan dan kesulitan yang dialami masing-masing pabrik dalam operasi hariannya akan sangat bervariasi pula. Beberapa pabrik baru beroperasi sesuai dengan target desainnya setelah lebih dari tiga tahun dan setelah mengalami beberapa modifikasi untuk meningkatkan kinerja kalsinernya. Hal ini menunjukkan bahwa setiap desain memerlukan penanganan operasi yang khusus sehingga memerlukan waktu cukup lama untuk dapat beroperasi sesuai dengan keinginan desain.

**Tabel 3.** Data Parameter Kinerja Kalsiner Jenis ILC Beberapa Pabrik Semen di Indonesia

Parameter	P5 PTSP	P4 PTSC	P6 PTITP	P12 PTITP	P1&P2 PTSG
Kapasitas Produksi Desain (TPD)	7800	7800	5000	7500	7500
Parameter Kinerja :					
- Derajat kalsinasi, (%)	40	62	75	48	36
- <i>Specific Cross Section Area Load</i> (SCSAL) $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{Ton}_{\text{klin ker}}/\text{jam}}\right)$	0,134	0,108	0,067	0,16	0,114
- <i>Specific Calciner Load</i> (SCL) dalam $\left(\frac{\text{Ton}_{\text{klin ker}}/\text{hari}}{\text{m}^3}\right)$	35,84	35,17	9,65	32,57	33,9
- Kecepatan rata-rata aliran gas (m/s)	13,06	14,08	20	9,78	14,03
- Waktu tinggal gas (s)	1,39	1	1,8	1,33	1
- Thermal Specific Load (TSL) dalam $\left(\frac{\text{Mkal} / \text{jam}}{\text{m}^3}\right)$	190,23	167,72	156,37	153,74	167,64

**Tabel 4.** Data Parameter Kinerja Kalsiner Jenis SLC Beberapa Pabrik Semen di Indonesia

Parameter	P4 PTSP	P5 PTSP	P12 PTITP	P4 PTSC	P1&P2 PTSG	P4 PTST
Kapasitas Produksi Desain (TPD)	5400	7800	7500	7800	7500	7500
Parameter Kinerja :						
- Derajat kalsinasi, (%)	76	82	80	82	85	94
- <i>Specific Cross Section Area Load</i> dalam $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{Ton}_{\text{klin ker}}/\text{jam}}\right)$	0,17	0,11	0,13	0,13	0,136	0,143
- <i>Specific Calciner Load</i> (SCL) dalam $\left(\frac{\text{Ton}_{\text{klin ker}}/\text{hari}}{\text{m}^3}\right)$	8,39	9,8	10,64	11,11	11,77	11,95
- Kecepatan rata-rata aliran gas (m/s)	6,73	8,86	7,55	6,88	7,55	6,98
- Waktu tinggal gas (s)	2,45	3,0	2,38	3,23	2,97	2,5
- Thermal Specific Load (TSL) dalam $\left(\frac{\text{Mkal} / \text{jam}}{\text{m}^3}\right)$	149,14	135,66	130,19	189,8	209,06	273,5

## 6. KESIMPULAN

Kalsiner merupakan reaktor proses kalsinasi batu kapur dan pembakaran bahan bakar secara simultan dan kedua proses tersebut saling mempengaruhi. Kompleksitas proses inilah yang mengakibatkan

parameter desain menjadi belum baku. Hal inilah yang nampak dari penelitian ini. Banyak parameter kinerja yang berbeda nilainya antara satu desain dengan yang lainnya dan variasinya cukup besar. Selain itu faktor material baku yang akan diproses menjadi salah satu penentu dalam menentukan parameter desain. Beberapa



kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini antara lain:

1. Target derajat kalsinasi merupakan parameter desain yang perlu ditetapkan paling awal karena akan menentukan parameter lainnya. Nilai derajat kalsinasi ini sangat bergantung pada kualitas bahan baku yang diproses termasuk di dalamnya struktur geologi tambangnya. Derajat kalsinasi akan menentukan waktu tinggal yang dibutuhkan material dan kebutuhan bahan bakar yang harus diumpankan ke dalam kalsiner.
2. Dari variasi nilai parameter kinerja kalsiner dapat disimpulkan bahwa belum ada pembakuan nilai parameter desain dalam merancang kalsiner sehingga perancang memiliki kebebasan dalam menentukan parameter desain yang diinginkan.
3. Para desainer lebih banyak menganggap bahwa kalsiner tipe ILC hanya merupakan pemanfaat panas terbuang sehingga tidak memerlukan waktu tinggal yang lama dan dirancang dengan volume kurang besar yang mengakibatkan nilai *Specific Calciner Load* (SCL) menjadi besar. Perbedaan yang menyolok nampak pada pabrik P6 PT-ITP yang menganggap bahwa kalsiner ILC yang dirancang sekaligus juga merupakan satu-satunya kalsiner sehingga diperlakukan sebagai SLC pula. Dengan asumsi seperti ini konsekuensinya harus dirancang dengan volume yang lebih besar agar memberikan waktu tinggal yang cukup.
4. Dalam hal kecepatan aliran aerosol, pada SLC umumnya dirancang dengan nilai yang lebih rendah karena dengan semakin tinggi derajat kalsinasi

material akan lebih enteng sehingga lebih mudah diangkat oleh aliran gas.

5. Untuk menambah volume kalsiner yang diperlukan pada desain dengan target derajat kalsinasi yang lebih tinggi, beberapa perancang memanfaatkan saluran keluar kalsiner menuju siklon serta siklonnya sendiri sebagai tambahan ruang agar waktu tinggal memanjang.
6. Variasi nilai parameter desain maupun parameter kinerja kalsiner menandakan masih luasnya penelitian yang perlu dilakukan untuk penyempurnaan desain dan operasi kalsiner.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. H. Walter Duda., Cement-Data Book, *International Process Engineering in the Cement Industry*, Bauverlag GMBH Wiesbadeen, Berlin.
2. Prihadi Setyo Darmanto, *Kinerja Kiln Besar*, Prosiding Diskusi Institut Semen dan Beton Indonesia, Ciangsana, 2000.
3. International Cement Production Seminar, *Heat Balances*, Lecture 5.13A, Parts & Services Division, F.L. Smidth.
4. K.H. Obst, W. Munchberg, dan M. Rahder., *Production of Reactive Quicklime*, Translation ZKG, No 10/78, pp 215 – 220.
5. Prihadi Setyo Darmanto, *Pengembangan Perangkat Lunak Neraca Massa dan Panas Beberapa Pabrik Semen di Indonesia*, Laporan Penelitian, Bandung, 1998-2004

