



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**PENGUJIAN KUAT TEKAN DENGAN METODE COLD CRUSHING
STRENGTH DAN GREEN CRUSHING STRENGTH SERTA
PENGUJIAN ABSORBSI BATU TANAH API (REFRACTORY) DI PT
SEMEN PADANG**

SKRIPSI



**HENDRY REVI ANDHIKA
04135020**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA
DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2011**

ABSTRAK

Telah dilakukan pengujian kuat tekan dengan metode *cold crushing strength* dan *gold crushing strength* serta pengujian daya serap air pada 3 jenis batu tahan api di PT Semen Padang yaitu *spinal*, *basic* dan alumina. Pada pengujian *cold crushing strength*, didapatkan nilai kuat tekan rata - rata untuk batu tahan api tipe *basic*, tipe *spinal* dan tipe alumina masing - masing sebesar 330,67 kg/cm², 263,63 kg/cm², dan 850,27 kg/cm². Sedangkan pada pengujian dengan *Green Crushing Strength*, didapatkan nilai kuat tekan rata - rata untuk batu tahan api tipe *basic*, tipe *spinal* dan tipe alumina masing - masing sebesar 317,57 kg/cm², 306,42 kg/cm², dan 666,55 kg/cm². Daya serap air rata - rata untuk batu tahan api tipe *basic*, tipe *spinal* dan tipe alumina masing - masing sebesar 5,07 %, 4,60%, dan 5,70 %.

Kata kunci : Refraktori, *cold crushing strength*, *green crushing strength*, absorpsi, *basic*, *spinal*, dan alumina



ABSTRACT

The testing of compressive strength by the method of cold crushing strength and green crushing strength and water absorption test on three types of refractory at PT Semen Padang which are basic, spinal and alumina have been conducted. In the *cold crushing strength tests*, average compressive strength values obtained for basic, spinal and alumina types of refractory are 330.67 kg / cm^2 , 263.63 kg / cm^2 , and 850.27 kg / cm^2 . While in the *Green Crushing Strength*, average compressive strength values obtained for basic, spinal and alumina types of refractory are 317.57 kg / cm^2 , 306.42 kg / cm^2 , and 666.55 kg / cm^2 . Then the average absorption value for basic, spinal and alumina type of refractory are 5.07%, 4.60% and 5.70%.

Keywords: Refractory, *cold crushing strength*, *green crushing strength*, absorption, *basic, spinal* and alumina



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat serta hidayah-Nya yang telah dilimpahkan sehingga penulis berhasil menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan baik sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi mahasiswa Fakultas MIPA untuk melaksanakan penelitian tugas akhir dan memperoleh gelar Sarjana Sains Strata Satu di Universitas Andalas. Penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, pengarahan serta motivasi dari berbagai pihak sehingga segala kendala dan kesulitan yang ada dapat teratasi. Untuk itu pada kesempatan yang berbahagia ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Orang tua dan keluarga tercinta, yang memberikan dukungan baik moril maupun materil kepada penulis untuk selalu berusaha mencapai hasil yang terbaik.
2. Prof. Dr. Emriadi, MS., selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Andalas beserta staf yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
3. Arif Budiman, MSi., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Andalas yang telah memberikan ijin untuk penulisan tugas akhir ini.
4. Sri Handani, MSi., selaku Pembimbing yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat selesai.

5. Ibuk Meqorry Yusfi, Ibuk Dwi Puryanti dan Bapak Alimin Mahyudin, selaku penguji yang dengan penuh perhatian memberikan kritikan dan masukan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini
6. Seluruh karyawan – karyawan PT Semen Padang
7. Bapak Abusyamsari Nauman selaku Kepala Laboratorium Aplikasi Semen, yang telah memberikan bimbingan dan perhatian serta arahan sehingga penelitian ini berjalan sangat baik
8. Bapak Rafmatias, bang Ardital, Sahabatku Rezko Yunanda, bang Ilham yang telah banyak membantu selama penelitian
9. Buk Netty Marusin, Pak Ardinis Arbain, Buk Dian Milvita, Pak Sri Mulyadi, Pak Afdhal Muttaqin, Pak Aswir, Pak Elvaswer, Pak Harmadi, Pak Wildian, Buk Dwi Puji Astuti, Pak Dahyunir Dahlan, Buk Refinel, Pak Budi Rudianto, Pak Efendi, Pak Made, Pak Werman Kasoep, Pak Narwen, Pak Made Arnawa, Buk Azmira Yoza, Pak Syafruddin (pak uwo), Pak Syafrizal Sy serta seluruh dosen dan tenaga pengajar di lingkungan FMIPA Universitas Andalas yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada saya yang tiada ternilai oleh emas permata sampai saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Seluruh karyawan – karyawan serta Staf Universitas Andalas dan FMIPA Unand.

11. Markas Ismi, Mas Agus, Meyman, Suhardi, Amril, Miki, Ari Edo, Sulung, Azhari, Insafman Gea, Ampuni, Azhari, Irvan Suhadi, Sulaiman, Tulus, Agus Yaro, Desman, Insafman, Antonius, Yanto, Rudi, Anugerah, Viki, Andris, Dedi, Misbah, Agusrianto, Yogi, Madah, Filly, Angga Purba, Chen, Frans, Heru, serta semua teman-teman Fakultas Matematika Universitas Andalas yang telah banyak memberikan support serta semangat hingga terselesainya penulisan Tugas Akhir ini. Semoga tali persahabatan ini tetap langgeng hendaknya sampai ajal menjemput.

Besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukan, walaupun penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna.

Padang, Juli 2011

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman pengesahan.....	i
Abstrak.....	ii
Abstract.....	iii
Kata pengantar.....	iv
Motto dan untaian kata.....	vii
Daftar isi.....	ix
Daftar gambar.....	xii
Daftar tabel.....	xiii
Bab I Pendahuluan	
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Tujuan penelitian.....	2
1.3 Batasan masalah.....	2
Bab II Landasan Teori	
2.1 Batu tahan api (<i>refractory</i>).....	3
2.2 Tungku (<i>kiln</i>).....	4
2.3 Sifat batu tahan api.....	7
2.4 Komposisi batu tahan api.....	8

2.5	Jenis batu tahan api di PT Semen Padang.....	9
2.5.1	batu tahan api dasar (<i>basic refractory</i>).....	9
2.5.2	batu tahan api spinal (<i>spinal refractory</i>).....	9
2.5.3	batu tahan api alumina (<i>alumina refractory</i>).....	11
2.6	Kuat tekan.....	14
2.7	Absorpsi (daya penyerapan).....	16
2.8	Gangguan pada batu tahan api (<i>refractory</i>).....	16
2.8.1	Kerusakan akibat temperatur (<i>thermal effect</i>).....	18
2.8.2	Kerusakan akibat mekanis (<i>mechanical effect</i>).....	19
2.8.3	Kerusakan akibat proses kimia (<i>chemical effect</i>).....	19
2.9	Faktor yang mempengaruhi umur batu tahan api (<i>refractory</i>).....	20
2.9.1	Kualitas / spesifikasi batu tahan api yang dipakai.....	20
2.9.2	Cara dan kualitas pemasangan batu tahan api.....	22
2.9.3	Sistem pengoperasian <i>kiln</i>	23
2.9.4	Komposisi <i>kiln feed</i> dan kualitas batu bara yang digunakan.....	23
2.9.5	Kondisi mekanis <i>shell kiln</i> (<i>ovality</i> terutama pada daerah <i>tyre</i>).....	24

Bab III Metode Penelitian

3.1	Waktu dan tempat penelitian.....	25
3.2	Alat dan Bahan.....	25
3.3	Tata Laksana.....	27
3.3.1	Kuat tekan batu tahan api.....	27
3.3.2	Absorpsi (daya penyerapan).....	30

Bab IV Hasil dan Pembahasan

4.1	Data pengukuran kuat tekan.....	32
4.1.1	<i>Cold crushing strength</i>	32
4.1.2	<i>Green crushing strength</i>	35
4.2	Hasil pengujian absorpsi (daya penyerapan air).....	37
4.3	Hubungan Absorpsi dengan kuat tekan.....	39

BAB V Kesimpulan Dan Saran

5.1	Kesimpulan.....	42
5.2	Saran.....	43
	Daftar Pustaka	44

Lampiran

1.	Tabel penelitian kuat tekan batu tahan api.....	45
2.	Tabel penelitian absorpsi.....	47
3.	Penghitungan standar deviasi.....	48

DAFTAR GAMBAR

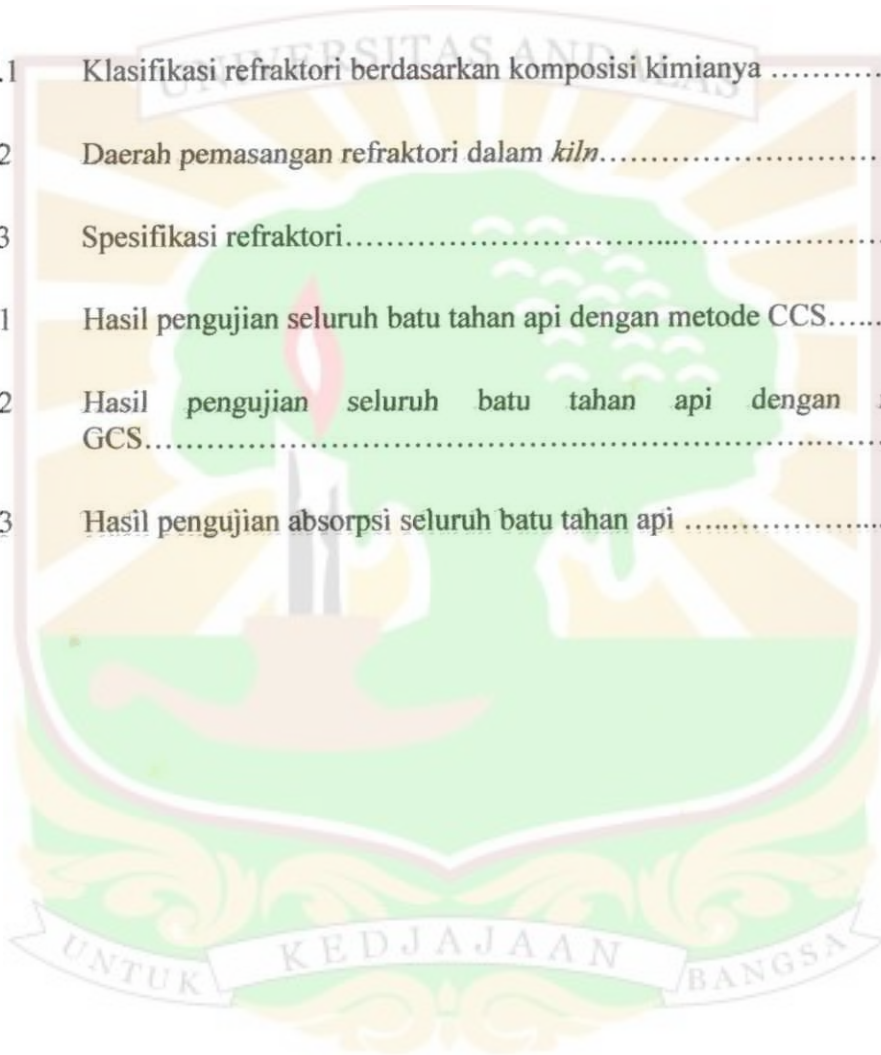
Gambar 2.1	Keadaan batu tahan api dalam tungku (<i>kiln</i>).....	4
Gambar 2.2	Tungku (<i>kiln</i>).....	5
Gambar 2.3	Desain tungku (<i>kiln</i>).....	5
Gambar 2.4	Terak (<i>klinker</i>).....	7
Gambar 2.5	Batu tahan api tipe <i>basic</i>	9
Gambar 2.6	Batu tahan api tipe <i>spinal</i>	10
Gambar 2.7	Batu tahan api tipe <i>alumina</i>	13
Gambar 2.8	Proses kuat tekan.....	15
Gambar 2.9	Diagram kerusakan batu tahan api.....	18
Gambar 2.10	Kerusakan akibat temperatur.....	18
Gambar 2.11	Kerusakan akibat mekanis.....	19
Gambar 3.1	Alat pengukuran kuat tekan.....	25
Gambar 3.2	Batu tahan api.....	26
Gambar 3.3	Timbangan.....	26
Gambar 3.4	Mesin pemanas (<i>oven</i>).....	27
Gambar 4.1.	Grafik kuat tekan batu tahan api dengan metode CCS.....	34
Gambar 4.2.	Grafik kuat tekan batu tahan api dengan metode GCS.....	36
Gambar 4.3	Grafik Absorpsi batu tahan api.....	39

- Gambar 4.4 Grafik hubungan antara pengujian kuat tekan dengan metode CCS dan absorpsi.....40
- Gambar 4.5 Grafik hubungan antara pengujian kuat tekan dengan metode GCS dan absorpsi.....41



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi refraktori berdasarkan komposisi kimianya	8
Tabel 2.2	Daerah pemasangan refraktori dalam <i>kiln</i>	13
Tabel 2.3	Spesifikasi refraktori.....	21
Tabel 4.1	Hasil pengujian seluruh batu tahan api dengan metode CCS.....	32
Tabel 4.2	Hasil pengujian seluruh batu tahan api dengan metode GCS.....	35
Tabel 4.3	Hasil pengujian absorpsi seluruh batu tahan api	37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Refraktori merupakan material non logam yang dipakai untuk konstruksi serta melapisi tungku (*kiln*) yang beroperasi dalam suhu tinggi dan juga mampu untuk mempertahankan bentuk maupun sifat fisiknya jika berhubungan dengan suhu tinggi. Salah satu sifat fisika tersebut adalah kuat tekan. (Nasipan, 1998).

Pengukuran kuat tekan batu tahan api bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan batu tahan api menahan tekanan pada suhu tinggi di dalam zona yang ada pada tungku (*kiln*).

Zona yang ada dalam tungku (*kiln*) dibagi atas 5 bagian yaitu zona pengeringan (*drying zone*), zona pemanasan (*preheating zone*), zona peruraian (*calcination zone*), zona pemijaran (*sintering zone*) dan zona pendinginan (*cooling zone*). Dilihat dari masing – masing zona tadi, maka bata tahan api (*refractory*) yang digunakan juga berbeda – beda tergantung dari komposisi kimia batu tersebut.

Sehubungan dengan itu, penulis tertarik untuk membahas mengenai kuat tekan dari berbagai batu tahan api (*refractory*) di PT Semen Padang, serta menuangkan hasil penelitian tersebut dalam bentuk skripsi dengan judul

“PENGUJIAN KUAT TEKAN DENGAN METODE *COLD CRUSHING STRENGTH* DAN *GREEN CRUSHING STRENGTH* SERTA PENGUJIAN ABSORPSI BATU TAHAN API (REFRACTORY) DI PT SEMEN PADANG”

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai dari kuat tekan serta nilai absorpsi (daya penyerapan) yang dimiliki oleh refraktori yang dipasang pada tungku (*kiln*) di PT Semen Padang.

1.3 BATASAN MASALAH

Yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan dengan metode *cold crushing strength* dan *green crushing strength* serta pengujian absorpsi pada 3 jenis batu tahan api yaitu *basic*, *spinal* dan alumina yang digunakan pada tungku (*kiln*) di PT Semen Padang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 BATU TAHAN API (*REFRACTORY*)

Refraktori secara umum didefinisikan sebagai suatu bahan yang tahan terhadap suhu tinggi yang berbentuk bata atau bubuk (*powder*), sedangkan refraktori menurut ilmu material adalah bahan anorganik yang tidak meleleh atau melebur pada suhu tinggi, sering juga disebut *high temperature material*. Dalam industri, refraktori merupakan suatu bahan anorganik dalam konstruksi peralatan yang digunakan untuk memanaskan, membakar, atau melebur bahan industri (Hari, 2002).

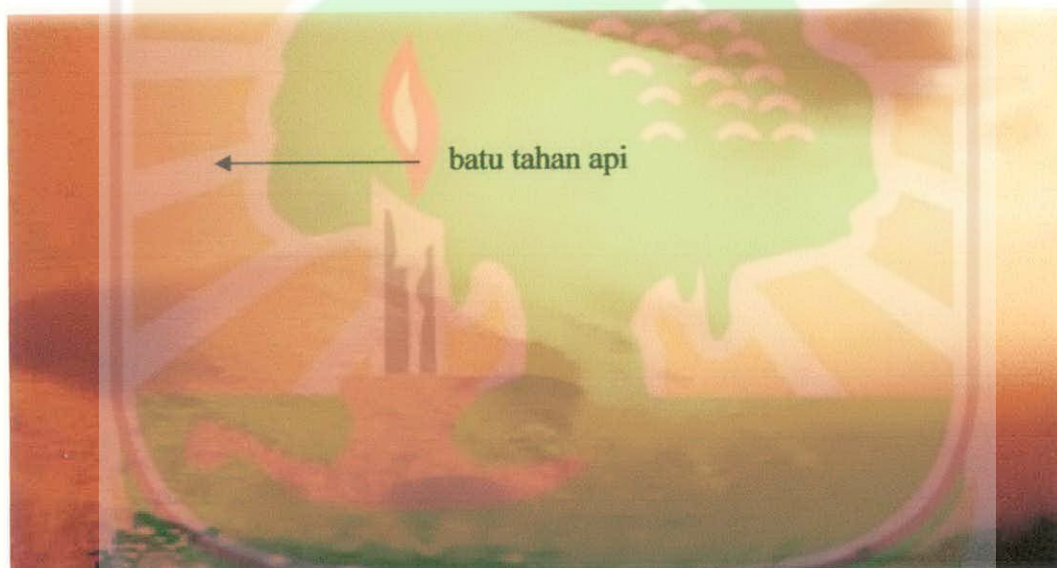
Refraktori merupakan suatu bahan yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia pada temperatur yang relatif tinggi. Karena kemampuan inilah maka bahan ini pada umumnya digunakan pada operasi – operasi pada temperatur yang relatif tinggi, seperti pada tungku – tungku pemanasan, pembakaran, dan peleburan logam. Adapun yang termasuk golongan ini adalah batu tahan api baik alamiah yang dikenal sebagai batu gangsa maupun batu tahan api buatan seperti bata karbon, bata silika, bata magnesit dan sebagainya.

Bahan baku batu tahan api yang utama adalah oksida – oksida dari unsur Aluminium, Magnesium, Calcium, Zirconium, Silikon dan Karbon. Untuk keperluan pembuatan batu tahan api ini pada umumnya harus mengalami pengerjaan pendahuluan, bahkan kadang – kadang bahan baku tersebut harus

diekstraksi dari suatu endapan bijih, misalnya bahan baku Zirconium dan Karbon. Di alam, bahan baku batu tahan api terdapat dalam bentuk campuran berbagai jenis oksida dan dikenal sebagai lempung tahan api.

Adapun fungsi serta kegunaan dari batu tahan api tersebut adalah :

- a. Mengurangi kehilangan panas yang disebabkan oleh radiasi maupun konveksi dari tungku (*kiln*).
- b. Melindungi dinding tungku (*kiln*) dari pengaruh nyala dan material panas.



Gambar 2.1. Keadaan batu tahan api dalam tungku (*kiln*)

(PT. Semen Padang, 2009)

2.2 TUNGKU (*KILN*)

Tungku (*kiln*) merupakan sebuah alat yang berguna untuk membakar bubuk campuran bahan baku menjadi terak. Tungku (*kiln*) yang terdapat di PT Semen Padang memiliki diameter luar sebesar 5 meter dan panjangnya 80 meter serta memiliki kapasitas produksi sebanyak 2000 ton per hari. Jumlah tungku (*kiln*) yang dimiliki oleh PT Semen Padang ada 4 (empat) buah yang aktif dan tersebar di Indarung II – V. Dinding pada tungku (*kiln*) berfungsi menyerap

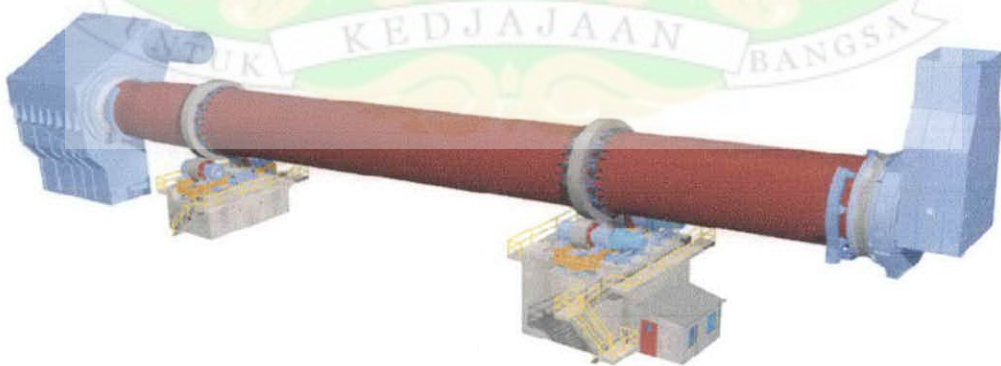
panas dari gas yang mengalir di samping dinding tungku tersebut kemudian mentransfernya kepada material. Karena suhu pada dinding tungku tersebut lebih tinggi daripada suhu material, maka dinding tungku secara periodik akan mengalami gumpalan panas (*heat shock*) selagi berputar.

Pada industri semen, proses pembakaran / pembentukan klinker adalah tahapan yang sangat vital, sehingga *kiln* sering diistilahkan sebagai jantung pabrik semen. Jika *kiln* berhenti maka semua aktivitas operasi pabrik akan berhenti juga.

Berikut gambar tungku (*kiln*)



Gambar 2.2. Tungku (*kiln*)
(PT. Semen Padang, 2009)



Gambar 2.3. Desain tungku (*kiln*)
(PT. Semen Padang, 2009)

Tungku (*kiln*) dibuat dari pelat besi yang di dalamnya dilapisi dengan bata tahan api (*refractory*) yang berguna untuk menjaga agar plat besi tersebut tahan lama. Bata tahan api tersebut dipasang dalam tungku berbeda – beda sesuai dengan zona di dalam tungku (*kiln*) tersebut (Nasipan, 1998).

Adapun zona yang terdapat dalam tungku (*kiln*) adalah :

a. Zona pengeringan (*drying zone*)

Zona ini merupakan tempat menguapnya air yang ada dalam material dan membutuhkan suhu material sampai sekitar 120 °C. Zona ini memerlukan 22 % dari panjang tungku (*kiln*).

b. Zona pemanasan (*preheating zone*)

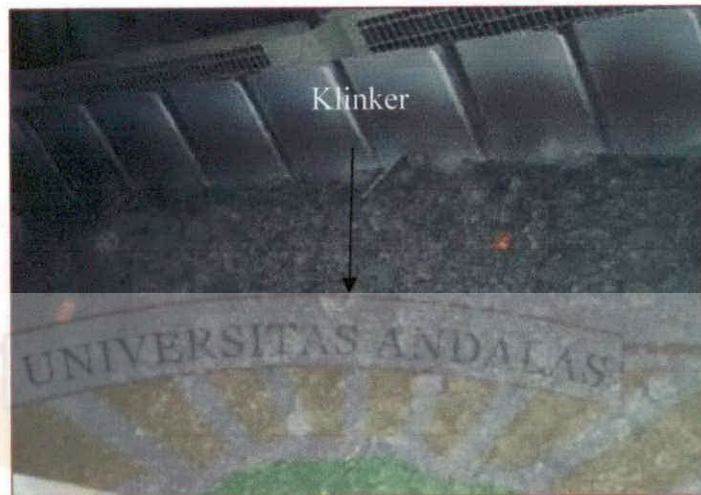
Zona ini merupakan tempat penguapan pada material dalam alumina dan membutuhkan suhu material sekitar 600 °C. Zona ini membutuhkan 17,9 % dari panjang tungku (*kiln*).

c. Zona peruraian (*calcination zone*)

Zona ini merupakan tempat pelepasan *carbondioxida* dalam carbonat dan terjadi pada suhu 500 – 900 °C. Zona ini membutuhkan 38,4 % panjang tungku (*kiln*)

d. Zona pemijaran (*sintering zone*)

Zona ini merupakan tempat melelehnya material sampai terbentuknya terak (*klinker*) dan terjadi pada suhu 1440 – 1460 °C, dimana pada kondisi tersebut material berwarna putih pijar. Zona ini membutuhkan 12,3 % panjang tungku (*kiln*)



Gambar 2.4. Terak (*klinker*)
(Sumber : PT. Semen Padang, 2009)

e. Zona pendinginan (*cooling zone*)

Zona ini merupakan tempat terjadinya pendinginan awal terak dalam tungku (*kiln*) dan terjadi pada suhu 1400 °C turun menjadi 1250 °C. Material yang keluar dari zona ini berbentuk butiran – butiran bersuhu 110 – 200 °C. Zona ini memerlukan tempat sekitar 9,4 % panjang tungku (*kiln*).

Dari segi proses, salah satu faktor yang paling dominan menjadi penyebab stopnya kiln dalam waktu yang relatif lama adalah kerusakan / lepasnya refraktori.

2.3 Sifat Batu tahan api

Suatu batu dapat dikategorikan sebagai refraktori, jika pada batu tersebut terdapat beberapa sifat sebagai berikut, yakni :

- a. Tahan terhadap suhu kejut (*shock temperature*) sewaktu tungku (*kiln*) didinginkan dan dipanaskan secara cepat
- b. Tahan terhadap tegangan karena perubahan temperatur (*spalling*)

- c. Tahan terhadap tekanan beban konstruksi bata tahan api tersebut terutama beban yang melewatinya
- d. Tahan terhadap gaya kikisan
- e. Tahan terhadap isolasi panas

2.4 Komposisi batu tahan api

Refraktori dapat digolongkan berdasarkan komposisi kimianya, pengguna akhir dan metode pembuatannya sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi refraktori berdasarkan komposisi kimianya (*Gilchrist, 1990*)

Metode klasifikasi	Komposisi kimia
Asam	Silika, Semisilika, Aluminosilikat
Basa	Magnesit, Khrom- magnesit, Magnesit-chromit, Dolomit
Netral	Batu bata tahan api, Khrom, Alumina Murni
Khusus	Karbon, Silikon Karbid, Zirkon
Pengguna Akhir	<i>Blast furnace casting pit</i>
Metode Pembuatan	Proses kempa kering, <i>fused cast</i> , cetakan tangan, pembentukan normal, ikatan dengan pembakaran atau secara kimiawi, tidak dibentuk (monolitik, plastik, <i>ramming mass</i> , <i>gunning castable</i> ,

2.5 Jenis batu tahan api di PT Semen Padang

2.5.1. Batu tahan api dasar (*Basic Refractory*)

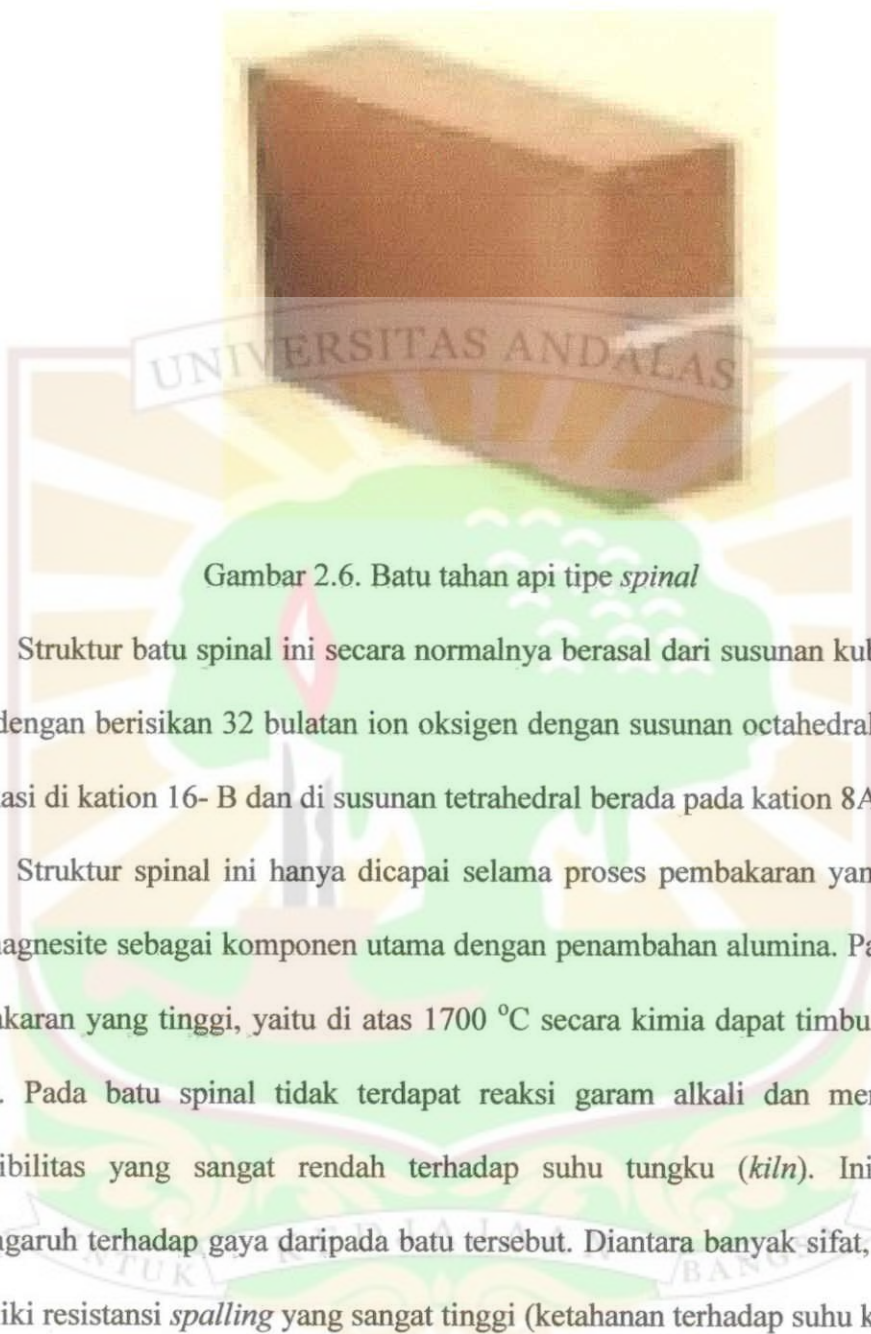
Istilah batu *basic* ini menunjuk kepada komposisi utama yang paling dasar pada material batu tahan api. Pada suhu tinggi, batu *basic* ini memiliki daya resistansi yang paling tinggi terhadap kekuatan korosi dari *klinker*, cairan oksida, debu dan asap. Bahan baku yang paling utama yang dipergunakan dalam batu *basic* ini adalah paduan magnesite, sisa pembakaran dolomite, biji krom, spinel dan karbon. Batu dengan paduan magnesite ini memiliki ciri khas yaitu mempunyai daya tahan yang bagus terhadap terak dasar serta memiliki resistansi sangat bagus terhadap serangan oksida besi dan alkali.



Gambar 2.5. Batu tahan api tipe *basic*

2.5.2. Bata tahan api spinal (*Spinal refractory*)

Batu tipe ini digunakan di zona terbakar, zona peralihan dan mulut kiln dari tungku putar (*rotary kiln*). Secara khusus, batu bata spinel telah menjadi salah satu bahan pelapis utama untuk tungku putar (*rotary kiln*). Batu spinal ini memiliki titik fusi yang sangat tinggi dan biasanya memperlihatkan suatu keseimbangan yang stabil di bawah tekanan udara yang semakin meningkat.



Gambar 2.6. Batu tahan api tipe *spinal*

Struktur batu spinal ini secara normalnya berasal dari susunan kubus yang rapat dengan berisikan 32 bulatan ion oksigen dengan susunan octahedral dimana berlokasi di kation 16- B dan di susunan tetrahedral berada pada kation 8A

Struktur spinal ini hanya dicapai selama proses pembakaran yang terdiri dari magnesite sebagai komponen utama dengan penambahan alumina. Pada suhu pembakaran yang tinggi, yaitu di atas 1700 °C secara kimia dapat timbul sebuah ikatan. Pada batu spinal tidak terdapat reaksi garam alkali dan mempunyai suseptibilitas yang sangat rendah terhadap suhu tungku (*kiln*). Ini sangat berpengaruh terhadap gaya daripada batu tersebut. Diantara banyak sifat, batu ini memiliki resistansi *spalling* yang sangat tinggi (ketahanan terhadap suhu kejut).

Batu spinal ini, kelihatan secara lebih nyata pada zona transisi yang rendah pada tungku (*kiln*) yang memiliki diameter 4,5 m. Pada sisi zona transisi yang tinggi batu ini biasanya kebanyakan digunakan pada tungku yang memiliki diameter kurang dari 4 meter.

Bagaimanapun juga, batu spinal ini memiliki daya serap sangat rendah dibandingkan batu *basic*, dimana dapat diartikan jumlah rembesan KCl dari batu tersebut sangat rendah. Reaksi yang diperlambat, dapat mengurangi daya serap dimana suhu secara kimia dapat dinetralkan secara bersama.

Sebagaimana batu yang lainnya, batu spinal ini dapat digunakan hanya saat perubahan dinding tungku yang tidak melebihi dari magnitud tertentu. Dimana kuat tekan dari pada operasi tungku (*kiln*) pada kondisi normal berkisar $40 - 50 \text{ N/mm}^2$. Perubahan yang berlebihan dapat menyebabkan ketidak akuratan dari peletakkan batu yang besar kemungkinan dapat menyebabkan tegangan pada saat pemasangan batu karena adanya kelebihan volume daripada batu tersebut.

2.5.3. Batu tahan api alumina (*alumina refractory*)

Batu tipe ini merupakan batu yang memiliki kadar alumina (Al_2O_3) sebesar 47,5 % atau lebih besar. Untuk bata alumina tinggi suhu *refractoriness* di bawah beban biasanya di atas temperatur $1420 - 1550 \text{ }^\circ\text{C}$ yang lebih tinggi daripada batu bata lempung tahan api.

Untuk *batu alumina ini* memiliki kemampuan yang sangat baik anti-keasaman, dan dapat menimbulkan anti – oksidasi. Batu *alumina* digunakan biasanya dalam tungku industri seperti ledakan tungku panas dan *Electric Arc Furnace* (EAF) dll.

Batu tipe alumina ini dapat di bedakan atas beberapa jenis, diantaranya :

a. Batu alumina tipe 50

Batu tipe ini memiliki kadar alumina berkisar 47,5% - 52,5 %. Secara kimia, batu tipe ini sangat tidak berbeda dari batu tanah liat dimana dapat

mengandung 44 % alumina. Batu dengan kadar 50 % alumina seringkali mengalami peningkatan bentuk dibandingkan batu tanah liat dengan penambahan agregat alumina. Komposisi dari batu tipe ini dirancang terutama untuk sendok besar. Batu tipe 50 ini memiliki daya serap yang lemah dan dikembangkan berdasarkan kepada pemanasan bersuhu 1600 °C. Batu tipe ini biasanya ditandai oleh pemuai panas yang sangat rendah dan resistansi yang sangat bagus.

b. Batu alumina tipe 60

Batu tipe ini memiliki kadar alumina berkisar 60 % - 64 %. Batu tipe ini di buat dari variasi material kasar dan biasanya digunakan pada dapur peledakan (*blast furnace*), gerbong pengiriman baja panas (*hot metal transfer cars*), dan tempat pembakaran sampah.

c. Batu alumina tipe 70

Batu tipe ini memiliki superior tekanan suhu yang tinggi dan *refractoriness* serta signifikan terhadap daya serapan yang rendah. Batu tipe ini biasanya digunakan pembakaran relatif pada suhu yang rendah terhadap pencegahan ekspansi yang berlebihan.

Ekspansi ini disebabkan oleh reaksi dari kandungan unsur kerikil dengan bauksit. Tipikal batu ini mengalami jumlah ekspansi kedua yang sangat besar ketika di panaskan.

d. Batu alumina tipe 80

Batu tipe ini memiliki daya penyerapan sebesar 20%, tekanan yang bagus dan memiliki daya tahan terhadap suhu kejut. Batu tipe ini sangat relatif murah,

bagus dalam pelaksanaan, dan memiliki daya tahan terhadap kondisi dari terak yang berlebih dalam tungku (*kiln*) tersebut.



Gambar 2.7. Batu tahan api tipe *alumina*

Refraktori dipasang pada tungku (*kiln*) tergantung kepada daerah yang berada pada masing – masing tungku. Adapun daerah pemasangan refraktori dalam tungku, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Daerah pemasangan refraktori dalam *kiln* (PT Semen Padang, 2009)

No	Zone	Meteran				Jenis batu
		<i>Kiln</i> VI	<i>Kiln</i> VII	<i>Kiln</i> VIII	<i>Kiln</i> IX	
1	<i>Dam Zone</i>	1 – 3.6	1 – 3.6	-	-	Alumina 80
2	<i>Cooling Zone</i>	3.6 – 7.2	3.6 – 7.2	-	-	Alumina 80
3	<i>Lower BZ</i>	7.2-15	7.2-15	0.4-15	0.4-15	Spinal
4	<i>Central BZ</i>	15-30	15-30	15-30	15-30	Basic
5	<i>Upper BZ</i>	30-37.6	30-37.6	30-50	30-65	Spinal
6	<i>Transition I</i>	37.6-51.6	37.6-51.6	50-70	65-75	Alumina 80
7	<i>Transition II</i>	51.6-58.6	51.6-58.6	70-79.2	75-82.8	Alumina 70
8	<i>Calcining Zone</i>	58.6-78.8	58.6-78.8	-	-	Alumina 70/60

2.6 Kuat tekan

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama dari sebuah refraktori. Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji menjadi hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Penentuan kuat tekan refraktori dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk kubus. Kuat tekan refraktori ini mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur bata tahan api sendiri. (Mulyono, 2007).

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan benda dilakukan tata cara pengujian standar. Beban yang diberikan pada penampang akan menimbulkan tegangan sebesar :

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan, f_c = kuat tekan benda uji (kg/cm^2)

P = besar beban atau beban patah maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm^2)

Kuat tekan masing – masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi. Nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh umur benda uji, proporsi, campuran, bentuk dan ukuran, kecepatan pembebanan dan kondisi lingkungan saat pengujian berlangsung.

Ada 2 (dua) metode untuk pengukuran kuat tekan dari refraktori tersebut, yaitu :

1) Metode *Green Crushing Strength* (GCS)

Metode ini dipakai dengan cara sampel uji tersebut diukur kuat tekannya tanpa dipanaskan.

2) Metode *Cold Crushing Strength* (CCS)

Metode ini dipakai dengan cara sampel uji tersebut dipanaskan di dalam mesin pemanas (*oven*) sampai suhu 250°C dan didinginkan sampai suhu ruangan dan kemudian diukur kuat tekan sampel tersebut.

Berikut gambar dari proses pengukuran kuat tekan dari sebuah benda uji



Gambar 2.8. Proses kuat tekan refraktori (Catatan Riki Gana, 2010)

1.7 Absorpsi (Penyerapan)

Absorpsi menurut ilmu fisika adalah proses penyerapan suatu zat oleh zat lain. Dimana dalam proses ini, zat yang diserap masuk ke bagian dalam zat penyerap. Misalnya, peristiwa difusi (zat cair ke zat padat).

Adapun persamaan matematika dari absorpsi ini adalah,

$$\% \text{ absorpsi} = \frac{\text{berat air terserap}}{\text{berat kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana berat air terserap didapat dari berat sampel setelah direndam selama 24 jam dikurangi berat konstan yang didapat setelah 2 – 4 jam pemanasan dalam oven.

2.8 Gangguan pada batu tahan api (*refractory*)

Pada operasi tungku (*kiln*) yang terbaik adalah jika operasinya mencapai 90 % dari total operasi tungku (*kiln*) yang tersedia di PT Semen Padang. Sedangkan 10 % nya dipakai pada saat *overhaule*. Misalnya untuk penggantian batu api dan perbaikan peralatan lainnya.

Adapun rata – rata penggantian refraktori pada masing zona yang ada pada tungku (*kiln*) tersebut adalah sekitar 6 - 8 bulan pemakaian di masing – masing zona.

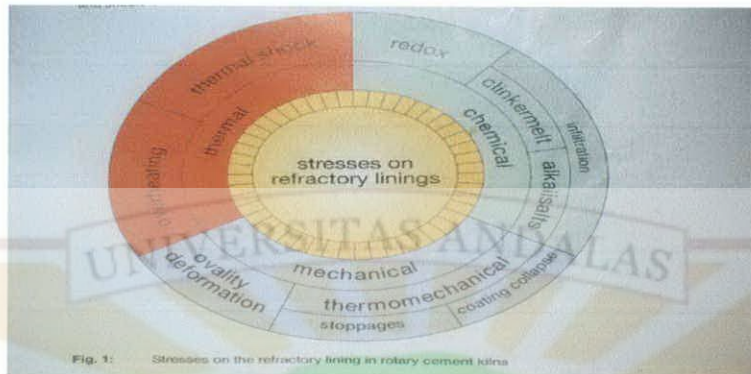
Ada beberapa hal yang menjadi faktor pemicu memendeknya refraktori, diantaranya :

- 1) Peristiwa mekanik seperti perubahan bentuk kiln selama berputar (*ovality*), erosi dan abrasi akibat aliran *klinker*, dan impact atau benturan *klinker* yang jatuh.
- 2) Peristiwa termal seperti perubahan temperatur akibat kadang-kadang refraktori bersentuhan dengan gas hasil pembakaran dan di saat berikutnya bersentuhan dengan material *klinker*, *over heating* akibat terjadinya pemanasan di suatu tempat yang terus menerus, serta adanya distribusi temperatur sepanjang kiln dan dalam arah radial yang secara periodik yang dapat mengakibatkan pemuaian dan pengkerutan material *kiln*.
- 3) Peristiwa kimia antara lain infiltrasi zat tertentu ke dalam refraktori, reaksi redoks zat tertentu, penguapan dan mungkin pengembunan alkali, serta korosi.

Ada 3 (tiga) macam penyebab yang paling pokok dari kerusakan pada refraktori tersebut, yaitu :

- 1) Kerusakan akibat temperatur (*thermal effect*)
- 2) Kerusakan akibat mekanis (*mechanical effect*)
- 3) Kerusakan akibat proses kimia (*chemical effect*)

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada Gambar 9.

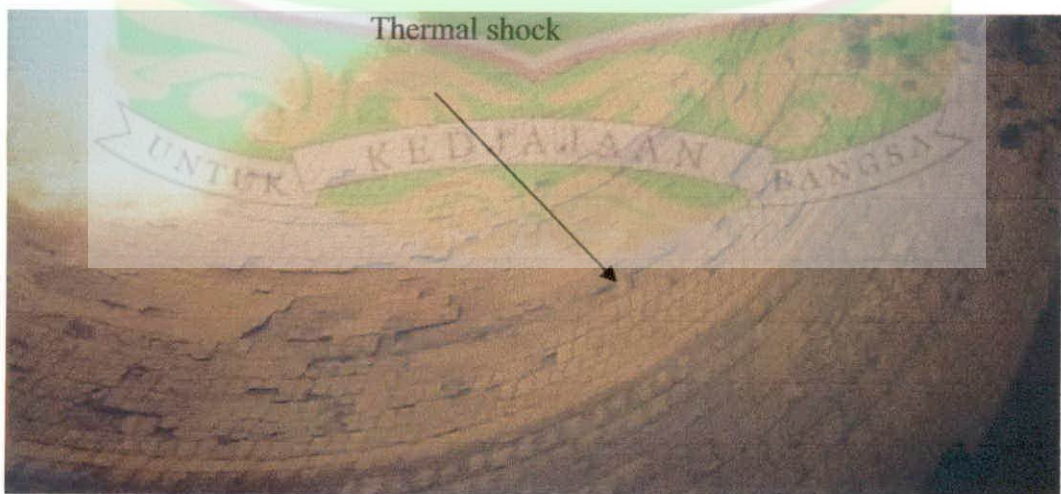


Gambar 9. Diagram kerusakan refraktori (PT Semen Padang, 2010)

2.8.1 Kerusakan akibat temperatur (*thermal effect*)

Kerusakan ini terjadi karena adanya perubahan temperatur akibat *brick* bersentuhan dengan gas hasil pembakaran dan di saat berikutnya bersentuhan dengan material terak (*klinker*).

Berikut gambar dari kerusakan akibat temperatur



Gambar 2.10. Kerusakan akibat temperatur (PT Semen Padang, 2009)

2.8.2 Kerusakan akibat mekanis (*mechanical effect*)

Kerusakan akibat mekanis merupakan kerusakan yang terjadi karena adanya erosi dan abrasi akibat aliran material ataupun benturan material.

Erosi akan terjadi karena adanya tumpukan material yang berat, putarannya tidak sama dengan putaran *kiln*, akibatnya akan terjadi pergeseran antara tumpukan material dengan *brick*. *Brick* akan mudah dikikis material



Gambar 2.11. Kerusakan akibat mekanis (PT Semen Padang, 2009)

2.8.3 Kerusakan akibat proses kimia (*chemical effect*)

Kerusakan yang terjadi karena adanya kontak antara bata tahan api (*refractory*) dengan gas panas, material panas dan bahan bakar pada temperatur tinggi.

2.9 Faktor yang mempengaruhi umur refraktori

Adapun yang menjadi faktor utama yang mempengaruhi umur dari pada refraktori, diantaranya :

2.9.1 Kualitas / spesifikasi refraktori yang dipakai

Refraktori yang dipakai diusahakan memenuhi klasifikasi, diantaranya :

- a) Saat pemasangan, umur refraktori tidak melebihi standar yang ditetapkan masing – masing produsen
- b) Kondisi penyimpanan harus memenuhi persyaratan (misalnya : terhindar dari air dan udara lembab)
- c) Batu tersebut tidak retak, pecah atau remuk.

Spesifikasi batu tahan api untuk masing – masing zona dalam tungku di PT Semen Padang dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3. Spesifikasi Refraktori (PT. Semen Padang, 2009)

No	Zona	Perkiraan suhu material		Panjang zona terhadap ratio diameter SP kiln	Spesifikasi bricks
		Awal (°C)	Akhir (°C)		
1	<i>Preheating zone</i>	100	700	Preheater	Lightweight firebrick, fireclay
2	<i>Calcining zone</i>	700	900	4 - 6	Lightweight firebrick, fireclay
3	<i>Safety zone</i>	900	1050-1150	2	High alumina 50-60 % Al_2O_3
4	<i>Transition zone</i>	1050 -	1400 -	2 - 4	Magnesia spinell (Magnesia-chrome 60-70 % MgO)
5	<i>Sintering zone</i>	1150	1500	3 - 5	Dolomite, magnesia spinell (magnesia chrome 70-90 % MgO)
6	<i>Outlet transition zone</i>	1400-1500	1350-1400	1 - 2	Magnesia spinell (magnesia chrome 60-70 % MgO)
7	<i>Cooling zone</i>	1350-1400	1250-1350	0,5 - 2	High alumina (80-90 % Al_2O_3)

2.9.2 Cara dan kualitas pemasangan refraktori

Pemasangan refraktori harus sesuai dengan rekomendasi yang disarankan oleh produsen *brick*, demikian juga penempatan refraktori di dalam tungku (*kiln*) harus sesuai dengan aturan karena akan mempengaruhi umur refraktori.

Adapun aturan tersebut adalah :

- a) Letak *brick* tegak lurus pada garis singgung lingkaran dan sejajar dengan sumbu *kiln*.
- b) Pemasangan *brick* harus rapat satu sama lainnya.
- c) Kombinasi / komposisi pemasangan *brick* harus sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh produsen.
- d) Pemakaian *Shim Plate* tidak berlebihan dan memenuhi standar pemasangan (tidak pada *brick* kunci, tidak mengapit *brick*, tidak *double plate*)
- e) Usahakan pemasangan *brick* di posisi sambungan *shell kiln* benar – benar rapat pada *shell* (bila diperlukan memakai mortar)
- f) Mengusahakan pemasangan *brick* di daerah *shell* yang mengalami perubahan bentuk dengan teliti (memakai mortar jika perubahan bentuk *shell* besar)
- g) Pemakaian mortar tidak berlebihan

- h) Pada saat penguncian ring penempatan *brick* kunci dan *shimplate* tidak boleh berdekatan ataupun *double plate*

2.9.3 Sistem pengoperasian *kiln*

Dalam pengoperasian tungku (*kiln*), ada beberapa saat, tungku tersebut mengalami *heating – up* atau *cooling down* bahkan ada juga saatnya tungku tersebut mengalami *trouble*. Oleh karena itu, kondisi utama dalam pengoperasian tungku tersebut dapat mempengaruhi umur dari bata tahan api (*refractory*) yang dipakai.

Adapun faktor yang mempengaruhi hal tersebut, antara lain :

- a) Proses *heating up* yang terlalu cepat (tidak sesuai dengan prosedur).
- b) Ketidakstabilan operasi pembakaran (fluktuasi temperatur)
- c) Terjadi *over heating* dalam operasi *kiln*.
- d) Fluktuasi komposisi *raw mix (kiln feed)*.
- e) CO yang tinggi pada hasil pembakaran dapat merusak refraktori.
- f) *Kiln* yang sering *start-stop* akibat rusaknya peralatan pendukung.
- g) Proses pendinginan yang cepat dapat merusak refraktori.

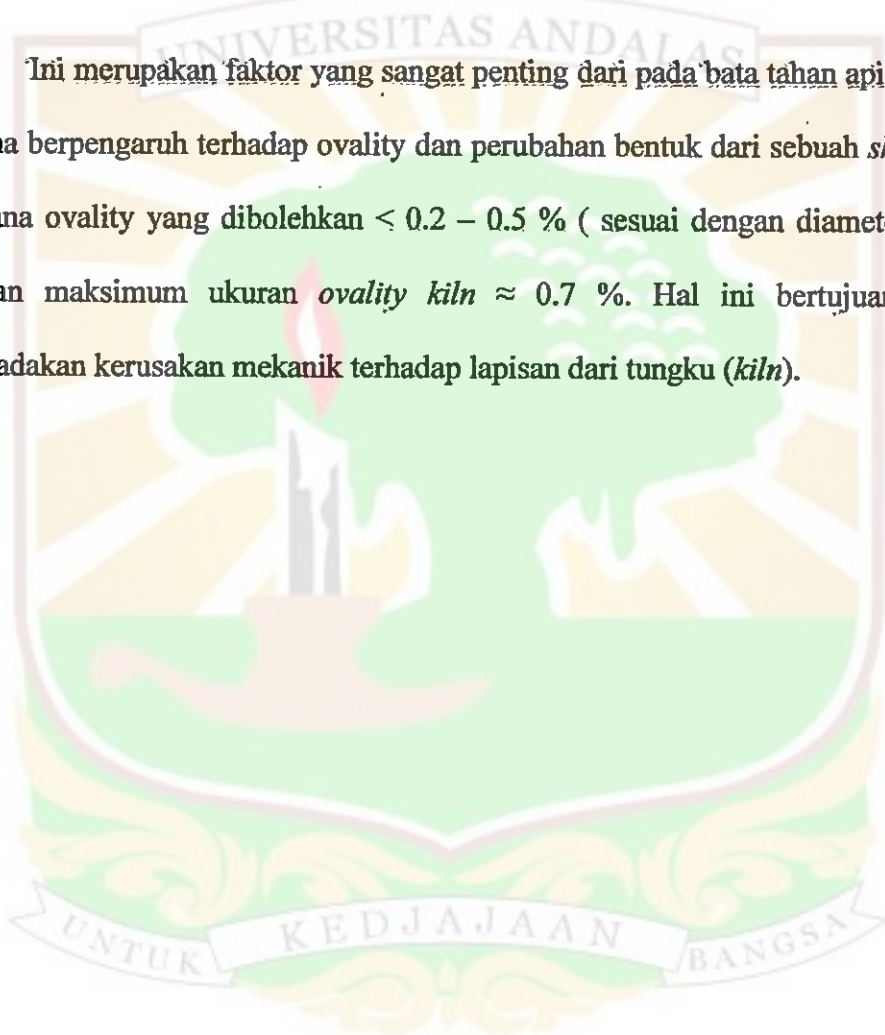
2.9.4 Komposisi *kiln feed* dan kualitas batu bara yg digunakan

Komposisi *kiln feed* yang berfluktuasi akan menyebabkan tidak stabilnya operasi pembakaran, karena perubahan komposisi *kiln feed* maka akan berakibat

pada perubahan jumlah pemakaian batubara yang mempengaruhi temperatur pembakaran. Dengan adanya perubahan kualitas batu bara yang berfluktuasi akan menyebabkan pembakaran tidak stabil.

2.9.5 Kondisi mekanis *shell kiln* (ovality terutama pada daerah *tyre*)

Ini merupakan faktor yang sangat penting dari pada bata tahan api tersebut karena berpengaruh terhadap ovality dan perubahan bentuk dari sebuah *shell kiln*. Dimana ovality yang dibolehkan $< 0.2 - 0.5 \%$ (sesuai dengan diameter *kiln*) dengan maksimum ukuran *ovality kiln* $\approx 0.7 \%$. Hal ini bertujuan untuk meniadakan kerusakan mekanik terhadap lapisan dari tungku (*kiln*).



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini mengambil tempat di Biro Jaminan Kualitas, Biro Pelayanan Umum dan Biro Perencanaan Teknik Pabrik (PTP) PT Semen Padang dan dilaksanakan pada tanggal 1 Maret 2011 s.d 4 April 2011.

3.2 Alat dan Bahan

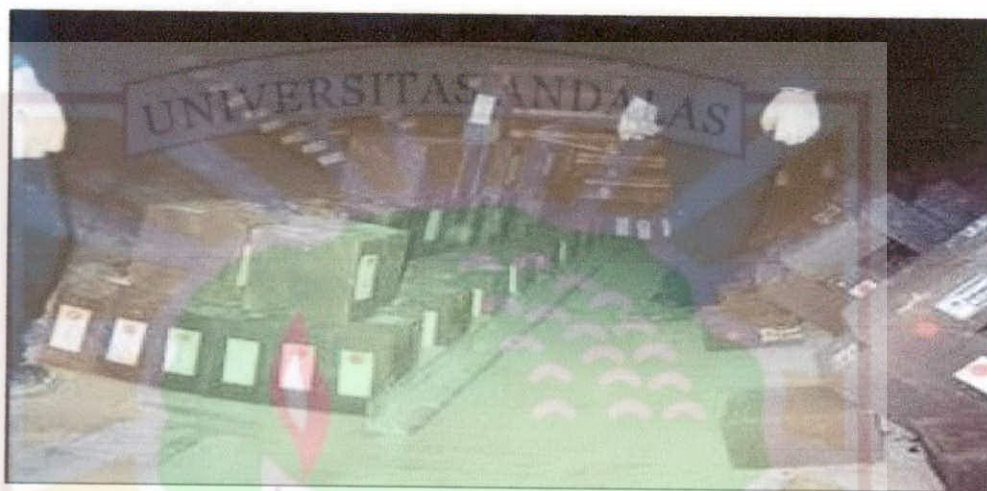
Alat – alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mesin tekan hidrolik merek MORI buatan jepang.



Gambar 3.1. Alat pengukuran kuat tekan

2. Benda uji batu tahan api jenis *basic bricks*, *spinal bricks* dan *alumina bricks* tipe 80 berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm sebanyak 10 buah dipotong dengan mesin pemotong.



Gambar 3.2. Batu Tahan Api (*refractory*)

3. Timbangan digital merek *Sartorius* tipe LC 34 yang memiliki berat 34 kg dan daya bacanya 0,001 kg dan memiliki ketelitian 0,3 % dari berat sampel



Gambar 3.3. Timbangan

4. Mesin Pemanas (*oven*) merek *Heraeus* dengan kapasitas 300°C dan mempunyai tingkat ketelitian 5°C



Gambar 3.4. Mesin Pemanas (*oven*)

5. Peralatan tambahan, seperti : ember, sekop, dan sendok semen.

3.3 Tata Laksana Penelitian

3.3.1 Pengujian Kuat Tekan

A. Metode Green Crushing Strength (GCS)

- a) Benda uji yang telah dipotong dengan ukuran $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ diletakkan dekat mesin tekan dan dicatat identitas sampelnya.
- b) Manometer yang akan digunakan terlebih dahulu diperiksa dengan cara memutar jarum merah sehingga berhimpit dengan jarum hitam pada skala nol.

- c) Benda uji tadi diletakkan di meja mesin tekan pada posisi yang datar dihubungkan ke *plug power*
- d) Jarak tumpuan pada mesin uji kuat tekan diatur sehingga menyentuh permukaan benda uji yaitu dengan cara mengatur *handle cross head adjust* pada posisi turun (*down*) atau posisi ke atas (*up*).
- e) Kecepatan mesin kuat tekan (*rate of loading*, 20 – 50 psi/s) diatur dengan cara memutar *handle load control* secara teratur mulai dari *return* sampai posisi netral dan ditambah kecepatan 1 skala load (tanda -) sesuai dengan petunjuk kalibrasi alat dan diperhatikan kecepatan manometer alat mesin tekan dan benda uji yang akan diuji.
- f) Setelah kecepatan mesin kuat tekan diatur, diamati pergerakan jarum manometer dan dicatat nilai beban maksimum yang ditunjukkan dengan berbaliknya putaran jarum hitam
- g) Benda uji yang telah selesai diuji, dibuka atau diturunkan *upper cross head* dengan cara menghandle *speed cross head adjust* ke posisi *up*.
- h) Benda uji yang telah selesai ditekan, dikeluarkan dari mesin uji tekan dan meja tekan (*lower cross head*) tersebut dibersihkan kemudian dilanjutkan dengan benda uji berikutnya.

B. Metode Cold Crushing Strength (CCS)

- a) Benda uji yang telah dipotong dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm diletakkan dekat mesin tekan dan dicatat identitas sampelnya.
- b) Benda uji tersebut dipanaskan dalam *oven* sampai suhu 250 °C dan didinginkan sampai suhu ruangan 27 °C
- c) Manometer yang akan digunakan terlebih dahulu diperiksa dengan cara memutar jarum merah sehingga berhimpit dengan jarum hitam pada skala nol.
- d) Benda uji tadi diletakkan di meja mesin tekan pada posisi yang datar dihubungkan ke *plug power*
- e) Jarak tumpuan pada mesin uji kuat tekan diatur sehingga menyentuh permukaan benda uji yaitu dengan cara mengatur *handle cross head* adjust pada posisi turun (*down*) atau posisi ke atas (*up*).
- f) Kecepatan mesin kuat tekan (*rate of loading*, 20 – 50 psi/s) diatur dengan cara memutar *handle load control* secara teratur mulai dari return sampai posisi netral dan ditambah kecepatan 1 skala *load* (tanda -) sesuai dengan petunjuk kalibrasi alat dan perhatikan kecepatan manometer alat mesin tekan dan benda uji yang diuji.
- g) Setelah kecepatan mesin kuat tekan diatur, diamati pergerakan jarum manometer dan dicatat nilai beban maksimum yang ditunjukkan dengan berbaliknya putaran jarum hitam

- h) Benda uji yang telah selesai diuji, dibuka atau diturunkan *upper cross head* dengan cara menghandle *speed cross head adjust* ke posisi *up*.
- i) Benda uji yang telah selesai ditekan, dikeluarkan dari mesin uji tekan dan meja tekan (*lower cross head*) tersebut dibersihkan kemudian dilanjutkan dengan benda uji contoh lainnya.

3.3.2 Absorpsi (daya penyerapan)

- a) Benda uji yang sudah dipotong dengan ukuran kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm, diletakkan di dekat mesin *oven* dan dicatat identitas sampel tersebut
- b) Sebelum sampel dimasukkan ke dalam *oven*, ditimbang terlebih dahulu sampel tersebut, dan hasil timbangan tersebut dimasukkan ke dalam tabel berat awal.
- c) Sampel dimasukkan ke dalam *oven* dan dipanaskan beberapa jam sampai diperoleh berat konstan dari sampel tersebut.
- d) Setiap jam dari proses pemanasan tersebut, sampel ditimbang beratnya dan dimasukkan ke dalam tabel berat ke $+ n$.
- e) Setelah diperoleh berat konstan, sampel dikeluarkan dari *oven*, kemudian direndam selama 24 jam dalam wadah atau baskom.
- f) Setelah itu, sampel di timbang untuk mengukur berat air yang terserap oleh sampel tersebut, kemudian dihitung persentase absorpsi (penyerapan air) dari sampel tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENGUKURAN KUAT TEKAN

4.1.1 *Cold Crushing Strength*

Pengujian kuat tekan dengan metode *Cold Crushing Strength* dilakukan di Laboratorium Biro Jaminan Kualitas PT Semen Padang. Pengujian ini dilakukan pada 5 (lima) buah sampel dari masing – masing batu tahan api tipe *basic*, *spinal*, dan alumina. Sampel tersebut dipanaskan sampai suhu 250 °C kemudian didinginkan pada suhu ruang 27 °C dan terakhir diukur kuat tekannya. Adapun data hasil pengujian kuat tekan batu tahan api dengan metode *cold crushing strength*, dapat kita lihat pada Tabel 4.1 dan penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dengan tiga macam jenis refraktori, dapat dilihat bahwa batu tahan api tipe *basic* memiliki harga kuat tekan tertinggi 401,96 kg/cm², harga kuat tekan terendah 243,20 kg/cm² dan harga kuat tekan rata – rata 330,67 kg/cm², standar deviasi 61,76. Batu tahan api tipe *spinal* memiliki harga kuat tekan tertinggi 310,59 kg/cm², harga kuat tekan terendah 192,00 kg/cm², harga kuat tekan rata – rata 263,63 kg/cm² dan standar deviasi sebesar 43,33.

Sedangkan untuk batu tahan api tipe alumina memiliki harga kuat tekan tertinggi $960,75 \text{ kg/cm}^2$, harga kuat tekan terendah $712,28 \text{ kg/cm}^2$, harga kuat tekan rata – rata $850,27 \text{ kg/cm}^2$ dan standar deviasinya 81,88.

Tabel 4.1. Hasil pengujian seluruh batu tahan api dengan metode CCS

Tipe batu tahan api	Kuat tekan		
	Tertinggi (kg/cm^2)	Terendah (kg/cm^2)	Rata – rata (kg/cm^2)
BASIC	401,96	243,20	$330,67 \pm 61,76$
SPINAL	310,59	192,00	$263,63 \pm 43,33$
ALUMINA	960,75	712,28	$850,27 \pm 81,88$

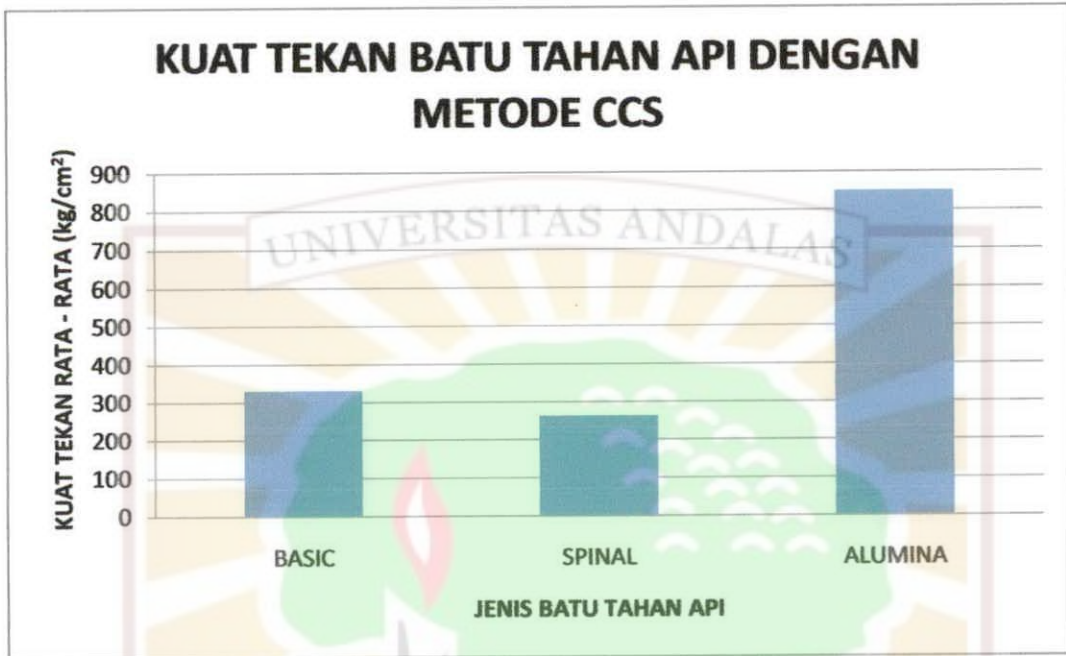
Dari hasil tersebut, dapat kita lihat bahwa refraktori apabila dipanaskan terlebih dahulu sebelum dipasang ke dinding tungku (*kiln*), maka akan mempersingkat umur refraktori apabila di pasang dalam tungku (*kiln*) karena laju aliran material dalam tungku (*kiln*) akan menyebabkan gesekan antara material dengan refraktori.

Pada refraktori tipe alumina, pada saat material kasar mengalir dalam tungku (*kiln*) maka gesekan yang terjadi pada batu tersebut akan cepat menggerus struktur daripada refraktori tersebut. Pada batu tahan api *basic* memiliki kuat tekan yang

sedang, karena pada saat material dalam tungku dalam bentuk semen jadi, material tersebut akan sangat cepat menggerus struktur daripada refraktori tersebut dibandingkan dengan refraktori tipe alumina. Pada batu tahan api tipe *spinal* memiliki kuat tekan yang rendah, karena pada saat material dalam tungku mengalir dalam bentuk semen setengah jadi dalam tungku (*kiln*) paling cepat menggerus struktur daripada refraktori tersebut dibandingkan batu tipe alumina dan *basic*.

Oleh karena itu, batu tahan api tipe alumina digunakan di area terdepan dari sedangkan batu tipe *spinal* digunakan di area tengah dan batu tipe *basic* digunakan di area paling ujung dari tungku (*kiln*).

Dari hasil diatas, dapat kita lihat bahwasanya refraktori yang memiliki kuat tekan yang sangat besar dengan metode *Cold crushing strength* tidak selalu menunjukkan ketahanan terhadap suhu kejut yang sangat jelek. Karena, dengan densitas dan tekanan yang sangat tinggi bisa digunakan terhadap ketahanan suhu kejut yang sangat baik. Oleh karena itu, pengukuran kuat tekan dengan metode CCS ini tidak hanya cukup untuk karakteristik dari pada pemakaian batu.



Gambar 4.1. Kuat Tekan Batu Tahan Api Metode CCS

4.1.1 Green Crushing Strength

Pengujian kuat tekan dengan metode *Green Crushing Strength* dilakukan di Laboratorium Biro Jaminan Kualitas PT Semen Padang. Pengujian ini dilakukan pada 5 (lima) buah sampel dari masing – masing batu tahan api, dimana sampel tersebut di ukur kuat tekannya tanpa dipanaskan. Adapun data hasil pengujian kuat tekan seluruh tipe batu tahan api dengan metode *Green crushing strength*, dapat kita lihat pada Tabel 4.2 dan penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengujian seluruh tipe batu tahan api dengan metode GCS

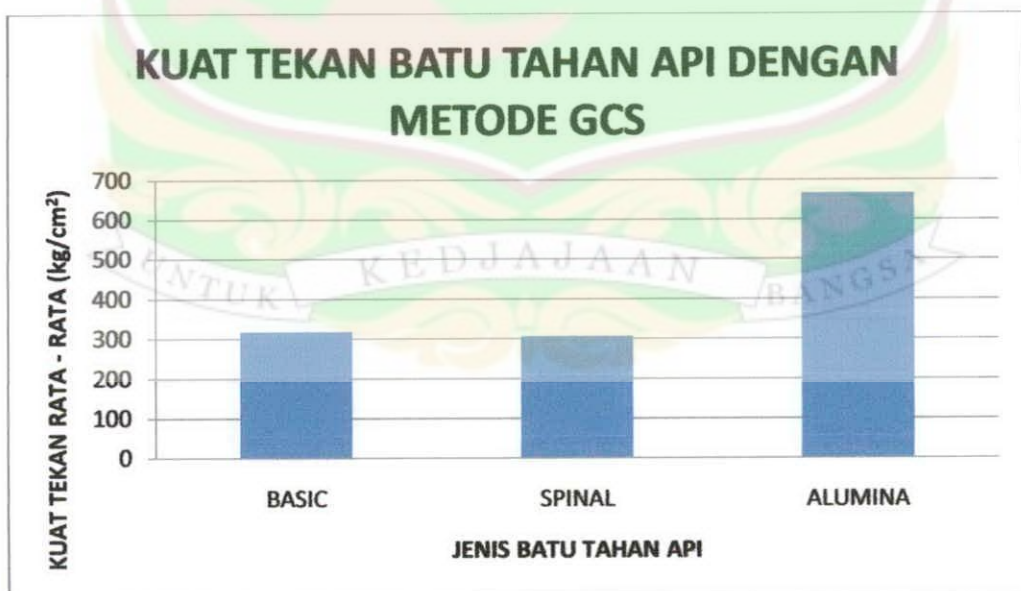
Tipe batu tahan api	Kuat tekan		
	Tertinggi (kg/cm ²)	Terendah (kg/cm ²)	Rata – rata (kg/cm ²)
BASIC	467,25	205,65	317,57 ± 100,48
SPINAL	360,91	181,97	306,42 ± 64,58
ALUMINA	806,53	440,70	666,55 ± 142,62

Dari hasil pengujian ini dapat kita lihat, untuk sampel dengan batu tahan api tipe *basic* diperoleh harga kuat tekan tertinggi 467,25 kg/cm², harga kuat tekan terendah 205,65 kg/cm², harga kuat tekan rata – rata 317,57 kg/cm² dan standar deviasi 100,48. Pada batu tahan api tipe *spinal* diperoleh harga kuat tekan tertinggi 360,91 kg/cm², harga kuat tekan terendah 181,97 kg/cm², harga kuat tekan rata – rata 306,42 kg/cm² dan standar deviasinya 64,58. Untuk batu tahan api tipe alumina diperoleh harga kuat tekan tertinggi 806,53 kg/cm², harga kuat tekan terendah 440,70 kg/cm² dan harga kuat tekan rata – rata 666,55 kg/cm² dan memiliki standar deviasinya 142,62.

Dari hasil tersebut, dapat kita lihat bahwa refraktori tipe alumina memiliki kuat tekan yang besar, karena batu tahan api itu memiliki struktur yang sangat kasar sehingga sangat tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak dan di pergunakan dalam menahan laju aliran material di dalam tungku (*kiln*) dalam bentuk material kasar. Karena sifat itulah, batu tipe ini diletakkan di bagian depan dari sebuah tungku

(kiln). Pada batu tahan api tipe *spinal* memiliki kuat tekan terendah karena batu ini memiliki struktur yang sedikit kasar sehingga memiliki daya tahan yang stabil terhadap perubahan suhu mendadak dalam tungku dan batu ini di pergunakan menahan laju material yang akan di bakar dalam bentuk setengah jadi pada zona peralihan di dalam tungku (*kiln*). Karena sifat itulah, maka batu tipe ini di letakkan pada bagian tengah tungku (*kiln*).

Dan, pada refraktori tipe *basic* memiliki kuat tekan yang menengah, karena pada batu tersebut memiliki struktur yang sedikit halus sehingga batu ini sangat lemah dalam perubahan suhu yang timbul secara mendadak dalam tungku dan batu ini dipergunakan untuk menahan laju aliran material dalam bentuk hasil semen yang telah di bakar dalam zona peralihan dalam tungku (*kiln*). Karena sifat itulah, batu tipe ini diletakkan di bagian paling ujung dari sebuah tungku (*kiln*).



Gambar 4.2. Grafik Kuat tekan batu tahan api dengan metode GCS

4.1 HASIL PENGUJIAN ABSORPSI (PENYERAPAN AIR)

Pengujian absorpsi (penyerapan air) ini dilakukan di Laboratorium Biro Jaminan Kualitas PT Semen Padang. Pengujian ini dilaksanakan pada 5 (lima) buah sampel dari masing – masing tipe batu tahan api. Dimana, sampel tersebut ditimbang terlebih dahulu dan kemudian di panaskan selama 2 – 5 jam sampai didapat berat konstan. Adapun data hasil pengujian absorpsi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Tabel 4.3. Hasil pengujian absorpsi seluruh batu tahan api

Tipe batu tahan api	Absorpsi		
	Tertinggi (%)	Terendah (%)	Rata – rata (%)
BASIC	5,45	4,66	5,07 ± 0,27
SPINAL	4,85	4,45	4,60 ± 0,15
ALUMINA	5,78	5,65	5,70 ± 0,05

Berdasarkan hasil uji absorpsi dengan tiga macam jenis batu tahan api, dapat kita lihat sampel dengan batu tahan api tipe *basic* mempunyai harga absorpsi tertingginya 5,45 %, harga absorpsi terendah 4,66 %, harga absorpsi rata – rata 5,07 % dan nilai standar deviasinya 0,27. Pada batu tahan api tipe *spinal* mempunyai harga absorpsi tertinggi 4,85 %, harga absorpsi terendah 4,45 % , harga absorpsi rata – rata 4,60% dan nilai standar deviasinya 0,15. Untuk batu tahan api tipe alumina

mempunyai harga absorpsi tertinggi 5,78 %, harga absorpsi terendah 5,65 %, harga absorpsi rata – rata 5,70 % dan nilai standar deviasinya 0,05.

Dari hasil pengujian absorpsi ini, dapat kita analisa bahwasanya absorpsi dari sebuah batu tahan api merupakan efek yang ditimbulkan terhadap penetrasi yang berlawanan dari metal, terak dan fluks. Pada umumnya, semakin tinggi nilai absorpsi, semakin besar pula lah efek yang di batasi oleh refraktori. Semakin banyak batu tersebut menyerap air biasanya ditunjukkan dengan pengoresan yang sangat tinggi yang terjadi pada struktur batu tersebut.

Pada batu tipe basic memiliki daya serap yang sedang, karena pada batu tersebut terdapat pori yang berukuran sangat kecil. Untuk batu tipe *spinal* memiliki daya serap yang kecil, karena pada batu tersebut terdapat pori yang berukuran lebih kecil dan sangat halus daripada batu tipe *basic*. Sedangkan untuk batu tipe alumina memiliki daya serap yang besar, pada batu tersebut terdapat pori yang berukuran lebih besar dan sangat kasar dibandingkan dengan batu tipe *basic*. Hal ini disebabkan oleh fungsi dan kegunaan batu tersebut pada saat menahan laju aliran material semen di dalam tungku (*kiln*).



Gambar 4.3. Grafik Absorpsi batu tahan api

4.2 HUBUNGAN ABSORPSI DENGAN KUAT TEKAN

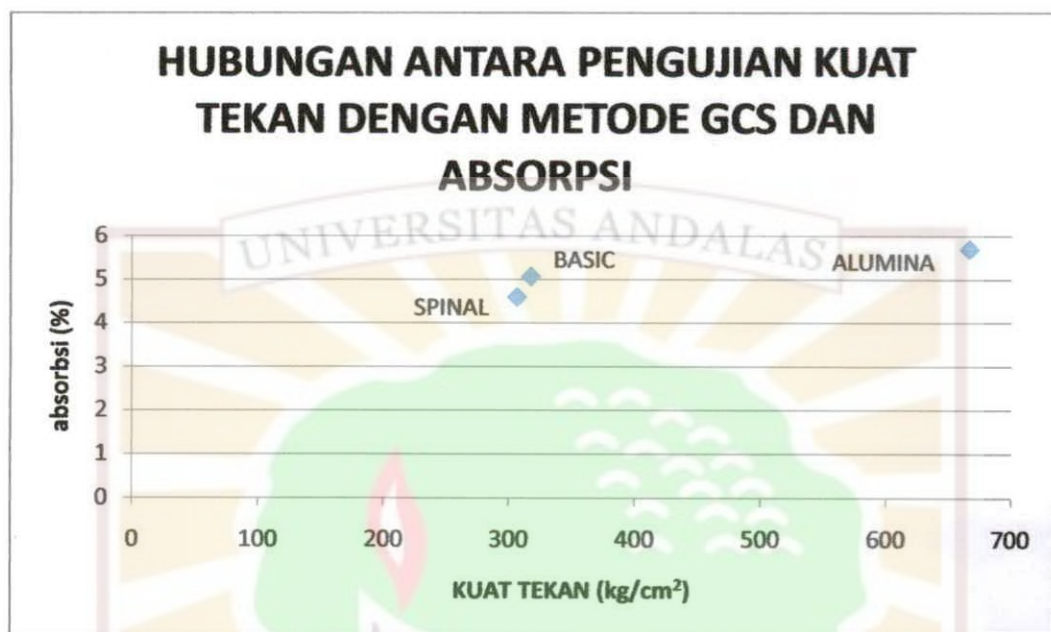
Dari hasil pengujian kuat tekan dengan metode *cold crushing strength* dan *green crushing strength* dan pengujian absorpsi terhadap batu tahan api yang telah dilakukan, dapat kita lihat hubungan antara kuat tekan dan absorpsi, seperti pada Gambar 4.4 dan 4.5.

Dari gambar tersebut dapat kita lihat bahwa nilai absorpsi berbanding lurus dengan nilai kuat tekan suatu batu apabila dipanaskan dengan suhu 250°C kemudian didinginkan sampai suhu kamar. Pada kuat tekan maksimum, batu tahan api tipe *basic* memiliki daya serap air maksimum yang diizinkan yaitu sekitar 5,07 %, untuk batu tipe *spinal* memiliki daya serap air maksimum yang diizinkan yaitu sekitar 4,60% dan batu tipe *alumina* memiliki daya serap air maksimum yang diizinkan yaitu sekitar 5,70 %. Hal ini disebabkan karena aliran fluks cair dalam tungku tersebut

membuat penggerusan struktur batu tahan api yang dipasang dalam tungku (*kiln*) serta mempersingkat umur dari batu.



Gambar 4.4. Hubungan antara hasil kuat tekan dengan metode CCS dengan Absorpsi



Gambar 4.5. Hubungan antara nilai kuat tekan dengan metode GCS dengan Absorpsi

Untuk metode GCS, dapat kita lihat bahwa Pada kuat tekan maksimum, batu tahan api tipe *basic* memiliki daya serap air maksimum yang diizinkan yaitu sekitar 5,07 %, untuk batu tipe *spinal* memiliki daya serap air maksimum yang diizinkan yaitu sekitar 4,60% dan batu tipe *alumina* memiliki daya serap air maksimum yang diizinkan yaitu sekitar 5,70 %. Oleh karena itu, batu yang memiliki absorpsi serta kuat tekan yang tinggi akan berpengaruh terhadap ketahanan batu pada saat pembakaran dalam tungku (*kiln*), hal ini disebabkan dengan daya serap air yang tinggi akan mengakibatkan refraktori tersebut cepat rapuh pada saat pembakaran dalam tungku (*kiln*).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Dari hasil pengujian kuat tekan batu tahan api yang dilakukan dengan metode *cold crushing strength* diperoleh harga kuat tekan rata – rata untuk batu tahan api tipe *basic* 330,67 kg/cm², untuk tipe *spinal* 263,63 kg/cm², dan untuk tipe alumina 850,27 kg/cm² .
- 2) Dari hasil pengujian kuat tekan batu tahan api yang dilakukan dengan metode *green crushing* diperoleh harga kuat tekan rata – rata untuk batu tahan api tipe *basic* 317,57 kg/cm², untuk tipe *spinal* 306,42 kg/cm², dan untuk alumina 666,55 kg/cm² .
- 3) Dari hasil pengujian absorpsi yang dilakukan diperoleh harga absorpsi rata – rata untuk batu tahan api tipe *basic* 5,07 %, untuk tipe *spinal* 4,60%, dan untuk tipe alumina 5,70 %.

5.2 SARAN

Supaya penelitian yang akan datang menjadi lebih baik dan akurat, maka penulis menyarankan :

1. Untuk mencari parameter lain dalam mengukur sifat mekanik dari batu tahan api itu.
2. Mengetahui kandungan unsur serta komposisi yang terdapat pada masing – masing tipe batu tahan api tersebut.
3. Meneliti faktor – faktor yang mempengaruhi umur dari batu tahan api.



DAFTAR PUSTAKA

Gana, Riki, 2010, *Refractory Notebook*, Cilegon: PT Sigma Mitra Sejati.

Gilchrist J.D. Fuels, 1977, *Furnace And Refractories*, Pergamon Press

Arianto, H.D., 1999, *Ilmu Bahan*, Jakarta: PT. Erlangga.

Muliono, Tri, 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Andi Offset.

Nasipan, 1998, *Refractories*, Gresik: PT. Semen Gresik.

Saridam, M, 1983, *Diktat Batu Tahan Api*, Padang: PT. Semen Padang.

Van Vlack, Lawrence, 1992, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*, Jakarta:
PT. Erlangga.



 LABORATORIUM PT SEMEN PADANG	LAPORAN HASIL UJI KUAT TEKAN FIREBRICKS	BIRO JAMINAN KUALITAS PT SEMEN PADANG
--	--	--

Untuk pengujian
bahan / sampel

: Fire bricks dibuat ukuran kubus
± 5 cm x 5 cm x 5 cm

Sumber Sampel
Tanggal Pengujian
Jumlah sampel
Bahan hasil uji sebagai berikut :

: PUP
: 10 MARET 2011
: 30 (tiga puluh) sampel


A. METODE COLD CRUSHING STRENGTH (CCS)

No	Kode dan nomor Sampel	Berat contoh (gram)	Ukuran contoh			Density (gr/cm ²)	Luas bidang tekan (cm ²)	Beban maks. Ton	Kuat tekan (kg/cm ²)
			Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)				
1.	BS 2	403	4,8	4,9	5,0	3,43	23,52	7,68	326,53
2.	BS 3	384	4,8	5,1	4,7	3,34	24,48	9,84	401,96
3.	BS 5	411	5,0	4,8	5,3	3,23	24,00	8,76	365,00
4.	BS 8	388	5,0	5,0	4,8	3,23	25,00	6,08	243,20
5.	BS 9	410	4,8	5,0	5,3	3,22	24,00	7,60	316,67
6.	AL 1	364	5,1	4,9	5,0	2,91	24,99	17,80	712,28
7.	AL 4	365	5,1	4,9	5,0	2,92	24,99	22,00	880,35
8.	AL 5	357	4,9	5,2	5,0	2,80	25,48	24,48	960,75
9.	AL 7	358	4,9	5,0	5,0	2,92	24,50	21,44	875,10
10.	AL 9	366	5,0	4,9	5,1	2,93	24,50	20,16	822,86
11.	SP 1	365	4,8	4,9	5,1	3,04	23,52	5,60	238,09
12.	SP 2	410	5,1	5,2	5,2	3,09	26,52	7,88	297,13
13.	SP 5	396	5,0	5,0	5,2	3,05	25,00	4,80	192,00
14.	SP 6	399	5,1	5,0	5,2	3,01	25,50	7,92	310,59
15.	SP 10	385	5,3	4,9	5,3	3,02	25,97	7,28	280,32

$$\text{Kuat tekan rata - rata} = \frac{7222,83}{15} = 481,522 \text{ kg / cm}^2$$

B. Metode Green Crushing Strength (GCS)									
No	Kode dan nomor Sampel	Berat contoh (gram)	Ukuran contoh			Density (gr/cm ³)	Luas bidang tekan (cm ²)	Beban maks. Ton	Kuat tekan (kg/cm ²)
			Panjang (.cm.)	Lebar (.cm.)	Tinggi (.cm.)				
1.	BS 1	384	4,8	5,0	5,2	3,08	24,00	7,08	295,00
2.	BS 4	362	4,9	4,8	4,9	3,14	23,52	9,32	396,26
3.	BS 6	369	5,1	4,7	5,0	3,08	23,97	11,20	467,25
4.	BS 7	369	4,9	5,0	5,0	3,01	24,50	5,48	223,67
5.	BS 10	412	5,2	4,9	5,1	3,17	25,48	5,24	205,65
6.	AL 2	349	5,0	4,9	4,9	2,91	24,50	19,76	806,53
7.	AL 3	343	5,1	4,8	4,8	2,92	24,48	19,28	787,58
8.	AL 6	348	4,8	5,2	4,9	2,84	24,96	11,00	440,70
9.	AL 8	354	5,0	4,9	5,1	2,83	24,50	18,08	737,96
10.	AL 10	341	4,9	5,0	4,8	2,90	24,50	13,72	560,00
11.	SP 3	394	5,3	4,9	4,9	3,10	25,97	8,36	321,91
12.	SP 4	386	4,9	4,8	5,4	3,04	23,52	8,28	352,04
13.	SP 7	375	5,1	5,0	4,9	3,00	25,50	8,04	315,29
14.	SP 8	358	4,8	4,9	4,8	3,17	23,52	4,28	181,97
15.	SP 9	406	5,4	4,7	5,0	3,20	25,38	9,16	360,91

$$\text{Kuat tekan rata - rata} = \frac{6482,72}{15} = 432,18$$

		Laboratorium PT SEMEN PADANG	HASIL UJI ABSORPSI BATU TAHAN API					BIRO JAMINAN KUALITAS PT SEMEN PADANG			
Untuk pengujian bahan / sampel : Fire bricks dibuat ukuran kubus $\pm 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ Sumber Sampel : PUP Tanggal Pengujian : 14 MARET 2011 Jumlah sampel : 15 (LIMA BELAS) sampel Dengan hasil uji sebagai berikut :											
D	JENIS SAMPEL	BERAT AWAL (gr)	BERAT 1 (GR)	BERAT 2 (gr)	BERAT 3 (gr)	Berat 4 (gr)	Berat kering (gr)	Berat direndam (gr)	Berat air terserap (gr)	Absorpsi (%)	Ket
			2 JAM	3 JAM	4 jam	5 jam					
1	BS 11	322	322	322	322	X	322	337	15	4,66	
2	BS 12	331	330	330	330	X	330	348	18	5,45	
3	BS 13	329	329	329	329	X	329	346	17	5,17	
4	BS 14	330	329	329	329	X	329	346	17	5,17	
5	BS 15	327	327	327	327	X	327	343	16	4,89	
6	SP 11	309	308	309	309	X	309	323	14	4,53	
7	SP 12	313	312	312	312	X	312	326	14	4,48	
8	SP 13	310	309	309	309	X	309	324	15	4,85	
9	SP 14	292	292	292	292	X	292	305	13	4,45	
10	SP 15	299	298	298	298	X	298	312	14	4,70	
11	AL 11	295	283	283	283	X	283	299	16	5,65	
12	AL 12	289	277	277	277	X	277	293	16	5,78	
13	AL 13	294	282	282	282	X	282	298	16	5,67	
14	AL 14	273	262	261	261	X	261	276	15	5,75	
15	AL 15	294	283	282	282	X	282	298	16	5,67	
RATA - RATA											



Penghitungan Standar Deviasi

1. Kuat tekan batu tahan api dengan metode CCS

a. Batu tahan api tipe Basic

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{(366,53 - 330,67)^2 + (401,96 - 330,67)^2 + (365,00 - 330,67)^2 + (243,20 - 330,67)^2 + (316,67 - 330,67)^2}{5}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1907,83}{5}}$$

$$S = 61,76$$

b. Batu tahan api tipe Spinal

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(238,59 - 263,63)^2 + (297,13 - 263,63)^2 + (192,00 - 263,63)^2 + (310,59 - 263,63)^2 + (280,32 - 263,63)^2}{5}}$$

$$S = \sqrt{\frac{9389,20}{5}}$$

$$S = 43,33$$

c. Batu tahan api tipe Alumina

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{(28 - 850,27)^2 + (880,35 - 850,27)^2 + (960,75 - 850,27)^2 + (875,10 - 850,27)^2 + (822,86 - 850,27)^2}{5}}$$

$$S = \sqrt{\frac{6703,94}{5}}$$

$$S = 81,88$$

2. Kuat tekan batu tahan api dengan metode GCS

a. Batu tahan api tipe basic

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{(295,00 - 317,57)^2 + (396,26 - 317,57)^2 + (467,25 - 317,57)^2 + (223,67 - 317,57)^2 + (205,65 - 317,57)^2}{5}}$$

$$S = \sqrt{\frac{50448,97}{5}}$$

$$S = 100,48$$

b. Batu tahan api tipe spinal

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$\frac{(1,91 - 306,42)^2 + (352,04 - 306,42)^2 + (315,29 - 306,42)^2 + (181,97 - 306,42)^2 + (360,91 - 306,42)^2}{5}$$

$$S = \sqrt{\frac{20856,22}{5}}$$

$$S = 64,58$$

c. Batu tahan api tipe alumina

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$\frac{(6,53 - 666,55)^2 + (787,58 - 666,55)^2 + (440,70 - 666,55)^2 + (737,96 - 666,55)^2 + (560,00 - 666,55)^2}{5}$$

$$S = \sqrt{\frac{101703,17}{5}}$$

$$S = 142,62$$

3. Pengujian Absorpsi Batu Tahan Api

a. Batu tahan api tipe basic

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(4,66 - 5,07)^2 + (5,45 - 5,07)^2 + (5,17 - 5,07)^2 + (5,17 - 5,07)^2 + (4,89 - 5,07)^2}{5}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,3649}{5}}$$

$$S = 0,27$$

b. Batu tahan api tipe spinal

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(4,53 - 4,60)^2 + (4,48 - 4,60)^2 + (4,85 - 4,60)^2 + (4,45 - 4,60)^2 + (4,70 - 4,60)^2}{5}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,1143}{5}}$$

$$S = 0,15$$