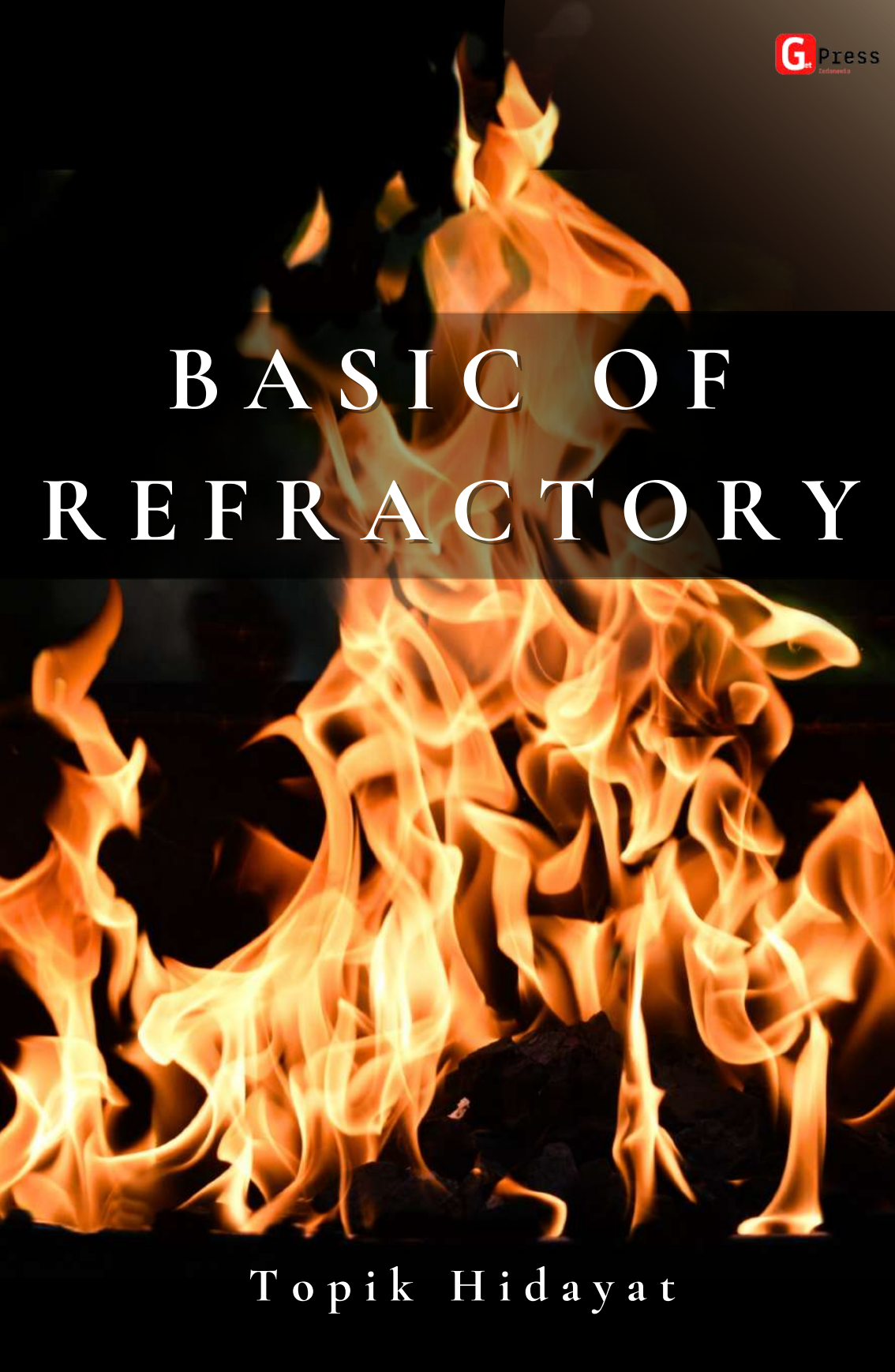




BASIC OF REFRACTORY

Topik Hidayat

BASIC OF REFRACTORY

TOPIK HIDAYAT S.T, CPLM, SLQ



GETPRESS INDONESIA

BASIC OF REFRACTORY

Penulis : Topik Hidayat S.T, CPLM, SLQ

ISBN : 978-623-125-109-1

Editor : Suhirman, S.T.,M.Eng

Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Maret 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

SEKAPUR SIRIH

Bismillahirrahmannirrahiim

**“ BUKU INI KU
PERSEMBAHKAN UNTUK
INDONESIA”**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur tercurahkan kepada Tuhan yang telah memberikan kesehatan dan nikmat yang tidak terbatas.” Apabila lautan adalah tinta dan langit adalah kertasnya niscaya aku tak mampu menulis semua karunia yang Tuhan berikan”. Berkat nikmat Tuhan yang berlimpah maka penulis mampu menciptakan buku pertama. Buku ini berharap menjadi kontribusi bagi bangsa Indonesia **terutama dalam bidang Refraktori**. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam menyajikan isi materi (jauh dari kata sempurna) namun tidak mengurangi harapan penulis terhadap pembaca bahwa dengan buku ini kita sama-sama akan memahami dasar-dasar refraktori. Penulis mengucapkan terimakasih pada kedua orang tua, keluarga tercinta, sahabat, rekan kerja dan semua yang terlibat. Besar harapannya buku ini membuka cakrawala dunia.

Penulis
Topik Hidayat

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN REFRAKTORI.....	1
1.1 Sejarah Refractory	1
1.2 Pengertian Refractory	3
1.3 Sifat dan Kandungan Refractory.....	5
1.4 Analisa Refractory	11
1.4.1 <i>Bulk Density</i>	12
1.4.2 <i>Apparent Porosity</i>	12
1.4.3 <i>Cold Crushing Strength</i>	13
1.4.4 <i>Pyrometric Cone Equivalent</i>	13
1.4.5 <i>Reheat Test</i>	13
1.4.6 <i>Load Test</i>	14
1.4.7 <i>Refractoriness Under Load (Creep)</i>	14
1.4.8 <i>Hot Modulus of Rupture</i>	15
1.5 Faktor-Faktor Mempengaruhi Kekuatan Refractory.....	15
1.6 Uji Refractory	16
BAB 2 JENIS REFRACTORY.....	19
2.1 Klasifikasi Refractory Berdasarkan Temperatur	19
2.1.1 <i>Basic refractories</i>	20
2.1.2 <i>Acid refractories</i>	21
2.1.3 <i>Neutral Refractories</i>	21
2.1.4 <i>Special Refractories</i>	22
2.2 Klasifikasi Refractory berdasarkan bentuk dan Kandungan	23
2.2.1. <i>Shapes refractory</i>	23
2.2.2 <i>Unshaped refractory</i>	24

2.2.3 Refraktori Zirkonium Oksida.....	24
2.2.4 Refraktori silika tinggi	25
2.3 Klasifikasi Refraktori berdasarkan sifat kimiawi	26
BAB 3 PERMASALAHAN REFRAKTORY	28
3.1 Penyebab Kerusakan Refraktory	28
3.1.1 Pemilihan Material	28
3.1.2 Pemasangan Tidak Sesuai Standar	29
3.1.3 <i>Anchor Failures</i>	30
3.2 Kegagalan Refraktory	32
3.2.1 <i>Thermal stress</i>	32
3.2.2 <i>Thermal shock</i>	33
3.3 Kerusakan Refraktory	35
3.3.2 <i>Slagging</i> dan <i>spalling</i>	36
3.3.3 Pengkerutan (<i>shrinkage</i>).....	38
3.1.4 Studi Kasus Kerusakan Refraktori di Industri.....	39
BAB 4 PEMBUATAN DAN PROSEDURE PEMASANGAN	
REFRAKTORI CASTABEL	59
4.1 Refraktori Kastabel.....	61
4.1.1 Bahan Baku Refraktori Kastabel	62
4.2 Kegiatan Awal	72
BAB 5 REFRACTORY DRY OUT	79
5.1 Gambaran Umum Tentang <i>Refractory Dryout (Heating Up)</i>	79
5.2 Tahapan <i>Refractory Dryout (Heating Up)</i>	84
5.2.1. Persiapan Pekerjaan	84
5.2.2 Memulai Pekerjaan.....	91
DAFTAR PUSTAKA	97
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Refraktori sederhana.....	2
Gambar 1. 2. Refraktori Modern	3
Gambar 1. 3. Kandungan unsur non logam dalam Refraktori	6
Gambar 1. 4. Temperatur leleh beberapa oksida.....	6
Gambar 1. 5. Emisivitas material refractory pada beberapa temperatur	8
Gambar 1. 6. Thermal conductivity pada beberapa variasi brick refractory	10
Gambar 1. 7. Thermal conductivity pada beberapa variasi isolasi refractory	11
Gambar 2. 1. Shapes Refractory	23
Gambar 2. 2. <i>Castable & Castable</i> dalam kemasan.....	24
Gambar 2. 3. Alumina putih	25
Gambar 2. 4. Batu bata silika.....	26
Gambar 3. 1. Pemasangan Refraktori yang tidak merata.....	30
Gambar 3. 2. Thermal Stress.....	33
Gambar 3. 3. Retakan Pada Refraktori.....	36
Gambar 3. 4. Penutupan Refraktori oleh slag	37
Gambar 3. 5. Refraktori mengalami Spalling.....	37
Gambar 3. 6. Inspeksi Refractory Boiler #2	42
Gambar 3. 7. Kondisi Kerusakan pada Refractory.....	42
Gambar 3. 8. Proses yang salah pengadukan Castable	44
Gambar 3. 9. Pembuatan Batu bata tahan api dengan metode casting.....	45
Gambar 3. 10. Metode Hand Ball tes	46

Gambar 3. 11. Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> Kemungkinan Penyebab Kerusakan Refraktori	47
Gambar 3. 12. Area Penyimpanan Material Refraktori di <i>Groundfloor</i>	48
Gambar 4. 1. Skema proses yang digunakan dalam pembuatan produk refraktori.....	60
Gambar 4. 2. <i>Dead Burn magnesite</i>	67
Gambar 4. 3. <i>Dolomite</i>	70
Gambar 4. 4. Prosedur pemasangan refractory	73
Gambar 4. 5. Pencampuran castable	74
Gambar 4. 6. Jarak Pemasangan ancho	75
Gambar 4. 7. Pemasangan anchor.....	75
Gambar 4. 8. Anchor V Shape	76
Gambar 4. 9. Anchor Y Shape.....	76
Gambar 4. 10. Anchor V/Y Spiral.....	76
Gambar 4. 11. Anchor/Hanger Brick.....	77
Gambar 4. 12. Bentuk refraktori melengkung dari berbagai sudut.....	77
Gambar 5. 1. Refractory dry out.....	79
Gambar 5. 2. Grafik Proses Heating Up	80
Gambar 5. 3. Hasil setelah proses Heating Up.....	83
Gambar 5. 4. Contoh Burner External.....	83
Gambar 5. 5. Pemetaan Lokasi Pemasangan Burner external	84
Gambar 5. 6. Contoh burner standar	85
Gambar 5. 7. Salah satu contoh burner yang sudah di modifikasi sesuai dengan kebutuhan lapangan	85

Gambar 5. 8. Drawing area blocking agar tdk terjadi heat loss yang berlebih	86
Gambar 5. 9. Ceramic Fiber blanket dengan ketahanan suhu mencapai 1200 °C.....	87
Gambar 5. 10. Gambar (a) Salah satu pengaplikasian blanket untuk melindungi tools atau material dari panas yang berlebih. Gambar (b) pengaplikasian blanket untuk terhindar dari heat loss yaitu menutup lubang keluaran	87
Gambar 5. 11. Pengetesan burner dan pengecekan kelengkapan tools burner.....	88
Gambar 5. 12. Proses installasi Burner external di lapangan.....	88
Gambar 5. 13. Instalasi Recorder.....	89
Gambar 5. 14. Installasi Bahan bakar serta pengecekan kebocoran.....	90
Gambar 5. 15. (a) knalpot dengan sistem Vakum , (b) knalpot biasa ...	91
Gambar 5. 16. Skema pekerjaan Refarctory Dry Out.....	92
Gambar 5. 17. (a) Panel control aliran gas & angin.....	94
Gambar 5. 18. Proses pencatatan temperatur oleh recorde.....	95
Gambar 5. 19. Chart suhu hasil RDO	96
Gambar 5. 20. Chart suhu hasil RDO yang di catat oleh recorder	96

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Analisis kimia dari beberapa bahan baku refraktori khas (% berat)	5
Tabel 1. 2. Sifat-sifat Refractory	7
Tabel 1. 3. Rata-rata kalor jenis bahan tahan api antara 0°C dan suhu yang ditunjukkan (kJ /kg K).....	10
Tabel 1. 4. Contoh Pengujian Refraktori (Temperatur Ruang)	18
Tabel 2. 1. Kandungan pada Jenis Refractory.....	23
Tabel 2. 2. Jenis - Jenis Refraktori Berdasarkan Komposisi Kimianya Pengguna Akhir dan Metoda Pembuatannya.....	27
Tabel 3. 1. Gangguan unit #2 yang disebabkan oleh kerusakan refractory	41
Tabel 4. 1. Spesifikasi Lempung Tanah Api (SNI)......	63
Tabel 5. 1. Standarisasi Dryout konvensional refraktori.....	81

BAB 1

PENDAHULUAN REFRAKTORI

1.1 Sejarah Refractory

Sejarah awal refraktori adalah ditemukannya api yang digunakan untuk manusia primitif yang kemudian berkembang hingga pada tungku untuk pembuatan alat tempa. Kemudian berkembang hingga saat ini untuk mendukung berbagai industri besar.

Negara china sudah memproduksi/membuat tanah liat dari tahun 4000 selama masa dinasti Han Timur yaitu 25 sampai dengan 220 sebelum masehi. Pada prosesnya menambahkan sedikit kotoran untuk menghasilkan batu tahan api sebagai aplikasi pada kiln dan sagger.

Refraktori yang saat ini kita gunakan dalam dunia industri seperti industri semen, baja, besi, kaca, keramik dan industri lainnya memiliki sejarah hingga sampai jaman modern ini. Awal sejarah dikenal refraktori yaitu pada 3000 SM yaitu untuk memanaskan piring dan mangkuk (Gerabah) seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1. Refraktori sederhana (Sumber: intama, 2023)

Pada zaman besi mulai refraktori dikembangkan 2000 SM yaitu menggunakan arang dalam tungku yang menggunakan lapisan refraktori berbahan komposit yang ditambahkan karbon dan batu silika (Balok yang dipotong dalam batu alam).

Pada revolusi industri yaitu abad ke 18 dan 19 material refraktori memberikan inovasi baru yaitu industri cerobong asap yang memanaskan besi dengan karakteristik cast-fed blast furnace, kompor panas, coke oven, tungku perapian terbuka dan converter.

Pada zaman modern refraktori dikembangkan dengan sangat baik yaitu memiliki kandungan non logam yang dihomogenkan sedemikian rupa sehingga tahan terhadap suhu yang tinggi, abrasi, korosi dan memiliki kekuatan yang baik. Dari segi fisik pada saat ini refraktori memiliki bentuk yang pejal dan kokoh seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2. Refraktori Modern

1.2 Pengertian Refraktori

Refraktori diartikan menurut bahasa yaitu material yang bersifat “keras kepala” atau dalam Bahasa Inggris “stubborn” yang dapat mempertahankan bentuk kimianya pada suhu yang tinggi.

Menurut ASTM 71 pengertian refractory yaitu bahan non-logam yang memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang dapat digunakan untuk struktur atau sebagai komponen dari sistem, yang berada di lingkungan suhu diatas suhu 1000°F (811 K; 538 °C).

Menurut pengertian JIS R 2001-1985 pengertian refractory yaitu bahan dengan bentuk tetap yang tahan lama

pada suhu tinggi ($>1500^{\circ}\text{C}$) dan bahan tak berbentuk (misal: mortar, kastabel, plastis, dll) dan bata tahan api dengan suhu penggunaan $> 800^{\circ}\text{C}$.

Refraktori adalah bahan konstruksi yang mampu menahan suhu tinggi dan mempertahankan sifat fisiknya di lingkungan tungku saat bersentuhan dengan terak korosif, logam cair, dan gas. Refraktori banyak digunakan di sebagian besar proses pembuatan suhu tinggi seperti peleburan tembaga dan aluminium, pembuatan kaca dan keramik, pemrosesan semen dan bijih, penyulingan minyak bumi dan pembuatan petrokimia. Pada pembuatan besi dan baja mencakup hampir dua pertiga dari semua refraktori yang digunakan dan di industri inilah banyak pengembangan refraktori. Fungsi utama refraktori adalah untuk menjaga agar proses suhu tinggi tertentu tetap beroperasi dengan biaya operasi minimum dan untuk mengontrol konsumsi energi yang diperlukan.

Selain itu refraktori pada umumnya digunakan pada peralatan seperti tungku/tanur di Industri, pada proses ini mampu menahan hilangnya panas ke luar tanur, tahan terhadap abrasi, reaksi kimia, tekanan sistem dan perubahan temperatur yang signifikan. Persyaratan-persyaratan umum bahan refraktori adalah:

- kuat terhadap suhu tinggi
- terhadap perubahan suhu yang mendadak
- kuat terhadap lelehan terak logam, kaca, gas panas
- kuat terhadap beban pada kondisi perbaikan
- Kuat terhadap beban dan gaya abrasi
- Mampu menghemat panas
- Memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah
- tidak boleh mencemari bahan yang bersinggungan.

1.3 Sifat dan Kandungan Refraktori

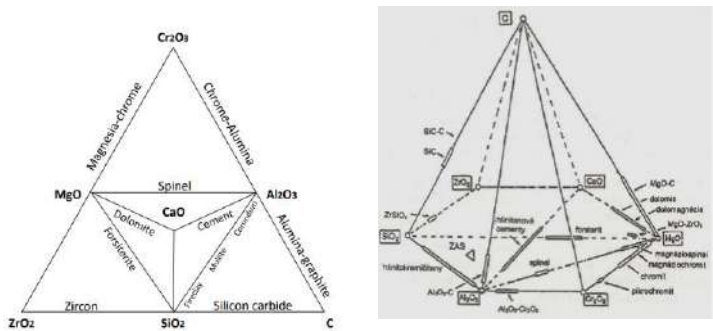
Refractory sangat bergantung pada bahan baku atau raw material. Dimana berikut adalah analisa kimia raw material refractory.

Tabel 1. 1. Analisis kimia dari beberapa bahan baku refraktori khas (% berat)

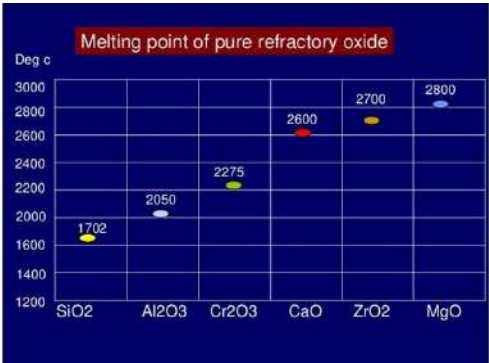
	Magnesia (UK sea water)	Chromite (Philippine lump)	Dolomite (USA)	Bauxite (refractory grade, Guyana)	Alumina (tabular)	Kyanite (USA)	Flint clay (Missouri)	Quartzite
Silica (SiO ₂)	0.8	5.1	0.7	6.5	0.06	40.0	51.0	99.5
Alumina (Al ₂ O ₃)	0.4	29.9	0.3	88.3	≥ 99.5	56.6	44.0	0.14
Titania (TiO ₂)	trace	trace	trace	3.2	trace	1.0	2.5	0.03
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	1.4	13.0	0.9	1.8	0.06	1.0	0.9	0.17
Lime (CaO)	0.9	0.5	57.7			0.5	0.2	
Magnesia (MgO)	96.3	18.7	40.4		trace	0.5	0.3	0.01
Chromia (Cr ₂ O ₃)	ND	32.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Alkalis (Na ₂ O + K ₂ O + Li ₂ O)	ND*	ND	ND	0.02	0.05	0.2	0.6	0.03
Loss on ignition		0.3	47.0	0.25		14.2	13.2	

Refractory mengandung unsur-unsur non logam yang terkandung. Adapun unsur-unsur non logam tersebut seperti

pada Gambar 1.1. Dimana unsur-unsur tersebut berpotensi mengalami pelelehan sesuai dengan temperatur yang disajikan dalam Gambar 1.2.



Gambar 1. 3. Kandungan unsur non logam dalam Refractory (Sumber: Purwono, 2017)



Gambar 1. 4. Temperatur leleh beberapa oksida (Sumber: Vincent, 1989)

Material refractory memiliki sifat-sifat atau karakter yang secara umum adalah tahan pada suhu tinggi, sebagai isolator

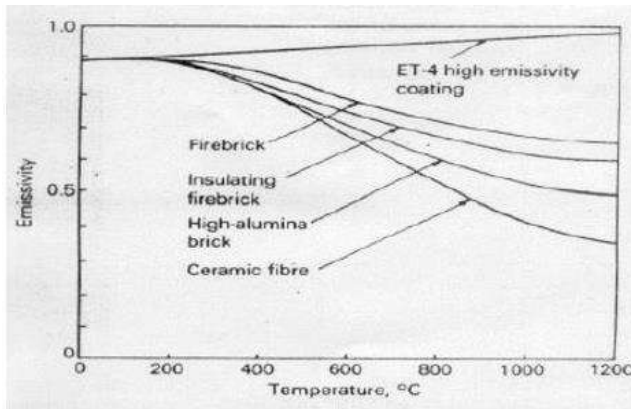
baik, tahan terhadap suhu berubah secara mendadak, volume stability yang bagus, mencegah kehilangan panas pada sistem, tidak bersifat sebagai polutan, tahan dari korosi dan abrasi dan tahan terhadap gas panas, glass, logam cair (good spalling resistance). Sifat refractory digambarkan menggunakan Tabel 1.2 yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. 2. Sifat-sifat Refractory

Sifat	Masa panas tinggi (Refractory densitas tinggi)	Massa panas rendah (serat Keramik)
Konduktivitas panas (W/mK)	1,2	0,3
Panas Jenis (J/kgK)	1000	1000
Densitas (Kg/m ³)	2300	130

(Sumber: The Carbon trust, 1993)

Refractory memiliki sifat Emissivity yang menunjukkan kemampuan untuk menyerap panas dan memancarkannya dimana sifat ini sangat dipengaruhi oleh jenis material refractory dan temperatur yang diberikan seperti pada Gambar



Gambar 1. 5. Emisivitas material refractory pada beberapa temperatur (Sumber: Vincent, 1989)

Sifat penting dari refractory adalah komposisi kimia, kerapatan curah, porositas semu, berat jenis semu, dan kekuatan pada suhu sekitar. Properti ini digunakan sebagai kontrol dalam proses pembuatan dan kontrol kualitas. Komposisi kimia berfungsi sebagai dasar klasifikasi refractory. Kepadatan, porositas, dan kekuatan refractory yang dibakar dipengaruhi oleh banyak faktor. Di antaranya adalah jenis dan kualitas bahan baku, ukuran partikel, kadar air pada saat pengepresan, tekanan pengepresan, suhu dan lama pembakaran, atmosfir kiln dan laju pendinginan.

Kekuatan mekanik refractory sebagian besar diatur oleh material dasar. Pada suhu sekitar, kekuatan tekan biasanya jauh lebih tinggi daripada kekuatan Tarik contohnya refractory 50% alumina (Bahan kaca). Kekuatan pada suhu ruangan suatu

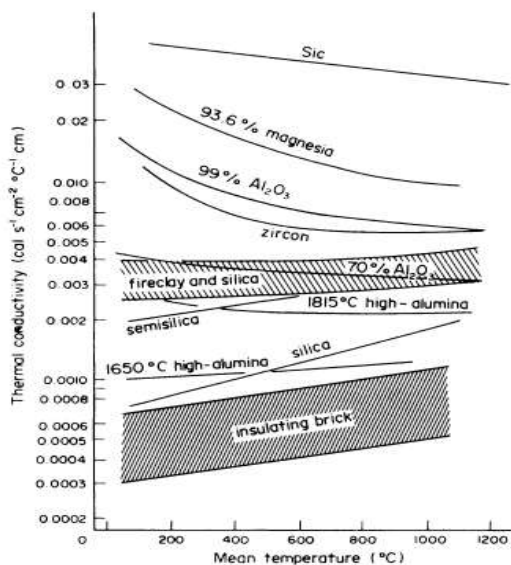
refractory merupakan indikator penting dari kemampuannya menahan abrasi dan benturan dalam aplikasi suhu rendah serta beban yang diberikan. Sifat penting lainnya yang ditentukan pada suhu sekitar adalah porositas, permeabilitas, dan distribusi ukuran pori. Refractory yang mengandung 50% alumina berpotensi tidak kuat pada suhu yang tinggi meskipun pada suhu ruangan memiliki kekuatan yang baik.

Sebagian besar refraktori industri terdiri dari oksida logam atau karbon, grafit, atau silikon karbida. Bahan refraktori baru lainnya seperti karbida, nitrida, dan borida dengan pertimbangan ekonomi. Oksida tahan api yang paling umum digunakan adalah SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Cr_2O_3 dan ZrO_2 . Refraktori yang mengandung SiO_2 atau ZrO_2 disebut sebagai asam, refraktori dengan MgO atau CaO sebagai basa, dan refraktori dengan Al_2O_3 atau Cr_2O_3 sebagai netral. Dalam penerapan bahan refractory harus diperhatikan bahwa komposisi refraktori yang digunakan dalam kontak satu sama lain tidak bereaksi pada suhu di bawah suhu operasi.

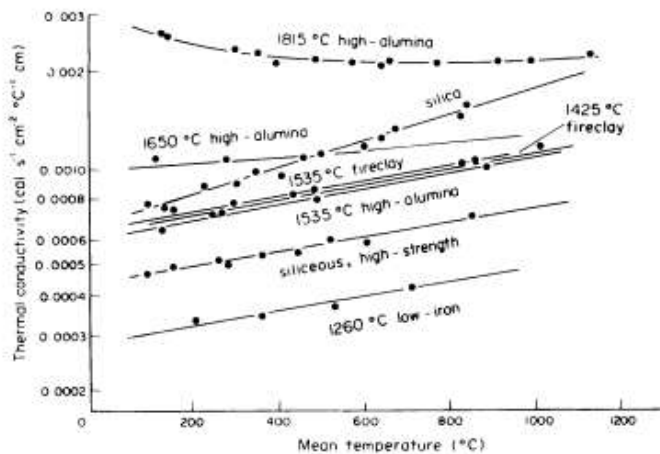
Setiap jenis material refractory memiliki karakteristik yang berbeda seperti nilai panas spesifik pada suhu yang sama seperti ditunjukkan pada Tabel berikut (Jack, 1980).

Tabel 1. 3. Rata-rata kalor jenis bahan tahan api antara 0°C dan suhu yang ditunjukkan (kJ /kg K)

Temperature (°C)	Fireclay brick	Silica brick	Magnesia brick	Chrome brick	99% alumina brick
0	0.808	0.708	0.871	0.712	0.716
200	0.863	0.883	0.971	0.762	0.896
400	0.913	0.988	1.043	0.808	0.976
600	0.976	1.051	1.097	0.850	1.034
800	1.022	1.080	1.130	0.879	1.063
1000	1.063	1.110	1.168	0.909	1.093
1200	1.097	1.139	1.206	0.930	1.118
1400	1.122	1.164	1.239	0.942	1.139
1500	1.143	1.177	1.256	0.950	1.164



Gambar 1. 6. Thermal conductivity pada beberapa variasi brick refraktory



Gambar 1. 7. Thermal conductivity pada beberapa variasi isolasi refractory

1.4 Analisa Refractory

Sifat signifikan dari setiap refraktori, termasuk kekuatan suhu tinggi, tergantung pada mineralnya distribusi ukuran partikel mineral, dan cara bahan-bahan ini bereaksi terhadap suhu tinggi lingkungan tures dan tungku. Partikel bervariasi dalam ukuran dari 6 mm hingga kurang dari 74 μm merupakan refraktori yang tidak terbakar. Setelah ditembakkan, partikel yang lebih halus membentuk ikatan keramik antara partikel yang lebih besar. Refraktori terdiri dari mineral kristal bonde partikel dan kaca atau partikel kristal yang lebih kecil, sangat bergantung pada komposisi refraktori. Dalam kasus fireclay dan refraktori alumina tinggi, kristal mullite memanjang

cenderung jalin bentuk dikatan yang relatif kuat pada suhu mendekati titik leleh. Kikatan dalam refraktori adalah kaca di alam, bata memiliki kekuatan yang baik di bawah suhu. Jika pada temperatur tanur gelas tersebut harus memiliki viskositas rendah, bagaimanapun refraktori akan berubah bentuk di bawah beban. Saat memilih refraktori untuk aplikasi tertentu, harus ada berbagai sifat fisik dipertimbangkan tetapi, untuk tujuan kontrol atau pembelian spesifikasi, kerapatan curah, porositas semu kekuatan pada suhu kamar sering digunakan.

Sifat refraktori yang paling signifikan adalah mereka yang memungkinkan refraktori untuk menahan kondisi yang ditemukan dalam tungku.

1.4.1 Bulk Density

Bulk Density Ini adalah massa per satuan volume, biasanya dinyatakan dalam kg/m^3

1.4.2 Apparent Porosity

Ini adalah rasio volume rongga terbuka terhadap total volume. Rongga terbuka adalah pori-pori yang terbuka permukaan refraktori. Refraktori dengan rendah porositas semu memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap penetrasi oleh terak dan fluks, ketahanan terhadap korosi dan erosi, dan biasanya permeabilitas gas lebih rendah dari yang memiliki porositas tinggi. Konduktivitas termal juga dipengaruhi oleh porositas. Biasanya, refraktori isolasi sangat keropos.

1.4.3 Cold Crushing Strength

Ini adalah kemampuan refraktori untuk bertahan penanganan atau pengiriman, dampak atau abrasi rendah suhu. Namun, itu tidak memberikan indikasi kekuatan refraktori pada suhu layanan

1.4.4 Pyrometric Cone Equivalent

Tes ini mengukur refraktori atau pelunakan titik material dengan membandingkan perilaku tes kerucut dengan referensi kerucut komposisi standar ditunjuk oleh nilai setara kerucut pirometrik (PCE) antara 12 dan 42 dalam seri Orto n. Harus mencatat bahwa tidak ada titik leleh yang berbeda, karena refraktori adalah bahan multikomponen. Dalam tes ini, Kerucut dipasang di atas plak dan dipanaskan sampai test cone melunak dan bengkok. Nilai PCE ditugaskan untuk benda uji adalah bahwa t dari referensi kerucut yang ujungnya menyentuh plak pada saat yang bersamaan kerucut uji.

1.4.5 Reheat Test

Ini digunakan untuk mengevaluasi refraktori untuk permanen penyusutan atau perluasan. Batu bata uji diukur, kemudian dipanaskan dalam tanur dengan kecepatan tertentu sampai temperatur e yang ditahan selama 5 jam. Setelah pendinginan, bata diukur untuk menentukan perubahan linier dimensi dan volume

1.4.6 Load Test

Ukuran ini adalah kemampuan refraktori untuk bertahan beban pada temperatur tinggi. Ada beberapa variasi tes ini, tetapi metode yang paling umum melibatkan penempatan bata di ujung tungku, menerapkan beban vertikal 170 kPa dan memanaskan refraktori ke suhu maksimum, yang ditahan selama 90 menit. Dari pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah pengujian, persentase penurunan dihitung.

1.4.7 Refractoriness Under Load (Creep)

Karena pada metode pengujian beban sudah dibahas sebelumnya perubahan yang terjadi selama periode pemanasan yang jarang direkam, tes ini dilakukan dengan cepat diganti dengan uji refraktori di bawah beban atau mulur. Dalam pengujian ini, ekspansi dan/atau penurunan adalah direkam selama periode pemanasan dan selama 24 jam, periode tahan pada suhu e 1480 °C. Ini tidak hanya menghasilkan sebidang ekspansi selama pemanasan, tetapi berarti - yakin jumlah creep di bawah beban di ketinggian suhu. Tes ini memberikan informasi tentang bagaimana refraktori akan berperilaku di bawah beban untuk waktu yang lama periode waktu. Biasanya, laju creep seragam untuk refraktori didirikan setelah 20-24 jam

1.4.8 Hot Modulus of Rupture

Ini adalah ukuran kekuatan refraktori pada tinggi suhu. Spesimen uji, yang didukung pada kedua ujung melintasi rentang dalam peralatan pengujian, adalah dipanaskan sampai suhu tertentu kemudian pecah di tengah. Gaya yang dibutuhkan untuk mematahkan bata digunakan untuk menghitung modulus pecah.

1.5 Faktor-Faktor Mempengaruhi Kekuatan Refraktory

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan refraktori dalam pengerjaannya adalah:

- 1) komposisi bahan kimia atau mineral pada bahan baku refractory sebelum terbakar karena belum mengalami reaksi.
- 2) Sifat fisis meliputi ukura, bentuk, porositas dan daya adhesif.
- 3) metode atau perlakuan terhadap penyimpanan bahan baku, pengadukan, pencampuran dan waktu pencampuran yang optimal.
- 4) Metode pencetakan yang tepat dimana menggunakan pencetakan dengan mesin lebih optimal dibandingkan dengan menggunakan metode manual dari segi ukuran, tekanan, dan tekanan yang diberikan.
- 5) Pengeringan yang dilakukan secara perlahan-lahan lebih baik dibandingkan dengan yang langsung dilakukan dengan pengeringan yang mendadak hal tersebut akan mempengaruhi proses keluarnya cairan air yang kurang merata dan cenderung menimbulkan retakan.

- 6) Pemamanasan lebih baik dibandingkan dengan cara yang hanya dikeringkan secara manual hal tersebut berpotensi tidak mengeluarkan kandungan air yang terikat. Bahkan dengan proses vakum akan lebih baik lagi pada proses pembentukan refractory.

1.6 Uji Refraktori

Beberapa uji refraktori yang umum dilakukan adalah sebagai berikut:

1. **Sifat Struktur**

Terdiri atas uji true density, bulk density, keporian, analisa kimia, mineral dan bentuk dari struktur refraktori. Untuk uji dari sifat struktur ini dapat digunakan alat alat piknometer, timbangan dan gelas ukur, alat difraksi sinar X, alat scanning electrone microscope.

2. **Sifat mekanik pada tempertur kamar**

Terdiri atas kuat tekan, kuat lentur dan kut tarik. Untuk uji sifat mekanik ini digunakan alat Universal Testing Machine.

3. **Sifat mekanik pada kenaikan Temperatur**

terdiri atas beberapa uji yaitu sifat terjadinya deformasi pada kenaikan temperatur, seperti terjadinya softening, viscous atau terjadinya leburan, dengan menggunakan alat heating microscop. Juga ada uji seger cone squating Index, Refractories Underload, Creep Underload, dan Hot of Modulus rufture.

4. **Thermal Properties**, yaitu ada uji termal expansi on, permanent volume change, spesific heat capacity, dan heat

conductivity. Untuk pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat dilatometer, sigmat, calorimeter dan conductymeter.

5. ***Thermal schock resistance***, yaitu dengan melakukan uji pada perubahan temperature yang mendadak dan perbedaannya cukup besar.
6. ***Slag (corrosion) Resistance***, yaitu ketahanan bahan keramik terhadap bahan kimia termasuk gas dan uap
7. **Uji dalam penggunaan**, seperti uji ketahanan terhadap bahan kimia, pembentukan fasa padat yang baru, pembentukan kristal campuran dari cairan slag, pengaruh dari gas, uap dan debu dan pengaruh perubahan temperatur. Dalam pengujian ini dipilih sesuai dengan kebutuhan, seperti untuk kebutuhan penelitian, kebutuhan untuk quality control, standarisasi, pengembangan produk dan ketahanan dalam penggunaan, sehingga uji diatas dapat dipilih sesuai keinginan dari peneliti, atau perusahaan yang memerlukan. Standar yang dapat digunakan yaitu ASTM, DIN atau SNI.

Tabel 1. 4. Contoh Pengujian Refractori (Temperatur Ruang)

	 Wet Analipsis	Chemical Composition
	Bulk : Volume Padatan, Volume Open Pore, Volume Closed Pore.	Bulk Density (ASTM C134) $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ or } \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{Berat Refraktori}}{\text{Volume Padatan}}$
	AP : Ratio Open Pore, terhadap volume ruah (Bulk)	Apparent Porosity (ASTM C830, ASTM C20-00) App.Porosity=(Ww– Wd)/(Ww–Ws)
		Cold Crushing Strength (ASTM C133) Test Specimen (51 x 51 X 51 cm) S = W/A (Mpa) (KN / mm2)
		Modulus Of Rupture ASTM C133) Test Specimen (228 x 51 x51 cm) MOR = 3PL/2bd2 (Mpa)

BAB 2

JENIS REFRAKTORY

Pada dasarnya material refraktori memiliki sifat dasarnya yang telah di rancang sesuai dengan kondisi operasinya pada suatu proses industri manufaktur. Sifat dasar tersebut seperti kimia dan fisika yang mampu pada suhu operasi *design*, sifat secara termodinamika dan perpindahan panas yang dirancang agar tidak terjadi *head loss energy*. Selain itu dari bentuknya yang menyesuaikan dengan rancangan dari alat yang akan dipasang refraktory.

2.1 Klasifikasi Refraktory Berdasarkan Temperatur

Pada umumnya industri manufaktur yang dipasangkan refraktory beroperasi pada suhu rata rata 1000°F. Pada kondisi maksimal suhu yang dioperasikan bisa sampai dengan 3000°F. Berdasarkan peruntukannya yang disesuaikan dengan suhu target maka refraktory diklasifikasikan menjadi normal, high dan super sonik refraktory.

1. Normal Refractory

Jenis tipik nya adalah fireclay, dimana temperatur aplikasinya hingga 1780°F. Contoh pemakaiannya pada proses peleburan aluminium.

2. High refractory

Type ini adalah cromite-based refractories dimana temperatur aplikasinya dari 1780 hingga 2000°F, seperti pada proses peleburan tembaga.

3. Super sonic refractory

Super sonic refractory digunakan pada temperatur melebihi 2000°F, seperti pada proese peleburan besi.

Berdasarkan komposisi kimia penyusunnya, refractory dibedakan dalam 4 kelompok.

2.1.1 Basic refractories

Material refractory ini tersusun terutama oleh dead burned magnesite or magnesia, seringkali ditambahkan mineral yang lain sebagai, seperti bijih krom, karbon, spinel (mineral $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). paduan untuk untuk memperoleh sifat tertentu dalam aplikasinya. Seperti halnya namanya, sifat utama dari basic refractories ini adalah basa, tahan terhadap serangan kimiawi yang bersifat basa.

2.1.2 Acid refractories

Sesuai namanya, kelompok refractory ini tahan terhadap serangan (debu, gas, maupun cairan) yang bersifat asam. Bahan dasar acid refractory ditunjukkan pada. Contoh beberapa refractories yang bersifat asam: fireclay refractories, silica refractories. Silica Refractory Beberapa sifat-sifat penting dari silica refractory adalah temperatur leleh yang cukup tinggi yaitu antara 3080oF (1695oC) dan 3110oF(1710oC), ketahanan terhadap tekanan 25-50 lb/inch², tahan terhadap asam, volumenya konstan hingga temperatur diatas 1200oF (650oC), dan bebas thermal spalling di atas temperatur 1200oF (650oC). Pada temperatur di bawah 1200oF (650oC) silica brick kurang memiliki ketahan terhadap thermal shock. Pada temperatur tinggi dan udara reduktor silica refractory tidak tahan terhadap serangan kimia basa dan oksida besi. Keunggulan sifat silica brick adalah tidak melunak saat dikenai beban yang tinggi bahkan pada temperatur mendekati temperatur lelehnya

2.1.3 Neutral Refractories

Material refractory yang tidak bersifat asam maupun basa, atau sebaliknya material ini dapat bereaksi dengan asam, dan dapat bereaksi dengan basa pada kondisi yang berbeda. Contoh umum refractory kelompok ini adalah high alumina refractories. Tersusun oleh mineral alumina dengan jumlah lebih besar atau sama dengan 47,5%. Hal ini untuk membedakannya dari refractory lainnya, seperti clay, yang juga mengandung alumina, namun lebih kecil dari 47,5%. Pada umumnya high alumina refractories ini diklasifikasikan lagi

(menurut ASTM) pada kelompok 50%, 60%, 70%, dan 80%. Berat jenis alumina 3,6 gr/cm³. Creep atau load resistance nya tergantung pada titik leburnya, yang berarti tergantung pada prosentase kandungan aluminanya

2.1.4 Special Refractories

Karena tuntutan, beberapa proses industri membutuhkan satu atau dua sifat yang melebihi dari sifat yang dimiliki oleh material refractory pada umumnya. Karbon dan grafit, karbida silika (*silicon carbide*), fused silica, fused cast, zircon dan zirconia, serta insulating brick, adalah beberapa special refractories yang memiliki sifat ekstra ordinair untuk aplikasi khusus. Insulating bricks tersusun oleh berbagai oksida, pada umumnya fireclay atau silica. Karakter unggulannya yang melebihi refractory lain adalah ringan (density kecil) dan konduktivitas panas rendah sebagai akibat dari derajat-porositasnya yang tinggi dan kapasitas panas yang lebih rendah dari refractory lain. Insulating bricks dapat di cast atau di pres kering (dry pressed). ASTM mengelompokkan fireclay dan high alumina insulating ke dalam urutan nomor 16, 20, 23, 26, 28, 30, dan 33.

2.2 Klasifikasi Refractory berdasarkan bentuk dan Kandungan

Berdasarkan bentuknya refractory diklasifikasikan menjadi 3 kelompok:

2.2.1. *Shapes refractory*

Brick, *refractory* yang pada umumnya berbentuk batu bata. Refraktori jenis ini pada umumnya mengandung silika hingga 78% kandungan Al_2O_3 sampai mencapai 44 %.



Gambar 2. 1. Shapes Refractory

Tabel 2. 1. Kandungan pada Jenis Refraktory

Jenis bata	batu	Persentase SiO_2	Persentase Al_2O_3	Persentase kandungan lainnya	PCE °C
Super duty		49-53	40-44	5-7	1745-1760
High duty		50-80	35-40	5-9	1690-1745
Menengah		60-70	26-36	5-9	1640-1680
High (silica)		65-80	18-30	3-8	1620-1680

Jenis bata	batu	Persentase SiO_2	Persentase Al_2O_3	Persentase kandungan lainnya	PCE °C
Low duty		60-70	23-33	6-10	1520-1595

2.2.2 Unshaped refractory:

Refractory yang memiliki bentuk setengah jadi berupa butir-butir halus dengan ukuran tertentu (seperti pasir). Kelompok ini dibedakan lagi menurut sifat unggulannya atau metoda pemasangannya/instalasinya meliputi mortar, plastic, gunning, ramming, dan castable.



Gambar 2. 2. Castable & Castable dalam kemasan

2.2.3 Refraktori Zirkonium Oksida

Zirkonium dioksida (ZrO_2) adalah *polymorphic* dalam penggunaannya mencampurkan material kalsium, magnesium dan cerium oksida, dll. Refraktori zirkonia memiliki kekuatan yang sangat tinggi pada suhu kamar, yang dicapai sampai suhu setinggi 1.500°C . Biasanya diaplikasikan pada rotary kiln karena memiliki suhu cenderung tinggi.

2.2.4 Refraktori silika tinggi

Refraktori silikat alumina mengandung sebanyak 45% alumina atau refractory alumina tinggi. Konsentrasi alumina berkisar dari 45 sampai 100 %. Pengaplikasian refraktori alumina tinggi untuk kiln semen, tungku peleburan, kaca dan kramik. Dimana silika sendiri seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 3. Alumina putih

Disamping itu terdapat batu bata silika yang mengandung sekitar 93% SiO_2 . Pada dasarnya memiliki karakter yang hamper sama dengan refractory kaya silika namun yang membedakan adalah kelebihanannya yaitu tahanan flux dan stag, stabilitas volum dan tahanan spalling tinggi.



Gambar 2. 4. Batu bata silika

2.3 Klasifikasi Refractory berdasarkan sifat kimiawi

Refraktori dapat digolongkan berdasarkan komposisi kimianya, pengguna akhir dan metoda pembuatannya terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 2. Jenis - Jenis Refraktori Berdasarkan Komposisi Kimianya Pengguna Akhir dan Metoda Pembuatannya

Metode klasifikasi	Contoh
<i>Komposisi kimia</i> • Asam yang siap bergabung dengan basa • Basa, terutama yang mengandung oksida logam yang tahan terhadap basa • Netral yang tidak bergabung dengan asam/basa • Khusus	Silika, semisilika, aluminosilika Magnesit, khrom-magnesit, magnesikhromit, dolomite Batu bata tahan api, khrom, alumina murni Karbon, silica karbit, zircon
<i>Pengguna akhir</i>	Blast furnace casting pit
<i>Metode pembuatan</i>	Proses kempa kering, fused cast, cetakan tanah pembentukan normal ikatan dengan pembakaran/ secara kimiawi/tidak dibentuk (monolitik, plastic, ramming mass, gunning castable, penyemprotan)

BAB 3

PERMASALAHAN REFRAKTORY

3.1 Penyebab Kerusakan Refraktory

Di industri yang mengakibatkan kerusakan pada material refraktori sangat bervariasi baik dari segi perancangan ataupun pemasangan. Ketika refraktori mengalami kerusakan maka perlu melakukan analisa yang dilakukan dengan cara pengambilan gambar baik secara makro atau mikro, selanjutnya pengambilan sampel dan menyesuaikan dengan historinya. Adapun beberapa faktor yang dapat menyebabkan alasan kerusakan refraktori yaitu:

3.1.1 Pemilihan Material

Berdasarkan manual atau standar pemilihan material refraktori seharusnya pada setiap segmen dipasangkan material insulation bukan dipasangkan fiber woll karena dapat menyebabkan refraktori rentan untuk pecah pada area overhead.

3.1.2 Pemasangan Tidak Sesuai Standar

Pada dasarnya setiap lembaga atau vendor memiliki manual book untuk pemasangan refraktori agar memiliki waktu pakai yang lama. Aturan tersebut telah dikaji dari segi ilmu material bahan dan karakteristik dari operasi yang berlaku. Misalkan dalam proses pencampuran seharusnya dengan takaran yang tepat agar menghasilkan material sesuai dengan karakteristiknya. Namun ketika takaran tidak terukur dengan baik maka akan menghasilkan karakter yang berbeda. Secara garis besar penimbangan dan pengukuran yang terkalibrasi. Contoh kasus adalah tidak adanya bekisting yang mengakibatkan ketebalan permukaan refraktori tidak merata yang berlanjut pembentukan tekanan pada beberapa titik atau takikan kecil sebagai pemicu awal kerusakan refraktori.

Selain itu Komposisi kastabel tidak sesuai dengan kinerja operasi tungku/dapur (kesalahan rancangan komposisi dan atau distribusi partikel butiran). Berikut beberapa kesalahan kontruksi / pemasangan Refraktori.

Kelebihan air pencampur.

1. Terlalu lama proses pengadukan dan atau waktu pemasangan/pengecoran.
2. Pekerjaan konstruksi pemasangan kastabel.
3. Densitas tidak sesuai rancangan dan porositas kastabel terlalu besar ($>20\%$).

4. Tidak adanya ruang dilatansi atau ekspansi pada permukaan kastbel dan struktural joint antar sambungan kontruksi kastabel.
5. Teknik kontruksi tidak tepat workabilitasnya (vibrasi, spraying, pumping, selp flowing dan sebagainya).



**Gambar 3. 1. Pemasangan Refraktori yang tidak merata
(Sumber: Basu, 2018)**

3.1.3 Anchor Failures

Kesalahan pada proses pengelasan anchor terletak pada terdapat pola patahan antara patahan dan steel casing sehingga berdampak pada kekuatan refraktori. Dalam mengurangi permasalahan anchor failure maka perlu memperhatikan proses welding sesuai standar, material sesuai spesifikasi dan kemampuan welding yang tersertifikasi serta pengetahuan bahan material.

Secara letterleg anchor diterjemahkan sebagai jangkar. Jangkar berfungsi sebagai pengikat atau penahan agar benda yang terhubung dengan jangkar tidak bergerak. Demikian juga dengan anchor besi pada teknik pemasangan refractory yaitu agar material tidak jatuh pada saat operasional.

Karena biasanya dinding luar dari pada suatu ruang bakar terbuat dari plat besi atau baja yang tentu saja material refractori tidak dapat sekedar dilekatkan begitu saja. Diperlukan anchor untuk menahannya apalagi jika dibelakang material refractori terdapat pula material insulation.

Jika dalam teknik sipil diterapkan struktur besi bertulang, maka dalam instalasi refractori sangat tidak dianjurkan. Akibatnya akan seperti dibawah ini:

Apalagi jika material yang digunakan carbon steel biasa, dapat diperkirakan dalam jangka waktu 1-2 bulan refractori akan runtuh. Jika yang digunakan material stainless steel kira-kira 6-12 bulan mengalami kerusakan. Oleh karena besi bertulang mempunyai ujung yang banyak maka ketika terjadi pemuaian tidak ada lagi ruang yang memadai sehingga besi akan melengkung dan akan mengangkat refractory lepas dari kedudukannya.

3.1.4 Pengoperasian pabrik (Kondisi Operasi) yang tidak sesuai SOP

Dalam hal ini proses operasi juga sangat penting terhadap penyebab kerusakan pada refraktori, apabila operasi tidak sesuai dengan SOP atau standar maka menimbulkan keadaan seperti *Thermal Shock* dan *Thermal Stress* pada refraktori sehingga refraktori akan mengalami kerusakan.

3.2 Kegagalan Refraktory

Kegagalan dalam sistem pemasangan refraktori sebelumnya telah kita bahas ada 4 penyebab yaitu *thermally induced failure*, *anchor failure*, dan *corrosion failure* dan kondisi operasi/pengoperasian. Faktor lain yang dapat berpengaruh yaitu perancangan, pemilihan jenis material, dan proses instalasi. Dimana faktor-faktor tersebut satu sama lain memiliki kecenderungan untuk mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada refraktori.

3.2.1 Thermal stress

Thermally induced failure terjadi ketika terjadi pemuaihan material sebanding dengan temperatur atau terjadi perbedaan suhu disalah satu komponen titik yang diakibatkan oleh salah perancangan atau pada saat pemasangan. Sehingga perlu dilakukan pengecekan berulang dan evaluasi setiap penggantian refraktori.



Gambar 3. 2. Thermal Stress (Sumber: Pribadi)

3.2.2 Thermal shock

Thermal shock terjadi ketika komponen tidak merata yang diakibatkan oleh proses pendinginan atau pemanasan sehingga mengalami pertambahan Panjang yang disebut dengan fushing temperatur. Temperatur mengalami proses pengkerutan yang diakibatkan oleh pendinginan yang mendadak pada permukaan refraktori.

3.2.3 Chemical Attacking

Mekanisme serangan kimia dapat terjadi sebagai contoh pada kondisi tanur tinggi, karena adanya reaksi peleburan. Komponen dalam refraktori dengan komponen slag atau leburan atau penetrasi uap dalam bahan yang dipanaskan kedalam refraktori. Terjadinya reaksi serangan kimia menyebabkan refraktori tererosi oleh penetrasi leburan sehingga menyebabkan mechanical spalling. Komponen-komponen pembentuk leburan adalah CaO , K_2O , Na_2O , FeO , Fe_2O_3 dan bereaksi pada suhu tinggi dengan silica (SiO_2) membentuk leburan $\text{CaO} \cdot 2 \text{SiO}_2$, $\text{CaO} \cdot 2 \text{SiO}_2$, $2 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, 2

FeO , 2 SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ dan lainnya yang melebur pada suhu $< 1400^\circ\text{C}$.

Selain itu, serangan kimia juga terjadi karena adanya reaksi oksidasi dan reduksi.

Contoh:

1. Kastabel $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC}$
 $\text{SiC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{CO}_2$ (Oksidasi)
2. Kastabel MgO.C
 $\text{MgO.C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
 $\text{MgO.C} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{MgO} + \text{Si} + \text{CO}_2$
Komponen dalam leburan.
3. $2 \text{ Fe (leburan)} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 2 \text{ Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$
 $\text{Al (leburan)} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Si}$
4. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2 \text{ FeO} + \text{CO}_2$
 $2 \text{ FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2 \text{ FeO} \cdot \text{SiO}_2$ (leburan).

Usaha perbaikan dalam pemakaian refraktori pada suhu diatas 1400°C adalah dengan pemilihan bahan dan komposisi yang rendah kadar alkali (K/Na), kapur (CaO), $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan SiO_2 .

Kadar alkali tidak boleh melebihi 1 %, kapur (CaO) < 1 %, $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,5$ % dan $\text{SiO}_2 < 3$ %.

Formula kastabel yang dipilih harus diuji dahulu. Sifat-sifatnya seperti B.V, CCS, porositas, Reheating Shrinkage, HOT MOR dan PCE nya. Persyaratan tersebut dapat merujuk standar berlaku SNI, ASTM dan sebagainya.

3.3 Kerusakan Refractory

Kerusakan refraktori merupakan penurunan kualitas dari refraktori yang diakibatkan oleh proses peleburan dan pengaruh dari reaksi terhadap logam cair dan slag. Berikut adalah beberapa kerusakan yang terjadi pada refraktori

3.3.1 Retakan (*crack*)

Pemanasan atau pembakaran awal (*preheating*) pada bahan refraktori dapat mengakibatkan terjadinya retakan pada bahan refraktori. Pemeriksaan awal terhadap instalasi merupakan suatu hal yang penting dilakukan. Sebelum dilakukan pemanasan atau pembakaran bahan refraktori terlihat sempurna, tetapi sebenarnya bahan refraktori mengandung bahan-bahan yang dapat rusak bila mengalami pemanasan. Retakan-retakan dapat diakibatkan tekanan yang terjadi di dalam bahan akibat adanya ekspansi pemanasan dan pengerutan bahan refraktori selama pemanasan. Bentuk retakan yang terjadi dapat berupa retakan radikal yang diikuti oleh retakan miring pada bagian bahan refraktori. Bila hal ini terjadi, maka bagian refraktori cenderung untuk lepas. Kerusakan seperti ini dapat diperbaiki dengan membersihkan

semua retakan, melepas lapisannya, dan menambalnya dengan suatu campuran refraktori plastis/mortar. Retakan akibat pemanasan dapat juga diakibatkan penambahan air yang terlalu banyak saat proses pencampuran bahan refraktori.



Gambar 3. 3. Retakan Pada Refraktori

3.3.2 Slagging dan spalling

Slagging dan *spalling* merupakan penyebab utama kerusakan pada bahan refraktori. Slag/terak terbentuk apabila abu ataupun bahan-bahan pengotor lainnya yang bereaksi dengan bahan refraktori. Bilamana slag yang terbentuk pada refraktori tidak diam pada tempatnya melainkan terlepas dari permukaan bahan refraktori sehingga akan memperlihatkan suatu bagian permukaan yang baru untuk serangan slag lebih lanjut. Pengelupasan refraktori yang terjadi utamanya karena lapisan refraktori yang telah ditembus slag mempunyai suatu perbedaan pemuai (ekspansi) dengan refraktori aslinya. Hal ini menyebabkan terbentuknya suatu bidang patahan dan retak

yang berlapis-lapis saat slag terlepas. Terlepasnya bagian dari bahan refraktori yang diakibatkan retakan serta diikuti pecahannya bahan refraktori atau suatu pelapukan pada bagian refraktori dinamakan spalling. Spalling dapat juga terjadi akibat adanya perubahan temperatur yang mendadak. Bila slagging dan spalling telah merusakkan bagian dari refraktori, maka pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan membongkar bagian refraktori yang rusak dan menggantinya dengan bahan-bahan refraktori yang baru.



Gambar 3. 4. Penutupan Refraktori oleh slag



Gambar 3. 5. Refraktori mengalami Spalling

3.3.3 Pengkerutan (shrinkage)

Penyebab yang lain dari kerusakan pada tungku adalah terjadinya pengkerutan pada bahan refraktori. Pengkerutan yang terjadi pada bahan refraktori menyebabkan perubahan luas/ukuran permukaan dari bahan refraktori tersebut. Akibat dari pengkerutan ini akan terbentuk suatu ruangan terbuka di sekeliling bagian bahan refraktori, sehingga bagian permukaan yang ditutupi bahan refraktori menjadi renggang. Keadaan yang demikian membahayakan pada desain konstruksi tungku, sehingga harus dilakukan perbaikan secara keseluruhan.

Berdasarkan rangkuman Albert pada tahun 2021 dalam tulisannya yang berjudul penyebab kerusakan refractory menerangkan bahwa ada beberapa faktor penyebabnya yaitu faktor fisik, faktor kimia, faktor dan mekanik.

Faktor fisik yang dimaksud adalah *refractory brick cracks*, *high temperature melting* dan *shrinkage or expansion after reheating* dan Improper oven, excessive heating, excessive thermal expansion, destroying the furnace body and shortening the life.

Faktor kimia yang dimaksud adalah *chemical attack of molten slag*, *chemical corrosion*, *mutual chemical corrosion between refractory bricks* dan *electrochemical erosion*. Sedangkan faktor mekanik adalah yaitu ketika penambahan material seperti metal riangan yang mengakibatkan refractory pada purnance mengalami *brick cracking*. Faktor yang kedua

adalah aliran metal cair dari material yang akan dipanaskan yang mengakibatkan *mechanical wear on the inner surface of the furnace lining*. Faktor yang kedua adalah suhu terlalu tinggi dari operasi yang diijinkan pada prosedur sehingga mengakibatkan material tersebut mengalami pelelehan.

3.3.4 Studi Kasus Kerusakan Refraktori di Industri

Studi kasus ini berdasarkan hasil laporan kajian RCFA analisa kerusakan pada refractory boiler unit#2 pada tahun 2020. Permasalahan yang terjadi adalah pada bulan desember tahun 2019 terjadi outage Unit 2 yang diakibatkan oleh kerusakan pada refractory boiler Unit 2 yang rontok sehingga Unit 2 harus shutdown normal dan mengalami kehilangan energy listrik sebesar 1103,43 MWH. Oleh karena itu, kegagalan pada boiler tersebut perlu dilakukan analisa mengenai permasalahan yang terjadi dan tindakan pencegahannya.

Kajian yang dilakukan dalam menangani permasalahan tersebut berdasarkan pada kajian RCFA, metode yang terdiri dari 6 tahap untuk memperoleh gambaran kondisi Unit 2.

1. Menganalisa laporan gangguan & kronologi kejadian
2. Melakukan observasi/site visit dan pengamatan pada obyek peralatan di lapangan
3. Melakukan wawancara dan diskusi dengan pihak operasi dan pemeliharaan
4. Melakukan studi literature (*manual book, drawing*) dan review data pendukung

5. Menentukan *root cause* menggunakan Fish Bone Diagram
6. Merumuskan Failure Defense Task

Tahap 1. Kronologi Gangguan

Kejadian tanggal 5 Desember 2019 ditemukan pada saat operator boiler dan penyaluran abu melakukan monitoring terhadap hasil limbah bottom ash kemudian operator menemukan serpihan batu bata tahan api dan *anchor* yang masuk ke dalam jalur transportasi bottom ash sehingga hal tersebut dimungkinkan adanya refraktori yang terlepas dan rusak. Oleh karena itu dilakukan proses shutdown unit #2 untuk inspeksi kondisi refraktori yang berada di dalam *furnace*. Adanya temuan refraktori yang rontok harus dilakukan perbaikan refraktori yang membutuhkan waktu lebih lama. Adanya rentang waktu yang lama tersebut, dimanfaatkan dalam melakukan modifikasi *line* injeksi *hydrazine* ke outlet deaerator.

Selain itu, kejadian tanggal 28 Desember 2019 disebabkan proses *Refractory Dry Out* (RDO) dilakukan dengan percepatan untuk menyegerakan unit #2 sinkron pada jaringan listrik, akan tetapi hal tersebut menyebabkan refraktori lebih cepat rontok yang ditandai oleh adanya bongkahan refraktori yang terjatuh pada bagian ash screw conveyor. Adapun gangguan unit #2 yang disebabkan oleh kerusakan refraktori dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1. Gangguan unit #2 yang disebabkan oleh kerusakan refractory (Sumber: PLTU Brau)

NO.	MULAI (TGL & JAM)	SELESAI (TGL & JAM)	COUSE CODE	DURASI (JAM)	MW LOSS (MWH)
1	05-Dec-19 23:54	12-Dec-19 13:32	0839	157,63	1.103,43
2	28-Dec-19 20:16	31-Dec-19 10:00	0840	61,73	432,13
TOTAL :				219,37	1.535,57

Tahap 2. Identifikasi

Kondisi pembangkit yang terus menerus dalam kondisi operasi status *online* demi ketersediaan listrik mengharuskan boiler dan seluruh peralatan serta komponennya terus beroperasi secara kontinyu. Hal ini akan mengakibatkan refraktori pada sistem Boiler terus- menerus terpapar oleh panas walaupun refraktori tersebut mampu menahan suhu panas yang tinggi dan tidak akan mencair. Paparan panas yang ekstim yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan refraktori rusak dan rontok. Kejadian rontoknya refraktori tersebut dapat merusak peralatan pada sistem boiler seperti *Chain Grate* dan *Wall Tube*.



Gambar 3. 6. Inspeksi Refractory Boiler #2

Fungsi refractory selain sebagai isolasi dari panas adalah juga untuk melindungi tube. Akibat yang ditimbulkan dari kerusakan refractory yang paling besar adalah terjadinya kerusakan tube boiler. Apabila terjadi kerusakan pada sistem refractory maka tidak ada pelindung antara tube dengan pembakaran yang terjadi di furnace. Penyebab kerusakan refraktori tersebut dapat bermacam-macam, salah satunya adalah thermal spalling, yaitu karena pemuaian dan penyusutan material refraktori yang terjadi secara tidak merata. Hal ini berkaitan erat dengan kualitas material, metode pemasangan dan pola operasi dari boiler.



Gambar 3. 7. Kondisi Kerusakan pada Refractory

Refractory castable adalah jenis refractory monolitik yang pemakaiannya makin meluas dan fleksibel. Dalam pemakaiannya sekarang, penggunaan semen alumina diminimalisir dengan tujuan agar pengaruh adanya CaO dalam semen dapat dihilangkan, utamanya untuk castable temperatur tinggi. Sedangkan grog atau butiran kasar umumnya merupakan material yang telah mengalami proses kalsinasi (pemanasan suhu tinggi) dengan baik, memiliki kekerasan yang tinggi, stabilitas volume yang baik hingga ketahanan pada temperatur kerjanya. Pada temperatur ruang, beton refractory memiliki kekuatan mekanis yang tinggi dan melemah dengan kenaikan temperatur hingga $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ tetapi meningkat lagi ketika dipanasi hingga temperature $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pemanasan atau pembakaran awal (preheating) pada bahan refractory saat proses RDO dapat mengakibatkan terjadinya retakan. Pemeriksaan awal terhadap instalasi pemasangan refraktori merupakan suatu hal yang penting dilakukan. Retakan-retakan dapat diakibatkan tekanan yang terjadi di dalam bahan refraktori castable akibat adanya ekspansi pemanasan dan pengerutan bahan refractory selama pemanasan. Bentuk retakan yang terjadi dapat berupa retakan radikal yang diikuti oleh retakan miring pada bagian bahan refractory. Bila hal ini terjadi, maka bagian refractory cenderung untuk lepas. Kerusakan seperti ini dapat diperbaiki dengan membersihkan semua retakan, melepas lapisannya dan menambalnya dengan suatu campuran refractory plastis atau mortar. Retakan tersebut terjadi akibat pemanasan yang dapat

diakibatkan jumlah air yang terlalu banyak saat proses pencampuran bahan refractory.

Tahap 3. Identifikasi

Berdasarkan temuan di lapangan pada saat proses pencampuran bahan refraktori hanya menggunakan alat tradisional seperti cangkul sehingga ada kemungkinan proses pencampuran tersebut tidak homogen antara bahan refraktori dengan air sedangkan mix ratio air dari jumlah castable harus sesuai dengan technical pada masing-masing produk refraktori. Lamanya proses mixing harus disesuaikan dengan kondisi dan keperluannya. Hasil pencampuran harus dipastikan bahwa konsentrasi air sudah sesuai kebutuhan. Pencampuran yang tidak sempurna tersebut akan mempengaruhi kualitas hasil dari pembuatan semen refraktori bahkan pada saat pembuatan batubata tahan api.

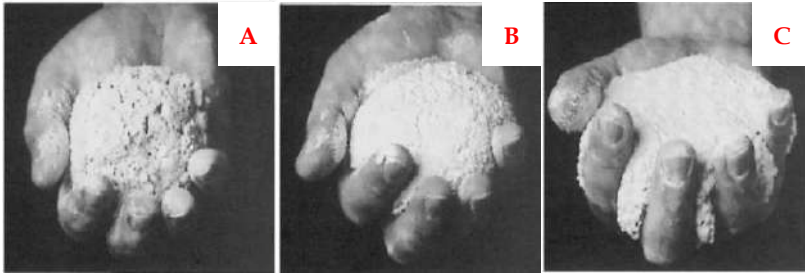


Gambar 3. 8. Proses yang salah pengadukan Castable



Gambar 3. 9. Pembuatan Batu bata tahan api dengan metode casting

Setelah proses pencampuran, sebaiknya dilakukan pengecekan dengan menggunakan tangan. Caranya adalah cek hasil adukan dengan cara (*hand Ball test methode*) dikepal dan diremas dengan jari tangan untuk memastikan bahwa tesktur sudah sesuai dengan kebutuhan. Proses pemasangan dapat dilakukan dengan metode casting/pouring maupun metode troweling. Proses yang terlihat dilapangan seperti melakukan pemasangan “plaster” pada tembok seperti terlihat pada gambar dibawah ini, hal tersebut belum tentu sesuai dengan kondisi yang diinginkan karena tidak semua jenis castable dapat dilakukan dengan pemasangan menggunakan metode troweling atau plaster.

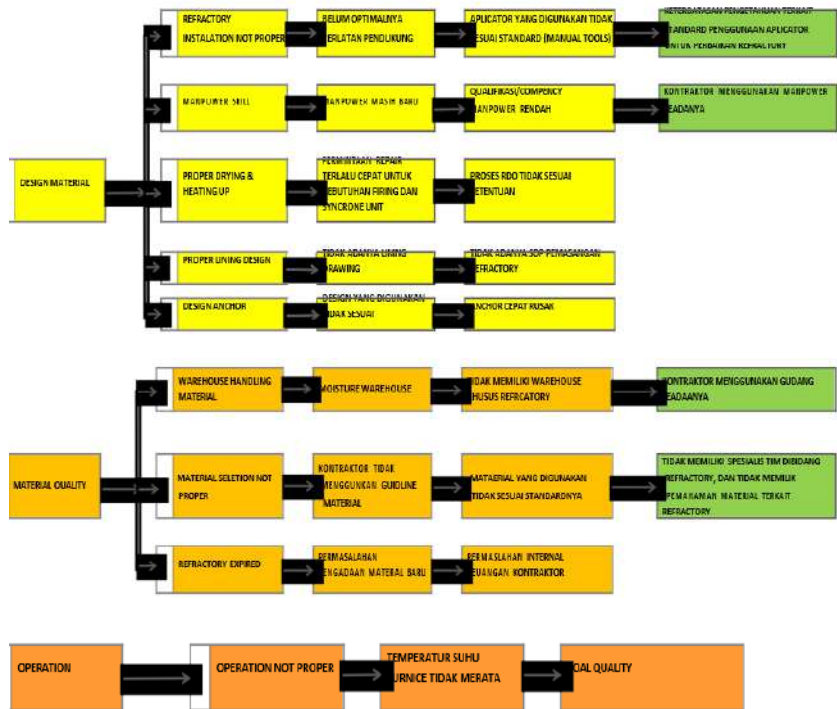


Gambar 3. 10. Metode Hand Ball tes

Keterangan gambar :

A = Kekurangan Air, B = Good Kondisi, C = Kelebihan Air

Kerusakan refraktori yang terjadi perlu mencari root cause dari gangguan yang terjadi, metode mencari kemungkinan penyebab kerusakan refraktori dilakukan dengan *Fault Tree Analysis*. Tabel diagram di bawah ini memperlihatkan *general root cause* sebelum dilakukan analisa tiap kemungkinan penyebab.



Gambar 3. 11. Diagram *Fault Tree Analysis* Kemungkinan Penyebab Kerusakan Refraktori

Tahap 4. Analisis

A. Material Kualiti

a. *Warehouse Handling Material*

Penyimpanan material refraktori harus ditentukan lokasi dan area simpan menurut sifat dari masing-masing refraktori seperti tidak bisa berada di lingkungan yang lembab sehingga diutamakan di dalam ruangan sehingga kandungan moisture dapat terjaga dengan baik. Saat ini, area penyimpanan material refraktori yang dilakukan oleh pihak kontraktor menggunakan gudang seadanya karena tidak memiliki *warehouse* khusus untuk penyimpanan bahan material refraktori. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3. 12. Area Penyimpanan Material Refraktori di
*Groundfloor***

Tempat penyimpanan material refraktori yang disarankan adalah kendaraan pengangkut dapat memasuki tempat penyimpanan dengan adanya jarak aman sehingga lancer pendistribusiannya, adanya prinsip *first in-first out*, terhindar dari hujan, kelembaban, dan pencegahan kebakaran.

b. Material Selection Not Proper

Material refraktori adalah suatu jenis material yang mempunyai daya mampu menahan suhu panas tinggi tanpa kehilangan ketahanannya yang pada umumnya bersifat *Thermal Insulator*. Refraktori akan mulai runtuh karena tidak dapat bertahan pada suhu tinggi. Material refraktori yang digunakan di PLTU X pada awalnya jenis SC-14 memiliki spesifikasi maksimal temperatur pada 1400° C kemudian dilakukan penggantian jenis material refraktori SC-17 yang memiliki spesifikasi maksimal temperatur pada 1700° C.

Pengikisan pada bahan refraktori dapat disebabkan oleh gesekan. Kerusakan pada bahan refraktori diakibatkan proses gesekan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti partikel debu dan gas didalam tungku pada suhu tinggi. Kerusakan yang disebabkan partikel debu dan gas ini disebut abrasi atau erosi. Tipe kerusakan abrasi terjadi pada permukaan bahan refractory secara merata. Oleh karena itu, metode pemilihan material refraktori harus disesuaikan dengan tipe boiler stocker dan peruntukannya.

Apabila penggunaan material refraktori yang tepat maka saat mengalami pemanasan atau pembakaran awal (*preheating*) untuk proses *Refractory Dry Out* (RDO) pada proses pembakaran boiler, maka suhu ruang bakar boiler tidak terlalu mempengaruhi material refraktori. Apabila terjadi kesalahan pada saat pemilihan refraktori maka akan berdampak pada ketahanan kondisi refraktori yang bersentuhan langsung dengan api dan partikel batubara. Ketahanan refraktori yang kuat terhadap gesekan akan meningkatkan umur refraktori dapat bertahan lama.

c. Refractory Expired

Persediaan material refraktori merupakan hal mutlak yang dibutuhkan dalam perbaikan boiler jika mengalami kerusakan refraktori. Akan tetapi, pengadaan material refraktori memerlukan *delivery time* yang cukup lama karena pengadaan oleh kontraktor harus melalui persetujuan kantor pusat pihak kontraktor yang terletak di Jakarta. Selain itu, proses pengadaan membutuhkan ketersediaan dana dalam melakukan proses pemesanan barang. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan stock akhir per bulan dan perhitungan *stock expired* material refraktori supaya perencanaan dengan penjadwalan kebutuhan material dapat ditentukan kapan dan berapa banyak bahan material refraktori yang dibutuhkan.

B. Design Material

a. Refractory Installation Not Proper

Castable Refractory dalam bentuk bubuk dengan kandungan aggregate tertentu yang dalam pemasangannya hanya boleh dicampur dengan air bersih, tidak diperbolehkan dicampur dengan bahan lain selain yang direkomendasikan dalam masing-masing spesifikasi produk *castable*. Kondisi yang terjadi di PLTU X, pemasangan *Castable Refractory* pernah dicampurkan dengan semen bangunan. Reaksi semen dengan air ($C_3S + H_2O$) menghasilkan senyawa kalsium silika hidrat (CSH) yang bersifat sebagai bahan perekat sehingga daya kuat tekan makin tinggi akan tetapi reaksi hidrasi lebih lambat dan mengakibatkan penurunan proses pemuatan secara drastis sehingga tidak tahan terhadap suhu tinggi. Oleh karena itu, apabila ingin menggunakan semen maka gunakanlah semen mortar untuk mengikat satu batubata tahan api dengan batubata tahan api lainnya ataupun juga dengan dinding dan badan tungku untuk membentuk lapisan penutup pada sambungan, bisa juga ditutup dengan keramik fiber.

b. Proper Drying and Heating Up

Pemasangan refraktori sangat berpengaruh pada kinerja suatu *furnace*. Jika lapisan refraktori pada *furnace* rusak maka kinerja *furnace* akan terganggu bahkan operasi boiler bisa berhenti sehingga sistem produksi listrik secara keseluruhan juga akan terganggu bahkan unit *shutdown*. Setelah pemasangan refraktori baik bata tahan api maupun *castable* diperlukan suatu proses pengeringan awal untuk

mengeluarkan kandungan air dalam refraktori. Kualitas Proses *drying* dan *heating up* berlangsung cukup lama sampai kandungan air dalam material refraktori benar-benar hilang sehingga mencapai tingkat kekerasan yang maksimal. Apabila proses *heating up* tidak dilakukan akan menyebabkan kerusakan besar pada material refraktori akibat perubahan temperature yang cepat (*thermal shock*). Oleh karena itu, perlu adanya penyesuaian *standard operation procedure* (SOP) dalam melakukan proses *drying* dan *heating up*. Proses pengeringan secara alami dilakukan minimal 36 jam setelah instalasi kemudian proses pembakaran pada ruang bakar dengan temperatur 150 °C (tidak disarankan terjadi penurunan suhu) ditahan selama 12-24 jam hingga keluar uap air yang biasanya ditandai dengan asap yang berwarna putih. Selanjutnya proses *heating up* dengan meningkatkan temperature 25-30 °C setiap jamnya sampai mencapai 350 °C lalu tahan 5 jam. Setelah itu, naikkan temperature 40-50 °C per jam sampai mencapai temperatur operasional boiler.

c. Proper Lining Design

Lining design refractory juga mempengaruhi bangunan refraktori tersebut. *Lining design* merupakan gambaran rencana pemasangan material refraktori. Salah satu produk refraktori tertentu yang perlu dipertimbangkan adalah *lining refractory*, yang merupakan lapisan pelindung di dalam tungku atau tungku yang bertindak sebagai bentuk insulasi

untuk menahan suhu tinggi. *Lining refractory* dapat melindungi struktur dari guncangan termal, abrasi dan *chemical attack*. Kandungan Silika yang tinggi dan bahan dengan porositas rendah biasanya direkomendasikan untuk mengurangi lengket pada dinding dan untuk memastikan ekstraksi panas. Masalah lain yang mungkin terjadi di bagian bawah ruang bakar adalah keausan abrasif. Setiap zone pada area furnace boiler perlu dilakukan penyesuaian dengan jenis refraktori yang akan digunakan untuk menahan suhu tinggi, di mana *lining refractory* diterapkan untuk memastikan perlindungan pipa boiler terhadap *chemical attack*, slag dan abrasi, akan tetapi *lining refractory* juga harus memastikan bahwa aliran *thermal* yang dibutuhkan untuk pemanasan pipa boiler dapat bekerja secara optimal. Oleh karena itu, lapisan refraktori harus memenuhi beberapa persyaratan antaralain secara termal melindungi pipa boiler tempat fluida, stabil secara struktural, memberikan ketahanan terhadap erosi, dan memberikan umur yang ekonomis.

d. Design Anchor

Anchor atau jangkar berfungsi sebagai pengikat atau penahan agar material refraktori yang terhubung dengan jangkar tidak bergerak atau tidak terjatuh pada saat operasional boiler. Kemungkinan penyebab kerusakan pada refractory boiler adalah pada desain anchor refractory yang buruk atau tidak sesuai dengan plat besi pada ruang bakar boiler. Material refraktori tidak dapat dilekatkan begitu saja sehingga diperlukan anchor untuk menahannya. Instalasi

refraktori dengan struktur besi bertulang tidak dianjurkan dalam aplikasinya pada material carbon steel biasa. Penggunaan material anchor carbon steel biasa, dapat diperkirakan jangka waktu 1-2 bulan refraktori akan runtuh. Jika material anchor stainless steel maka kerusakan refraktori diperkirakan sekitar 3-5 bulan. Pemasangan refraktori berkaitan erat dengan suhu tinggi maka anchor dari bahan stainless steel yang dianjurkan yaitu minimal SUS 304. Bentuk anchor yang sering digunakan pada saat instalasi refraktori adalah anchor V shape, anchor Y shape, anchor V/Y Spiral, dan anchor/hanger brick. Pemasangan anchor dengan jarak antar anchor, idealnya berjarak 10-15 cm dengan penyusunan anchor harus bersilang. Adapun tinggi anchor yang disarankan $\frac{3}{4}$ dari ketebalan castable.

e. *Operation Not Proper*

Panas bergerak dari area s uhu tinggi ke area suhu rendah, material refraktori memiliki energi internal yang berhubungan dengan gerakan tak menentu dari atom-atom atau molekul yang terdapat pada material refraktori. Adanya panas yang dihubungkan antara pertukaran energi refraktori dan panas yang ditimbulkan oleh ruang tungku bakar boiler. Ketika dua benda dengan suhu berbeda berdekatan, akan terjadi pertukaran energi panas sampai suhu kedua benda tersebut seimbang. Oleh karena itu, kemungkinan penyebab gangguan kerusakan pada refraktori boiler adalah *combustion abnormal* ditimbulkan oleh kondisi

operasi yang tidak terkendali sehingga *service life* refraktori tidak maksimal.

Jika pengaturan udara pembakaran tidak maksimal, maka proses pembakaran dan distribusi panas pada ruang tungku bakar boiler tidak merata karena adanya perbedaan temperatur. Adanya kenaikan temperatur tersebut akan menyebabkan sebagian pada salah satu sisi *furnace* terjadi *mechanical wear*, kekerasan, dan kekuatan material refraktori menurun. Refraktori yang terinfiltrasi oleh fase lain (gas, liquid, atau slag) biasanya tidak tahan terhadap perubahan temperatur (*thermal shock*) sehingga dapat terjadi pengelupasan antara daerah yang terinfiltrasi dan daerah tak terinfiltrasi.

Salah satu hal terpenting dalam pengoperasian boiler yaitu pengapian sehingga perlu pengontrolan ruang pembakaran. Konsisten terhadap pengoperasian boiler dengan cara yang benar agar kerusakan pada dinding refraktori dapat dicegah. Pembakaran yang benar memberikan utilitas bahan bakar yang terbesar dan sangat erat kaitannya dengan pengontrolan draft fan dan pembentukan kerak. Temperatur *furnace* harus dijaga pada kisaran 700 °C sehingga perlu adanya termokopel pada setiap sudut *furnace* baik sisi atas maupun bawah. Pengaturan udara pembakaran pada draft fan perlu dilakukan otomatisasi pembukaan damper sehingga pengapian akibat kelebihan atau kekurangan udara dapat termonitor.

Tahap Ke 5 Kesimpulan Problem Solving

Dari hasil pembahasan kajian RCFA tentang kerusakan refraktori maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Kerusakan refraktori dapat terindikasi adanya serpihan batubata tahan api dan *anchor* yang jatuh dan masuk ke dalam jalur transportasi bottom ash dan proses *Refractory Dry Out* (RDO) yang dilakukan dengan percepatan tidak sesuai dengan prosedur akan menyebabkan refraktori lebih cepat rontok sehingga dapat merusak peralatan pada sistem boiler seperti *Chain Grate* dan *Wall Tube*.
2. Proses pencampuran bahan refraktori hanya menggunakan alat tradisional yang akan mempengaruhi kualitas hasil dari pembuatan semen refraktori dan batubata tahan api.
3. Kemungkinan penyebab kerusakan refraktori dari sisi *material quality* yaitu penyimpanan bahan material refraktori karena tidak memiliki *warehouse* khusus sehingga dipengaruhi lingkungan yang lembab, metode pemilihan material refraktori belum disesuaikan dengan tipe boiler *stocker* yang tidak tahan gesekan dan suhu tinggi, dan belum ada perencanaan kebutuhan material untuk menghindari material refraktori yang kadaluarsa.
4. Kemungkinan penyebab kerusakan refraktori dari sisi *design material* yaitu proses pemasangan material refraktori belum sesuai rekomendasi dari spesifikasi produk *castable refractory*, kompetensi personil dalam pemasangan refraktori pada furnace boiler belum tersertifikasi standar

API 936, belum adanya penyesuaian *standard operation procedure* (SOP) dalam melakukan proses *drying* dan *heating up*, belum ada penerapan *lining refractory* dengan jenis refraktori pada setiap zone di area ruang bakar boiler, dan desain *anchor refractory* yang tidak sesuai dengan plat besi pada ruang bakar boiler.

5. Kemungkinan penyebab kerusakan refraktori dari sisi *operation* adalah *combustion abnormal* yang ditimbulkan oleh kondisi operasi yang tidak terkendali dalam pengaturan udara pembakaran sehingga distribusi panas pada ruang tungku bakar boiler tidak merata.

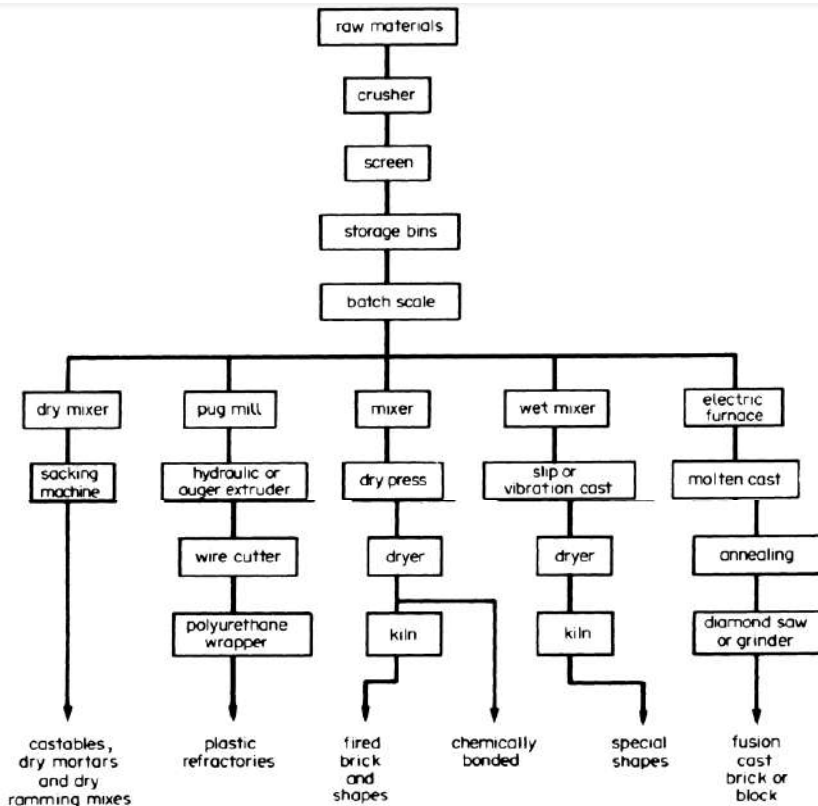
BAB 4

PEMBUATAN DAN PROSEDURE PEMASANGAN REFRAKTORI CASTABEL

Paling sederhana pembuatan refractory dapat diuraikan melalui beberapa tahap. Raw material seperti bauksit, andalusite yang berasal dari tambang dengan ukuran berpariatif kemudian dilakukan pengecilan ukuran atau *size reduction* agar menghasilkan ukuran yang sesuai target dan homogen.

Selanjutnya bahan material tersebut dicampur (mixing) dengan ditambahkan pengikat (binder) dimana secara umum castabel berbentuk komposit, material yang terdiri dari berbagai material yang berlainan dan juga sifat nya juga berlainan pula sehingga terbentuk material baru yang memiliki sifat – sifat baru.

Bahan baku refractory umum nya tidak berikatan sendiri satu sama lain, diperlukan bahan pengikat yaitu binder. Binder adalah bahan additiv untuk mengikat partikel refractory, sehingga memiliki kekuatan yang dapat mempertahankan bentuk nya.



Gambar 4. 1. Skema proses yang digunakan dalam pembuatan produk refraktori

4.1 Refraktori Kastabel

Refraktori kastabel hasil dari campuran agregat dengan bahan alumina yang bertujuan untuk mempercepat mengeras pada saat ditambahkan air. Dimana penggunaan refraktori kastabel semakin berkembang.

Refraktori jenis ini lebih berkembang dari refraktori tahan api dengan mempertimbangkan beberapa kelebihan seperti mudah dibentuk, lebih cepat instalasinya, kekuatan mekanis lebih tinggi, susut kering lebih mudah dan kebutuhan energi lebih minimum.

Adapun kekurangan refraktori jenis ini yaitu pada suhu 400 – 900 C mengalami penurunan kekuatan mekanis, kandungan CaO yang relatif tinggi sehingga menurunkan titik lebur refraktori kastabel.

Dilihat dari kekurangan dan kelebihan maka refraktori castable tetap memiliki jejak perubahan seperti tahun 1970 refraktori kastabel jenis konvensional kandungan semen 10-25 %. Tahun 1970 refraktori kastabel kandungan semen 3-10 %. Tahun 1980 kandungan semen < 3%. Tahun 1990 teknologi diarahkan kepada refraktori kastabel tanpa semen (Free Cement Castable Refractory).

4.1.1 Bahan Baku Refraktori Kastabel

1. Grog Refraktori Bekas

Refraktori bekas yang berbentuk bata, blok, krusibel, saggar dapat digunakan sebagai grog atau agregat dalam pembuatan refraktori kastabel. Sifat refraktori ini adalah kekerasan tinggi, titik lebur tinggi, berat jenis yang tinggi, porositas tinggi, dan susus muat tinggi. Adapun jenis refraktori bekas sebagai agregat yaitu silica, semi silica, alumina silikat. Refraktori jenis netral yaitu karbon, siliko karbida. Refraktori jenis basa yaitu magnesit, dolomit.

2. Samot

Samot Terbuat dari lempung tahan api yang telah melalui proses kalsinasi yang kemudian digiling halus sebagai material samot. Pada umumnya bahan samot berasal dari 5 jenis yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 1. Spesifikasi Lempung Tanah Api (SNI)

No	Sifat-sifat	Kelas A	Kelas B	Kelas C	Kelas D	Kelas E
1	Kesetaraan Pancang (PCE)	34	32	29	29	15
2.	Susut kemudian (%)	0 / 1500 ^a C	0,75 / 1500 ^a C	—	0,75 / 1400 ^a C	0,75 / 1290 ^a C
3.	Kadar Al ₂ O ₃	40	38	—	—	—
4.	Berat/Volume g/cm ³ (pada 1400 °C).	24,5	24,5	—	1,70	1,70
5.	Keplastisan (Atterberg)	—	—	30	—	—

Keterangan untuk kelas di Tabel 4.1 adalah kelas A (super heat duty). kelas B adalah high dan medium high duty. Kelas C untuk lempung pengikat dan kelas D untuk grog low heat duty.

Adapun bahan untuk refraktori kastabel yaitu bauksit merupakan kelompok mineral yang banyak mengandung alumina terdiri dari kandungan (a-AlO.OH), gibbsite (AlOH₃) dan boehmite (j-AlOOH).

Bahan berikutnya adalah Active Aluminium Oxide merupakan alumina hidrat (Al₂O₃nH₂O). Bahan yang tidak kalah penting yaitu Calsined Alumina hasil kalsinasi suhu 900 – 1000 C sehingga terjadi tidak mengandung air kristal. Bahan tambahan lain seperti tabular Alumina, Fumed silica, magnesia, lempung plastis, semen Alumina.

Dimana semen alumina dikelompokkan menjadi Semen Fondu yaitu kadar Al_2O_3 39 %, titik lebur 1270 C. Semen Secar 51 yaitu kadar Al_2O_3 50,4%, titik lebur 1440 C. Semen Secar 71 yaitu kadar Al_2O_3 71,0 %, titik lebur 1700 C. Semen Secar 80 yaitu kadar Al_2O_3 80,5, titik lebur 1750 C dan bahan aditif

Penambahan bahan aditif dalam pembuatan refraktori kastabel dimaksudkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu seperti kecepatan waktu pengikatan, keplastisan, dispersi, koagulasi, dll. Adapun bahan-bahan aditif yang sering digunakan dalam pembuatan kastabel adalah sebagai berikut asam sitrat, asam fospat, sodium silikat, sodium poly pospat (sttp, shmp), alumunium chloroposfat, alumunium chlorohidrat, alumunium orthoposfat, magnesium chloride, methyl cellulose.

3. **Magnesia**

Magnesia (MgO murni disebut Periclase) terutama terbuat dari magnesit (MgCO_3) yang juga mengandung sejumlah besi karbonat, Calcit, Dolomit, dan Magnesium Silikat. Pengotor-pengotor ini harus dipisahkan dari magnesit sebelum dilakukan kalsinasi. Meskipun karbonat telah terurai (dekomposisi) pada 800-900 OC, Caustic Magnesia yang terbentuk pada tahap ini masih sangat reaktif. Agar diperoleh produk refraktori yang stabil maka Magnesit dikalsinasi pada temperature yang sangat tinggi (> 1700 C), dimana menghasilkan Sintered

MgO yang padat, sangat tidak reaktif dan tahan terhadap hidrasi. Proses kalsinasi ini disebut Dead Burning. Bahan imbuhan (additive) seperti silika, kapur atau besi oksida kadang-kadang di tambahkan sebelum sintering untuk memanipulasi property dari magnesita.

Magnesita dapat juga dibuat dari air laut. Air laut mengandung sekitar 0,5% magnesium klorida (MgCl_2) dan magnesium sulfat (MgSO_4). Dua proses dapat digunakan untuk mengekstraksi MgO. Dalam proses yang pertama, batu kapur atau dolomite dikalsinasi untuk membuat CaO dan MgO. CaO dan MgO lalu dicampur dengan air agar terbentuk hidrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Slurry yang terbentuk dari hidrat dicampur dengan air laut, maka $\text{Mg}(\text{OH})_2$ akan terpresipitasi (terendapkan) kemudian mengumpul di dasar tangki pengendapan. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ lalu dicuci, disaring dan dikalsinasi. Hasil dari kalsinasi lalu dipeletisasi (peletizing) dan disinter (sintering) sehingga terbentuk klinker magnesita yang padat. Dengan metode ini akan dihasilkan beberapa grade MgO yang ditunjukkan dengan besarnya rasio CaO/SiO_2 . MgO juga dapat diekstraksi dari air laut dengan proses Amann. Brine (konsentrat air laut) yang mengandung MgCl_2 dipanaskan sampai 600-800 °C didalam reaktor. MgCl_2 akan bereaksi dengan air membentuk $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dan HCL yang kemudian dipisahkan. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ lalu dicuci, disaring dan dikalsinasi sehingga terbentuk klinker magnesita. Proses ini akan menghasilkan MgO yang sangat murni (> 98%).

Fused magnesita biasanya dibuat dari magnesita air laut yang dilebur dengan energi listrik seperti pada pembuatan fused alumina. Fused magnesita berupa kristal yang padat dan besar serta sangat tahan terhadap hidrasi.

Magnesita adalah material yang sangat refraktori, dapat digunakan pada temperatur di atas 2200 °C dalam suasana atmosfer oksidasi, dan di atas 1700 °C dalam suasana atmosfer reduksi. Selain itu tahan terhadap korosi slag baja. Konduktivitas panasnya lebih tinggi dibandingkan oksida yang lain sehingga panas hilangnya lebih tinggi. Ketahanan terhadap kejutan panas kurang baik, sehingga refraktori magnesita memerlukan preheating serta siklus panas (*thermal cycling*) selama digunakan.

Magnesita mempunyai kecenderungan untuk bereaksi dengan air. Walaupun MgO telah disinterisasi pada temperatur tinggi tetapi akan terhidrasi jika terkena uap air, atau jika berbentuk butiran halus. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan tar atau resin sebagai binder atau untuk melapisi refraktori.

Properti umum dari refraktori magnesita yaitu sebagai berikut:

Kekuatan tinggi pada temperatur tinggi. Tahan korosi terhadap slag basa. Konduktivitas panas yang tinggi. Tidak tahan terhadap kejutan panas sehingga memerlukan preheating. Dapat bereaksi dengan air, diatasi dengan kalsinasi pada temperatur tinggi, memakai tar, pitch, atau resin sebagai binder.



Gambar 4. 2. *Dead Burn magnesite*

4. Kromit dan Kromit Magnesia

Khrom oksida ditambang sebagai bijih khromit yang mengandung campuran dari spinel kompleks. Rumus kimianya dapat ditunjukkan sebagai $(\text{Mg,Fe})\text{O} \cdot (\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_3$. Khromit juga mengandung sedikit magnesium silikat.

Bijih khrom yang sesuai untuk refraktori hanya tersedia dari beberapa sumber saja. Bijih yang disukai adalah yang kaya akan $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ dan $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, keduanya mempunyai titik lebur yang tinggi dan kandungan besi oksida yang rendah. Serpentine ($\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_3$) terdapat di banyak bijih khrom dan ini tidak dikehendaki karena mempunyai sifat tidak tahan terhadap korosi. Cr_2O_3 adalah refraktori netral sehingga digunakan sebagai buffer zone material antara area refraktori asam dan basa. Material ini tidak terbasahi oleh cairan silica dan sangat tahan terhadap korosi oleh slag aam dan leburan gelas (Catatan: material ini akan memberikan warna gelas, oleh karena itu tidak bias digunakan bila kontak dengan leburan gelas bila warna produk adalah hal yang penting).

Oksida khrom dengan kemurnian $> 99\%$ dibuat dengan proses thermo-kimia. Oksida ini tersedia sebagai bubuk halus (ukuran butiran 1-5mm) dan berwarna hijau terang. Material ini kadang-kadang ditambahkan kepada

refraktori magnesita atau alumina untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

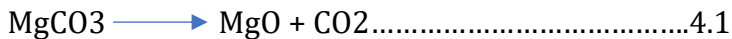
Refraktori yang berbasis khrom-oksida mempunyai sifat refractoriness yang rendah jika dikenai beban (low refractoriness under load) dan tidak tahan terhadap kejutan panas (thermal shock). Pada waktu dulu, terdapat masalah dengan fenomena yang disebut Chrome Ore Bursting (Bijih Chrome Pecah). Spinel khrom-oksida yang berbentuk larutan padat (*solid solution*) dengan besi oksida dapat menimbulkan ekspansi yang berarti dan keretakan pada hot face. Para manufaktur refraktori mengatasi masalah ini dengan mengkombinasikan butiran khrom-oksida dengan MgO untuk menghasilkan produk refraktori khrom-magnesita dan magnesita-khrom. Campuran magnesita khrom tersedia dengan jumlah yang bervariasi dari dua oksida ini. Khrom-magnesita mempunyai komponen utama bijih khrom, sedangkan Magnesita-khrom komposisi utamanya MgO. Campuran ini bersifat sangat refraktori dan mempunyai kekuatan panas (hot strength) serta ketahanan kejutan panas yang lebih baik dari pada produk refraktori bijih khrom.

Properti umum dari Refraktori Khrom-oksida adalah sebagai berikut: Merupakan refraktori netral, digunakan sebagai zona penyangga (*buffer zone*). Tidak terbasahi oleh leburan silica, oleh karena itu mempunyai ketahanan korosi yang bagus terhadap slag asam (acid slag). Kekuatannya rendah pada temperatur tinggi. Ketahanan

terhadapkejut panas yang tidak bagus. Dapat bereaksi dengan Besi-oksida. Untuk penggunaannya di besi-baja biasanya dikombinasikan dengan MgO.

5. Dolomit

Dolomit biasanya ditulis sebagai garam ganda (double salt) $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Rentang proporsi dari dua karbonat ini lebar. Kebanyakan bijih dolomite terdapat bersama-sama dengan batu kapur atau magnesit. Ketika dipanaskan dolomite akan terurai. Pertama, magnesium karbonat terurai pada temperature 700-800 0C, dan kemudian sekitar 800-900 0C karbonat terurai.



Gambar 4. 3. Dolomite (sumber: material alam.com)

Material CaO.MgO mempunyai titik lebur yang sangat tinggi ($\sim 2300^\circ\text{C}$) sehingga sangat potensial sebagai refraktori. Akan tetapi, kegunaannya ini terbatas karena kecenderungannya untuk bereaksi dengan air membentuk hidroksida. Bijih dolomit dipanaskan (dibakar) pada temperatur tinggi. Sejumlah kecil besi oksida, calcia dan silikat ditambahkan. Penambahan material ini akan membentuk cairan yang bertitik lebur rendah yang mana akan melapisi butiran dolomite dan berperan untuk membantu dalam mencegah hidrasi. Pembuatan klinker yang sangat stabil ini relatif mahal, sehingga digunakan cara lain yaitu menggunakan cara resin bonding atau resin impregnation untuk melindungi dolomit dari hidrasi.

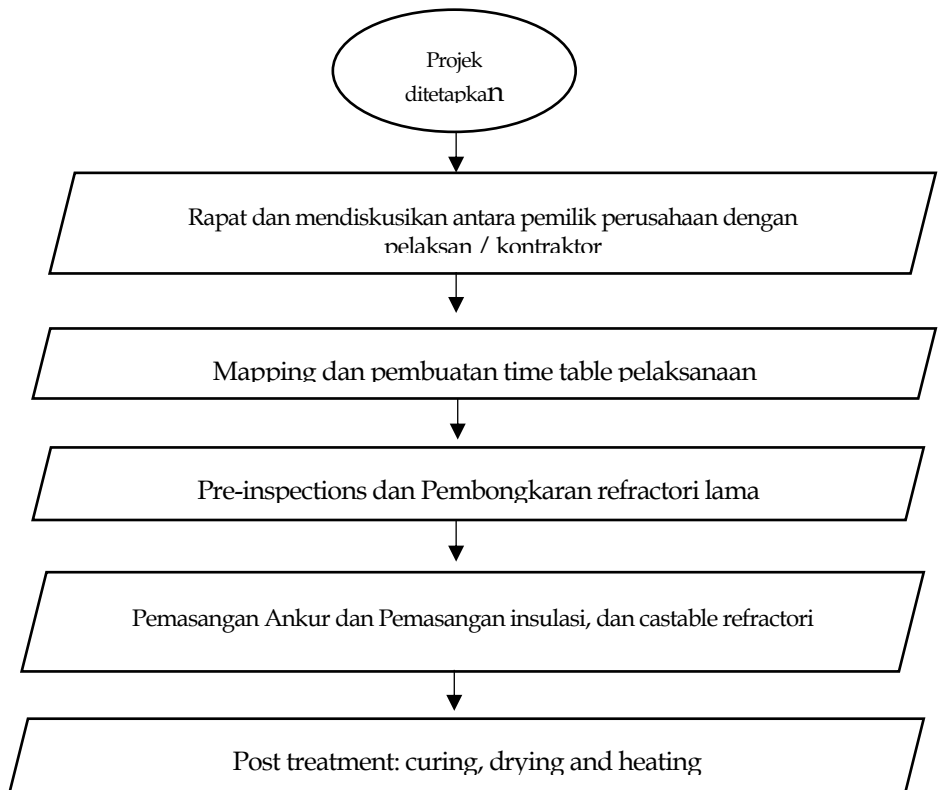
Ketahanan korosi dari refraktori dolomit terhadap slag besi-baja tidak sebaik produk yang berbasis MgO . Tetapi, harga yang murah dari refraktori dolomit yang menggunakan pitch atau resin bonded membuatnya ekonomis untuk melining alat-alat pengolahan baja atau ladle. karbon yang terdapat dalam binder organik membantu untuk melindungi komponen CaO pada dolomit terhadap korosi dengan mereduksi Fe_2O_3 dislag menjadi FeO atau Fe .

Properti umum dari refraktori dolomit adalah sebagai berikut: Ketahanan korosi yang baik terhadap slag pengolahan baja. karakter ekspansi panasnya mirip dengan MgO . kekuatan yang rendah pada temperatur tinggi. ketahanan terhadap kejutan panas kurang baik. selama penyimpanan dapat terjadi masalah

hidrasi. Harganya relatif murah, kecuali dari jenis tar, pitch atau resin bonded.

4.2 Kegiatan Awal

Pada umumnya setiap lokasi industri yang akan memasang refractory memiliki tahapan yang perlu dilakukan dan dilakukan secara berbeda. Misalkan antara industry yang sudah lama berdiri akan melakukan perbaikan dengan yang baru membuat alat baru maka prosedurnya berbeda. Untuk memahami dan mengetahui secara garis besar yang dilakukan yaitu sebagai berikut:



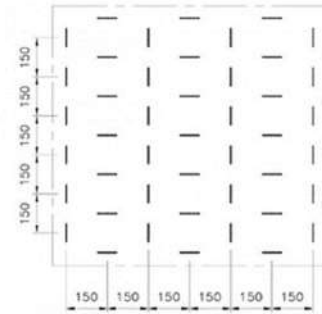
Gambar 4. 4. Prosedur pemasangan refractory

Castable berbentuk powder mengandung agregat tertentu untuk dicampur dengan air yang sudah dimeneralisasi (Standar aquadest). Kemudian bahan castable tersebut dicampur/ mixing yang memiliki kisaran perbandingan dengan air yaitu 4-10% dengan lama pengadukan berkisar sekitar 3-5 menit seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 5. Pencampuran castable

Disamping itu anchor telah dipasang pada badan alat sesuai dengan panduan/SOP. Dimana fungsi dari anchor adalah untuk mengikat material yang akan dipasang. Anchor pada dasarnya hampir sama dengan struktur besi tulang. Dalam refractory sangat tidak dianjurkan pemasangan besi tulang karena dalam kurun waktu 1-2 bulan berpotensi runtuh untuk material carbon steel sedangkan material stainless steel 3-5 bulan. Cara pemasangan yang perlu diperhatikan pertama-tama adalah jarak antar anchor besi. Idealnya berjarak 10-15 cm. Penyusunan anchor harus bersilang.



Gambar 4. 6. Jarak Pemasangan ancho

Agar anchor mempunyai ruang ketika terjadi pemuaian, setiap ujung anchor diberi kertas atau isolasi sedemikian rupa. Sehingga dalam skala besar akan nampak seperti ini.



Gambar 4. 7. Pemasangan anchor

Adapun dalam pemasangan anchor yang bagus dan direkomendasikan diawali dengan pengetahuan mengenai anchor baik dari segi jenis dan peruntukannya yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. 8. Anchor V Shape



Gambar 4. 9. Anchor Y Shape

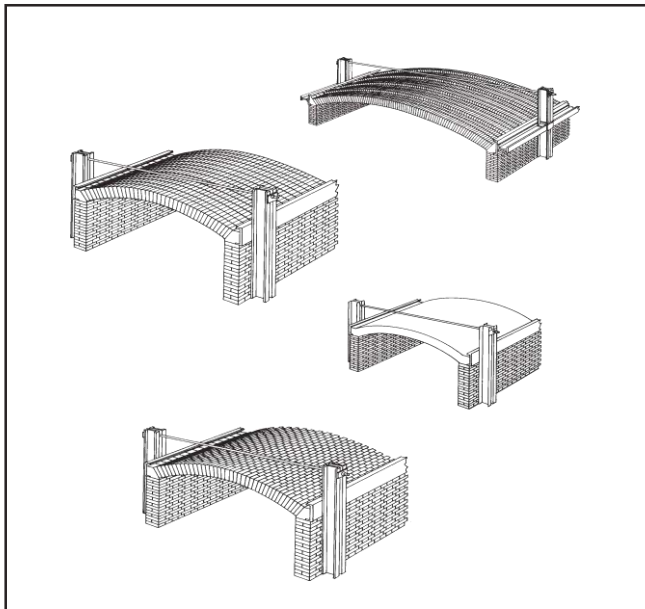


Gambar 4. 10. Anchor V/Y Spiral



Gambar 4. 11. Anchor/Hanger Brick

Pada bagian ini menjelaskan tentang memperkirakan jumlah refractory yang dibutuhkan untuk konstruksi lapisan melingkar atau melengkung seperti gambar berikut:



Gambar 4. 12. Bentuk refraktori melengkung dari berbagai sudut

Pada umumnya pemasangan refractory harus memperhatikan K3. Pada individu harus menggunakan APD yang lengkap seperti sepatu safety, helm, rompi K3 dan tanda pengenal serta menggunakan masker.

Pada saat masuk kedalam alat terbatas harus menyiapkan tabung oksigen apabila mengalami hal yang tidak diharapkan seperti kukarang oksigen. Disamping itu dalam memperhatikan kenyamanan maka perlu dilengkapi dengan menggunakan blower.

Pada saat proses pengadukan sebaiknya menggunakan sarung tangan agar menghindari semen ataupun zat kimia yang mengenai tangan. Disamping itu sarung tangan yang digunakan sebaiknya menyesuaikan kebutuhan seperti sarung tangan karet dan kain. Karena bekerja ditempat yang terbatas maka harus menggunakan sistem log yang disimpan diluar tempat kerja agar diketahui bahwa sedang ada pekerjaan.

BAB 5

REFRACTORY DRY OUT

5.1 Gambaran Umum Tentang Refractory Dryout (*Heating Up*)



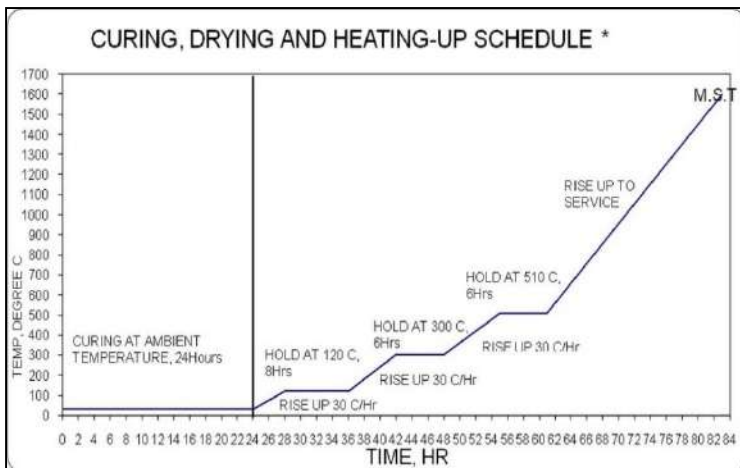
Gambar 5. 1. Refractory dry out

Setelah pemasangan refraktori baik bata tahan api maupun kastabel diperlukan suatu proses pengeringan awal untuk mengeluarkan kandungan air dalam refraktori. Proses heating up berlangsung cukup lama sampai kandungan air dalam material refraktori benar-benar hilang sehingga refraktori mencapai tingkat kekerasan yang maksimal.

Proses pengeringan dan pemanasan sangat penting untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat pada saat pencampuran bahan castable, mortar, dan lainnya pada saat proses pemasangan refraktori.

Untuk mendapatkan kinerja refraktori yang optimal, kelembapan harus dihilangkan secara menyeluruh dan merata. Kelembapan yang tidak dihilangkan akan menyebabkan “blow out” uap yang terperangkap di dalam lapisan bila terjadi kenaikan suhu sistem dengan cepat (*Thermal Shock*). Hal inilah yang menjadikan proses pengeringan dan pemanasan sangat penting untuk menghilangkan kadar air dan kelembapan secara merata.

Proses heating up ini harus diperhitungkan secara engineering sesuai dengan ketebalan dan material yang berlaku, agar diperoleh suatu skema atau grafik gambaran umum ketika melakukan proses Heating Up, berikut ini contoh grafik secara umum pada proses heating up (refraktory dryer) sesuai dengan standar API 396.



Gambar 5. 2. Grafik Proses Heating Up

Tabel 5. 1. Standarisasi Dryout konvensional refraktori

Heating Stage	Refractory Density		
	Less than 75 lb/ft ³ (1200 kg/m ³)	75 lb/ft ³ to 100 lb/ft ³ (1200 kg/m ³ to 1600 kg/m ³)	101 lb/ft ³ to 140 lb/ft ³ ^d (1601 kg/m ³ to 2240 kg/m ³)
Initial temperature to first hold ^e	Heat at 100 °F/h (56 °C/h) Hold at 250 °F to 300 °F (120 °C to 150 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness	Heat at 75 °F/h (42 °C/h) Hold at 250 °F to 300 °F (120 °C to 150 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness	Heat at 50 °F/h (28 °C/h) Hold at 250 °F to 300 °F (120 °C to 150 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness
Ramp to next hold	Heat at 100 °F/h (56 °C/h) Hold at 600 °F to 700 °F (315 °C to 370 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness	Heat at 75 °F/h (42 °C/h) Hold at 600 °F to 700 °F (315 °C to 370 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness	Heat at 50 °F/h (28 °C/h) Hold at 600 °F to 700 °F (315 °C to 370 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness
Ramp to next hold	Heat at 100 °F/h (56 °C/h) to operating temperature	Heat at 75 °F/h (42 °C/h) Hold at 1000 °F to 1050 °F (540 °C to 565 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness	Heat at 50 °F/h (28 °C/h) Hold at 1000 °F to 1050 °F (540 °C to 565 °C) Hold 1 h/in. (1 h/25 mm) of refractory thickness
Ramp to next hold		Heat at 75 °F/h (42 °C/h) to operating temperature	Heat at 75 °F/h (42 °C/h) to operating temperature
Dryout Index ^f	23 hours	31 hours	40 hours
^a See 10.1.1. ^b These rates only apply when the curing temperature is between 50 °F (10 °C) and 90 °F (32 °C). ^c Conventional castable refractories having a 'normal' cement content, i.e. greater than 2.5 % CaO. ^d For refractories with densities higher than 140 lb/ft³ (2240 kg/m³) consult manufacturer. ^e Initial temperature not to exceed 200 °F (94 °C). ^f The Dryout Index is based on a refractory thickness of 5 in. (127 mm), an operating temperature of 1300 °F (705 °C), and heating from the refractory side only. It is further based on standard accepted dry out practice in a well exhausted configuration.			

Pada proses heating up refraktori harus dilakukan secara bertahap sesuai dengan standar API 396, berikut merupakan tahapan proses heating up refraktori ;

1. Pada tahap pertama kita terlebih dahulu harus mengetahui ketebalan refraktori yang terinstall dan karakteristik dari material, hal ini diperlukan untuk pembuatan grafik heating up.

2. Setelah kita mendapatkan garfik hasil kalkulasi maka proses selanjutnya kita harus mengetahui bahwa kastabel yang akan kita heating up telah dilakukan curing time atau pendinginan secara alami proses ini kurang lebih memakan waktu 24 jam pada suhu atau temperatur ruang
3. Untuk selanjutnya proses heating up menggunakan burner internal/external atau bisa juga dengan menggunakan kayu bakar , atau skam padi. Namun harus mengikuti standar API 396. Pada proses heating up ini di bagi menjadi 3 phase proses :
 - A. Phasa 1 ketika suhu pada temperatur 120 s.d 150 oC maka dilakukan penahanan temperatur selama satu jam atau lebih (tergantung hasil perhitungan pada grafik) proses ini diharapkan mampu menghilangkan kadar air yang masih mengendap pada refraktori.
 - B. Phase 2 Ketika suhu pada temperatur 315 s.d 370 o C maka dilakukan penahanan kembali proses ini dilakukan untuk menghilangkan kembali kadar air yang masih mengendap di bagian dalam refraktori dan pada proses ini juga material refraktori menuju tahap kristalisasi.
 - C. Phase 3 ketika suhu pada temperatur 540 s.d 565 oC maka dilakukan penahan kembali proses ini dilakukan untuk kristalisasi material sehingga material refraktori sutuhnya dan sepenuhnya mencapai kekerasan secara maksimal.



Gambar 5. 3. Hasil setelah proses Heating Up



Gambar 5. 4. Contoh Burner External

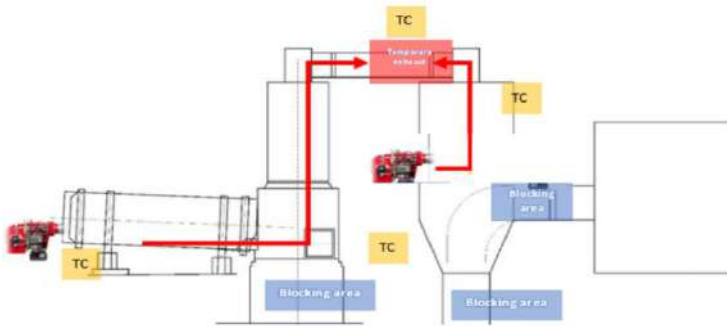
5.2 Tahapan Refractory Dryout (*Heating Up*)

5.2.1. Persiapan Pekerjaan

Adapun persiapan untuk melakukan refractory dry out sebagai berikut:

- a. Pemetaan lokasi untuk penempatan burner external yang sudah di desain.

Agar proses pemanasan Refractory Dry Out terpusat pada castabel yang akan di panaskan maka terlebih dahulu kita memetakan burner yang akan di pasang, sesuai dengan gambar 5.5.



Gambar 5. 5. Pemetaan Lokasi Pemasangan Burner external

b. Mendesain Burner sesuai dengan ukuran di lapangan

Setiap burner untuk RDO merupakan burner external yang disesuaikan dengan kebutuhan dilapangan hal ini dikarenakan agar api dari moncong burner tidak terganggu pada saat penginstallan dilapangan atau mengenai material atau tools pabrik sehingga merusaknya oleh karena itu pentingnya mendesain burrner sesuai dengan kondisi lapangan, contoh desain burner standar sesuai dengan gambar 5.6 dan burner yang sudah di desain sesuai dengan burner kebutuhan dilapangan.



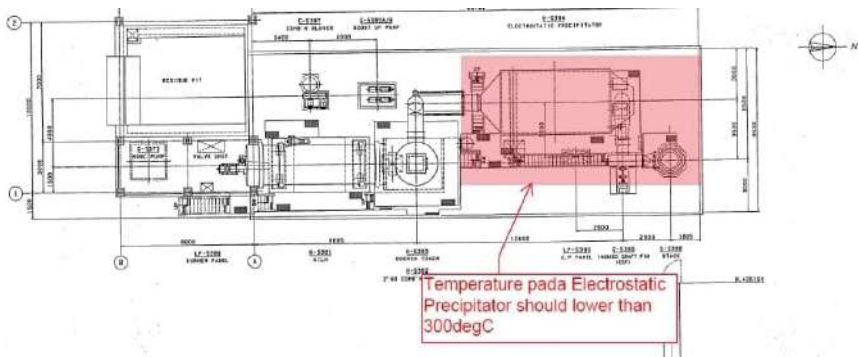
Gambar 5. 6. Contoh burner standar



Gambar 5. 7. Salah satu contoh burner yang sudah di modifikasi sesuai dengan kebutuhan lapangan

c. Bloking Area

Fungsi dari bloking terdapat dua kategori yang pertama agar tidak ada *heat loss* atau kehilangan panas yang berlebih sehingga pemakaian bahan bakar yang berlebih, dan yang kedua adalah fungsi melindungi tools atau material yang rusak jika terkena panas berlebih, maka pentingnya bloking area atau penutupan area yang tidak di butuhkan untuk proses RDO , terlebih dahulu berkoordinasi dengan user terkait area mana saja atau zona yang tidak diperbolehkan terkena panas berlebih atau lubang – lubang yang mengakibatkan *heat loss* wajib kita tutup dengan blanket (gambar 5.9) .



Gambar 5. 8. Drawing area blocking agar tdak terjadi heat loss yang berlebih



Gambar 5. 9. Ceramic Fiber blanket dengan ketahanan suhu mencapai 1200 °C



(a)



(b)

Gambar 5. 10. Gambar (a) Salah satu pengaplikasian blanket untuk melindungi tools atau material dari panas yang berlebih. Gambar (b) pengaplikasian blanket untuk terhindar dari heat loss yaitu menutup lubang keluaran .

d. Pemasangan Burner external

Ketika burner yang sudah di desain sesuai dengan kebutuhan lapangan dan dititik mana saja burner akan di pasanga, selanjutnya yaitu pemasangan burner sesuai dengan desain lapangan, sebelum pemasangan alangkah terlebih dahulu pengetesan burner apakah dalam kondisi prima atau pengecekan dikawatirkan pada saat moving dari tempat awal ke site terjadi kerusakan.



Gambar 5. 11. Pengetesan burner dan pengecekan kelengkapan tools burner



Gambar 5. 12. Proses installasi Burner external di lapangan

- e. Pemasangan Termocouple dan penginstallan jalur recorder serta kelistrikan

Setelah Bloking area selesai dan penginstallan burner selesai maka langkah selanjutnya yaitu instalasi perangkat lainnya seperti termocouple yang bertujuan untuk memonitor suhu, recorder yang bertujuan untuk mencatat suhu serta perangkat kelistrikan. Jika memungkinkan lebih baik menambah satu item yaitu Pressure gauge agar dapat mengontrol tekanan supaya lebih safety.



Gambar 5. 13. Instalasi Recorder

- f. Pemasangan Jalur bahan bakar LPG atau Solar

Pentingnya pemasangan jalur LPG atau solar tergantung burner yang kita gunakan pada tahap RDO di salah satu perusahaan X menggunakan burner dengan kebutuhan bahan bakar LPG, pada saat penginstallan jalur bahan bakar diwajibkan agar selalu pengecekan

kebocoran dan lainnya yang mengakibatkan *fatality* dalam bekerja.



Gambar 5. 14. Instalasi Bahan bakar serta pengecekan kebocoran

g. Instalasi knalpot / cerobong asap

Salah satu hal terpenting dari RDO adalah knalpot atau Cerobong asap, karena pada saat melakukan RDO kondisi refractory akan mengalami penguapan air yang berlebih sehingga tekanan akan meningkat secara cepat , apabila tidak ada sitem Cerobong asap maka bisa mengakibatkan ledakan yang akan merusak refractory itu sendiri. Oleh karena itu knalpot ini sangat diperlukan dan wajib di perhatikan bahkan jika diperlukan ada perhitungan tersendiri untuk membuat knalpot.



(a)



(b)

**Gambar 5. 15. (a) knalpot dengan sistem Vakum , (b)
knalpot biasa**

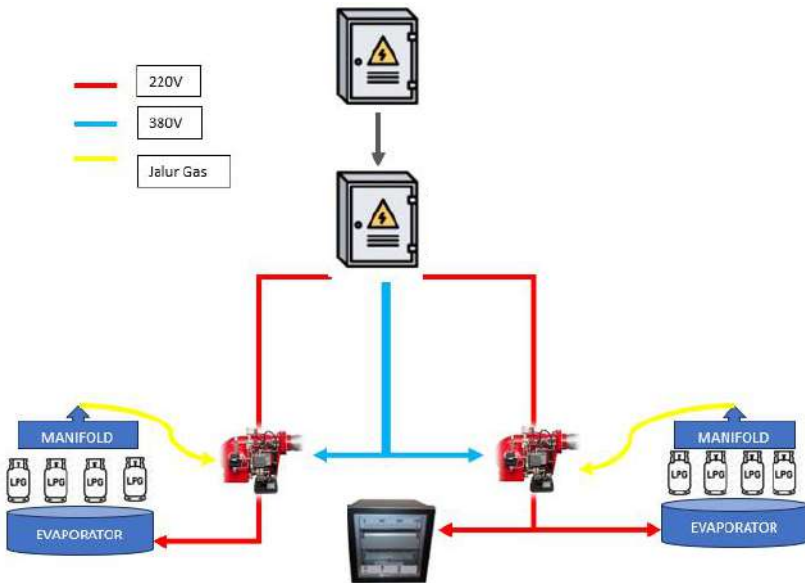
5.2.2 Memulai Pekerjaan

a. Skema Memulai Pekerjaan

Setelah persiapan telah selesai di kerjakan maka tahapan selanjutnya yaitu Memulai pekerjaan refractory dry out dengan skema yang telah di sepakati bersama dengan user dan diwajibkan pembagian team untuk mengatur kelancaran refractory dry out, adapun team terbagi menjadi 3 bagian yaitu:

- Team untuk mengatasi pengoperasian burner
- Team untuk penggantian bahan bakar jika habis
- Team untuk pencatatan dibagian recorder

Adapun gambar skematik RDO sebagai berikut :



Gambar 5. 16. Skema pekerjaan Refarctory Dry Out

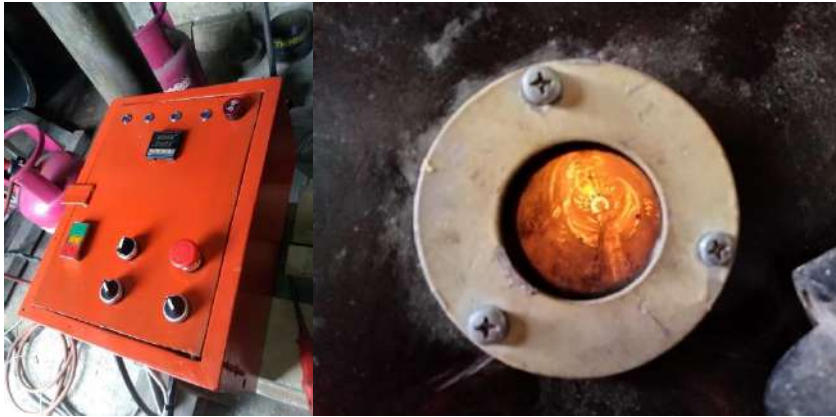
b. Proses Pengaturan Api (*Fire ON*)

Tahap ini akan dikontrol & dipantau 24 jam oleh operator, ditiap shift 3 orang operator, yang akan memantau nyala api, kenaikan suhu, dan penahanan suhu berdasarkan grafik dryout yang sudah ditentukan.

Kontrol kenaikan suhu / Api diatur manual dari panel kontrol. Pengaturan kenaikan suhu & penahanan suhu dengan menambahkan aliran gas & atau angin dari tombol yang terdapat di panel kontrol, serta mengatur bukaan penutup / damper cerobong. Terdapat indikator suhu dari pembacaan thermocouple untuk operator menjaga suhu yang ditentukan selama berjalannya RDO.

Operator memantau nyala api dari lubang intip saat terindikasi penurunan suhu di panel control, dan berkala mengecek api dari lubang intip.

Jika kendala api mati / trip, aliran gas akan terputus, sebelum menyalakan pematik, cek pressure gauge di tabung gas, tutup kran jalur Gas, jika pressure gauge turun, kemungkinan gas mengalir ke dalam unit lalu pengecekan gas dengan gas detector, selalu ditiupkan angin dari blower, supaya jika temperatur turun nyalakan kembali burner dan lanjut ke suhu sesuai grafik.



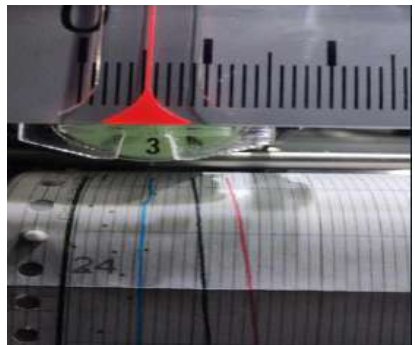
(a)

(b)

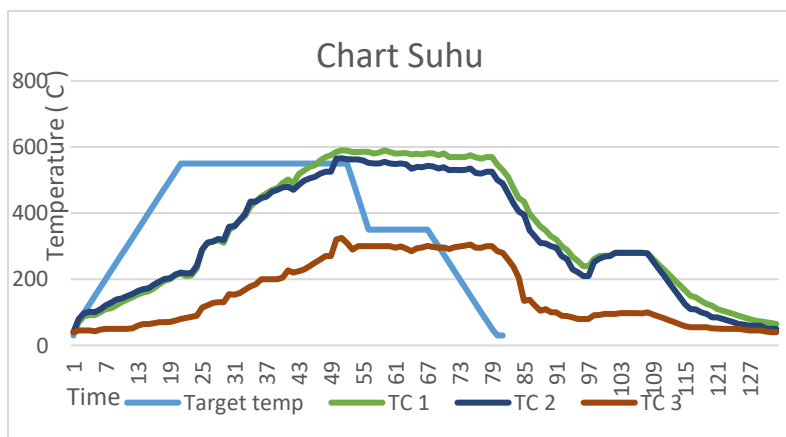
**Gambar 5. 17. (a) Panel control aliran gas & angin
(b). Proses Sart Up nyala api burner**

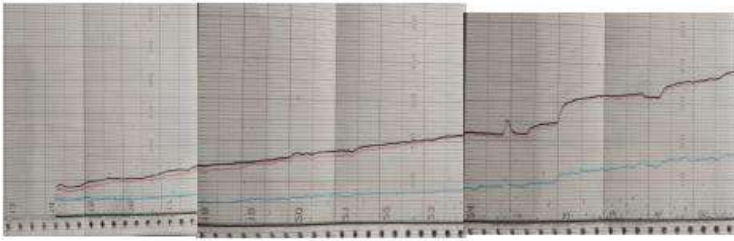
c. Proses Pencatan

Seiring berjalannya refractory dry out maka selanjutnya recorder akan mencatat setiap detik pola kenaikan tempertaur yang terbaca, proses pencatatan ini dilakukan oleh recorder yang sebelumnya telah dibahas, pentingnya recorder yaitu untuk mengontrol temperatur yang terbaca , karena temperatur kita kontrol karena harus mengikuti grafik kenaikan temperatur refractory yang telah di berikan oleh manufacturing refractory.



Gambar 5. 18. Proses pencatatan temperatur oleh recorder





Gambar 5. 19. Chart suhu hasil RDO



Gambar 5. 20. Chart suhu hasil RDO yang di catat oleh recorder

DAFTAR PUSTAKA

- ArifinZainal. 2012. *Evaluasi Pembelajaran*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Islam Kementrian Agama RI.
- Arikunto Suharsimi. 2001. *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Asrul, dkk. 2014. *Evaluasi Pembelajaran*. Medan: Cipta pustaka Media.
- Danial, D., Nurjannah, N., & Mirna, M. 2019. *Evaluation of The Learning. Program of Mathematics Study Program at Islamic Institute Of Muhammadiyah Sinjai. Matematika Dan Pembelajaran*, 7(1), 65. <https://doi.org/10.33477/mp.v7i1.1046>.
- Fitriani. 2019. Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa SMP. *JTMT: Journal Tadris Matematika*, 01(01), 25–30. <http://journal.iaimsinjai.ac.id/index.php/Jtm/article/view/393>.
- Hamalik, Oemar. 2010. *Manajemen Pengembangan Kurikulum*. Bandung : PT Remaja Rosdakarya.
- Elis Ratnawulan. 2014. *Evaluasi Pembelajaran*. Bandung: Penerbit pustaka.
- Ida Farida. 2017. *Evaluasi Pembelajaran*. Bandung:PT Remaja Rosdakarya.
- Muhammad Afandi.2013. *Evaluasi Pembelajaran Sekolah Dasar*. Semarang:UNISSULA Press
- Sukardi. 2009. *Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Tim Pengembangan MKDP Kurikulum dan Pembelajaran. (2011).*Kurikulum dan Pembelajaran*. Jakarta Utara: PT Raja Grafindo Persada.
- P. Basu, S.A. Fraser, *Circulating fluidized bed boilers*, Springer, 1991.
- Harbison-Walker, *Handbook of Refractory Practice*, 2005.

- F. Ovčáčík, Technology of refractory materials and heat insulating materials, (2015).
- F.S. Sperry, Refractory Installastion and Maintainance, 2017.
- Circulating fluidized bed boilers, (n.d.). 2017.
- R. Vincent, Refractory experience in circulating fluidized bed combustors, Task 7, Fluidized-Bed Technologies, Inc., Chattanooga, TN (United States), 1989.
- A. Arjunwadkar, P. Basu, B. Acharya, A review of some operation and maintenance issues of CFBC boilers, Appl. Therm. Eng. 102 (2016) 672–694.
- A. Handbook, Volume 11, Fail. Anal. Prev. 6 (2002).
- [9] API, API 936: Refractory Instalation Quality Control: Inspection Monolithic Refractory Lining and Materials, (2014).
- [10] A. Santoso, Technical Report: Review Kerusakan Refractory Boiler, PLTU Banjarsari, (2016).

BIODATA PENULIS



Topik Hidayat S.T, CPLM, SLQ

Praktisi Dan Akademisi
Bidang Refraktory

Topik Hidayat lahir di salah satu ujung pulau jawa tepatnya di daerah TURKI (Turunan Kidul) Banten Selatan dengan semboyan " Bunga Teratai Putih Selatan" Saat ini penulis menggeluti bidang industri khususnya refraktory dibeberapa industri besar yang ada di Indonesia. Lulus Kuliah pada tahun 2018 dari kampus negeri universitas Sultan Ageng Tirtayasa jurusan Teknik kimia. Memiliki hobi lain yaitu sebagai konten kreator dengan chanel youtube DAKWAMAYA membuat penulis aktif diberbagai kumpulan seperti pengelola masjid Ar-rohmah cilegon. Penulis memiliki mimpi besar yaitu ahli dibidang refraktori dan sekaligus pendiri pondok pesantren besar sebagai penerus perjuangan orang tua yang dikonsep dengan memajukan jiwa enterprenership. Harapannya buku pertama ini dapat menjadi ilmu bagi pada pembaca dan ladang pahala bagi penulis...aamiin.