



STUDI OPTIMASI PENAMBAHAN AIR DAN TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP KEKERASAN DAN *PERMANENT LINIER CHANGE* PADA REFRAKTORI *LOW CEMENT CASTABLE ALUMINA*

Abdul Aziz^{1*}, Muhammad Fitrullah, Anky Fadharani

¹*Department of Metallurgy, Sultan Ageng Tirtayasa University*

*Email : amang_azis@yahoo.com

Abstrak

Refraktori *castable* merupakan refraktori monolitik yang dapat diinstal secara dicor (*casting/pouring*), ditembakkan (*gunning*) maupun *trowelling*. Pada penggunaannya refraktori *castable* dicampurkan dengan air sehingga agregat-agregat dapat bercampur dengan bahan *additive* yang lain. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui penambahan air yang optimum untuk mendapatkan nilai kuat tekan dingin atau *cold crushing strength* yang maksimal setelah dipanaskan pada temperatur tertentu dan untuk mengetahui besarnya penyusutan yang terjadi pada saat ditambahkan air yang berbeda. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan material refraktori *low cement castable* dengan kadar alumina 81%. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan air dan temperatur pemanasan. Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini yaitu penambahan air sebesar 7%, 7,5%, 8%, 8,5%, dan 9% dan temperatur pemanasan pada 1000°C, 1050°C, dan 1100°C. Setelah sampel dicetak pada *cube mold* kemudian dilakukan pengukuran besarnya dimensi sampel sebelum dan sesudah dipanaskan kemudian diuji dengan cara diberikan tekanan dengan *compact strength machine* sampai jarum pada penunjuk nilai tekannya menurun. Diperoleh data sampel uji yang memiliki nilai *Cold Crushing Strength* (CCS) paling besar yaitu pada sampel dengan menggunakan air sebesar 7% pada saat pencampuran. Nilai CCS yang tertinggi yaitu 114,94 N/mm².

Kata kunci : refraktori monolitik, *low cement castable*, *cold crushing strength*

Abstract

Refractories usually used in industries which on production process with high temperature. In modern, development of refractory materials is not only conventional type but now there is the other type of refractories for the example is castable refractory. Castable refractory is monolithic refractory can be install by casting, gunning, or trowelling. In installing process castable refractory before that mixing with water so the aggregates could mix with the other additives. This research purposes are determine the optimum water addition to get the highest cold crushing strength after heated on the different temperatures. This research in laboratory using material low cement castable refractories with 81% alumina. In this research there is variety water addition and temperatures heating. Variable process in this research are water addition 7%, 8%, 8,5%, 9%, and 9%, while temperatures heating on 1000°C, 1050°C, and 1100°C. After casting on cube mold, the sample measure size sample before and after heating process after that testing with giving pressure with compact strength machine until get maximum compact strength value. Based on result this research, sample with the highest cold crushing strength value is using water addition 7% in mixing process and cold crushing strength value is 114,94N/mm².

Keyword : monolithic refractories, *low cement castable*, *cold crushing strength*



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

1. Pendahuluan

Bata tahan api atau biasa disebut dengan refraktori merupakan salah satu jenis keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia pada kondisi temperatur yang relatif tinggi tanpa mengalami deformasi [6].

Material refraktori digunakan untuk bangunan struktur atau melapisi struktur yang terkena dan dioperasikan pada temperatur tinggi mulai dari perapian kecil seperti tungku pembakar skala laboratorium hingga tungku skala industry seperti pada tungku busur listrik (*Electric Arc Furnace*) ataupun pada tungku hembus (*blast furnace*) [7].

Salah satu penggunaan material refraktori digunakan pada *lining* pada tungku peleburan baja. Pada bagian tungku oval (*spherical hearth*) tungku busur listrik terdapat 3 lapisan yaitu lapisan *lining* kemudian lapisan batu tahan api dan sebagai kontruksi bagian luar digunakan pelat baja dengan ketebalan tertentu. Pada dinding pelindung tanur terdapat batu tahan api sebagai isolator panas bagian dalam yang dihasilkan tanur tersebut [5].

Penelitian ini akan mendapatkan hasil penambahan air yang optimal untuk mendapatkan hasil *cold crushing strength* yang maksimal pada aplikasi saat pemasangan *lining* refraktori yang berbahan *low cement castable* alumina tinggi dengan kadar alumina sebesar 81%.

2. Dasar Teori

Refraktori memiliki definisi yaitu material non logam yang memiliki sifat kimia dan fisika yang biasa diaplikasikan untuk dibentuk atau sebagai komponen dalam sistem pada suhu tinggi diatas 1000 °F (811 K; 538 °C). [1]. Bahan refraktori adalah suatu bahan yang tahan terhadap suhu lingkungan yang tinggi. Mempunyai kekerasan dan kekuatan yang tinggi, kestabilan mekanis dan tahan terhadap korosi, adalah sifat-sifat yang sangat diperlukan pada industri-industri manufaktur besi, baja, semen, gelas dan lain-

lain. Bahan-bahan refraktori dibuat dengan kombinasi dan bentuk yang bervariasi tergantung pada penggunaannya. [8]. Bahan apapun akan mengembang jika dipanaskan, akan menyusut jika didinginkan. Pengembangan/ekspansi panas yang dapat balik merupakan cerminan perubahan fase yang terjadi selama pemanasan dan pendinginan. [10]

Refraktori *castable* adalah jenis refraktori monolitik yang pemakaiannya makin meluas dan fleksibel. Refraktori monolitik adalah sebuah cetakan tunggal. Refraktori *castable* tersusun dari bahan refraktori berupa agregat atau samot yang ukuran butir dan distribusi butirannya bervariasi dan bahan perekat berupa semen kalsium alumina dengan atau tanpa ditambah aditif.

Dalam campurannya dengan air, semen alumina dan *castable* akan mengikat partikel-partikel agregat secara bersama dalam ikatan hidrolis yang mengeras pada suhu ruang membentuk beton refraktori. Rasio penambahan air, dimana pada saat *castable* dicampur dengan air kemudian diaduk untuk pemasangan dengan cara cor atau *pouring*, untuk produk *castable* konvensional, jumlah penambahan air adalah 3 - 10%. Tetapi pada kenyataan dilapangan, sedikitnya 2 kali lebih banyak untuk mendapatkan fluiditas (tingkat keenceran) yang cukup. Penambahan air yang berlebih mengakibatkan partikel halus, seperti *alumina-cement* akan terbawa kepermukaan campuran *castable* tersebut. Setelah pencampuran material dengan air Untuk mengetahui penambahan air sudah optimal atau belum dapat digunakan metoda *ball in hand* [4]

3. Metode Penelitian

Sampel refraktori *low cement castable* dengan kadar alumina sebesar 81% ditimbang sebanyak 1200gr (untuk 3 sampel uji berbentuk kubus), kemudian dimasukkan ke dalam wadah *mixer*. Kemudian ditimbang air sebesar 7%; 7,5%; 8%; 8,5%; 9% dari 1200gr sampel *low cement castable* dan



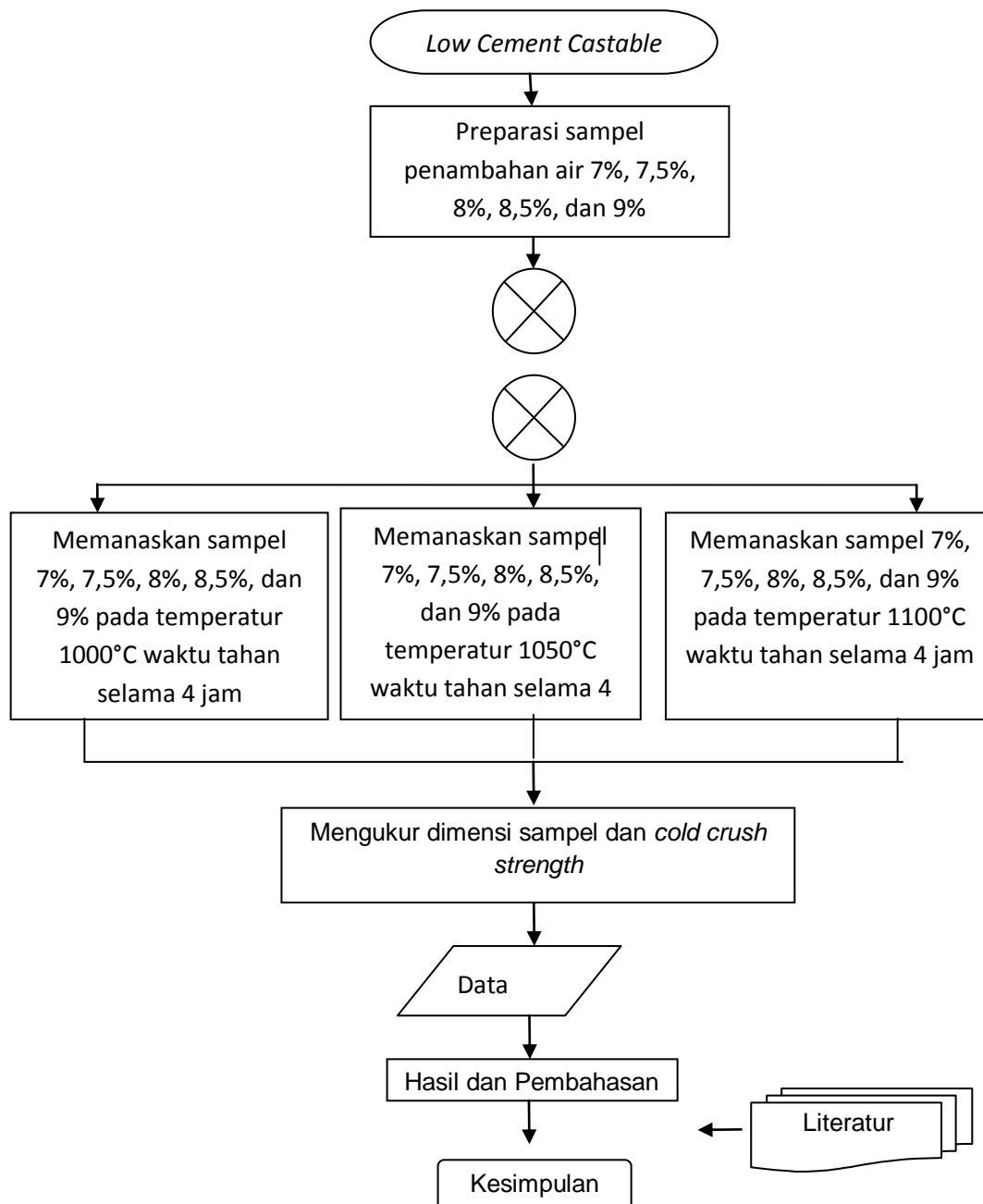
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

dicampurkan dengan menggunakan *mixer* selama ± 5 menit sehingga terlihat telah tercampur dengan homogen. Setelah tercampur homogen dimasukkan kedalam *cube mold* diatas *vibrating table*, lalu dibiarkan sampel mengeras ± 2 jam. Apabila sampel uji telah mengeras/ *setting* dibuka *cube mold* diukur dimensi ukuran dan ditimbang berat setiap sampel. Setelah diukur kemudian dikeringkan pada oven dengan

temperatur 105°C selama 8 jam. Setelah 8 jam dikeringkan kemudian ditimbang kembali tiap sampel kemudian dipanaskan di dalam *furnace* pada temperatur 1000°C , 1050°C , dan 1100°C selama 8 jam. Setelah dipanaskan sampel uji diukur dimensi dan berat dari tiap sampel kemudian dilakukan pengujian *cold crushing strength* dengan menggunakan *compact strength machine* [2].



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil yang dapat di lihat sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil data penelitian

Temperatur Pemanasan	Penambahan Air (%)	No. sampel	Densitas (kg/m ³)	CCS (N/mm ²)	PLC (%)	
					110°C	Setelah pemanasan
1000°C	7%	1	2515.7604	113.90	-0.56	-0.94
		2	2516.3553	116.13	-0.10	-0.43
		3	2497.3798	114.79	-0.16	-0.13
		Rata-rata	2509,8318	114.94	-0.27	-0.5
1000°C	7.5%	1	2527.3618	106.81	0.00	-0.26
		2	2533.8160	107.72	-0.03	-0.30
		3	2527.6026	111.07	0.00	-0.36
		Rata-rata	2529.5935	108.53	-0.01	-0.31
1000°C	8%	1	2510.9304	101.70	0.00	-0.33
		2	2517.0489	111.32	-0.07	-0.20
		3	2521.1198	105.24	-0.10	-0.37
		Rata-rata	2516.3663	106.09	-0.06	-0.30
1000°C	8.5%	1	2495.3734	92.62	0.00	-0.23
		2	2464.3859	92.16	-0.03	-0.34
		3	2500.2646	95.55	-0.13	-0.27
		Rata-rata	2486.6746	93.44	-0.06	-0.28
1000°C	9%	1	2433.6831	82.75	0.00	-0.10
		2	2386.9556	77.01	-0.10	-0.45
		3	2462.9968	69.56	0.00	-0.19
		Rata-rata	2427.8785	76.44	-0.03	-0,25
1050°C	7%	1	2433.4299	103.46	0.00	-0.19
		2	2467.6424	96.06	-0.06	-0.48
		3	2456.7107	105.36	0.00	-0.51
		Rata-rata	2452.5943	101.63	-0.02	-0.39
1050°C	7.5%	1	2438.2402	98.47	-0.13	-0.26
		2	2422.4216	92.20	-0.13	-0.20
		3	2431.2937	87.76	-0.14	-0.33
		Rata-rata	2430.6518	92.81	-0.13	-0.27
1050°C	8%	1	2436.5466	76.92	0.00	-0.20
		2	2426.7815	92.85	-0.03	-0.27
		3	2431.1176	86.75	0.00	-0.27
		Rata-rata	2431.4819	85.51	-0.01	-0.24



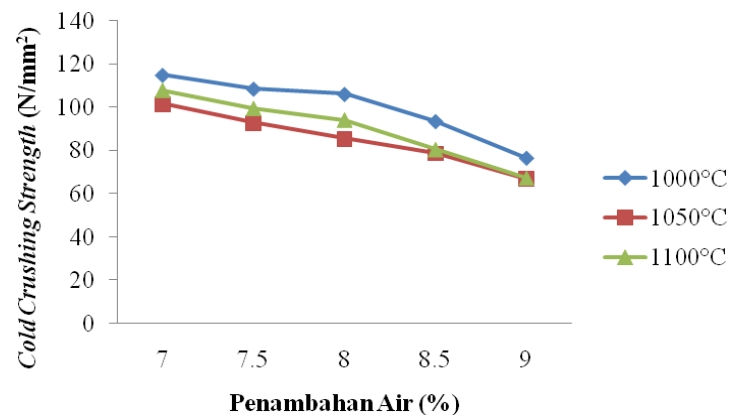
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon, 27 November 2014

1050°C	8.5%	1	2434.0525	76.27	0.00	-0.32
		2	2475.4428	79.97	-0.07	-0.07
		3	2413.8064	79.67	0.00	-0.26
Rata-rata			2441.1006	78.64	-0.02	-0.22
1050°C	9%	1	2364.8577	69.50	0.00	-0.06
		2	2348.5140	68.10	0.00	-0.16
		3	2429.8099	63.06	0.00	-0.29
Rata-rata			2381.0605	66.88	0.00	-0.17
1100°C	7%	1	2516.2784	111.61	-0.03	-0.30
		2	2466.4820	104.11	-0.03	-0.26
		3	2429.7917	107.72	-0.16	-0.69
Rata-rata			2448.1369	107.81	-0.07	-0.42
1100°C	7.5%	1	2464.4531	102.50	-0.10	-0.42
		2	2434.6768	105.04	-0.07	-0.26
		3	2432.9777	90.84	-0.22	-0.25
Rata-rata			2444.0359	99.46	-0.13	-0.31
1100°C	8%	1	2439.9297	99.40	-0.06	-0.16
		2	2465.6798	87.33	-0.17	-0.19
		3	2422.5158	95.77	-0.32	-0.27
Rata-rata			2442.7085	94.17	-0.18	-0.21
1100°C	8.5%	1	2431.7157	81.18	-0.07	-0.29
		2	2434.1537	84.89	-0.19	-0.16
		3	2436.2034	75.63	0.00	-0.06
Rata-rata			2434.0243	80.57	-0.09	-0.17
1100°C	9%	1	2405.4712	63.73	0.00	-0.10
		2	2387.4322	67.99	0.00	-0.13
		3	2293.2090	70.59	-0.07	-0.03
Rata-rata			2362.0374	67.44	-0.02	-0.09



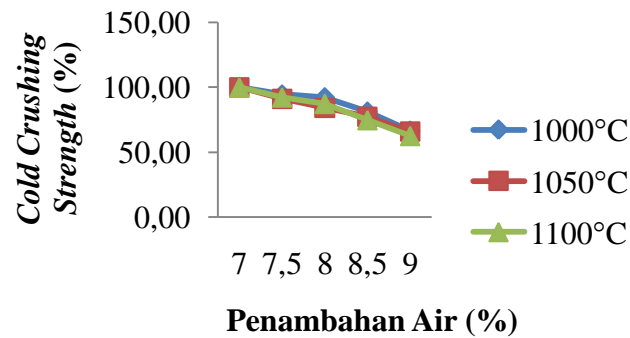
Gambar 2. Pengaruh penambahan air terhadap cold crushing strength



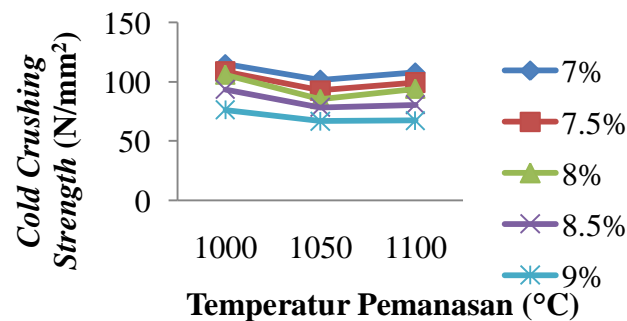
Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

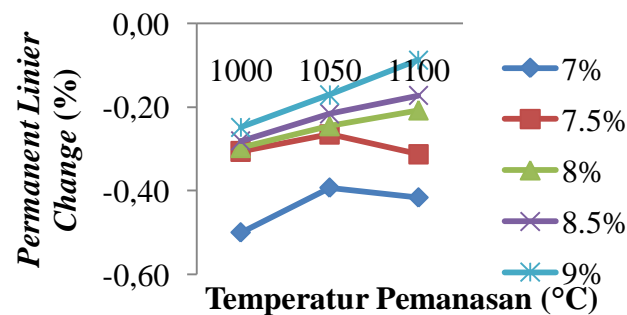
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014



Gambar 3. Pengaruh penambahan air terhadap persentase penurunan *cold crushing strength*



Gambar 4. Pengaruh temperatur pemanasan terhadap nilai *cold crushing strength*



Gambar 5. Pengaruh penambahan air dan temperatur pemanasan terhadap *permanent linier change*

4.2. Pembahasan

Refraktori *low cement castable* yang digunakan sebagai sampel termasuk material refraktori alumina tinggi dengan kandungan alumina sebesar 81%. Pada *low cement castable* ini penggunaan zat pengikat (*binder*) semakin berkurang sehingga pemakaian air akan semakin sedikit. Akan tetapi, untuk zat

tambahan (*additive*) ditambahkan lebih banyak [4].

Pencampuran dengan air dimaksudkan untuk mendapatkan sampel yang memiliki fluiditas yang cukup. Penambahan air yang banyak maka akan meningkatkan fluiditas *castable*, hal ini akan mengurangi kepadatan dari matriks karena ada pemisahan antara



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

agregat padat dan kasar. Apabila menambahkan air secara berlebih maka pada *castable* tidak akan tersebar secara merata, dan hal ini dapat menyebabkan mikrostruktur pada *castable* tersebut akan terdapat *porous* yang lebih banyak sehingga material refraktori sifat mekanisnya akan berkurang, akan lebih cepat aus, dan ketahanan terhadap korosi berkurang [3].

Penambahan air pada refraktori *low cement castable* merupakan salah satu indikasi kualitas dari bahan refraktori tersebut. Dengan penambahan air yang bervariasi maka akan menghasilkan nilai kuat tekan dingin atau *cold crushing strength* yang berbeda pula. Penambahan air yang digunakan sebesar 7%; 7,5%; 8%; 8,5%; dan 9%. Dengan penambahan air sebesar 0,5% pada sampel *low cement castable* dapat mempengaruhi besarnya nilai CCS. Nilai CCS akan cenderung semakin kecil dengan penambahan air yang lebih besar pada saat proses pencampuran. Pada Gambar 1. tersebut terlihat penurunan nilai *cold crushing strength* pada penambahan air yang lebih banyak.

Hal tersebut dikarenakan bahwa pada saat mencampurkan air dengan material refraktori *low cement castable* kemudian dicetak lalu dipanaskan pada temperatur 1000°C, 1050°C, dan 1100°C maka air yang terdapat pada sampel tersebut akan hilang menguap. Oleh karena itu, semakin besar penambahan air maka akan semakin banyak pori yang terbentuk didalam sampel, dan pori-pori tersebut dapat menyebabkan meningkatnya porositas dalam suatu material. Dengan terbentuknya porositas maka akan menurunkan kepadatan pada sampel. Pada saat diuji CCS sampel dengan porositas yang besar maka sampel tersebut akan tidak dapat menerima beban tekan yang besar sehingga didapatkan nilai CCS yang rendah. Oleh sebab itu adanya porositas dalam jumlah yang besar pada material refraktori sangatlah dihindari dikarenakan dapat menyebabkan *lining* pada suatu tungku akan mudah terjadi kerontokan/*spalling*. Material refraktori pada

tungku peleburan bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap terjadi retak dan kerontokan pada saat digunakan temperatur yang sangat tinggi dan bebankejut termal [9].

Penambahan air yang optimal untuk mendapatkan nilai CCS yang paling besar pada material refraktori *low cement castable* alumina tinggi dengan kadar 81% alumina dan setelah sampel dipanaskan pada temperatur 1000°C, 1050°C, dan 1100°C yaitu sebesar 7%, dan penambahan air yang mendapatkan nilai CCS terendah yaitu sebesar 9%. Sampel dengan penambahan air sebesar 7% setelah dilakukan pemanasan pada temperatur 1000°C nilai CCS yang didapatkan sebesar 114,94 N/mm², setelah dipanaskan pada temperatur 1050°C sebesar 101,63 N/mm², dan pada temperatur pemanasan 1100°C sebesar 107,81 N/mm². Sedangkan, pada sampel dengan penambahan air paling banyak yaitu 9% mendapatkan nilai CCS yang didapatkan sebesar 76,44 N/mm² setelah dilakukan pemanasan pada temperatur 1000°C, setelah dipanaskan pada temperatur 1050°C sebesar 66,88 N/mm², dan setelah sampel dipanaskan pada temperatur 1100°C didapatkan nilai CCS sebesar 67,44 N/mm².

Berdasarkan dari uraian hasil data penelitian di atas dapat memperlihatkan pengaruh penambahan air terhadap penurunan nilai CCS yang didapatkan. Dengan selisih penambahan air sebesar 2% pada sampel yang dipanaskan dengan temperatur 1000°C penurunan nilai CCS sebesar 33,5%, pemanasan pada temperatur 1050°C mengalami penurunan nilai CCS sebesar 34,19%, dan pemanasan pada tempertur 1100°C penurunan nilai CCS sebesar 37,45%.

Pemanasan merupakan salah satu tahapan untuk menguji suatu bahan refraktori disamping proses pencampuran dan kompaksi. Pada hasil penelitian terlihat bahwa pemanasan pada temperatur 1050°C terjadi penurunan nilai CCS akan tetapi pada pemanasan pada 1100°C mengalami kenaikan nilai CCS kembali. Pada material refraktori



Seminar Nasional Intergrasi Proses

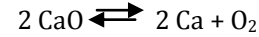
"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

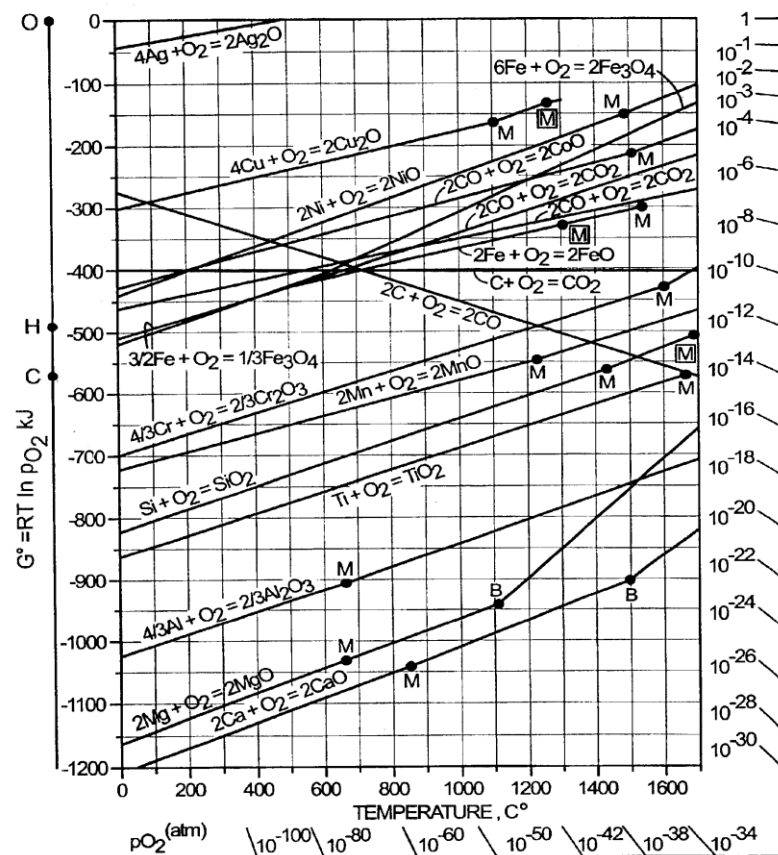
akan terbentuk tiga ikatan saat proses pencampuran dengan air sampai dipanaskan. Ketika air ditambahkan lalu dicampurkan akan mengikat partikel-partikel agregat secara bersama. Ikatan tersebut dinamakan ikatan hidrolitik. Pengertian ikatan hidrolitik yaitu ikatan yang terjadi antara air dengan semen dan agregat-agregat yang terdapat pada material refraktori. Semen yang terdapat pada sampel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan semen alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$). Dengan terbentuknya ikatan hidrolitik maka sampel akan mengeras pada temperatur ruang.

Pada saat proses pemanasan berlangsung ikatan hidrolitik ini akan terputus

dan akan membentuk ikatan kimia. Ikatan hidrolitik terputus dikarenakan titik leleh CaO yang terdapat dalam semen alumina yang digunakan yaitu CaO terletak pada temperatur $\pm 852^\circ\text{C}$. Dengan reaksi penguraian sebagai berikut:



Pada temperatur $\pm 852^\circ\text{C}$ semen CaO akan meleleh sehingga membentuk kapur (Ca). Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu berupa diagram Ellingham senyawa oksida. Pada diagram Ellingham terdapat symbol huruf M. Simbol ini menunjukkan bahwa besarnya titik leleh dari suatu logam.



Gambar 6. Diagram ellingham senyawa oksida

Refraktori *castable* memiliki kekuatan mekanis yang mengalami kenaikan saat dipanaskan hingga temperatur 1000°C . Akan tetapi, di atas temperatur 1000°C akan mengalami penurunan nilai CCS. Hal ini

terjadi dikarenakan pada temperatur tersebut ikatan hidrolitik sudah tidak ada didalam ikatan antar material refraktori sehingga kekuatan ikatan antar molekul akan semakin



Seminar Nasional Intergrasi Proses

"Penelitian dan Aplikasi Teknologi untuk Menunjang Proses dan Kebutuhan Energi Industri Kimia di Indonesia"

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, 27 November 2014

berkurang. Oleh sebab itu, nilai CCS akan semakin kecil.

Atom pembentuk refraktori memiliki ikatan yang kuat, berupa ikatan ionik, kovalen ataupun campuran keduanya. Akibatnya material refraktori memiliki titik leleh yang tinggi. Bahan baku material refraktori pada saat keadaan bahan mentah mengandung komposisi kimia yang tidak sama apabila dibandingkan setelah dilakukan pemanasan, dikarenakan akan terjadi reaksi kimia pada kondisi temperatur tinggi [2]. Oleh karena itu, di atas temperatur titik leleh CaO akan terbentuk ikatan kimia yang terjadi antara zat tambahan/*additive* dengan agregat-agregat yang telah berikatan satu dengan yang lain. Ikatan kimia terjadi pada pemanasan di atas 1050°C, dengan terbentuk ikatan kimia akan meningkatkan nilai CCS dari refraktori. Kekuatan mekanis dari refraktori *castable* akan meningkat kembali pada temperatur pemanasan 1100-1500°C [8]. Sedangkan, ikatan keramik akan terjadi pada temperatur pemanasan di atas 1800°C.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan material refraktori *low cement castable* alumina tinggi yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Penambahan air yang optimal untuk mendapatkan nilai *Cold Crushing Strength* (CCS) yang tertinggi yaitu sebesar 7% yaitu 114,94 N/mm².
- Pemanasan sampel yang optimal untuk mendapatkan nilai CCS tertinggi yaitu pada temperatur 1000°C.
- Semakin besar terjadi penyusutan pada sampel refraktori maka akan memiliki nilai CCS semakin besar.

- Penambahan air yang lebih sedikit maka akan terjadi penyusutan yang paling besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Daftar pustaka

- [1] Abeer Abdulqader Salih, *Efect of Steel Fibers on the Properties of Refractory Free Cement Concrete*, Baghdad, University of Baghdad, 2012.
- [2] Anonim., *ASTM C 133 Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories*, United States, ASTM International, 2003.
- [3] Charles A. Schacht, *Refractories Handbook*, Ohio, The Ohio State University Columbus, 2004.
- [4] Dedy Supriyadi, *Pelatihan Dasar-Dasar Refraktori*, Bogor, PT. Refratech Mandala Perkasa, 2011.
- [5] Desmond Josua Butar-Butar, *Perencanaan Tanur Busur Listrik dengan Kapasitas 25 Ton Baja Cair*, Sumatera Utara, Universitas Sumatera Utara, 2010.
- [6] Hadi Efendy, *Diktat Refraktori*, Cilegon, PT Mitra Sigma Sejati, 2005.
- [7] Hady Efendy, *Studi Antioksidan pada Refraktori MgO-C Monolitik dengan Bahan Pengikat Tar-Resin*, Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2008.
- [8] Johan Alandra, *Pengujian Sifat Temperatur Pelunakan Material Refraktori Silika (SiO₂) pada Lining Tungku Induksi Peleburan Besi Cor*, Semarang, Universitas Diponegoro, 2012.
- [9] Shackelford. James F., Robert H. Doremus, *Ceramic and Glass Materials*, California, Springer, 2008.
- [10] United Nations Environment Programme, *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri*, INDIA, GERIAP, 2006.