

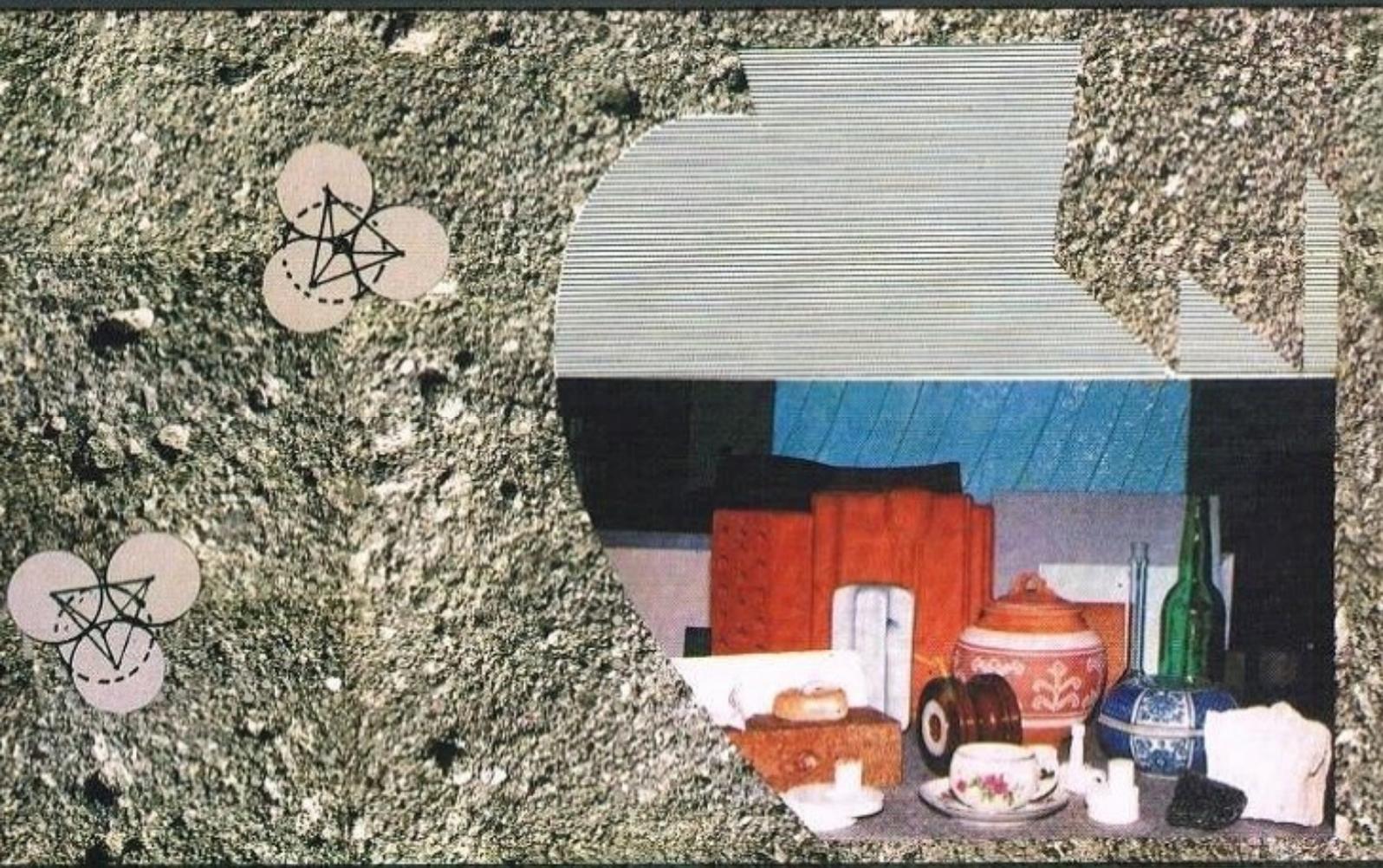
ISSN : 0854 - 5405



# *Jurnal* **KERAMIK DAN GELAS INDONESIA**

JOURNAL OF THE INDONESIAN CERAMICS AND GLASS

Vol. 26 No. 1. Juni 2017



KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN  
BADAN PENGKAJIAN KEBIJAKAN IKLIM DAN MUTU INDUSTRI

## **BALAI BESAR KERAMIK**

JKGI	VOL. 26	No. 1	Hal. 1 - 60	Bandung Juni 2017	ISSN 0854 - 5405
------	---------	-------	-------------	----------------------	---------------------

Terakreditasi No: 658/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

*Jurnal*

# **KERAMIK DAN GELAS INDONESIA**

JOURNAL OF THE INDONESIAN CERAMICS AND GLASS

**Vol. 26 No. 1 Juni 2017**

Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia adalah majalah ilmiah yang diterbitkan dua kali dalam setahun untuk menyebarluaskan hasil-hasil penelitian dan pengembangan serta ulasan ilmiah tentang keramik dan gelas kepada lembaga penelitian dan pengembangan, ilmuwan, dan peminat lainnya. Tulisan dalam Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia dapat dikutip dengan menyebutkan sumbernya.

**Penanggung Jawab**  
**Kepala Balai Besar Keramik**  
**Ir. Supomo, M.Sc**

**Tim Penilai Kelayakan/Mitra Bestari**  
**DR. Handoko Setyo Kuncoro, ST, MT, M.Eng, Ph.D**  
**Dr. Eneng Maryani, S.Si, MT**  
**Dra. Sri Cich Kurniasih, M.Si**  
**Drs. Fanani Hamzah, MS**  
**Dra. Naniek Sulistarihani, MS**  
**DR. Ir. Aristianto Muslim M. Barus, MSCE**  
**Dr. Diana Rakhmawaty E, M.Si**  
**Prof. Dr. Ir. Tarzan Sembiring**  
**Prof. DR. Ir. Bambang Sunendar Purwasasmita, M.Eng**  
**DR. Aditya Ramelan**  
**Drs. Suhandi**  
**Ir. Subari**

**Alamat**  
**Balai Besar Keramik**  
**Jl. Ahmad Yani No. 392 Bandung 40272**  
**Telp: (022) 7206221, 7207115, 7206296**  
**Fax: (022) 7205322**  
**e-mail: keramik@bbk.go.id**

Berdasarkan SK LIPI No. 818/E/2016 dan Nomor Akreditasi : 658/AU3/P2MI/LIPI/07/2016  
ditetapkan sebagai majalah berkala ilmiah terakreditasi

**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
1. Karakterisasi Sifat Magnetik dan Densitas Magnet Barium Ferit dengan Penambahan $MnO_2$ <i>Characterization of Magnetic and Density Properties on Barium Ferrite with <math>MnO_2</math> Addition</i> Ratih Resti Astari, Handoko Setyo Kuncoro, Didit Nur Rahman, Toni Kristiantoro	1-11
2. Pendekatan Statistik dengan ANOVA – Pengaruh Penambahan Limbah Kaca Teraktivasi Alkali dalam Semen Komposit <i>Statistical Method by ANOVA – The Effect of Waste Glass Activated Alkali Addition in Composite Cement</i> Ria Julyana Manullang dan T. Walkimi Samadhi	12-21
3. Enkapsulasi $Fe_3O_4$ dengan silika termodifikasi amina <i>Encapsulation of <math>Fe_3O_4</math> with amina modified silica</i> Robby Roswanda dan Didin Mujahidin	22-31
4. Orientasi pembentukan fasa mineral semen api dari komposisi dolomit-alumina <i>Orientation formation of the fire cement mineral phase from Dolomite-Alumina compositions</i> Abdul Rachman, Suhandha, Muhammad Syaifun Nizar	32-42
5. Kajian Teknoekonomi Produksi Bone Ash Sintetik <i>Study of Technoecomomic Synthetic Bone Ash Production</i> Abdul Rachman, Kristanto Wahyudi	43-60

## KATA PENGANTAR

Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia Vol.26 No.1 Juni 2017 ini menyajikan 5 (lima) makalah yang ditulis oleh peneliti Balai Besar Keramik dan instansi litbang lainnya. Makalah-makalah tersebut membahas tentang karakterisasi sifat magnetik dan densitas magnet barium ferit, pendekatan statistik ANOVA untuk semen komposit, enkapsulasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , orientasi pembentukan fasa mineral semen api, dan kajian teknoekonomi produksi *bone ash* sintetik.

Pada makalah pertama penambahan  $\text{MnO}_2$  dalam sintesis magnet barium ferit dilakukan dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Dari hasil pengujian XRD menunjukkan terbentuknya fasa barium ferit dalam sampel yang telah disintering pada suhu  $1175^\circ\text{C}$ . Sedangkan dengan pengujian SEM dapat diketahui bahwa penambahan  $\text{MnO}_2$  berpengaruh pada kerapatan partikel barium ferit.

Pada makalah kedua analisis statistik dengan analisis varians (ANOVA) dilakukan untuk menentukan pengaruh penambahan limbah kaca teraktivasi alkali terhadap kuat tekan mortar semen komposit. Berdasarkan ANOVA, kuat tekan semen dipengaruhi secara signifikan oleh efek utama dari variabel jenis alkali dan waktu kontak namun tidak dipengaruhi oleh efek interaksi antar dua variabel ini.

Pada makalah ketiga partikel oksida besi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dienkapsulasi dengan silika termodifikasi amina menggunakan metode Stober. Partikel yang dihasilkan kemudian bisa dimodifikasi lebih lanjut untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan kontrol medan magnet.

Pada makalah keempat pembentukan fasa mineral dari semen api jenis campuran kalsium aluminat dan magnesium aluminat telah dilakukan dari campuran bahan halus dolomit dan alumina. Sifat fisis dari kedua jenis semen api tersebut secara berturut-turut, densitas : 2,0 dan 2,5  $\text{gr/cm}^3$ , porositas 24,42 dan 52,23 %, pH 10 dan 8, kuat tekan 150 dan 160 kg/diameter benda uji 2 cm.

Pada makalah kelima perhitungan teknoekonomi telah dilakukan untuk mengetahui kelayakan produksi *bone ash* sintetik. Kriteria finansial yang didapatkan secara berurutan, NPV pada tahun ke-5 sebesar Rp. 557.517.242,27,- , IRR sebesar 18,36 %, BCR sebesar 1,135, BEP unit : 982.774 kg, BEP penjualan : Rp. 15.724.389.020,- dan *Payback Period* adalah 3,08 tahun.

Hasil penelitian dan kajian di atas diharapkan dapat menyumbangkan kemajuan teknologi keramik di Indonesia, sehingga tidak terlalu tertinggal dengan kemajuan teknologi keramik di negara lain.

Redaksi

## ORIENTASI PEMBENTUKAN FASA MINERAL SEMEN API DARI KOMPOSISI DOLOMIT-ALUMINA

*Orientation formation of the fire cement mineral phase from Dolomite-  
Alumina compositions*

Abdul Rachman, Suhanda, Muhammad Syaifun Nizar

Balai Besar Keramik, Jl. Jendral Ahmad Yani 392 Bandung 40272

e-mail: nizar@kemenperin.go.id

Naskah masuk: 5 Mei 2017, Revisi 1: 30 Mei 2017, Diterima: 8 Juni 2017

### ABSTRAK

Pembentukan fasa mineral dari semen api jenis campuran kalsium aluminat dan magnesium aluminat telah dilakukan dari campuran bahan halus dolomit dan alumina. Komposisi ditetapkan secara silang dengan sistem perbandingan berat [75, 50, 25 : 25, 50, 75] %, dengan kondisi dan pembakaran konstan pada temperatur 1200 °C. Karakterisasi terhadap contoh uji hasil pembakaran meliputi XRD, analisa kimia dan analisa fisis; yang menunjukkan terbentuknya fasa mineral utama dari kalsium aluminat, magnesium aluminat dan bebasan alumina. Jenis dan tingkat kestabilan fasa kalsium aluminat lebih bervariasi terhadap komposisi dibanding fasa magnesium aluminat; antara lain membentuk grossit ( $\text{CaAl}_2\text{O}_7$ ) untuk kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  berlebih [kode C] dan  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_6$  untuk kandungan CaO berlebih [Kode A]. Sifat fisis dari kedua jenis semen api tersebut secara berturut-turut, densitas : 2,0 gr/cm<sup>3</sup> dan 2,5 gr/cm<sup>3</sup>, porositas 24,42 % dan 52,23 %, pH 10 dan 8, kuat tekan 150 kg/diameter benda uji 2 cm dan 160 kg/diameter benda uji 2 cm. Tujuan dari orientasi pembentukan fasa mineral semen api tersebut adalah untuk memberi pengarahannya sistem pembentukan semen api campuran CA / MA dari dolomit alumina dalam sistem [CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] yang terkontrol secara mineralogi dan fisis.

**Kata Kunci:** semen api CA / MA, fasa mineral, dolomit, alumina, kestabilan, mineralogi.

### ABSTRACT

The formation of the mineral phase of fine cement type mixture of calcium aluminate and magnesium aluminate has been made of a mixture of fine dolomite and alumina materials. The composition defined by cross system comparisons (75, 50, 25 : 25, 50, 75) % with the conditions and constant firing temperature 1200°C. Characterization of the test sample fired product include XRD, chemical analysis, and physical analysis, which showed the formation of the main mineral phases of calcium aluminate,

*magnesium aluminate and free alumina. The type and level of calcium aluminate phase stability of the composition is varied than magnesium aluminate phase; among the others forming grossit ( $\text{CaAl}_4\text{O}_7$ ) for  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content of excess (code C) and  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_6$  for excess CaO constant (code A). Physical properties of the two types of cement fine in succession, the density are 2,0 and 2,5  $\text{g}/\text{cm}^3$ , the porosity are 24,42 and 52,23 %, pH 10 and 8, the compression strength are 150 and 160 / 2 cm diameter of test pieces. The selected composition (C) is the best of the cement product made of dolomit -alumina. The purpose of the orientation of fire cement mineral phase formation, is to give direction forming system fire cement mixture CA / MA of dolomit alumina in the system ( $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ ) is controlled minerology and physics.*

**Keywords:** fire cement CA / MA, mineral phase, dolomit, alumina, castable, minerology.

## I. PENDAHULUAN

Peran semen api dalam refraktori kastabel merupakan faktor penting terhadap kualitas dan unjuk kerja produk refraktori untuk sarana tungku industri pengecoran logam<sup>[1,2]</sup>. Dewasa ini, penggunaan dan kebutuhan produk keramik refraktori monolitik seperti kastabel telah berkembang cukup pesat, baik segi kualitas maupun kuantitas.

Beberapa sifat bahan atau produk mengalami modifikasi yang mengarah ke rekayasa bahan, teknik pencampuran dan penambahan bahan aditif aktif. Di lain pihak dilakukan substitusi penggantian dan pengurangan jumlah semen api selain produk kastabel menurut takaran tertentu. Istilah produk yang dihasilkan

dikenal dengan nama LCC (*Low Cement Castable*) dengan kandungan semen dikurangi hingga sebesar 2% - 8% atau kadar CaO sebesar 1,0% - 2,5%; ULCC (*Ultra Low Cement Castable*) dengan kadar CaO < 1%; dan juga NCC (*No Cement Castable*)<sup>[2,3]</sup>.

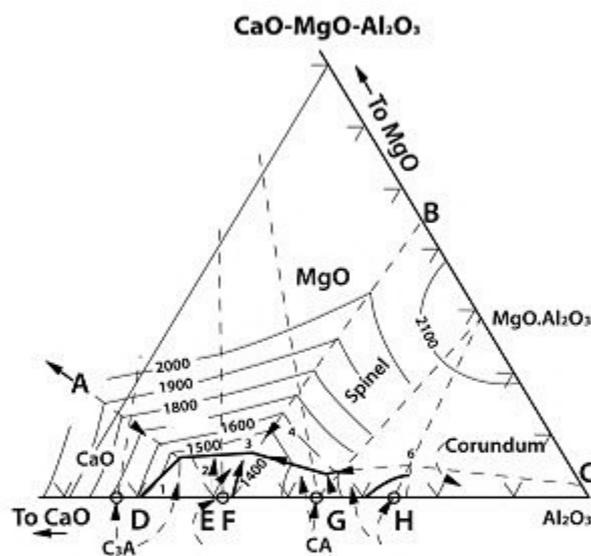
Untuk mengimbangi sifat fungsi sebagai perekat (semen) yang tereduksi ini, dikembangkan teknik baru dengan melibatkan sistem "*particel packing*" dan "*interaction fine reactive filler*" seperti dengan spinel ( $\text{MgOAl}_2\text{O}_3$ ), silika *fume*, alumina halus reaktif, krom, magnesia, fosfat, dan lain sebagainya. Aspek ini secara optimal mengatur distribusi partikel dari refraktori kastabel dan pembentukan senyawa aktif antar partikel yang mampu mengurangi

kandungan air sehingga akan meningkatkan kepadatan massa dan memperbaiki sifat mekanis<sup>[4]</sup>. Penggantian atau pengurangan kadar kalsium aluminat (CA) dengan penambahan atau peningkatan kadar magnesium aluminat (MA) (spinel) akan memberi kemungkinan perbaikan sifat dari refraktori kastabel, antara lain : meningkatkan ketahanan korosi dan erosi dari *slag*, ketahanan kejut suhu, ketahanan api, kuat mekanis pada temperatur rendah dan tinggi, kekerasan, ketahanan kimia terhadap *slag* asam maupun basa dan memiliki densitas yang rendah<sup>[5,6]</sup>.

Pembentukan dua jenis semen sekaligus dalam campuran bahan dapat membuka peluang ditemukannya sumber jenis baru, yang memiliki sifat penggunaan yang khusus. Tujuan penelitian ini untuk memberi gambaran atau arah mekanisme pembentukan dari fasa mineral semen api berdasarkan variasi komposisi dan temperatur yang ditetapkan sehingga nanti dapat mendorong pembentukan produk semen api jenis baru dengan proses

yang terkontrol secara minerologi. Pada penelitian ini disajikan orientasi pembentukan jenis semen api CA dan MA, dari campuran bahan dolomit-aluminat. Menurut sistem komposisi (CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Berdasarkan diagram fasa sistem (CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), pembentukan fasa gabungan dari CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki perbedaan yang sangat mencolok dan terbatas, baik terhadap variasi temperatur maupun variasi komposisi komponen dasar. Sistem CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, memberikan fasa kristal yang polimorf membentuk macam-macam fasa gabungan seperti CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(CA), C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>A<sub>s</sub> dan C<sub>5</sub>A<sub>3</sub>. Sedangkan sistem MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hanya membentuk satu macam fasa kristal (monomorf) dari MA atau (MgOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Secara normal keseluruhan fasa mineral yang terbentuk dalam sistem (CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) adalah (CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (5CaO.3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (3CaO.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (MgO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan fasa bebasan dari kapur (CaO), periklas (MgO) dan korundum (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>[7]</sup>.



Gambar 1. Sistem  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$   
( $\text{C}=\text{CaO}$ ,  $\text{M}=\text{MgO}$ , dan  $\text{A}=\text{Al}_2\text{O}_3$ )

## II. METODOLOGI

### II.1 Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang dipergunakan terdiri dari bahan alam dolomit dari daerah Trenggalek Jawa Timur dan bahan alumina teknis A12 dari Jepang. Spesifikasi bahan tersebut tercantum dalam Tabel 2.

Peralatan proses dan karakterisasi meliputi alat proses skala laboratorium seperti alat gelas, timbangan, *pot mill* kapasitas 5 kg dan ayakan standar dengan ukuran 100 mesh, 200 mesh, 300 mesh serta alat pembentukan lainnya.

Alat karakterisasi yang dipakai adalah XRD untuk menganalisis fasa mineral dan alat uji fisis lainnya.

### II.2 Metoda

#### II.2.1 Penyiapan contoh uji.

Sejumlah bahan kering dihaluskan dengan *pot mill* sampai ukuran butir lolos 300 mesh, dibentuk dengan ukuran diameter 2 cm. Pembakaran contoh uji dilakukan pada temperatur  $1200^\circ\text{C}$  dengan total waktu 10 jam. Rancangan komposisi untuk pembuatan fasa mineral semen api dari dolomit aluminat dapat dilihat Tabel 1.

#### II.2.2 Karakterisasi

Contoh uji yang telah dibakar  $1200^\circ\text{C}$  dihaluskan sampai ukuran lolos 300 mesh dan analisis fasa mineralnya memakai XRD yang pelaksanaannya dilakukan di laboratorium teknik ITB. Untuk pengujian fisis, meliputi uji densitas, porositas, kekerasan, kuat mekanis, uji pH dan lain-lain, dilakukan di laboratorium Balai Besar Keramik Bandung.

Tabel 1. Rancangan komposisi semen api dari dolomit-alumina

No	Kode Contoh	Dolomit, (% berat)	Alumina, (% berat)
1	A	75	25
2	B	50	50
3	C	25	75

Catatan : kondisi atau variabel lain ditetapkan secara konstan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### III.1 Karakteristik kimia bahan baku

Sebagai bahan baku pembuatan semen api CA / MA digunakan dolomit dan alumina dengan komponen kimia tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Komponen kimia dolomit dan Alumina (A12)

No	Komponen Kimia	Dolomit, %	Alumina, %
1	SiO <sub>2</sub>	0,2	8,5
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	82,5
4	MgO	18,50	
5	CaO	31,50	
6	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	1,4
7	Na <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> O	-	-
8	Hilang Pijar	48,85	-

Dari Tabel 2, hasil analisa kimia menunjukkan kadar komponen utama CaO 31,5 %; MgO 18,5 %; dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 82,5 %.

Pembentukan komposisi semen api jenis CA/MA, dapat dihitung secara stokiometri atau dengan dihitung dari perbandingan komposisi dolomit dan aluminanya seperti tercantum dalam Tabel 1. Pengaruh bahan pengotor dari kedua komponen bahan ini cukup kecil dan dapat diabaikan selain itu diharapkan dapat bertindak sebagai penetralisir. Pengaruh fisis lainnya seperti ukuran butir dan distribusi ukuran butir juga

dapat diabaikan karena diproses secara tetap. Pengotor utama dari kedua bahan tersebut adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan total jumlah sekitar 1,5% yang memberikan sedikit pengaruh terhadap warna dan suhu ketahanan api. Adanya pengotor SiO<sub>2</sub> sebesar 8,5 % dari bahan baku alumina (A12) akan memberikan fasa mineral ikutan untuk alumino-silikat (*muller*) atau CaO-SiO<sub>2</sub>. Namun demikian kadarnya cukup kecil dan tidak dapat terdeteksi secara mineralogi.

#### III.2 Karakteristik Kimia Komposisi Semen Api

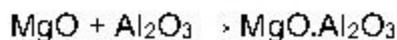
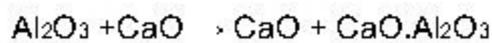
Berdasarkan hasil analisa kimia terhadap variasi komposisi secara silang dalam Tabel 1, komponen kimia dari ketiga variabel tersebut dapat diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komponen Kimia dari Komposisi Semen Api dari Dolomit- Alumina

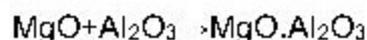
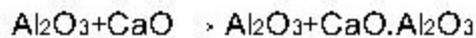
No	Komponen Kimia	A, %	B, %	C, %
1	SiO <sub>2</sub>	1,12	0,65	0,52
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,48	45,59	53,28
3	CaO	50,05	33,34	27,69
4	MgO	15,80	10,10	7,75
5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-
6	Na <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> O	2,47	1,84	2,43
7	Hilang Pijar	12,03	8,48	8,33

Komponen utama CaO, MgO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari komposisi semen api

mengikuti sistem silang dengan peningkatan kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diimbangi dengan penurunan kadar  $\text{CaO}$  sehingga membentuk takaran senyawa atau fasa mineral yang dapat di pelajari secara terkontrol. Untuk kode A fasa mineral atau senyawa yang terbentuk akan mengikuti mekanisme persamaan reaksi :



dengan pergeseran komposisi reaksi dari komponen kimia yang dapat dihitung menurut sistem silang menjadi komposisi C yang akan mengikuti mekanisme reaksi :



Kecenderungan reaksi tersebut diatas tergantung dari komponen yang dominan terhadap  $\text{CaO}$  atau  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sedangkan sesuai dengan pustaka G. A. Rankin dan H.E. Merwin, J. Am. Chem. Soc., 96 309 (1916), diagram fasa  $\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3$  tidak mengalami reaksi polimorfisasi tapi hanya membentuk fasa tunggal dari  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (spinel) untuk bentuk gabungan atau komposit dengan bebasan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{MgO}$  yang dikenal dengan nama spinel stokiometri, spinel korundum dan spinel magnesia. Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa

komponen pengotor cukup kecil yaitu sekitar 1,5 % dan dapat bertindak sebagai katalisator yang mempercepat pembentukan mineral.

Seperti diketahui bahwa dengan terbentuknya spinel ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) dalam campuran dapat meningkatkan kualitas dari semen api tersebut. Saat ini, spinel (magnesia-aluminat) secara khas dikembangkan penggunaannya dalam campuran kastabel, terutama untuk kastabel alumina tinggi dalam memperbaiki sifat panas, kejut suhu, ketahanan penetrasi *slag*, dan fungsi agregat spinel untuk membatasi masuknya *slag*. Adanya bebasan semen api tersebut merupakan komponen kunci dalam perannya untuk penelitian reologi dari kastabel terdeflokulasi. Lebih lanjut alumina bebasan ini ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  reaktif) akan mempengaruhi secara kuat terhadap tingkat pengembangan sintering dan kekuatan pada suhu tinggi. Dalam sistem  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan aksi peleburan dari alumina pada dolomit. Suatu hal yang menarik untuk diketahui, larutan padat masing-masing oksida ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ) memberikan penurunan suhu dengan meningkatnya perbandingan ( $\text{MgO}:\text{CaO}$ ). Senyawa antara  $\text{CaO}$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tidak membentuk larutan

padat dengan MgO dan CaSiO<sub>3</sub> (pengotor) sehingga proses pembentukan fasa CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tidak membentuk larutan padat dengan MgO. MgO secara bebas dan tersendiri membentuk MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (spinel). Pada diagram fasa terbukti bahwa fasa mineral kalsium aluminat memiliki beberapa bentuk gabungan (polimorf) antara lain grossit (untuk kode C) dan Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (untuk kode A) dan lain sebagainya.

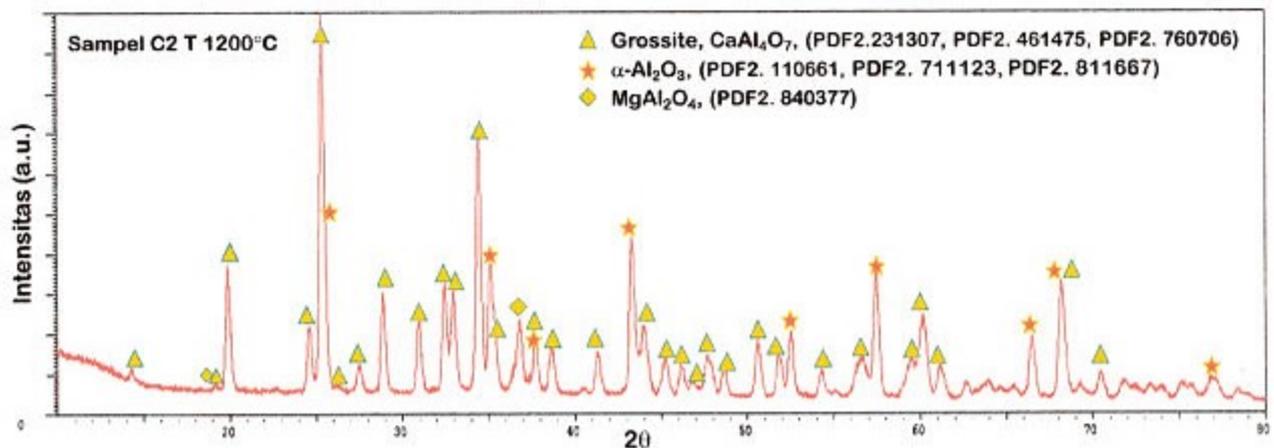
Selain itu kecenderungan CaO bergabung dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bervariasi tersebut kemungkinan juga terhadap yang lainnya, seperti MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. Sebaliknya MgO hanya memberikan pembentukan fasa tunggal terhadap Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, membentuk MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spinel diantara senyawa

kombinasi dari CaO terhadap Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> dan MgO seperti (2CaO.SiO<sub>2</sub>), (2MgO.SiO<sub>2</sub>), (MgO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (CaO.MgO.SiO<sub>2</sub>) dan lainnya. Untuk kadar pengotor Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> dan lain-lain dalam bahan baku yang cukup kecil, senyawa tersebut diatas tidak terjadi (tidak terdeteksi). Kecenderungan adanya bebasan MgO sangat kecil kemungkinannya.

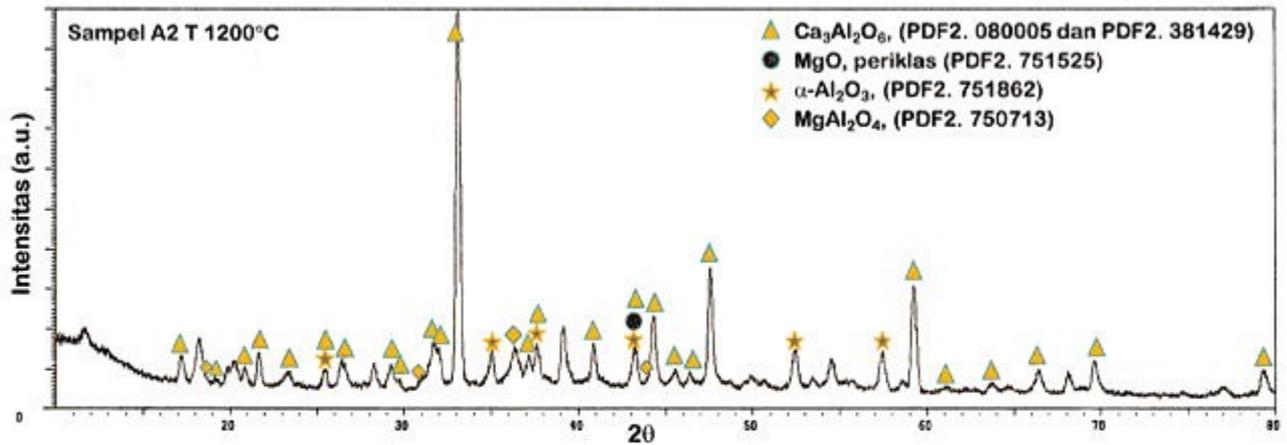
### III.3 Karakteristik Mineral Komposisi Semen Api

Berdasarkan hasil reaksi mineral dengan XRD untuk contoh uji kode A dan C dengan perbedaan komposisi secara silang maka dapat ditunjukkan difraktogram XRD dalam Gambar 1 dan Gambar 2.

Gambar. 1 Difraktogram XRD sampel C2

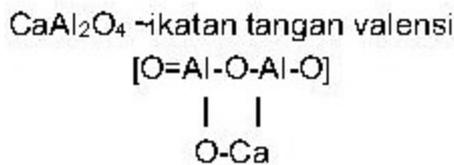


Gambar. 2 Difraktogram XRD sampel A2



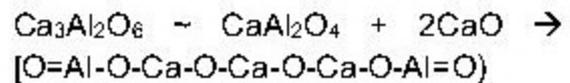
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  ~ ikatan tangan valensi  
 $[\text{O}=\text{Al}-\text{O}-\text{Ca}-\text{O}-\text{Al}=\text{O}]$   
 ( $\text{CaAl}_2\text{O}_4 + 2\text{CaO}$ )

Normal kalsium aluminat :

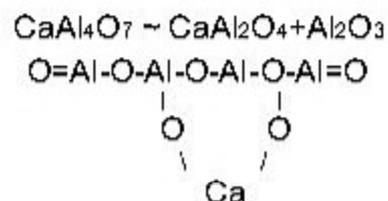


Dari difraktogram terlihat bahwa fasa mineral utama yang terbentuk dan muncul dengan intensitas yang cukup tajam dari kalsium aluminat dan magnesium aluminat dan bebasan korundum atau periklas (MgO). Untuk kode contoh A dengan bebasan korundum atau alumina, fasa mineral yang terbentuk adalah kalsium aluminat jenis  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  dan  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (spinel) pada daerah  $2\theta$  berturut-turut =  $33^\circ$ ,  $48^\circ$  dan  $59^\circ$  untuk spinel pada daerah  $2\theta$  =

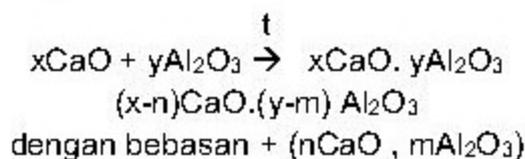
$36,5^\circ$ ;  $44^\circ$  dan  $31^\circ$ , sedang bebasan korundum pada daerah  $2\theta$  =  $38^\circ$ ;  $52,5^\circ$ ; dan  $57,5^\circ$ . Secara ikatan valensi struktur mineral yang terbentuk :



Untuk kode contoh C, fasa mineral yang terbentuk adalah grossit,  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$  dan  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  pada daerah  $2\theta$  berturut-turut =  $25,5^\circ$ ;  $34^\circ$ ;  $44,5^\circ$ ; dan  $31^\circ$ . Mineral bebasan yang cukup besar jumlahnya adalah korundum pada daerah  $2\theta$  =  $26^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $43^\circ$ , dan  $57,5^\circ$ . Secara ikatan valensi struktur mineral yang terbentuk :



Kedua jenis fasa mineral untuk kedua contoh komposisi masih memiliki ikatan normal valensi belum bertransformasi menjadi ikatan kovalen oktet. Hal ini disebabkan oleh temperatur pembakaran yang masih rendah. Pada temperatur yang lebih tinggi kemungkinan sistem struktur ikatan oktet tercapai. Untuk jenis fasa mineralnya dapat dikenal pada diagram fasa sistem (CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yaitu tergantung dari perbandingan komponen kimia utama dan temperatur pembakarannya, dengan rumus umum :



Berdasarkan fasa mineral yang terbentuk, kode A cenderung membentuk kalsium aluminat dengan bebasan dari CaO, dalam bentuk gabungan mineral (grossit CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub>). Seperti telah dijelaskan sebelumnya tidak ada kecenderungan terbentuk gabungan mineral (CaO-MgO) dalam suatu konsep teori. Keberadaan CaO yang berlebih akan cenderung terdifusi ke dalam mineral utamanya sendiri dari sistem (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dengan bermacam mineral bentukan (polimorf) dan tergantung dari perbandingan (CaO:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Demikian

juga untuk kode C dengan bebasan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nya akan terbentuk bermacam-macam mineral dan tergantung dari perbandingan (CaO:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan atau perbandingan [Ca : (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO)] atau [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)].

#### III.4 Karakteristik Fisis Semen Api Campuran

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada III.2 karakteristik kimia dari semen api yang memiliki beberapa bentuk fasa mineral yaitu semen api jenis CA yang kaya dengan CaO dan semen api jenis CA yang kaya dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , karakteristik fisis yang di uji terlihat pada Tabel 4

Tabel 4. Sifat fisis dan mekanis dari semen api campuran dolomit-aluminat

No	Perlakuan	A	C
1	Densitas g/cm <sup>3</sup>	2,0	2,5
2	Kuat tekan kg/ 2 cm diameter benda uji	160	160
3	Porositas / peresapan air, %	52,23	24,42
4	pH larutan	10	8

Pada komposisi yang banyak mengandung CaO bebas (dolomit), untuk kode A cenderung memberikan harga porositas (peresapan air) yang tinggi, densitas yang kecil, sehingga harga kuat tekan yang lebih kecil

(kgf). Disamping itu pada harga CaO yang tinggi, akan memiliki harga pH yang tinggi. Ketentuan ini biasanya berlaku untuk suhu pembakaran yang normal (1200°C), pada suhu tersebut sistem pembentukan mineral sudah mencapai optimal, akan tetapi karakteristik fisis masih terus berubah sampai batas terakhir kondisi "massa sinter". Oleh karena itu, sistem orientasi pembentukan mineral dari sistim komposisi silang dianggap tetap pada jenis tertentu yang telah disebutkan diatas. Pada komposisi kode C, dengan kadar bebasan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang lebih besar, karakteristik fisis cenderung agak padat (rapat) dengan porositas (penyerapan air) dan densitas yang lebih besar, demikian juga adanya bebasan CaO yang lebih kecil, sehingga harga pH yang lebih kecil dan koefisien A. Secara keseluruhan dari dua jenis komposisi yang di coba maka komposisi C merupakan jenis produk semen dolomit-alumina yang cukup baik.

#### IV. KESIMPULAN

Fasa mineral yang terbentuk pada semen api yang dibuat dari campuran dolomit-alumina atau dalam sistem (CaO-MgO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada temperatur perubahan adalah 1200°C

kalsium aluminat dengan struktur mineral bervariasi untuk jenis Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (kode A) dan grossit CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub> tergantung dari perbandingan komposisi bahan prekursornya, sedangkan jenis mineral magnesium aluminat tidak mengalami perubahan struktur pada perubahan komposisi maupun perubahan temperatur pembakaran. Jenis mineral bebasan untuk kondisi percobaan didominasi oleh alumina (korundum) dan kalsia. Komposisi C, berdasarkan sifat mineral dan fisis merupakan komposisi yang terbaik dari jenis semen campuran tersebut. Terbentuknya dua jenis semen api pada komposisi campuran dolomit-alumina diharapkan akan memberikan peningkatan pada kualitas produk maupun peningkatan atau perbaikan dalam sifat penggunaannya, sebagai perekat kastabel pada tungku industri pengecoran logam.

#### V. SARAN

Untuk menghasilkan jenis semen api yang berkualitas dari semen campuran CA / dalam penggunaannya sebagai campuran kastabel, maka perlu ditindak lanjuti pengembangan dalam aspek proses, kualitas, dan ekonomis, sehingga

akan tercapai produk baru semen campuran yang memiliki potensi yang baik secara komersial terhadap pemanfaatan muatan lokal bahan baku dalam negeri.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada saudara Rifki Septawendar yang telah membantu dalam penulisan karya tulis ilmiah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Chester J.H., et al., "*Steel Plant Refractories*", The Iron Institute, London, Hlm. 241, 1971.
2. Sangkaranayanane R. and Singh P., "Rheology and Physical of Self Flow Castables Containing Polypropylene Fibre", *Interceram* 51, 52-55, 2002.
3. Suropto, "Penambahan Spinel pada Komposisi Kastabel Alumina Tinggi untuk Bahan Pelapis Bagian Dinding Ladel Baja", *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia* Vol 12, 2003.
4. Jargar H.R., Boyaki M.R., et al. "Influence of nano dolomite of solid state reaction of alumina and magnesia", *Journal of alloys and compounds* Vol. 507, 443-447, 2010.
5. Ganes I. et al, "Fabrication Magnesium aluminate Spinel foams", *Ceramic International* Vol 37, 2237-2415, 2011.
6. Karsono dkk, Laporan Teknis DIPA BBK, Sintetis nano Spinel Submikron Spinel sebagai campuran Flow Cement Castable Tahan Slag, 2014.
7. Rankin G.A., et al, System CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase diagram, *anog. u. allgem Chem*, 99, 308.