

CHARACTERIZATION AND COBALT DISTRIBUTION STUDY OF CERAMIC BODY SYSTEM : BOJONEGORO CLAY- FELDSPAR – QUARTZ

Karakterisasi dan Studi Sebaran Kobalt Sistem Badan Keramik Lempung Bojonegoro – Feldspar – Kuarsa

Rohmat Sulistya^a, Djoko Hartanto^b and Irimina Kris Murwani^{b,*}

^a Vocational Education Development Centre for Arts and Craft, Jl Kaliurang km 12,5 Sukoharjo, Sleman 55581

^a Magister Program of Chemistry, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

^b Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Received 1 March 2006; Accepted 4 April 2006

ABSTRACT

The quality improvement of Bojonegoro Clay and the cobalt distribution on the surface of ceramic body system have been studied. The ceramic body system consists of Bojonegoro Clay, feldspar and quartz is optimized using a triaxial blend method. About 6 compositions among 15 compositions of synthesized ceramic bodies can be casted in plastic condition with plastic limit between 22 and 30%. It has been obtained that the optimum composition of the ceramic body is 57% clay, 14.5% feldspar, 28.5% quartz with the total shrinkage is 7 % and the modulus of rupture is 18.23 N/mm². Cobalt is distributed homogenously on the optimum ceramic surface with 0.3 mm depth at optimum glaze firing temperature (1050 °C).

Keywords: Bojonegoro Clay, feldspar, quartz, ceramic body, cobalt distribution.

PENDAHULUAN

Industri keramik tradisional di Indonesia terutama berupa industri *whiteware* dan industri keramik gerabah, yang nilai total perdagangan mencapai 5 triliun rupiah [1]. Pada industri keramik besar badan keramik yang digunakan merupakan campuran kaolin, felspar, kuarsa dan aditif lain yang telah diuji sebelumnya. Pada industri keramik tradisional pengujian terhadap badan yang digunakan sering kali tidak dilakukan, sehingga tidak diketahui sifat-sifat badan secara kuantitatif, bahkan tidak jarang kualitasnya tidak memenuhi standar. Banyak industri keramik yang bahan badan keramik hanya lempung lokal, salah satunya adalah Lempung Bojonegoro. Kelemahan lempung ini adalah susut yang besar, cepat matang, kekuatan mekanik pada kondisi *greenware* yang rendah.

Kombinasi bahan mineral pembentuk badan keramik sangat menentukan karakteristik badan keramik yang dihasilkan [2,3]. Hal ini dikarenakan masing-masing mineral pembentuk mempunyai sifat fisika dan kimia yang spesifik.

Perbaikan karakter lempung lokal Bojonegoro, dilakukan dalam penelitian ini dengan sistem campuran yang tersusun dari Lempung Bojonegoro (*local clay*) – feldspar – kuarsa. Sistem ini pada umumnya digunakan pada campuran badan porselen. Lempung merupakan *forming agent* karena sifatnya yang plastis. Feldspar adalah sumber Si, Al, dan logam alkali sebagai fluks [2], sedangkan kuarsa sebagai sumber Si berfungsi untuk

mengurangi susut dan meningkatkan kekuatan badan kering (*green ware*). Hasil pengamatan sistem ini akan didapatkan komposisi badan keramik yang optimal.

Produk-produk keramik umumnya dilapisi glasir sebagai tahap penyelesaian akhir (*finishing*). Glasir diberi aditif senyawaan logam (oksida atau karbonat) untuk memunculkan efek warna [3]. Salah satu contoh unsur logam yang digunakan adalah kobalt (Co), yang dapat memberi warna biru pada glasir. Warna ini populer untuk mewarnai produk keramik benda seni, genting, dan ubin. Belum diketahui secara jelas interaksi dan kelakuan logam oksid khususnya kobalt terhadap badan keramik. Distribusi kobalt di atas permukaan badan keramik sering tidak merata. Pengamatan fenomena perpindahan masa kobalt dari matriks glasir ke badan keramik diharapkan dapat menerangkan kesesuaian badan keramik dan sebaran kobalt.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah lempung yang diambil dari Bojonegoro, feldspar dari Jepara, kuarsa dari Bangka, Transparent Soft Glaze (TSG), CoO dan air (pelarut/pensuspensi). Ukuran semua bahan dibuat 100-120 mesh.

* Corresponding author.
Email address : irimina@chimie.its.ac.id (I.K. Murwani)

Alat

Peralatan dan instrumentasi yang digunakan meliputi rak pengering, TechnoKiln, spektroskopi serapan atom (Shimadzu), X Ray Diffraction (LabX XRD-6000 Shimadzu, Tube=Cu $K\alpha$ 1.5406Å), Differential Thermal Analysis/Thermography Analysis-DTA/TG (Setaram Setsys-1750), alat modulus patah (SNI 0256-1989-A)

Prosedur Kerja

Dibuat 15 komposisi lempung-feldspar-kuarsa. Bahan baku dianalisis lebih dahulu metode spektroskopi serapan atom dan *X Ray Diffraction* untuk mengetahui komposisi unsur dan jenis mineral dalam bahan. Pada masing-masing komposisi yang dibuat ditambahkan air sampai mencapai kondisi plastis. Kemudian ubin dengan ukuran 7 x 3 x 1 cm dibuat sebanyak 20 batang untuk setiap komposisi dan dikeringkan. Pengeringan dilakukan di atas rak pengering pada temperatur kamar. Karakteristik pengeringan dilakukan dengan mencatat pengurangan berat dan ukuran ubin setiap 2 jam. Setelah kering badan keramik dibakar sampai temperatur sintering dengan TechnoKiln. Temperatur sintering ditentukan dengan *Differential Thermal Analysis/Thermography Analysis-DTA/TG*. Susut total diamati dengan mengukur panjang sampel, modulus patah diuji dengan alat modulus patah. Pengamatan terhadap transformasi unsur/mineral dilakukan dengan analisis XRD badan keramik pada temperatur pembakaran 600, 900 dan 1000 °C.

Glasir yang terbuat dari TSG dan 4% kobalt dilapiskan pada badan yang telah sintering dengan cara dicelupkan dengan bervariasi air pensuspensi yaitu 2; 1,7; 1,5 dan 1 mL/g padatan kering. Pembakaran glasir divariasikan pada temperatur 1030, 1050 dan 1070 °C. Sebaran kobalt diamati dengan menyayat badan keramik menjadi lapisan glasir, interface, lapisan badan keramik. Kobalt yang terdifusi dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis SSA terhadap sampel lempung (Tabel 1) mengindikasikan lempung Bojonegoro tersusun atas senyawa-senyawa oksida dominannya adalah SiO_2 , Al_2O_3 , dan CaO .

Tabel 1 Komposisi kimia Lempung Bojonegoro

Senyawa	Persentase massa (%)
SiO_2	39,78
Al_2O_3	17,27
CaO	38,00
FeOx	2,60
MgO	0,541
Na_2O	0,9968
K_2O	0,7826

Karakterisasi lempung dengan XRD ditunjukkan pada Gambar 1. Puncak-puncak yang muncul pada difraktogram sesuai dengan database JCPDS tahun 2001 menunjukkan bahwa di dalam lempung terdapat mineral-mineral kuarsa (\wedge), kaolinit (+), kalsium karbonat (*), dan talk (v).

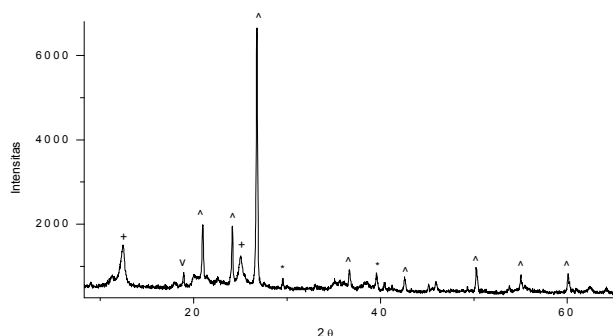
Optimasi matrik keramik

Optimasi badan keramik dilakukan dengan menganalisis berbagai komposisi campuran Lempung Bojonegoro, feldspar, dan kuarsa. Optimasi ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi yang terbaik berdasarkan hasil-hasil pengujian modulus patah (*modulus of rupture*), susut (*shrinkage*), dan porositas badan keramik. Sistem matriks keramik Lempung Bojonegoro-feldspar-kuarsa dibuat dengan metode *triaxial blend* seperti terlihat pada Gambar 2.

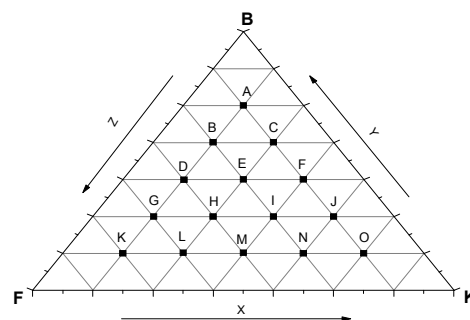
Titik-titik pada Gambar 2 dapat dipresentasikan dengan mineral penyusun maupun senyawa oksida penyusun. Lebih lanjut, komposisi senyawa oksida tersebut, bila dibaca sesuai garis x, y, dan z akan diperoleh suatu keteraturan dalam hal kenaikan/penurunan persentase massa pada harga-harga oksida sehingga membentuk deret dengan inkremen tertentu.

Perlakuan awal terhadap sampel matriks keramik: DTA/TG

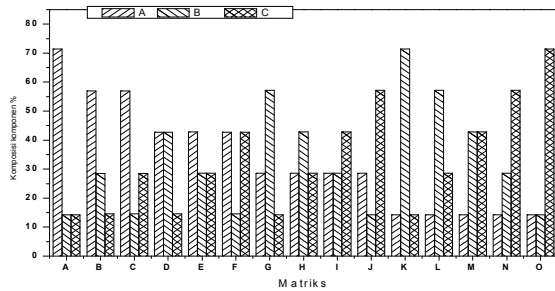
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui reaksi-reaksi yang terjadi selama pembakaran dan mengetahui temperatur sintering.



Gambar 1. Difraktogram Lempung Bojonegoro



Gambar 2. Titik-titik komposisi metode triaxial blend



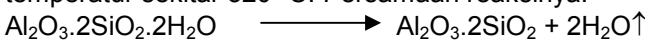
Gambar 3. Komposisi matriks keramik

Tabel 2. Inkremen kenaikan dan penurunan oksida pada diagram segitiga.

Garis	Inkremen					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
X	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Y	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Z	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)
	4,6657	2,0892	0,4973	0,4173	0,3844	0,0114
	8,4154	2,4207	5,3502	0,0772	0,1429	0,1157
	3,7497	0,3315	4,8529	0,3401	0,2415	0,1043

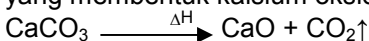
Keterangan: (+)=kenaikan (-)=penurunan

Dari grafik DTA (Gambar 4) didapatkan beberapa puncak endotermis dan satu puncak eksotermis. Puncak-puncak endotermis terjadi pada temperatur 190, 285, 519, 575 dan 690 °C, serta puncak eksotermis pada temperatur 960,7°C. Dua puncak yang pertama (1,2) berkaitan dengan penghilangan air yang terabsorpsi dalam badan keramik dan penghilangan SO₂ serta unsur-unsur organik dalam mineral. Puncak (3) yang tajam (519 °C) berkaitan dengan dehidroksilasi mineral lempung menuju pembentukan metakaolin. Tahap ini merupakan akhir dari penghilangan air kimia mineral yang dimulai pada temperatur sekitar 320 °C. Persamaan reaksinya:

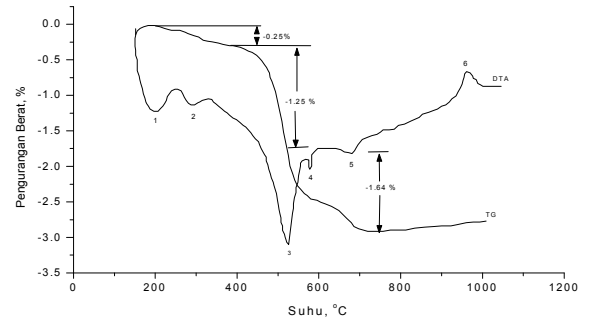


Kinetika dehidroksilasi dipercaya sebagai reaksi orde satu, menghasilkan kecepatan dehidroksilasi secara langsung, proporsional dengan luas area kaolin [4]. Dari grafik TG diperoleh informasi reaksi dehidroksilasi ini disertai pengurangan berat sampai 1,25%. Pengurangan berat terus berlangsung sampai 1,64 % pada temperatur 700 °C, sehingga pengurangan berat total adalah 3,14%.

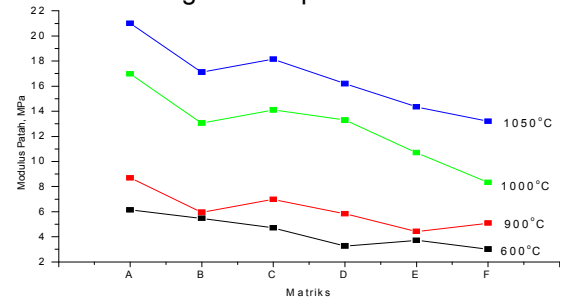
Pada temperatur 575 °C (4) merupakan titik yang sangat penting, karena kuarsa dengan struktur α akan berubah menjadi kuarsa struktur β. Tahap ini dinamakan inversi kuarsa. Puncak endotermis pada 690 °C kemungkinan merupakan dekomposisi termal kapur yang membentuk kalsium oksida dan CO₂.



Puncak eksotermis pada temperatur 960,7 °C merupakan pembentukan fase kristalin dari metakaolin yang berubah menjadi struktur spinel. Pada tahap ini terbentuk senyawa *mullite* tipe I. Pada titik ini terjadilah proses sintering. Dari analisis DTA/TG dapat diketahui badan keramik setidaknya dibakar pada 960 °C.



Gambar 4. Termogram sampel badan keramik B-F-K

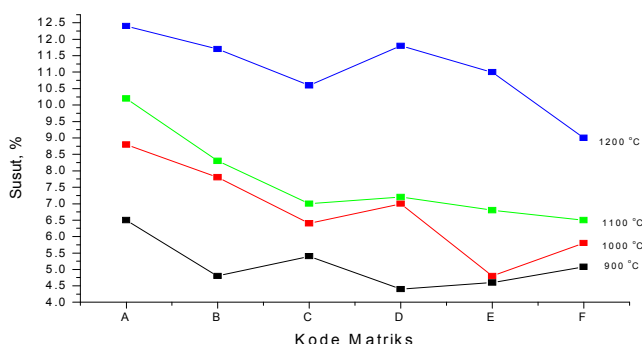


Gambar 5. Modulus patah matriks keramik pada berbagai temperatur pembakaran

Modulus Patah

Pengukuran modulus patah dilakukan pada badan keramik yang telah dibakar pada temperatur 600, 900, 1000 dan 1050 °C. Pemilihan temperatur pembakaran ini dilakukan untuk mengamati kekuatan badan keramik (1) setelah dehidroksilasi kaolin, (2) sebelum sintering (3) setelah sintering (4) setelah *glaze firing*.

Dari Gambar 5, pada temperatur 600 dan 900 °C dapat diketahui kecenderungan penurunan modulus patah menurut garis x, penurunan menurut garis y dan kenaikan menurut garis z. Bila dibaca sesuai perubahan harga oksida, maka Mg dan Na tidak berpengaruh terhadap harga modulus patah. Hal ini sesuai dengan laporan Naga dan Aziz bahwa MgO tidak memberikan efek pada pertumbuhan kristal Al₂O₃, dimana pertumbuhan kristal Al₂O₃ maupun mulite merupakan faktor utama kekuatan badan keramik [5]. Ca dan K berpengaruh pada modulus patah. Si dan Al juga berpengaruh terhadap modulus patah. Pada garis x terdapat inkremen rata-rata penurunan sebesar 1,5 MPa dan 0,35 MPa pada garis y. Bila dilihat dari nilai inkremen kedua garis maka modulus patah pada kondisi ini lebih dipengaruhi oleh Ca, sedangkan Al sedikit mempengaruhi. Kekuatan bahan akan bertambah dengan kenaikan CaO. Hal ini sesuai dengan efek penambahan CaO pada kekuatan spinel-alumina [6] maupun penambahan kekuatan gelas dengan bertambahnya konsentrasi CaO [7]. Konsentrasi CaO yang besar akan memacu kristalisasi.



Gambar 6. Persentase susut total pada berbagai matriks dan temperatur pembakaran

Hal ini disebabkan fluiditas CaO pada temperatur tinggi dan kemudahan CaO membentuk kristal.

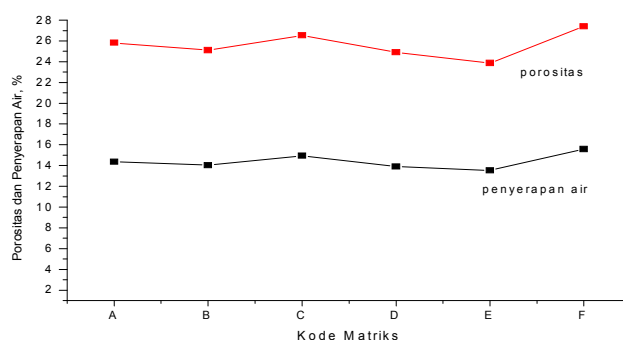
Pada temperatur 1000 dan 1050 °C, perubahan harga terjadi dengan inkremen yang besar baik menurut garis x, y, maupun z. Perubahan ini ekuivalen dengan perubahan konsentrasi Al₂O₃. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi Al₂O₃ merupakan pengontrol perubahan ini. Kekuatan keramik pada temperatur tinggi diakibatkan oleh perubahan struktur Al₂O₃ dilanjutkan dengan pertumbuhan mullite, sedangkan CaO dan unsur alkali yang lain berpengaruh pada percepatan pertumbuhan kristal dengan menghadirkan fasa cair pada sistem itu. Hasil analisis modulus patah ini dijadikan acuan untuk pengamatan sifat-sifat yang lain.

Susut

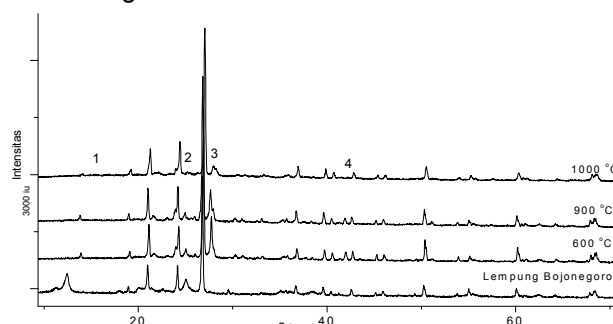
Susut pembakaran tersaji pada Gambar 6. Selisih penurunan (Δ) persentase susut total pada garis x adalah 1,8; 3; 0,6 masing-masing pada temperatur 1000, 1100 dan 1200 °C. Data ini menunjukkan pengurangan dimensi terbesar terjadi pada temperatur 1100 °C. Pada garis y dihitung Δ sebesar 1,2; 0,7; dan 2,8 dengan harga susut terkecil pada matriks E temperatur 1000 °C. sedangkan pada garis z dihitung Δ peningkatan sebesar 3; 3,7; dan 3,4. Bila merujuk pada diagram oksida maka Ca mempunyai pengaruh yang dominan. Mg dan Na tidak berpengaruh; Si dan Al berpengaruh. Susut pembakaran disebabkan oleh saling mendekatnya partikel penyusun matriks keramik. Hal ini dapat berlangsung karena pengecilan pori pemisah antar partikel dan struktur partikel penyusun yang runtuh.

Porositas

Hasil pengukuran porositas terdapat pada gambar 7. Terdapat penurunan porositas sesuai garis x dari 14,36 menjadi 13,9%. Pada garis y terjadi kecenderungan melengkung dengan E mempunyai porositas terkecil. Pada garis z terjadi penurunan dari 27,4 menjadi 25,83 %. Merujuk pada diagram oksida diketahui perubahan porositas dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi MgO dan Na₂O. Semakin kecil konsentrasi MgO dan Na₂O, semakin besar porositas.



Gambar 7. Persentase porositas dan penyerapan air pada berbagai matriks



Gambar 8. Difraktogram sampel pada berbagai temperatur pembakaran

Na₂O dikenal dapat mempercepat sintering dan memperkecil porositas [8]. Apabila badan lebih sinter maka daerah-daerah berpori makin kecil.

Dari hasil analisis modulus patah, matriks A, B, C, dan D merupakan badan keramik yang melebihi angka 15 MPa. Dengan demikian matriks-matriks ini memenuhi standar yang disyaratkan sebagai badan keramik halus. Dari segi susut total, sedapat mungkin matriks dengan susut terkecil yang dipilih, sehingga matriks C yang dipilih sebagai komposisi optimum.

Perubahan Fase Pada Kenaikan temperatur Pembakaran.

Perubahan fase ini diamati untuk mempelajari perubahan yang terjadi selama matriks keramik dibakar pada temperatur-temperatur tertentu. Pengamatan dilakukan dengan XRD. Temperatur yang diamati sama seperti analisa modulus patah yaitu temperatur 600, 900 dan 1000°C. Gambar 8 menunjukkan difraktogram matriks E pada temperatur 600, 900 dan 1000°C. Matriks E dipilih karena matriks E dianggap mewakili sistem yang diteliti.

Pada Gambar 8 terlihat adanya perubahan puncak-puncak selama peningkatan temperatur pembakaran. Peningkatan temperatur menyebabkan naiknya energi yang meningkatkan reaktivitas material sehingga menyebabkan terjadinya reaksi kimia dan transformasi yang menghasilkan kelompok senyawa/fase baru dan menghilangkan fase yang lain. Perubahan yang sangat nampak adalah hilangnya

puncak (1) dan (2) yaitu puncak kaolinit $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Adanya pengurangan intensitas yang cukup tinggi pada puncak 1, $2\theta = 12,38^\circ$ pada lempung dan pembakaran badan keramik pada 600°C menunjukkan adanya perubahan yang berkaitan dengan reaksi pelepasan gugus hidroksil pada kaolinit. Intensitas kaolinit tersebut akan semakin kecil pada 900°C dan menghilang pada temperatur 1000°C . Reaksi dehidroksilasi ini disertai dengan penataan ulang aluminium pada kaolin yang semula oktahedral menjadi sebagian besar tetrahedral pada metakaolin sebagai hasil reaksi [4]. Struktur metakaolin hingga saat ini masih kontroversi dan terus dalam penelitian. Brindley dan Nakira menyarankan struktur $\text{Al}(\text{OH})_4$ oktahedral pada kaolin berubah menjadi tetrahedral seperti pada SiO_2 . Sedangkan MacKenzie dkk menyarankan masih adanya 11-12% hidroksil tersisa, sehingga pada struktur yang diajukan masih terdapat gugus hidroksil [9].

Puncak lain yang sangat jelas perubahannya adalah puncak (3) pada $2\theta=27,7^\circ$. Puncak tersebut adalah puncak anorthite, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ yang berasal dari feldspar. Pada pembakaran temperatur 600°C masih terlihat tajam dan secara berangsur intensitas puncak tersebut berkurang seiring dengan kenaikan temperatur pembakaran. Puncak (4) adalah puncak CaCO_3 . Pada temperatur 600°C intensitasnya 234, sedangkan pada 1000°C sudah tidak terlihat lagi.

Sebaran dan Difusi Kobalt

Pelapisan glasir merupakan suatu tahap penyelesaian akhir pada produk keramik. Pelapisan glasir pada produk keramik akan menambahkan nilai keindahan dan nilai ekonomis. Dalam penelitian ini selain glasir yang dilapiskan pada badan keramik ditambahkan juga sumber warna biru lapisan keramik dengan kobalt oksida. CoO dicampurkan dalam serbuk glasir dan ditambahkan air untuk mendapatkan suspensi yang diperlukan untuk pelapisan. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi air yang ditambahkan masing-masing 2; 1,7; 1,5; dan 1 mL/g menghasilkan kekentalan suspensi yang berbeda. Air dengan konsentrasi $<1,5$ mL/g menghasilkan suspensi yang sangat kental sehingga sulit diaplikasikan di atas badan keramik. Sedangkan konsentrasi air 1,7 dan 2 mL/g menghasilkan suspensi yang tidak terlalu kental, tetapi menghasilkan sebaran warna biru kobalt yang tidak merata dan terkonsentrasi pada titik-titik tertentu pada badan keramik yang dipilih (B, C, D, E).

Tabel 3. Daya serap air dan porositas pada berbagai matriks

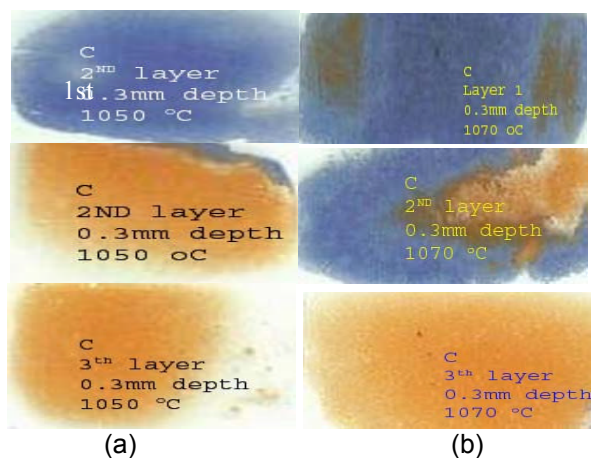
Kode	Porositas (%)
B	25,11
C	26,54
D	25,12
E	23,56

Dari pengamatan ini didapatkan matriks C sebagai badan keramik yang memberikan sebaran yang paling homogen, dan temperatur pembakaran glasir optimum pada 1050°C .

Hal ini menunjukkan keterkaitan antara porositas matriks atau badan keramik dengan homogenitas sebaran kobalt. Pada konsentrasi air yang optimum 1,5 mL/g dan temperatur pembakaran glasir yang sama sebaran kobalt hanya dipengaruhi oleh matriks yang terapkan. Jika dibandingkan antara B, C, D, dan E porositas terbesar dimiliki oleh matriks C sebesar 26,54%, dengan demikian suspensi glasir yang mengandung kobalt akan terdifusi paling mudah melalui pori-pori badan keramik yang terbesar diantara yang dipilih. Daya serap air dan porositas berbagai matriks atau badan keramik yang dipilih untuk aplikasi glasir terlihat pada Tabel 3.

Glasir berkobalt akan lebih homogen pada badan keramik yang lebih berpori (*porous*). Difusi kobalt diamati lebih rinci pada badan keramik yang terglasir homogen yaitu matriks C dengan metode sayatan tipis (*thin-section*) masing-masing pada pembakaran 1050°C dan 1070°C . Matriks yang telah terglasir disayat dengan ketebalan seperti pada metodologi penelitian gambar 9.

Hasil sayatan lapisan pertama (0,3 mm dari atas) pada temperatur 1050°C menunjukkan hanya terdapat lapisan biru kobalt yang merata, sedangkan pada lapisan kedua (0,3 mm dari lapisan pertama) terdapat dua fasa atau yang disebut sebagai lapisan *interface* yaitu lapisan biru kobalt dan lapisan badan keramik yang berwarna coklat kemerahan. Jumlah kobalt yang terdifusi ke dalam badan keramik dianalisis pada kedalaman di bawah 0,7 mm (di bawah interface badan keramik-glasir) Hasil analisis dengan metode SSA ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 9. Hasil sayatan dengan ketebalan 0,3 mm pada matriks C pada temperatur pembakaran (a) 1050°C dan (b) 1070°C

Tabel 4. Konsentrasi kobalt yang terdifusi di bawah kedalaman 0,7 mm

Temperatur pembakaran, °C	Co terdeteksi dalam badan keramik, ppm
1050	23,420
1070	28,762

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur yang lebih tinggi menyebabkan difusi kobalt ke dalam badan keramik lebih besar sehingga konsentrasi kobalt yang ada di atasnya atau pada lapisan glasir lebih kecil. Hasil penelitian menunjukkan persentase kobalt yang terdifusi ke dalam badan keramik pada temperatur pembakaran 1050 °C sebesar 6,34% dari kobalt yang diaplikasikan semula dan meningkat menjadi 7,36% pada temperatur 1070 °C.

Berdasarkan pada pembahasan yang telah dipaparkan dapat dinyatakan bahwa penambahan feldspar dan kuarsa pada Lempung Bojonegoro dapat mengubah beberapa karakter badan keramik menjadi lebih sesuai sebagai bahan *pottery* atau ubin. Walaupun penambahan tersebut akan menurunkan modulus patah yang dihasilkan tetapi nilainya masih diatas nilai minimal yang diijinkan. Keuntungan yang dapat diperoleh adalah turunnya nilai susut total dan dicapainya angka porositas yang lebih besar sehingga sangat sesuai untuk aplikasi lapisan glasir pada proses selanjutnya. Dalam penelitian dengan metode *triaxial blend*, disamping diperoleh komposisi optimum badan keramik juga dapat diperkirakan senyawa-senyawa oksida yang berperan dalam perubahan sifat-sifat badan keramik. Diperoleh komposisi optimum badan keramik adalah 57% lempung; 14,5% feldspar; 28,5% kuarsa. dengan persentase porositas 26,54%. Dengan nilai persentase porositas tersebut akan sangat menguntungkan pada aplikasi glasir, dimana dihasilkan sebaran warna biru kobalt yang merata pada permukaan badan keramik dan hanya 6,34% kobalt yang terdifusi ke dalam badan keramik pada pembakaran glasir 1050 °C.

KESIMPULAN

Lempung Bojonegoro dapat diperbaiki karakternya dengan membuat sistem baru yang merupakan

campuran Lempung Bojonegoro, feldspar dan kuarsa. Badan keramik sistem Lempung Bojonegoro-feldspar-kuarsa yang paling optimum adalah komposisi 57% lempung, 14,5% feldspar, 28,5% kuarsa. Badan keramik ini mempunyai susut total 7% dan modulus patah 18,23 N/mm². Aplikasi glasir jenis Transparent Soft Glaze dan kobalt memberikan sebaran kobalt yang homogen dalam sistem tersebut. Pembakaran paling optimum pada 1050 °C, sebanyak 93,7% kobalt tersebar homogen sampai kedalaman 3 mm pada permukaan badan keramik optimum, sedangkan 6,3% sisanya terdifusi ke dalam badan keramik pada kedalaman di bawah 0,7 mm dari permukaan

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Studio Keramik PPPG Kesenian Yogyakarta, BATAN Yogyakarta, Laboratorium Teknologi Keramik Teknik Kimia UGM Yogyakarta, Laboratorium Analitik Kimia MIPA UGM Yogyakarta, dan Laboratorium Bahan Galian Teknik Geologi UGM Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik, 2002, *Statistik Industri Besar dan Sedang Bagian III*, BPS, Jakarta.
2. Norton, F.H., 1952, *Element of Ceramics*, Addison Wesley Publishing Company, New York.
3. Soesilowati dan Nuryanto, 1992, *Glasir dan Pewarna*, Balai Besar Industri Keramik, Bandung.
4. Carty, W.M., and Senapati, U., 1998, *J. Am. Ceram. Soc.* 81, 1, 3-20.
5. Naga, S.M., dan Aziz, D.A.A., 2002, *Brit. Ceram. Trans.* 101, 3, 129-132.
6. Chan, C.F., dan Ko, Y.C., 1998, *J. Am. Ceram. Soc.* 81, 11, 2957-60.
7. Sehgal, J. dan Ito, S, 1998, *J. Am. Ceram. Soc.* 81, 9, 2485-88.
8. Blankenship, A , 2002, *Brit. Ceram. Trans.* 101, 3, 129-132.
9. Brindley, G.W., and Nakahira, M, 1959, *J. Am. Ceram. Soc.* 42, 7, 311-314.