

**GENESA BENTONIT DI KECAMATAN
WONOSEGORO KABUPATEN BOYOLALI PROPINSI
JAWA TENGAH DAN REKAYASA
PEMANFAATANNYA SEBAGAI BAHAN BAKU
PRODUK KERAMIK**

*The Genetic of Bentonite at Wonosegoro Vicinity Boyolali Residency
Province of Central Java and Its Uses as Ceramics Material*

Anton Priangga Utama¹, Sukandarrumidi², Sugeng Wiyono²

Program Studi Teknik Geologi
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

The research area is situated 40 kilometers north of Boyolali at Kendeng antiklinorium folding mountain. Physiographically, it lies on a thrust-fold belt, Western Kendeng Zone, Northernpart of East Java Basin.

Litologic varian composing the research area consists of silisiclastic rocks, such as sandstone, siltstone, claystone, and layer of bentonite. Sedimentary character and stacking pattern showed that the sedimen was deposited by turbidit current mechanism. Wrench fault and anticline are the major structures. Shear joints and drags are occasionally found on silisiclastic sedimentary rocks layer. Antiklinorium axis is EastNortheast-WestSouthwest according to the layer position itself where is vertical. Wrench fault is Northwesat-Southeast. Bentonite was originated from material that composed of pyroclastic fall deposit which was altered. The main process was devitrivication of volcanic glasses. The other process was the solution of primary minerals and lithic fragments. The volcanic glasses consisted mostly of vitric tuff are unstable, and easy to alter in alkaline environment forming liquid which contains Si^{+4} cation. Meanwhile, solution of primary minerals and lithic fragments formed liquid containing cations of

¹ Ronodigdayan DN III No. 499B, Yogyakarta 555211

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Ti⁺⁴, Al⁺³, Ca⁺², Na⁺, K⁺, Fe⁺³, and Mg⁺². All of the liquid made from those processes were mixed to form a silicate liquid. When it crystalized, this liquid formed secondary minerals such as montmorilonite. Dip of layer of bentonit is vertical and EastNortheast-WestSouthwest oriented the same as the layer of the surrounding area.

The properties of ceramic products consisting of 44-45% Mayong feldspar, 44-45% kaolin, and 10-12% bentonite, were as follows : idealized dry shrinkage 4.68-5.25% (idealized burn shrinkage 5.50-5.62%), porosity of idealized dry and burn shrinkage 35.042-39.473%, the modulus of rupture 237.712-401.887 N/cm², and water plasticity 41.19-44.81%. The increase of bentonite content improved the properties of the products.

Keywords: bentonite, vitric tuff, devitrivication, ceramic.

PENGANTAR

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui genesa bentonit di Kecamatan Wonosegoro, Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah dan kemungkinan memanfaatkannya sebagai bahan baku keramik. Daerah penelitian terletak 40 km di sebelah utara Kota Boyolali. Secara tektonik, daerah itu terletak pada jalur lipatan-anjakan (*fold-thrust belt*) (Pringgoprawiro, 1983), sedangkan secara fisiografi terletak pada antiklinorium Kendeng, ujung barat Cekungan Jawa Timur Utara (Bemmelen, 1970). Berdasarkan ciri sedimennya, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Kendeng Barat (Genevraye dan Samuel, 1972).

Bentonit adalah material dengan penyusun utamanya mineral montmorilonit (Sukandarrumidi, 1999). Bentonit terbentuk melalui bermacam-macam cara, salah satunya adalah melalui proses devitrivikasi (Grim dan Guven, 1978) pada material piroklastik jatuhan (misal gelas-gelas vulkanik) yang menyusun sebagian besar batuan vulkanik (misal *vitric tuff*). Gelas-gelas vulkanik tidak stabil, mudah berubah terutama dalam lingkungan alkalis karena bereaksi dengan air (Siddiqui, 1968). Devitrivikasi membentuk bermacam-macam mineral lempung tergantung pada (Siddiqui, 1968): 1) komposisi dan tekstur awal batuan vulkanik, 2) kondisi fisik dan kimia lingkungan (seperti: pH, eH, temperatur, kedalaman, dan salinitas) dan 3) umur endapan. Material piroklastik jatuhan

merupakan produk aktivitas vulkanik yang letusannya meledak. Material itu akan jatuh kembali membentuk endapan piroklastik jatuhnya yang *insitu*. Reaksi pada hakekatnya adalah pembentukan senyawa antara material piroklastik dengan lingkungan disekitarnya (Bailey, 1980).

Keramik yang digunakan saat ini dikelompokkan menjadi keramik tradisional dan fungsional (Nuryanto, 1992). Bahan bakunya berasal dari adonan yang terbentuk melalui proses kalsinasi pada temperatur tinggi, yaitu diatas 900°C (Astuti, 1997). Kalsinasi meliputi: 1) pemadatan dan 2) konsolidasi dibawah titik lebur. Adonan merupakan campuran ketiga bahan yang masing-masing berfungsi sebagai bahan pengisi, pelebur, dan pemplastis (Nuryanto, 1992). Kualitas bahan keramik ditentukan oleh komposisi dan kondisi adonannya (Conrad, 1980), seperti: homogenitas, kekentalan, dan keplastisan. Terdapat keterkaitan antara: 1) komposisi serta kondisi adonan, 2) metode pembuatan, dan 3) jenis penggunaan bahan keramik serta kualitas yang dihasilkan.

Penyusutan merupakan cirikhas mineral-mineral lempung yang terjadi akibat lepasnya air yang diikat olehnya di dalam *interlayer* (Bailey, 1980). Penyusutan yang terlalu besar mengakibatkan retak, penyimpangan ukuran bahkan perubahan bentuk badan keramik.

Porositas disebut juga sebagai air pori yang besarnya tergantung pada 1) air plastisitas dan 2) air penyusutan yang keduanya memiliki arti sama, yaitu besarnya ruang antara butir (Andrews, 1928). Porositas yang meningkat mengakibatkan badan keramik semakin rapuh. Porositas meningkat hingga pada titik tertentu seiring dengan naiknya temperatur. Temperatur yang terus naik di atas titik itu mengakibatkan mineral-mineral mulai meleleh. Pengisian pori-pori oleh beberapa mineral yang mulai meleleh menurunkan porositas sampai pada titik tertentu sehingga badan keramik semakin kokoh (Frank dan Hamer, 1997). Temperatur yang terus naik di atas titik itu mengubah semua mineral yang menyusun kerangka atau yang mengisi pori-pori menjadi gelas. Vitrifikasi yang semakin intensif menghilangkan fungsi mineral sebagai kerangka sehingga badan keramik rapuh (Frank dan Hamer, 1997).

Kekokohan badan keramik diukur berdasarkan modulus patahnya. Apabila kering, bentonit akan menyusut sehingga jarak antara partikelnya mengecil, sehingga modulus patahnya meningkat (Andrews, 1928).

Air plastisitas adalah jumlah air yang diperlukan supaya adonan tetap plastis. Air plastisitas dinyatakan sebagai perbandingan

berat antara air yang diserap dengan partikel *solid*-nya (Andrews, 1928).

CARA PENELITIAN

Data yang diperoleh ada 2 macam, yaitu primer dan sekunder. Data sekunder didapat melalui makalah-makalah, *web site*, laporan-laporan peneliti terdahulu dan buku-buku teks, sedangkan data primer didapat melalui kegiatan lapangan, laboratorium dan studio. Kegiatan lapangan meliputi pemetaan geologi dan sebaran bentonit (1:25.000), lintasan terukur (1:200), dan pencontohan. Kegiatan laboratorium meliputi: analisis geokimia, petrografi, *CIPW normatif*, XRD, uji susut (kering dan bakar), porositas, modulus patah, air plastisitas dan di studio meliputi uji pembuatan badan keramik dengan metode cetak tuang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi litologi daerah penelitian dikelompokkan menjadi 2, yaitu batuan sedimen silisiklastik dan endapan piroklastik jatuhan. Batuan sedimen silisiklastik menyusun hampir seluruh litologi daerah penelitian termasuk yang karbonatan dan *tuff*-an, yang terdiri atas batupasir (*greywacke*) dan batulempung. Endapan piroklastik jatuhan adalah *vitric tuff* yang menyisip di dalam lapisan batuan sedimen silisiklastik. Batuan sedimen silisiklastik dan endapan piroklastik jatuhan yang menyisip di dalamnya membentuk Satuan Batupasir Formasi Kerek.

Batupasir yang menyusun satuan litologi ini memiliki keseragaman ukuran butir yang buruk. Lapisan batupasir dijumpai berselang-seling dengan lapisan batulempung, membentuk pola mengkasar atau menebal ke atas dengan siklus tertentu, dan diinterpretasikan, sedimen itu diendapkan dalam kondisi regresi yang *accomodation space* lebih kecil dari *sediment supply*. Lapisan-lapisan sedimen bagian bawah satuan ini bersifat karbonat sedangkan bagian atas bersifat *tuff*. Endapan piroklastik jatuhan tersusun sebagian besar oleh gelas-gelas vulkanik yang berukuran debu. Material itu dihasilkan melalui letusan yang bersifat ledakan.

Berdasarkan variasi litologi, ciri-ciri sedimen dan pola penumpukannya, diinterpretasikan: 1) satuan yang tersingkap di daerah penelitian adalah satuan batupasir Formasi Kerek bagian

Tengah hingga Atas; 2) satuan ini diendapkan dalam lingkungan bawah air melalui mekanisme arus turbid; 3) terjadi regresi pada bagian tengah hingga atas satuan ini, dan 4) terjadi aktivitas vulkanik pada bagian atas satuan ini.

Lapisan-lapisan pada satuan ini merupakan sayap lipatan dengan kedudukan tegak dan sumbu berarah TimurTimurlaut-BaratBaratdaya. Kedudukan seperti ini terjadi karena: 1) sifat batuan yang plastis, 2) tektonik (pelipatan) yang kuat dan 3) proses asal luar (pelapukan, erosi, dan transportasi) yang intensif. Ketiga faktor itu saling terkait menghasilkan morfologi dengan struktur yang terpancing sehingga di permukaan tampak tegak.

Potensi sumberdaya mineral dikelompokkan menjadi 2, yaitu: 1) pasir dan batu serta 2) bentonit. Bentonit dijumpai melapis pada satuan batupasir Formasi Kerek bagian Atas. Batas antara lensa bentonit dengan lapisan di atas dan di bawahnya tegas. Montmorilonit sebagai penyusun utama bentonit berasal dari larutan silikat yang mengkristal. Larutan silikat berasal dari material penyusun endapan piroklastik jatuhnya yang mengalami alterasi terutama devitrifikasi, menghasilkan larutan yang mengandung kation Si^{+4} . Mineral-mineral primer dan fragmen-fragmen batuan yang larut menghasilkan larutan yang mengandung kation-kation: Ti^{+4} , Al^{+3} , Ca^{+2} , Na^{+} , K^{+} , Fe^{+3} , and Mg^{+2} . Kedua larutan itu bercampur membentuk larutan silikat.

Bentonit tersingkap pada 4 lokasi, 3 di antaranya membentuk kelurusan dengan arah TimurTimurlaut-BaratBaratdaya. Dua dari 4 singkapan itu pernah ditambang, sedangkan yang lain hanya sampai tahap eksplorasi.

Ciri fisik bentonit: 1) berwarna putih apabila kering dan abu-abu kehijauan dalam kondisi basah; 2) terasa berlemak apabila diraba; 3) liat serta lengket; 4) berukuran lempung, apabila diremas dalam kondisi kering akan hancur menjadi bubuk; 5) berbentuk bubur apabila basah dan *colloform* apabila kering; 6) pecahannya *concoidal*; 7) mengakibatkan karat jika menempel pada logam.

Perbandingan % berat antara Na_2O terhadap CaO : 1,9032 (RO 010102) dan 2,4286 (RO 020103). Apabila nilai perbandingannya semakin besar, maka *type*-nya *swelling bentonite*. Semua bentonit selalu mengandung 3 unsur selain Si, Al, O, H, Fe, dan Ti, yaitu: Na, Ca, dan Mg. dengan komposisi yang bermacam-macam. Berdasarkan hasil analisis setiap sampel, RO 020103 termasuk *swelling bentonite*.

Rumus kimia dihitung dengan metode Kelley (Kelley, 1954 dalam Siddiqui, 1968) melalui tahapan : 1) penghitungan *molecular equivalent*, membagi % berat setiap oksida dengan berat molekulnya sehingga di-

peroleh *molecular equivalent* setiap oksida, 2) penghitungan *cation equivalent*, dengan mengalikan *molecular equivalent* dengan banyaknya atom sehingga memperoleh *cation equivalent* setiap oksida, 3) penghitungan *charge equivalent*, dengan mengalikan *cation equivalent* dengan valensi unsur-unsurnya sehingga diperoleh *charge equivalent* setiap oksida dalam 100 gr sampel, 4) penghitungan *charge per 44 equivalent*, memakai satuan sel yang terdiri atas 20 atom O₂ dan 4 gugus OH⁻ sehingga secara keseluruhan terdapat 44 anion. Supaya sel itu netral, diperlukan sebanyak 44 kation. Hasilnya adalah muatan yang sebenarnya setiap kation dari seluruh kation yang berjumlah 44, 5) penghitungan *cation per unit cell*, membagi setiap muatan dengan valensinya sehingga diperoleh muatan setiap ion, 6) penentuan distribusi ion untuk setiap unit lapisan (*lattice*), yaitu meletakkan setiap ion unsur ke dalam struktur tetrahedral dan oktahedral.

Setiap contoh diambil pada kedalaman yang rendah sehingga masih dipengaruhi oleh pencucian. Proses itu mengakibatkan mineral-mineral yang kurang resisten terbawa ke kedalaman yang lebih besar, sedangkan mineral-mineral yang lebih resisten seperti kuarsa tertinggal di atas. Hal ini mengakibatkan tingginya kandungan kuarsa di tempat yang lebih dekat ke permukaan. Gelas-gelas vulkanik yang belum mengalami devitrikikasi turut memperbesar kandungan kuarsa di dalam bentonit. Oleh karena itu, perbandingan antara SiO₂ dengan R₂O₃ sangat besar.

Bentonit terutama tersusun oleh mineral lempung kelompok smektit hasil devitrikikasi *glass shard*, kuarsa, korundum, plagioklas (albit dan anortit), K-feldspar, piroksen dan magnetit.

Rumus kimia mineral-mineral kelompok smektit yang dihitung dengan metode Kelley (Kelley, 1954 dalam Siddiqui, 1968) untuk RO 010102 :

$[Ca_{0,04}Na_{0,15}K_{0,13}(Ti_{0,03}Al_{2,35}Fe^{+3}_{0,45}Mg_{0,17})_{2,00}Si_{4,00}O_{10}(OH)_2]M^{+0,17}$; K₂O rendah (0,77%); Fe₂O₃ < 10% (4,49%); SiO₂/Al₂O₃ > 4 (4,37); nilai z (0,1679) < u (2,3538).

sedangkan untuk RO 020103:

$[Ca_{0,02}Na_{0,09}K_{0,16}(Ti_{0,05}Al_{2,66}Fe^{+3}_{0,32}Mg_{0,16})_{2,00}Si_{4,00}O_{10}(OH)_2]M^{+0,16}$; K₂O rendah (0,94%); Fe₂O₃ < 10% (3,20%); SiO₂/Al₂O₃ < 4 (3,8126); nilai z (0,1614) < u (2,6603).

Hasil analisis geokimia dan penghitungannya, menunjukkan mineral-mineral kelompok smektit itu termasuk dalam seri montmorilonit-beidelit.

Hasil analisis XRD RO 010102 di FMIPA UGM, menunjukkan *peak* yang termasuk 3 besar, yaitu: *peak* 5 ($d = 15,82523 \text{ \AA}$, 752 kali): montmorilonit; *peak* 19 ($d = 4,05223 \text{ \AA}$, 772 kali): kuarsa; *peak* 29 ($d = 3,3495 \text{ \AA}$, 844 kali): kuarsa.

Hasil analisis *x-ray diffraction* RO 010102 di Universiti Kebangsaan Malaysia, dijumpai *peak* yang termasuk 3 besar, yaitu: *peak* 6 ($d = 15,84103 \text{ \AA}$, 260 kali): montmorilonit; *peak* 22 ($d = 4,05795 \text{ \AA}$, 152 kali): kuarsa; *peak* 27 ($d = 3,35325 \text{ \AA}$, 156 kali): kuarsa.

Pada RO 020103 dijumpai *peak* yang termasuk 3 besar, yaitu: *peak* 6 ($d = 15,84496 \text{ \AA}$, 276 kali): montmorilonit; *peak* 22 ($d = 4,06885 \text{ \AA}$, 171 kali): kuarsa; *peak* 27 ($d = 3,35942 \text{ \AA}$, 148 kali): kuarsa.

Selain montmorilonit, juga terdapat : kaolinit, muskovit, pirofilit dan anortit. Kuarsa yang berlebih akibat pencucian oleh air permukaan.

Hasil analisis petrografi, menunjukkan partikel-partikel gelas vulkanik adalah komponen terbesar dalam RO 010102 dan RO 020103 yang hampir semuanya telah mengalami devitrifikasi menjadi mineral lempung. Mineral-mineral lainnya adalah: kuarsa, plagioklas dan mineral-mineral yang *opaque*. Hadir juga sejumlah kecil fragmen-fragmen batuan.

Hasil analisis CIPW *normatif*, komposisi RO 010102 dan RO 020103 adalah: kuarsa (SiO_2), korundum (Al_2O_3), albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), hipersten (FeSiO_3) dan magnetit ($\text{FeII,FeIII}_2\text{O}_4$).

Metode yang digunakan untuk membuat badan keramik adalah metode cetak tuang. Metode ini memerlukan adonan dengan tingkat keplastisan tertentu. Adonan merupakan campuran ketiga bahan yang masing-masing berfungsi sebagai pengisi, pelebur, dan pemplastis. Dalam penelitian ini, sebagai bahan pengisi dipakai kaolin 'Malang'; sebagai pelebur feldspar 'Mayong', dan sebagai pemplastis bentonit. Tatacara yang dilakukan supaya bentonit dapat dimanfaatkan sebagai bahan pemplastis, adalah : 1) preparasi 2) pencampuran, dan penggerusan (termasuk : penimbangan, pencampuran, dan penggerusan), 3) *molding* termasuk: pencetakan atau penuangan, pengambilan, pengeringan, pemberian nomer, dan *finishing*), dan 4) pembakaran.

Kualitas hasil rekayasa diukur berdasarkan sifat-sifat fisik bahan keramik yang dihasilkan, seperti: 1) susut kering dan bakar, 2) porositas, dan 3) modulus patah. Kualitas juga diukur berdasarkan keuntungan-keuntungan yang diperoleh karena kondisi adonan (seperti keplastisannya) selama proses pembuatan badan keramik.

Hasil pengamatan selama proses pembuatan keramik menunjukkan bahwa susut kering ideal keramik 4,68 - 5,25% dengan komposisi: feldspar 'Mayong' (44 - 45%), kaolin 'Malang' (44 - 45%) dan bentonit (10 - 12%); sedangkan susut bakar idealnya 4,43 - 5,62%. Semua badan keramik dibentuk melalui proses kalsinasi. Besarnya penyusutan karena proses pembakaran harus diketahui sehingga selisih penyusutan pada saat kering dan setelah dibakar dapat dihitung. Selisih penyusutan itu dibandingkan dengan penyusutan glasirnya. Selisih yang terlalu besar mengakibatkan glasir tertarik sehingga retak-retak. Apabila terlalu kecil mengakibatkan glasir tertekan sehingga mengelupas. Keramik dengan susut kering dan bakar ideal memiliki porositas 35,042 - 39,473%. Keramik dengan susut kering dan bakar ideal memiliki modulus patah 237,712 - 401,887N/cm². Adonan yang menghasilkan keramik dengan susut kering dan bakar ideal memiliki air plastisitas 41,19 - 44,81%.

KESIMPULAN

Montmorilonit adalah mineral sekunder penyusun utama bentonit yang berasal dari kristalisasi larutan silikat, yang berasal dari material penyusun endapan piroklastik jatuhnya yang mengalami alterasi, terutama devitrifikasi. Devitrifikasi gelas-gelas vulkanik menghasilkan larutan yang mengandung kation Si⁴⁺. Mineral-mineral primer dan fragmen-fragmen batuan yang larut menghasilkan larutan yang mengandung kation-kation: Ti⁴⁺, Al³⁺, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Fe³⁺, dan Mg²⁺.

Bentonit yang telah direkayasa dapat digunakan sebagai bahan pemlastis. Komposisi terbaik bentonit di dalam adonan: 10 - 12% dengan feldspar 'Mayong' (44 - 45%), dan kaolin 'Malang' (44 - 45%). Hasil uji susut kering menunjukkan: 1) penyusutan semakin besar seiring dengan bertambahnya bentonit dan 2) pengeringan semakin lama seiring dengan bertambahnya bentonit. Porositas meningkat seiring dengan banyaknya kandungan bentonit. Modulus patah meningkat seiring dengan banyaknya kandungan bentonit. Jumlah air yang diikat semakin banyak seiring dengan meningkatnya jumlah bentonit. Kandungan air yang semakin banyak meningkatkan plastisitas sampai titik tertentu sehingga pembentukan badan keramik dengan metode cetak tuang menjadi lebih mudah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Heru Sigit Purwanto, M.T., Bapak Rinawan, Bapak Drs. Radius Prawiro, Ibu Johanna Wirjoprawiro Suparto, dan Ibu Hanny Wirjoprawiro.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, A.I., 1928, *Ceramic Test and Calculations*, Chapman & Hall Ltd., London.
- Astuti, A., 1997, *Pengetahuan Keramik*, Gadjah Mada University Press.
- Bailey, S.W., 1980, Structures of Layer Silicates. In: Brindley, G.W., Brown, G., Eds., *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*, Mineral Soc., London.
- Bemmelen, R.W. van., 1970, *The Geology of Indonesia: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, Vol. 1A, 2nd ed, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands.
- Conrad, J.W., 1980, *Contemporary Ceramic Formulas*, Macmillan Publishing Co. Inc., New York.
- Frank and Hamer, J., 1997, *The Potter's Dictionary*, 4th Ed, A & Black Publisher Limited, London.
- Genevraye, P., de and Samuel, L., 1972, Geology of the Kendeng Zone (Central and East Java), *Proc. of the 1th Indonesian Petroleum Association Annual Convention*, Jakarta.
- Grim, R.E. and Guven, N., 1978, *Bentonites: Geology Mineralogy Properties and Uses*, Elsevier Sci. Publish. Co., Amsterdam.
- Nuryanto., 1992, Keramik dan Sains tentang Bahan, *Informasi Teknologi Keramik dan Gelas*, No. 55 Tahun XIII, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Balai Besar Industri Keramik, Bandung.
- Pringgoprawiro, H., 1983, *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara*, Desertasi, Institut Teknologi Bandung, Tidak dipublikasikan.
- Siddiqui, M.K.H., 1968, *Bleaching Earths*, 1st Ed., Pergamon Press, Oxford.

Sukandarrumidi, 1999, *Bahan Galian Industri*, Gajah Mada University Pres.