

STUDI PEMBUATAN KERAMIK BERPORI DARI LUMPUR LAPINDO DENGAN TANIN SEBAGAI CETAKAN PORI

Oleh :

Muhammad Ali Ilyas

Dosen Tetap Fakultas Teknik UNTB

Abstrak: Penelitian ini mengarah pada pembuatan keramik berpori dari lumpur Lapindo dengan tanin sebagai cetakan pori. Pemilihan bahan dari lumpur Lapindo karena kandungan alumina dan silika yang tinggi dan bahan ini tersedia cukup melimpah. Tanin merupakan senyawa organik polifenol hasil metabolit sekunder tanaman. Sebelum dilakukan pembuatan keramik, terlebih dahulu dilakukan ekstraksi untuk mengurangi garam-garam larut. Metode pembuatan keramik yang digunakan adalah metode yang mirip dengan *diepressing*. Kadar tanin dalam lumpur Lapindo yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%, sedangkan karakterisasi keramik berpori yang dilakukan adalah penentuan suhu sintering dengan analisa DTA, analisa sifat fisik yang meliputi susut bakar (susut volume dan massa), massa jenis, diameter pori dan kekerasan, serta analisa sifat kimia yaitu keasaman Bronsted permukaan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prosentase susut bakar mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan jumlah tanin, namun keramik dengan 0% tanin memperlihatkan nilai susut negatif setelah sintering. Hal ini disebabkan karena berdasarkan hasil analisa XRD telah terjadi perubahan parameter sel yang meningkatkan volume secara signifikan pada oksida besi (Fe_2O_3). Analisa massa jenis dan diameter pori menunjukkan penurunan nilai dengan meningkatnya jumlah tanin dalam keramik, dan berdasarkan hasil uji SEM pada berbagai perbesaran tampak adanya berbagai bentuk dan ukuran pori. Hasil uji kekerasan dalam skala Vickers memperlihatkan penurunan nilai kekerasan, dan kekerasan tertinggi dimiliki oleh keramik dengan prosentase tanin 0% dengan nilai 99,07 Hv. Untuk analisa sifat kimia dengan FT-IR memperlihatkan adanya vibrasi Si-O-Al pada panjang gelombang $775-735\text{ cm}^{-1}$, yang membuktikan adanya situs asam Bronsted.

Kata kunci: lumpur Lapindo, tanin, *diepressing*, analisa sifat fisik, analisa sifat kimia

PENDAHULUAN

Lumpur Lapindo memiliki kandungan beberapa oksida, antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dan SO_2 dengan kandungan Alumina (Al_2O_3) sebesar 18,27%, hal ini didasarkan pada penelitian Aristianto (2006). Gunradi dan Joko (2007) juga telah melakukan penelitian yang sama terhadap lumpur Lapindo, bahwa Al_2O_3 digolongkan sebagai *major elemen*, karena kandungan Al_2O_3 sebesar 17,08–18,95%. Setyowati (2007) memanfaatkan tingginya kadar silika dalam lumpur Lapindo sehingga sangat mendukung untuk digunakan sebagai bahan pembuatan keramik dan genteng keramik.

Uji coba pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai bahan keramik telah dilakukan juga oleh Satria (2010). Lumpur terlebih dahulu diekstraksi dengan aquades agar garam-garam larut air dapat dihilangkan kemudian dibuat keramik. Keramik juga dibuat dari lumpur tanpa perlakuan ekstraksi,

kemudian dicetak didalam cetakan berbentuk silinder berdiameter 0,8 cm dan tinggi 1,5 cm. Keramik kemudian dikalsinasi hingga suhu 1200°C dengan kenaikan suhu secara bertahap. Pemanasan secara bertahap dimaksudkan agar pengeringan dan pelepasan molekul air pada sampel keramik lebih merata, sehingga mengurangi kerusakan atau keretakan pada keramik sebelum memadat dan mengeras, kemudian keduanya dibandingkan. Hasil uji kekerasan dan densitas menunjukkan nilai lebih tinggi bila lumpur diekstraksi terlebih dahulu. Dilihat dari kandungan mineralnya maka lumpur Lapindo bisa dijadikan kandidat bahan untuk pembuatan keramik berpori.

Saat ini keramik berpori dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antarlain sebagai penyokong katalis, pemurnian air, filtrasi (udara, gas dan cairan), dan sebagainya. Nainggolan (2008)

membuat keramik berpori dengan bahan organik berupa cangkang kelapa sebagai aditif atau cetakan pori. Keramik yang dibuat dimanfaatkan sebagai filter gas buang kendaraan. Bahan organik ini ditambahkan ke dalam bahan dasar keramik berupa *clay* dan *feldspar* kemudian dicetak dengan ukuran diameter 2,19 cm dan tinggi 1,30 cm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak bahan organik yang ditambahkan akan meningkatkan porositas dan menurunkan densitas dari keramik. Tak jauh berbeda dengan penelitian Subiyanto (2003) yang meneliti pengaruh suhu sintering dalam proses pembentukan ikatan dalam keramik. Suhu sintering bervariasi mulai dari suhu 900°C, 1000°C, 1100°C dan 1200°C. Karakter struktur mikrodan kekuatan keramik yang baik diperlihatkan oleh suhu sinter 1200°C. Pembuatan dan penelitian tentang keramik berpori dengan metode yang berbeda antara lain dilakukan oleh Manap (2010). Manap membuat keramik dari bahan alam yaitu sekam padi dan ragi sebagai cetakan pori. Sekam padi sebelum ketahap selanjutnya ditanur pada suhu 900°C hingga berbentuk abu. Dengan kandungan silika yang tinggi, abu sekam padi dijadikan precursor dalam pembuatan keramik berpori. Proses selanjutnya adalah kalsinasi dengan pemanasan bertingkat dengan berbagai rentang suhu. Pemanasan ini bertujuan untuk melihat pengurangan campuran organik secara bertahap serta karakter pori yang terbentuk dari setiap tahap pemanasan (Rungronmitchai dkk, 2009). Bahan organik yang digunakan sebagai cetakan pori dalam penelitian ini adalah tanin. Tanin merupakan senyawa polifenol dari golongan flavonoid yang merupakan hasil dari metabolit sekunder tumbuhan. Beberapa tumbuhan yang mengandung tanin adalah jenis bakau-bakauan atau jenis-jenis dari Hutan Tanaman Industri seperti akasia (*Acacia sp*), ekaliptus (*Eucalyptus sp*), pinus (*Pinus sp*) dan sebagainya. Selain itu tanin juga terdapat dalam tanaman the (Risnasari, 2002). Wasrin (2000) memanfaatkan tanin dari kulit kayu *Acacia decurrens* sebagai bahan perekat dalam pembuatan papan serat. Tanin terbaik sebagai perekat diperoleh dari ekstrak serbuk kulit kayu selama 3 jam pada suhu 80°C. Keteguhan papan serat yang dihasilkan memenuhi persyaratan *British Standard*. Dari beberapa uraian di atas maka dalam penelitian ini dibuat keramik berpori dari lumpur Lapindo dengan tanin sebagai cetakan pori. Pemilihan tanin karena selain memiliki ukuran molekul besar dengan berat molekul yang mencapai angka 3000 sampai 20000 juga karena bisa berperan sebagai perekat. Kemampuan tanin

sebagai perekat ini diharapkan mampu mengikat butiran partikel lumpur lapindo menjadi lebih stabil dan mudah untuk dicetak dan disintering. Ketika disintering dengan suhu bertahap, tanin akan mulai terdekomposisi pada suhu 300°C dan pada suhu 800°C ikatan C-H pada gugus fenolik terputus (Sumindkk, 2002). Pada proses ini tanin akan terurai dan meninggalkan pori pada keramik yang dibuat dari lumpur Lapindo.

Penelitian ini mengkaji variasi penambahan tanin terhadap ukuran pori dan kekerasan yang terbentuk. Keramik yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi berupa susut bakar, uji densitas, diameter pori, gambar mikro penampang pori, uji difraksi sinar-X, uji kekerasan keramik, dan uji asam Bronsted.

METODE PENELITIAN

a. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik, Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Laboratorium Karakterisasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, dan Laboratorium Bersama Universitas Negeri Malang pada bulan Oktober 2011 sampai dengan bulan Desember 2011.

b. Alat dan bahan

Sampel yang digunakan dalam penelitian adalah Lumpur Lapindo yang diambil di daerah semburan panas Lumpur Lapindo Porong di Desa Siring Kecamatan Porong pada koordinat 7°31'39,72" LS, 112°42'14,58" BT.

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah tawas [$KAl(SO_4)_2$], dan aquades. Tanin yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanin murni dari Riedel-deHaën.

Alat-alat yang digunakan di laboratorium anorganik Universitas Brawijaya antara lain mortar, Oven Fisher Scientific 655 F, Tanur Nabertherm model N-31, desikator, neraca analitis Mettler, botol semprot, bola hisap, ayakan 40 dan 60 mesh, seperangkat alat sentrifugasi lengkap dengan tabung sentrifugasi, *magnetic stirrer*, seperangkat peralatan gelas, pipettes, pipet, 5mL, 10mL dan corong Buchner, *shaker* (laboratorium Kimia Fisik UB), FT-IR Shimadzu, Hardness Tester HLN-11A dengan *Device Impact* tipe D (laboratorium Karakterisasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UB). Alat yang digunakan di Laboratorium Bersama Universitas Negeri Malang antara lain *Scanning Electron Microscopy (SEM)* FEI Type Inspect S50, XRD PAN analytical X'pert PRO, XRF PAN analytical type Minipal4, DTA analisis.

c. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Sampel Lumpur Lapindo

Sampel Lumpur Lapindo basah sekitar 1,5–2 kg dikeringkan didalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air. Sampel berwarna abu-abu gelap. Kemudian sampel ditumbuk halus di dalam mortar kemudian diayak dengan ayakan berukuran 60 mesh sehingga didapatkan sampel yang berbentuk butiran halus.

2. Penentuan Lama Pengocokan dan Jumlah Pelarut Pada Pengurangan Garam-Garam Na^+ , K^+ , dan Mg^{2+}

Penentuan lama pengocokan dan jumlah pelarut untuk mengurangi garam-garam Na^+ , K^+ , dan Mg^{2+} dilakukan menurut prosedur ekstraksi garam-garam larut yang telah dilakukan oleh Satria (2011).

3. Pembuatan Keramik Berpori

Keramik yang dibuat dengan prosentase tanin bervariasi mulai dari 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat total. Cetakan yang digunakan dalam pembuatan keramik ini adalah cetakan berbentuk silinder dengan diameter 1,6 cm dan tinggi 1,55 cm. Berat total dari campuran lumpur kering dan tanin dengan prosentase 0–20% adalah 5 gram, sedangkan berat total dari campuran lumpur kering dan tanin dengan 30% dan 40% tanin adalah masing-masing 5,5 gram dan 6 gram. Pembuatan keramik dilakukan dengan metode *diepressing*, dimana bahan keramik dalam bentuk bubuk di campur dengan binder atau pengikat. Bahan yang berperan sebagai binder adalah tanin. Untuk keramik dengan 0% tanin dibuat dengan menimbang 5 gram lumpur lapindo yang sudah dihaluskan kemudian ditetesi air sedikit demi sedikit dan dihomogenkan selama 10 menit agar mudah dibentuk dan dicetak. Keramik dengan 10% tanin dibuat dengan menimbang sampel lumpur Lapindo sebanyak 4,5 gram kemudian ditambahkan 0,5 gram tanin yang berbentuk bubuk atau butiran halus, setelah itu dihomogenkan selama 5 menit dan ditambahkan air sedikit demi sedikit sambil dihomogenkan kembali selama 10 menit. Setelah homogen sampel dibentuk dan ditempatkan kedalam cetakan. Keramik dengan 20% tanin dibuat dengan cara yang sama tapi dengan perbandingan lumpur dan tanin yang berbeda yakni 4 gram lumpur dan 1 gram tanin. Sedangkan untuk keramik dengan 30% yaitu perbandingan lumpur dan tanin masing-masing 3,85 gram dan 1,65 gram dengan berat total 5,5 gram. Terakhir adalah keramik dengan 40% tanin. Dibuat dengan campuran lumpur dan tanin

masing-masing 3,6 gram dan 2,4 gram.

Lumpur dengan variasi tanin yang sudah dicetak kemudian diangin-anginkan selama 24 jam. Setelah diangin-anginkan, dilepas dari cetakan sehingga berbentuk keramik mentah yang kemudian disintering dengan perlakuan temperatur dan waktu yaitu 28 °C–50 °C selama 30 menit, 50 °C–100 °C selama 30 menit, 100 °C–100 °C selama 60 menit, 100 °C–150 °C selama 15 menit, 150 °C–200 °C selama 15 menit, sampai dengan 1200 °C dengan masing-masing interval 50 °C/15 menit. Pada suhu 350 °C dan 800 °C ditahan selama satu jam.

Pemanasan secara bertahap dimaksudkan agar pengeringan dan pelepasan molekul air pada sampel keramik lebih merata, sehingga mengurangi kerusakan atau keretakan pada keramik sebelum memadat dan mengeras. Pemanasan hingga suhu di atas 1000 °C dimaksudkan untuk menghilangkan tanin dari dalam keramik sebagai cetakan pori. Kemudian dilakukan penimbangan keramik secara teliti dilakukan sebelum dan sesudah sintering.

4. Karakterisasi Keramik Berpori

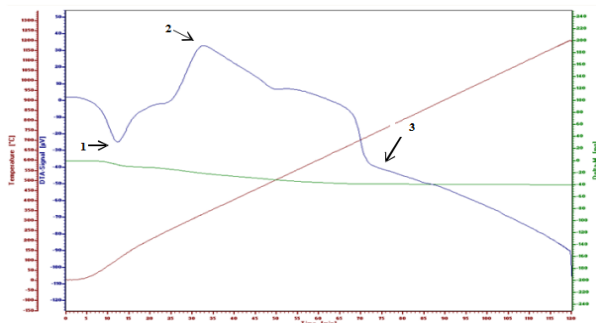
Karakterisasi keramik berpori yang dibuat dari lumpur lapindo meliputi uji XRF, Uji DTA, susut bakar, uji porositas (diameter pori), uji densitas, uji kekerasan keramik, struktur mikro (SEM), uji difraksi sinar-X, dan uji keasaman brownsted.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian ini didapatkan hasil yang diperoleh dari beberapa parameter yang dijadikan obyek penelitian. Hasil yang diperoleh berupa karakterisasi sampel keramik berpori lumpur Lapindo yang meliputi uji XRF, Uji DTA, susut bakar, uji porositas (diameter pori), uji densitas, uji kekerasan keramik, gambar mikro penampang pori (menggunakan SEM), uji difraksi sinar-X, dan identifikasi situs asam Bronsted dengan FT-IR.

a. Penentuan Suhu Sintering dengan Analisa DTA Keramik berpori dari Lumpur Lapindo

Hasil analisa termal keramik mentah 30% ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar1. Termogram analisa termal keramik mentah 30% tanin menggunakan TGA/DTA. Keterangan: (—) TGA, (—) DTA, dan (—) suhu

Penentuan suhu sintering dalam penelitian ini dilakukan setelah analisa termal keramik dengan 30% tanin menggunakan TGA/DTA. Data hasil pengukuran menunjukkan suhu terjadinya pengurangan berat keramik dan terjadinya perubahan fasa beberapa mineral. Laju pemanasan pada analisa DTA adalah $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan berat sampel yang dianalisa adalah 90,29mg.

Tabel1. Interpretasi Hasil Analisa Termal Keramik Mentah Menggunakan TGA/DTA

No.	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Interpretasi	Penyusutan massa
1	100	Lepasnya air pada sistem keramik	6%
2	350	Pengerasan pada badan keramik dan tanin, serta lepasnya air hidrat.	24,18%
3	800	Degradasi termal pada tanin yang ditandai pemecahan ikatan C-H pada gugus fenol dan pembentukan CO_2 .	42,72%

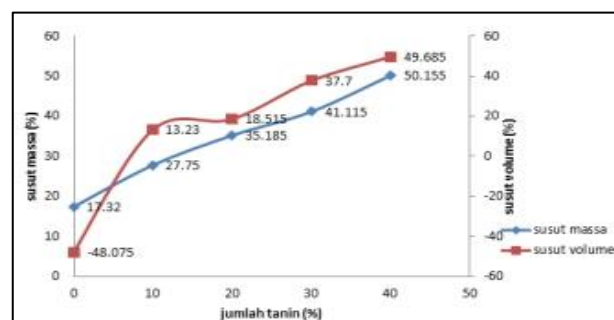
Dari Tabel 1 tentang interpretasi hasil analisa termal, dilakukan berbagai perlakuan suhu terhadap keramik mentah yang disinter. Tahap sintering dilakukan dengan menahan suhu selama 60 menit pada suhu 100°C , 350°C , dan 800°C . Pada suhu 100°C terjadi penguapan air pada sistem keramik, hal ini terlihat dari pengurangan massa sebesar 6%. Kemudian pada suhu 300 sampai 500°C , terjadi *curing* atau pengerasan pada badan keramik dan tanin, serta terjadi pelepasan air hidrat yang terikat pada mineral. Pada suhu ini terjadi juga perubahan tanin menjadi bentuk amorf. Pada suhu 800°C ditahan selama 60 menit untuk memaksimalkan penguraian tanin, karena pada suhu $560-800^{\circ}\text{C}$ ikatan antara C-H dalam gugus fenolik pada tanin akan pecah. Pada suhu 800°C hingga 1180°C

tidak terjadi pengurangan berat keramik secara signifikan karena pada rentang suhu ini hanya terjadi perubahan fasa pada keramik. Pemanasan dilakukan dengan laju pemanasan 50°C per 15 menit hingga suhu 1180°C . Ketika mencapai suhu 1180°C ditahan lagi selama 60 menit. Pemanasan dilakukan hingga suhu 1180°C karena transformasi fasa $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ menjadi $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (korundum) terjadi di atas suhu 1000°C . Untuk alumino silikat (Al_2SiO_5) stabil hingga suhu 1250°C dalam bentuk amorf. Pada 573°C , $\alpha\text{-quartz}$ berubah menjadi $\beta\text{-quartz}$, umumnya kedua bentuk ini memiliki struktur yang sama. Pemanasan *quartz* pada 867°C terjadi perubahan dari $\beta\text{-quartz}$ ke $\beta\text{-tridimit}$ (Shackelford dan Doremus, 2008). Perubahan fasa sebelum dan setelah sintering dijelaskan pada bagian tentang hasil analisa dengan XRD.

b. Sifat Fisik dan kimia Keramik Berpori dari Lumpur Lapindo

1. Analisa Sifat Fisik

Nainggolan (2008) menyebutkan susut bakar umumnya terjadi akibat hilangnya air akibat penguapan dan hilangnya zat aditif dari dalam keramik dan butiran kecil menyatu aktif terhadap butiran besar. Kekosongan yang terjadi akan diisi oleh bagian fluks (pelebur). Hasil analisa susut bakar keramik berpori dari lumpur Lapindo dilakukan dengan mengukur volume dan menimbang massa sebelum dan sesudah sintering. Keramik berpori lumpur Lapindo ini dicetak dengan menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 1,6 cm dan tinggi 1,55 cm. Hasil yang diperoleh dari analisa susut bakar ini dapat dilihat dari grafik susut volume dan susut massa pada Gambar2.



Gambar2. Grafik hubungan prosentase susut volume dan massa dengan prosentase jumlah tanin

Tanin yang digunakan sebagai cetakan pori pada pembuatan keramik berpori juga berguna sebagai perekat (Warsin2000). Tanin akan mengikat partikel lumpur Lapindo setelah diberi air pada saat pencetakan sehingga meningkatkan

kekuatan keramik sebelum disintering, berbeda dengan keramik tanpa tanin yang cenderung rapuh dan mudah pecah. Tanin juga akan memberikan warna hijau dan biru kehitaman bila bereaksi dengan besi (Browning 1996).

Keramik berpori yang dibuat dari lumpur Lapindo disintering hingga suhu 1180 °C, keramik sebelum dan sesudah sintering memperlihatkan perbedaan volume yang cukup signifikan. Keramik dengan prosentase tanin 10% sampai 40% dengan interval 10% mengalami susut bakar (massa dan volume) yang relatif meningkat dengan prosentase berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa sifat fisik keramik berpori

jumlah tanin (%)	% susut massa	% susut volume	densitas	Kekerasan (Hv)	Diameter pori (μm)
0	17.32	-48.075	4.42	99.07	2.82
10	27.75	13.23	2.82	71.245	2.77
20	35.185	18.515	2.175	55.83	2.72
30	41.115	37.7	1.525	42.02	2.65
40	50.155	49.685	1.18	39.5	2.58

Dari data ini terlihat prosentase penyusutan volume dan massa semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah tanin dalam keramik (Gambar 2), penyusutan ini disebabkan karena tanin yang dicetak bersama sampel lumpur Lapindo mengalami pembakaran dan terurai pada saat sintering. Dalam penelitian Sumin (2002), diperoleh data DTA bahwa tanin akan mengalami pemecahan ikatan C-H pada suhu 560–800 °C. Pada keramik tanpa tanin tidak terjadi penyusutan volume melainkan terjadi peningkatan volume. Peningkatan volume ini diperkirakan karena tingginya kadar Fe dalam bentuk oksida besi (Fe₂O₃) pada sampel lumpur Lapindo, berdasarkan hasil analisa XRF yaitu sekitar 25,9%. Hasil analisa XRF untuk lumpur sebelum ekstraksi memperlihatkan 3 unsur logam terbesar dengan nilai prosentase di atas 10% adalah Si, Fe, dan Al dengan masing-masing 40,1%, 28,8%, dan 15%. Unsur logam ini terdapat pada sampel lumpur Lapindo dalam bentuk oksida yang lebih lanjut dijelaskan pada bagian hasil analisa dengan XRD. Dengan mengetahui bahwa kandungan Sisebagai Silika dan Alsebagai alumina, maka lumpur Lapindo layak digunakan sebagai bahan pembuat keramik. Setelah dilakukan ekstraksi, komposisi masing-masing 3 unsur tersebut mengalami perubahan dengan nilai 45,6% Si, 14% Al, dan 25,9% Fe. Prosentase Al dan Fe mengalami penurunan sedangkan Si mengalami peningkatan.

Dengan tingginya kandungan logam pada lumpur Lapindo menyebabkan massa jenisnya juga lebih besar dari massa jenis air yaitu berkisar 1,24 – 1,37 (Agustanto, 2007). Tingginya kadar Fe pada sampel lumpur akan berpengaruh pada kekerasan dan warna keramik setelah sintering.

Bertambahnya volume keramik 0% tanin dapat dijelaskan dengan hasil analisa XRD yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisa XRD keramik sebelum dan setelah sintering

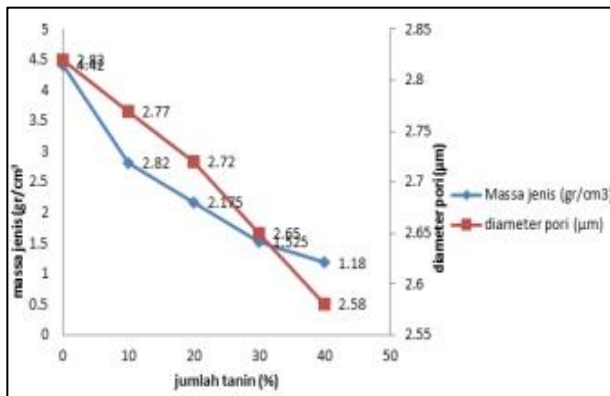
no.	senyawa	fasa	% fasa		sistem kristal		parameter sel	
			sebelum sintering	setelah sintering	sebelum sintering	setelah sintering	sebelum sintering	setelah sintering
1	SiO ₂	Quartz	9,60%	14,20%	heksagonal	heksagonal	a=4,8362 Å c=5,3439 Å	a=4,9160 Å c=5,4054 Å
2	Al ₂ O ₃	Corundum	26,70%	15,70%	heksagonal	heksagonal	a=4,7570 Å c=12,9877 Å	a=4,7602 Å c=12,9933 Å
3	Fe ₂ O ₃	Hematite	7,50%	6%	rombohedral	heksagonal	a=5,4200 Å	a=5,0380 Å c=13,7720 Å
4	Al ₂ SiO ₅	Andalusite	34,30%	25,30%	ortorombik	ortorombik	a=7,7980 Å b=7,9031 Å c=5,5566 Å	a=7,8355 Å b=7,9289 Å c=5,5611 Å
5	Al ₂ Si ₂ O ₇ (OH) ₄	Kaolinite	21,90%	38,90%	triklinik	triklinik	a=5,1554 Å b=8,9448 Å c=7,4048 Å	a=5,1554 Å b=8,9448 Å c=7,4048 Å

Hasil analisa XRD keramik memperlihatkan oksida besi (Fe₂O₃) dengan fasa hematit muncul

pada sudut $2\theta=56,3^\circ$ dengan prosentase fasa 7,5% pada keramik sebelum sintering. Perubahan sudut 2θ terjadi setelah sintering keramik, dan Fe₂O₃ muncul pada $69,43^\circ$. Selain perubahan sudut 2θ , terjadi juga penurunan prosentase fasa menjadi 6%. Hal ini disebabkan karena selama proses sintering hingga suhu di atas 1180 °C berakibat pada berubahnya sistem kristal pada oksida besi, dari rombohedral dengan parameter sel $a=5,4200\text{Å}$ menjadi heksagonal dengan parameter sel $a=5,0380\text{Å}$, $c=13,7720\text{Å}$. Menurut Cornell dan Schwertmann (2003), pada sistem rombohedral hanya terdapat dua unit Fe₂O₃ dalam satu sel, sedangkan pada sistem heksagonal terdapat enam unit Fe₂O₃ dalam satu sel. Dengan adanya perubahan sistem Kristal dan parameter sel, diperkirakan pengaruh terhadap volume keramik secara makro adalah membesar dan menyebabkan keramik dengan tanin 0% mengalami penambahan volume setelah sintering.

Perubahan parameter sel terjadi pada semua oksida dan mineral pada keramik, namun perubahan yang paling signifikan terlihat pada oksida besi. Pada silika terjadi perubahan sebelum sintering dari α -quartz menjadi β -tridimit setelah sintering. Hal ini ditandai dengan perubahan parameter sel.

Berbeda dengan diameter pori, kekerasan dan massa jenis menunjukkan penurunan nilai, mulai dari prosentase tanin 0% sampai 40%. Hal dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

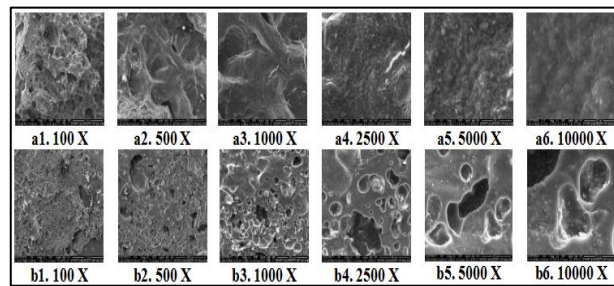


Gambar3. Grafik masa jenis dan diameter pori keramik

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, volume keramik tanpa tanin menjadi lebih besar setelah disintering. Hal ini akan berpengaruh juga pada diameter pori, massa jenis, dan kekerasan keramik yang terbentuk selama proses sintering karena adanya oksida besi berupa Fe_2O_3 . Clay yang juga terdiri atas kaolin dan feldspar menurut Diamond (1970) memiliki diameter pori 10 nm sampai 10.000 nm, sedangkan menurut IUPAC apabila suatu pori memiliki diameter lebih besar dari 50 nm maka pori tersebut digolongkan kedalam makro pori. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa diameter pori keramik dari lumpur Lapindo yang dianalisa dengan metode *bubble point* berada dalam kategori makropori, dan keramik berdasarkan hasil analisa XRD terdiri dari kaolin dan alumino silikat.

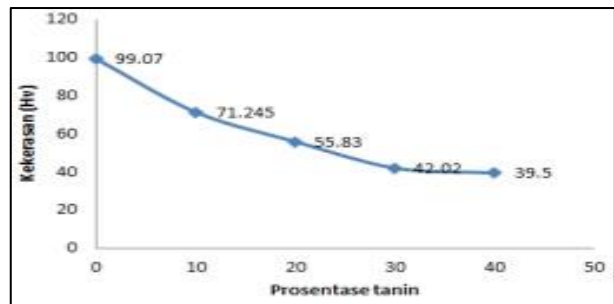
Adanya tanin yang berperan sebagai cetakan pori sekaligus perekat antar partikel lumpur Lapindo menyebabkan keramik tidak merekah pada saat sintering dan menghasilkan pori yang cenderung semakin kecil sesuai dengan semakin banyaknya prosentase tanin yang ditambahkan ke dalam keramik. Untuk massa jenis keramik, semakin banyak tanin akan menyebabkan semakin banyak ruang kosong berupa pori dengan berbagai ukuran dan bentuk setelah sintering seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. dengan adanya pori ini akan menyebabkan pengurangan massa yang berpengaruh pada pengurangan massa jenis.

Penentuan jumlah penambahan tanin ini berdasarkan penelitian oleh *HP Technical Ceramics* yang memproduksi keramik berpori dengan standar porositas 35- 50%



Gambar4. Struktur mikro keramik dengan 30% tanin a (sebelum sintering), b (setelah sintering) dengan perbesaran 100, 500, 1000, 2500, 5000, dan 10.000 kali

Terlihat perbedaan antara keramik sebelum sintering dan setelah sintering. Perbedaan ini mulai terlihat pada perbesaran 1000X yang memperlihatkan banyaknya pori pada badan keramik, dan pada perbesaran 10000X terlihat jelas ukuran dan bentuk pori yang memperlihatkan ukuran makro pori serta bentuk yang bervariasi. Hasil analisa dengan metode *bubblepoint* dan SEM memperlihatkan adanya pori terbuka dan tertutup. Adanya pori ini menyebabkan terbentuknya jarak atau ruang antar partikel penyusun keramik yang menyebabkan menurunnya kekerasan mulai dari keramik dengan tanin 0% sampai 40%. Nilai kekerasan yang paling tinggi (skala Vickers) ditunjukkan oleh keramik dengan prosentase tanin 0% karena pada kondisi ini intensitas pori sangat sedikit karena tidak ada tanin yang menghalangi interaksi antar partikel selama proses sintering.



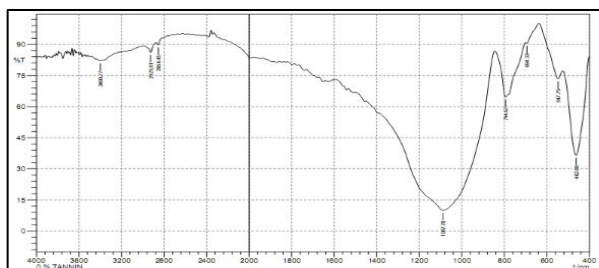
Gambar5. Grafik hubungan kekerasan keramik dengan variasi tanin

Dari hasil analisa gambar mikro dan *bubble point* dapat diketahui bahwa ukuran pori adalah dalam kategori makropori. Keramik alumina silika dengan ukuran seperti ini dapat dijadikan sebagai sistem katalis plasma hibrid. Penelitian Hensel dkk (2005) memperlihatkan bahwa ukuran diameter pori antara 10-15 μm menunjukkan lucutan plasma paling stabil dan efektif apabila digunakan untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan berupa nitrogen oksida dan hidrokarbon.

2. Analisa Sifat Kimia

Analisa kualitatif dengan FT-IR dilakukan untuk mengetahui sifat kimia berupa situs asam

Bronsted pada keramik berpori dari lumpur Lapindo. Alumino silikat dapat memperlihatkan situs asam Bronsted. Pembentukan situs asam mungkin dianggap sebagai kondensasi Siunit $\text{Si}(\text{OH})_4$ dengan unit aluminium hidrous, $\text{H}_2\text{O}.\text{Al}(\text{OH})_3$. Prinsip dari analisa FT-IR adalah menggunakan vibrasi molekul sebagai kunci untuk struktur. Keadaan vibrasi dari ikatan terjadi pada keadaan tetap, atau terkuantitas pada tingkat energi tertentu. Panjang gelombang eksak dari absorpsi oleh suatu ikatan tertentu, bergantung pada jenis getaran dari ikatan tersebut. Oleh karena itu, tipe ikatan yang berlainan (C-H, C-C, O-H, dan sebagainya) menyerap radiasi infra merah pada panjang gelombang yang berlainan (Fessenden, 2004). Gambar 6 memperlihatkan spektra IR dari keramik yang dibuat dari lumpur Lapindo dengan 0% tanin.



Gambar 6. Spektra IR keramik dengan jumlah tanin 0%

Dari spectra IR pada Gambar 6 dapat dilihat hubungan antara transmittansi persen (%T) dan bilangan gelombang dari keramik dengan jumlah tanin 0%. Tabel 4 menunjukkan daerah serapan untuk berbagai vibrasi Si-O dan Si-O-Al

Tabel 4. Vibrasi beberapa gugus kimia (Hlavaydkk, 1978)

Sampel	Gugus	Bilangan gelombang (cm^{-1})
Quartz	Si-O vibrasi regangan asimetris	1175 – 1100
	Si-O vibrasi regangan simetris	802 – 785
	Si-O vibrasi tekuk simetris	695
Feldspar	O vibrasi tekuk asimetris	516 – 470
	vibrasi regangan asimetris Si-O	1200 – 950
	O-Al kumpulan vibrasi	775 – 735
	Si-O vibrasi tekuk simetris	570
	Si-O vibrasi tekuk asimetris	538
	Al-O vibrasi koordinasi	648

Beberapa jenis vibrasi pada gugus yang tersaji dalam Tabel 4 digunakan untuk menyesuaikan serapan pada spektra IR pada Gambar 6. Pada daerah serapan $900 - 1200 \text{ cm}^{-1}$ terjadi *overlapping* antara vibrasi regangan simetris Si-O feldspar dan quartz, *overlapping* ini menyebabkan pelebaran puncak pada spektra. Menurut Hlavaydkk (1978) silika amorf dengan vibrasi tekuk simetri biasanya terlihat pada 69 cm^{-1} , namun pada spektra sampel keramik getaran

tekuk simetri ini terlihat pada $694,33 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini disebabkan karena proses sintering dengan pemanasan bertahap sampai 1180°C yang mengubah silika dari bentuk amorf menjadi kristalin sehingga mempengaruhi serapan. Pada spektra IR keramik, terlihat puncak pada $794,62$ dan $694,33 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan pada daerah ini terdapat terdapat kumpulan berbagai vibrasi Si-O-Al antara $775 - 735 \text{ cm}^{-1}$, dan sistem ini menunjukkan mineral alumina silika.

Pembentukan situs asam mungkin dianggap sebagai kondensasi unit $\text{Si}(\text{OH})_4$ dengan unit aluminium hidrous, $\text{H}_2\text{O}.\text{Al}(\text{OH})_3$ yang menghasilkan sebuah situs asam Bronsted dimana proton dipertahankan untuk menyeimbangkan muatan positif dari ion Al^{3+} , maka gugus Si-OH pada situs asam Bronsted ini dibaca pada serapan $3400,27 \text{ cm}^{-1}$ dalam spektra sampel keramik. Hal ini menginformasikan gugus SiOH mirip dengan alkohol ($3700 - 3200 \text{ cm}^{-1}$). Seperti halnya alkohol karakteristik serapan bergantung pada derajat ikatan hidrogen (Silverstein, 1984). Dari beberapa hal yang telah dijelaskan maka pada keramik dari lumpur Lapindo terdapat situs asam Bronsted.

Dari beberapa uraian diatas terlihat bahwa penambahan tanin mulaidari 0% hingga 40% dengan interval 10% berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia keramik berpori yang dibuat. Dengan adanya situs asam Bronsted pada permukaan keramik berpori berbahan dasar lumpur Lapindo, maka keramik hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai katalis polimerisasi polipropilena (Triyonodkk, 1990). Semakin banyak pori yang terbentuk akan menambah luas permukaan dengan situs asam Bronsted sehingga reaksi polimerisasi propilena bisa lebih dioptimalkan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa keramik dengan 40% tanin akan memberikan luas permukaan yang paling tinggi dengan situs asam Bronsted.

PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Sifat fisik keramik berpori berbahan dasar lumpur Lapindo menunjukkan peningkatan prosentase susut bakar dengan prosentase tanin 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% namun kekerasan, massa jenis, dan diameter pori mengalami penurunan nilai seiring dengan jumlah prosentase tanin yang semakin meningkat dari 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Sedangkan volume setelah sintering

memperlihatkan bahwa volume terbesar dimiliki oleh keramik dengan prosentase 0%, hal ini disebabkan karena berdasarkan hasil analisa XRD memperlihatkan adanya Fe_2O_3 yang mengalami perubahan parameter sel yang signifikan sebelum dan setelah sintering. Analisa sifat kimia secara kualitatif dengan menggunakan FT-IR memperlihatkan serapan Si-O-Al antara $775\text{--}735\text{cm}^{-1}$, serta Si-OH pada serapan $3400, 27\text{cm}^{-1}$ yang menunjukkan mineral alumina silika dengan situs asam Bronsted.

2. Pengaruh pemanasan bertahap terhadap tanin menyebabkan berkurangnya massa keramik yang diperlihatkan pada kurva TG/DTA, serta hasil analisa SEM memperlihatkan berbagai bentuk dan ukuran pori yang dihasilkan setelah sintering. Hal ini membuktikan bahwa tanin bisa dijadikan cetakan pori pada pembuatan keramik berpori dengan ukuran pori yang tergolong makropori.

DAFTAR PUSTAKA

- Browning, B.L. 1966. *Methods of Wood Chemistry*. Vol I, II. Interscience Publishers. New York.
- Hensel, Katsura, dan Mizuno. 2005. *DC Microdischarges Inside Porous Ceramics*. Ieee Transactions on Plasma Science, Vol. 33, No. 2, April 2005
- Hlavay. 1976. *Characterization of the Particle Size and the Crystallinity of Certain Minerals by IR Spectrophotometry and Other Instrumental Methods-II Investigations on Quartz and Feldspar*. Veszprem University of Chemical Engineering, Veszprem, 8201 Hungary
- Joko dan Gunradi. 2007. *Penelitian Endapan Lumpur Di Daerah Porong Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur*. Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan Tahun 2007 Pusat Sumber Daya Geologi. Kabupaten Sidoarjo.
- Manap, N.R. Adan Jais, U.S. 2010. *Biologically Self-Assembled Porous Ceramics Thermal Insulating Additive in Water-Based Paint*. Malaysia: Universiti Teknologi MARA. Solid State Science and Technology, Vol. 18, No 1 (2010) 317-324 ISSN 0128-7389
- Nainggolan. 2008. *Pembuatan Keramik Berpori dengan Aditif Cangkang Kelapa Sebagai Filter Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Risnasari. 2002. *Tanin*. Fakultas Pertanian Jurusan Ilmu Kehutanan Universitas Sumatera Utara.
- Rungrodnimitchai, Phokhanusai, dan Sungkhaho. 2009. *Preparation of Silica Gel from Rice Husk Ash Using Microwave Heating*. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University Khlong Neung, Khlong Luang, Phatum Thani 12120, Thailand. Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.19 No.2 pp.45-50, 2009.
- Satria, Rendy. 2011. *Studi Pengaruh Kadar Mg, Na, dan K pada Bahan Baku Terhadap Karakter Keramik yang Dibuat Dari Lumpur Porong*. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.
- Setyowati. 2007. *Penggunaan Campuran Lumpur Lapindo Terhadap Peningkatan Kualitas Genteng Keramik*. Malang: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Shackelford dan Doremus. 2008. *Ceramic and Glass Materials*. University of California, Davis Dept. Chemical Engineering & Materials Science 1 Shields Avenue Davis, CA 95616.
- Subiyanto dan Subowo. 2004. *Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Sifat Mekanik Keramik Insulator Listrik*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS
- Sumin, Lee, Kim, dan Young. 2002. *Comparison Study of Thermal Decomposition Characteristic of Wattle and Pine Tannin-based Adhesives*. Mokchae Konghak 30 (3):34-41. 2002.
- Triyono, Bambang, dan Utoro. 1990. *Tanah Lempung Aktif sebagai Katalis Polimerisasi Polipropilena*. Yogyakarta: Program Studi Ilmu Kimia, Fakultas Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Wasrin. 2000. *Pemanfaatan Tnin Kulit Kayu Acacia decurrens Willd. Sebagai Baku Perekat untuk Pembuatan Papan Serat*. J.II. Pert. Indo. Vol. 9(1). 2000