

KERAMIK PORSELEN BERBASIS FELDSPAR SEBAGAI BAHAN ISOLATOR LISTRIK

Eva Indiani, Ngurah Ayu Ketut Umiati

Jurusan Fisika Universitas Diponegoro, Semarang Indonesia
ngurahayuketutumati@yahoo.com

Abstract

Electric solid insulator based on ceramics porcelain had been made by using local raw materials: 68% feldspar, 10% kaolinite and 22% quartz, and also added 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% cullet (From total mass). The forming process of the porcelain was conducted by milling the raw materials using ball mill and screened using 200 mesh screening. The samples were formed by using the dry-press method with the pressure of 50MPa, then the samples is sintered at temperature of 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C for 2 hours. The properties of the samples had been analyzed for their shrinkage, density, bending strength and resistivity. The result of the experiment showed that the optimum value was reached by ceramic which was added by 15% cullet and sintered at temperature of 1100°C. This ceramic had shrinkage of 9,70%, density of 2,44 g/cm³, bending strength of 86,73 MPa and the resistivity at 25°C is 2,32x10⁸ Ωcm

Keyword: Solid insulator, ceramic, porcelaine, feldspar

Abstrak

Telah dilakukan pembuatan isolator listrik berbahan dasar keramik porselin dengan menggunakan bahan baku lokal: 68% feldspar, 10% kaolin dan 22% kuarsa serta ditambahkan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% cullet (dari total massa bahan murni). Proses pembentukan dilakukan dengan menggiling bahan baku menggunakan ball mill hingga lolos ayakan 200 mesh. Pembentukan benda uji dilakukan dengan metode cetak tekan dengan tekanan sebesar 50MPa dan selanjutnya dilakukan sintering pada suhu 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C selama 2 jam. Untuk mengetahui karakteristik benda uji yang dibuat maka dilakukan pengujian sebagai berikut: susut bakar, densitas, kuat patah dan resistivitas. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai optimum dicapai oleh keramik porselin yang diberi aditif cullet sebesar 15% dengan suhu sintering 1100°C. Keramik tersebut memiliki susut bakar 9,70%, densitas 2,44 g/cm³, kuat patah 86,73 MPa dan resistivitas pada suhu 25°C sebesar 2,32x10⁸ Ωcm.

Kata kunci: Isolator padat, keramik, porselin, feldspar

1. PENDAHULUAN

Salah satu contoh nyata penggunaan keramik adalah sebagai isolator listrik tegangan rendah hingga tinggi dan aplikasi *railgun* [1,2,3]. Dalam pembuatan keramik, feldspar merupakan bahan baku terpenting kedua setelah lempung. Dalam hal ini feldspar digunakan sebagai bahan pencair untuk membentuk fase kaca pada temperatur dibawah 1100°C [1,2], dan sebagai sumber alkali dan alumina pada pelapisan kaca [1,2]

Keramik porselen yang dibuat mempunyai perbandingan komposisi bahan baku yaitu 35% feldspar, 35% kaolin dan 30% silika. Sebagai aditif digunakan alumina (Al₂O₃). Penelitian serupa juga telah dilakukan Muljadi, P sebayang dan E Wibawati [4,5,6]. Kesemuanya menggunakan bahan baku berupa kaolin, feldspar dan kuarsa. Sebagai aditif digunakan kalsium karbonat [6].

Pada penelitian ini diusulkan dilakukan pembuatan keramik yang terbuat dari keramik porselen jenis *triaxial body*, yaitu keramik porselen dengan bahan baku utama berupa feldspar, lempung dan kuarsa. Sebagai *flux* digunakan bahan *cullet*. yang dapat menurunkan suhu *sintering* sehingga energi listrik dalam proses *sintering* juga dapat direduksi. Keuntungan bahan *cullet* adalah harga yang tidak terlalu mahal sehingga dapat dibuat keramik porselen dengan

harga produksi yang lebih murah. Dalam makalah ini ini dilakukan upaya bagaimana mencari komposisi penambahan bahan *flux cullet* yang tepat sehingga dapat dihasilkan keramik porselen dengan resistivitas yang cukup baik, dengan suhu *sintering* yang tidak terlalu tinggi.

1.1. Isolator Listrik

Bahan isolasi berguna sebagai suatu penyekat antara dua buah penghantar yang mempunyai perbedaan tegangan, dimana didalam bahan ini elektron terikat kuat pada atom nukleusnya, sehingga konduksi oleh elektron tidak akan terjadi [7].

Isolator listrik merupakan suatu alat penting yang digunakan pada jaringan listrik. Berdasarkan kegunaannya, isolator mempunyai dua fungsi, yaitu :

- a. Fungsi kelistrikan
Sebagai penyekat arus listrik, sehingga arus listrik tidak merambat pada benda lain selain jaringan yang sudah ditentukan.
- b. Fungsi mekanik
Sebagai tempat bertambatnya konduktor, yang akan melindungi dari berbagai kendala di lapangan seperti: perubahan cuaca, perubahan suhu, hujan, angin dan sebagainya, dalam waktu yang cukup lama.

1.2. Keramik

Kata keramik dibentuk dari kata Latin '*keramos*' yang berarti tembikar atau peralatan yang terbuat dari lempung dan mengalami proses *sintering*. Bahan baku keramik yang paling awal digunakan adalah lempung. Lempung telah didefinisikan sebagai tanah yang menjadi koheren dan lengket bila dicampur dengan air; ketika basah, tanah ini mudah dibentuk, tetapi jika dikeringkan maka akan menjadi keras dan rapuh serta mempertahankan bentuknya [8]. Tembikar terbuat dari lempung dan bahan mineral lain yang mengandung silika yang dibakar pada temperatur antara 900°C– 1200°C [9].

Salah satu jenis lempung yang merupakan alumunium silikat terhidrasi ($x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$) adalah kaolin. Jenis ini merupakan hasil pelapukan dari feldspar, yang disebut juga proses kaolinisasi. Proses kaolinisasi ini terjadi oleh naiknya larutan atau uap panas yang mengandung CO_2 dan SO_2 melalui rekahan batuan feldspatik pada temperatur dan tekanan tinggi. Kristal kaolin murni memiliki komposisi $(\text{OH})_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$.

1.2.1. Sifat-sifat keramik

a. Densitas

Densitas merupakan suatu ukuran massa per unit volume dan dinyatakan dalam gram per centimeter kubik (g/cm^3) atau pound per inch kuadrat (lb/in^2). Pengukuran densitas yang dilakukan adalah jenis densitas ruah (*bulk density*) berdasarkan metode Archimedes dimana perbedaan berat di udara dibandingkan dengan beratnya di dalam air. Persamaan untuk menghitung densitas ruah diberikan pada persamaan (1) [10].

$$\rho_b = \frac{m_k}{m_b - (m_g - m_{kw})} \rho_{\text{air}} \quad (1)$$

dengan ρ_b merupakan *bulk density* (g/cm^3), ρ_{air} merupakan densitas air ($1\text{g}/\text{cm}^3$), m_b merupakan massa basah (g), m_k merupakan massa kering (g), m_g merupakan massa ketika beban digantung dalam air (g), dan m_{kw} merupakan massa kawat penggantung (g).

b. Kuat Patah (*Bending Strength*)

Pengukuran kekuatan patah dilakukan dengan pengujian *Triple Point Bending Strength* dan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine (UTM)*. Nilai kekuatan patah dihitung dengan persamaan sebagai berikut [10]:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

dengan σ_f merupakan kekuatan patah sampel balok (Pa), P merupakan besarnya beban sampai patah (N), L merupakan jarak antara dua tumpuan (m), b merupakan lebar benda uji (m), dan d merupakan tinggi benda uji (m).

c. Resistivitas

Resistivitas adalah besarnya tegangan yang diberikan terhadap luas penampang suatu bahan tertentu dibagi besarnya arus yang mengalir dan panjang bahan tersebut [11].

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (3)$$

dengan ρ merupakan resistivitas bahan (Ωcm), l merupakan panjang bahan (cm), R merupakan hambatan bahan (Ω), dan A merupakan luas penampang bahan (cm^2).

Resistivitas listrik suatu bahan merupakan ukuran kemampuan bahan tersebut untuk men-transport muatan listrik di bawah pengaruh medan listrik [12]. Standar isolator listrik tegangan rendah berdasarkan resistivitasnya memiliki resistivitas $\sim 10^7 \Omega\text{cm}$, untuk isolator listrik tegangan menengah maka harus memiliki resistivitas $10^9\text{-}10^{14} \Omega\text{cm}$, dan untuk isolator listrik tegangan tinggi maka resistivitasnya harus lebih besar dari $10^{14} \Omega\text{cm}$.

1.2.2. Keramik Porselen

Porselen adalah bahan anorganik dengan elektron-elektron pada atom penyusunnya terikat dengan kuat sehingga ion-ionnya tidak berdifusi. Oleh karena itu keramik porselen banyak digunakan sebagai bahan isolator listrik. Bahan keramik porselen mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi, dan pada umumnya mempunyai ketahanan termal yang tinggi juga. Untuk mendapatkan bahan isolator listrik yang baik, struktur badan porselen yang telah dibakar harus mengandung 10-20% kuarsa, 10-20% kristal mullit, matrik gelas dan sisa bahan baku yang masih tetap merupakan kristal asal. Porselen pada umumnya terbuat dari campuran bahan baku berupa feldspar [(K, Na)AlSi₃O₈], lempung kaolinit (Al₂O₃-2SiO₂-2H₂O), dan kuarsa (SiO₂). Komposisi ini akan menempatkan porselen dalam sistem fase [(K, Na)₂O-Al₂O₃-SiO₂] [13].

1.3. Feldspar

Feldspar hingga saat ini merupakan grup mineral dengan jumlah paling besar di kerak bumi, membentuk sekitar 60% batuan terrestrial. Kebanyakan feldspar yang tersedia berupa sodium feldspar, potassium feldspar dan feldspar campuran. Feldspar kebanyakan digunakan pada aplikasi-aplikasi industri yang membutuhkan kandungan feldspar yang berupa alumina dan alkali. Sebagian besar produk yang digunakan sehari-hari terbuat dari feldspar: gelas untuk minum, gelas sebagai pengaman, fiberglass sebagai isolator, lantai keramik, bak mandi dan peralatan makan.

Rumus kimia feldspar secara umum adalah XAl(Al,Si)Si₂O₈ dengan X adalah potasium, sodium, kalsium atau barium. Secara khusus rumus kimia feldspar dapat dilihat pada Tabel 1 [8].

Tabel 1. Jenis-jenis feldspar [8]

Jenis feldspar	Rumus kimia
<i>Albite</i>	Na(Si ₃ Al)O ₈
<i>Anorthite</i>	Ca(Si ₂ Al ₂)O ₈
<i>Orthoclase</i>	K(Si ₃ Al)O ₈
<i>Celsian</i>	Ba(Si ₂ Al ₂)O ₈

1.4. Cullet

Cullet adalah serpihan kaca yang sangat kecil. Kaca merupakan benda padat *amorf*, biasanya anorganik, dibentuk melalui proses pemadatan dari peleburan tanpa kristalisasi [14]. Kaca kadang-kadang dapat dianggap sebagai cairan yang sangat kental (viskos) karena bukan kristalin atau *amorf*. Akan tetapi hanya beberapa jenis cairan dapat membentuk kaca. Pada suhu yang tinggi, kaca merupakan cairan sejati. Pada fase cair ini struktur dari bahan-bahan anorganik belum beraturan dan atom-atomnya selalu bergerak terus-menerus [14]. Pada

penelitian ini jenis kaca yang digunakan adalah jenis *soda-lime glass* atau yang biasa digunakan sebagai kaca jendela. *Soda-Lime glass* merupakan salah satu jenis dari gelas komersil dengan unsur penyusun terbesarnya adalah SiO_2 (72%).

2. METODE PENELITIAN

Ada beberapa tahapan penting yang mempengaruhi sifat-sifat akhir produk keramik yakni tahapan pra kompaksi, tahapan kompaksi dan *sintering*.

2.1. Tahapan Pra Kompaksi

Tahapan ini merupakan tahapan persiapan dalam penanganan serbuk sebelum dimasukkan ke dalam cetakan. Beberapa proses pra kompaksi adalah sebagai berikut:

a. Pencampuran (*mixing*)

Proses ini penting dilakukan untuk mendapatkan campuran material bahan baku keramik dengan pengaturan komposisi dan ukuran butir hingga homogen. Selain itu proses ini juga dapat meningkatkan densitas dari keramik dan juga mengurangi porositas yang terdapat dalam keramik tersebut. Metode pencampuran yang paling umum digunakan adalah pencampuran basah dengan menggunakan *ballmill*. *Ballmill* terdiri dari wadah bahan baku yang berbentuk silinder tertutup, terbuat dari keramik yang diisi dengan media penghalus berbentuk bola-bola atau silinder yang juga terbuat dari keramik.

b. Pengeringan

Pada umumnya, pengeringan zat padat berarti pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair lain dari bahan padat, sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di dalam zat padat tersebut. Proses ini harus dikontrol, karena melibatkan penekanan yang diakibatkan oleh perbedaan *shrinkage* atau tekanan gas dapat menyebabkan cacat pada produk yang dihasilkan [15].

2.2. Tahapan Kompaksi

Proses selanjutnya merupakan proses pembentukan dengan cara menekan serbuk material. Penekanan merupakan suatu proses dimana serbuk keramik dimasukkan dalam suatu wadah berongga dengan bentuk tertentu dan ditekan dalam arah uniaksial sehingga serbuk akan mengalami konsolidasi dan memiliki bentuk yang sesuai dengan cetakannya. Proses ini juga disebut penekanan kering atau kompaksi uniaksial.

2.3. Sintering

Proses *sintering* adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi mendekati titik leburnya hingga terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, peningkatan densitas dan penyusutan. Proses *sintering* keramik ada beberapa tahapan yaitu [15]:

a. Tahapan awal

Pada tahap ini partikel-partikel keramik akan saling kontak setelah proses pencetakan. Di sini serbuk dalam keadaan bebas.

b. Tahapan mulai *sintering*

Adalah tahap pembentukan ikatan, dimana *sintering* mulai berlaku dan permukaan kontak kedua partikel semakin lebar. Perubahan ukuran butiran maupun pori belum terjadi

c. Tahapan pertengahan *sintering*

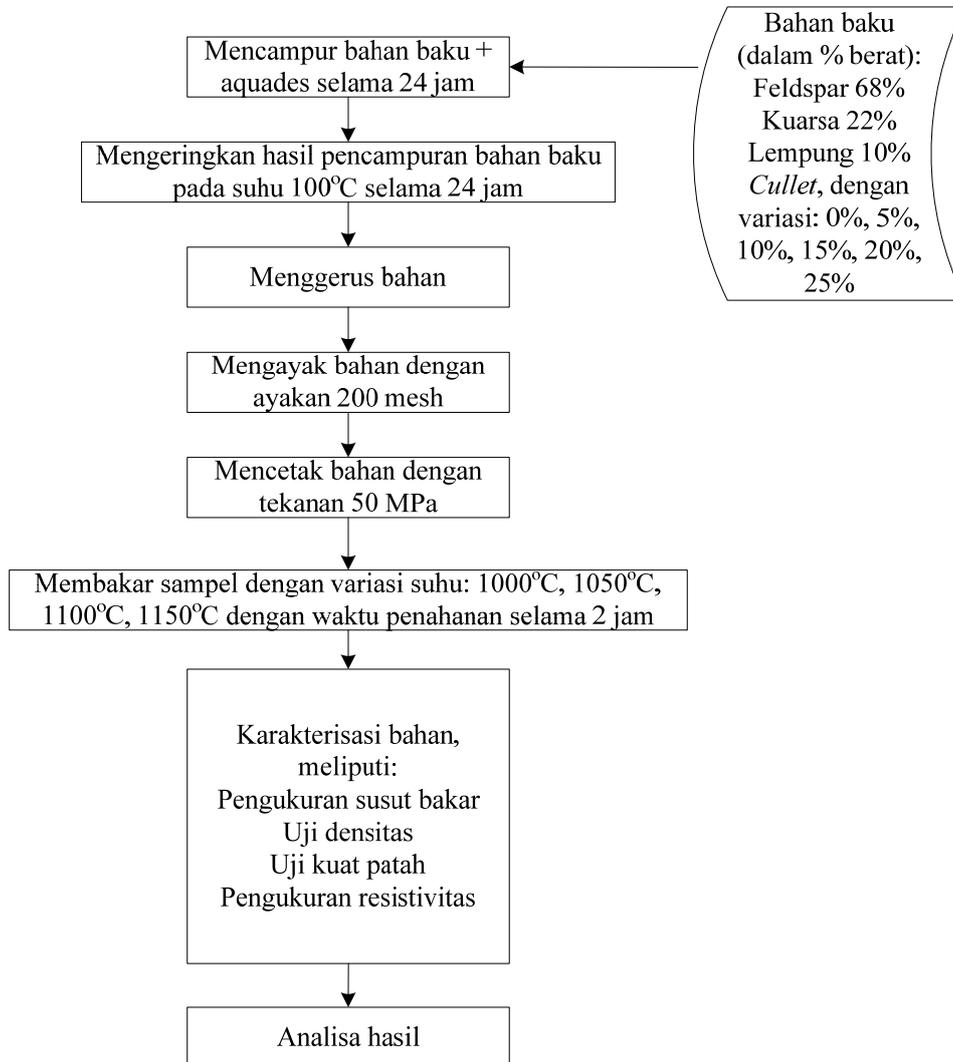
Merupakan tahap antar pembentukan batas butiran.

d. Tahapan akhir *sintering*

Pada tahap ini terjadi densifikasi dan eliminasi pori sepanjang batas butir, yaitu terjadi pembesaran ukuran butiran sampai kanal-kanal pori tertutup dan sekaligus terjadi penyusutan butiran, dan terbentuklah fasa baru.

Selanjutnya dalam makalah ini prosedur penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1. Keramik yang dibuat pada penelitian ini adalah porselen *triaxial body* dengan kandungan bahan baku 68% feldspar, 10% lempung, 22% kuarsa (dalam % massa). Dari komposisi tersebut kemudian ditambahkan *cullet* dengan variasi komposisi 5%, 10%, 15%, 20%, 25% (dalam % massa dari massa total bahan murni). Selain itu juga dilakukan pembuatan porselen tanpa penambahan bahan *cullet* sebagai kontrol untuk membandingkan karakteristik yang akan diuji, untuk mengamati pengaruh yang ditimbulkan penambahan *cullet*. Pada keramik,

feldspar berfungsi sebagai pembentuk fasa gelas, kuarsa berfungsi sebagai kerangka yang memberikan kekuatan dalam struktur mikro badan keramik setelah mengalami reaksi pada suhu tinggi, sementara kaolin berfungsi sebagai badan keramik.



Gambar 1 Diagram blok prosedur penelitian

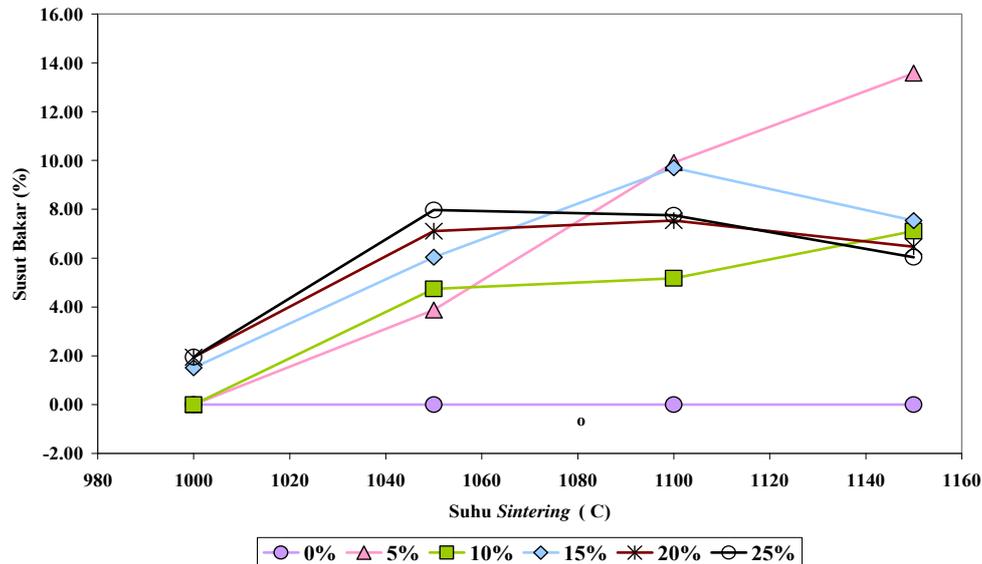
3. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Suhu *Sintering* terhadap Susut Bakar

Pengukuran susut bakar dilakukan pada seluruh sampel, dan setelah dilakukan perhitungan di dapat data yang disajikan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa pada sampel tanpa aditif *cullet* tidak terjadi penyusutan dimensi sampel. Hal ini dikarenakan dengan tidak adanya aditif *cullet* maka fase gelas yang terbentuk sangat sedikit, padahal fase gelas berfungsi untuk memfasilitasi terjadinya pergerakan molekul yang akan mempermudah terjadinya difusi. Jika difusi yang terjadi sangat sedikit, maka eliminasi pori yang terjadi juga sangat minim. Hal inilah yang menyebabkan pada sampel tanpa aditif *cullet* tidak terjadi penyusutan dimensi sampel. Pada Gambar 2 juga terlihat bahwa sampel yang memiliki kandungan *cullet* mengalami kenaikan prosentase susut bakar. Kenaikan prosentase ini disebabkan meningkatnya kerapatan butiran seiring dengan berkurangnya pori. Hal ini terjadi akibat adanya proses difusi yang dialami molekul-molekul penyusun keramik yang menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir dan eliminasi pori. Dari data di atas terlihat bahwa

dengan penambahan aditif *cullet* maka akan menurunkan suhu *sintering* yang mengakibatkan sampel mengalami penyusutan dimensi akibat terjadi densifikasi pada bahan keramik.

Pada sampel dengan aditif *cullet* sebesar 5% dan 10% susut bakar berbanding lurus terhadap suhu *sintering*, seiring bertambahnya suhu *sintering* maka susut bakar yang terjadi semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu maka akan terjadi densifikasi dan eliminasi pori yang semakin besar.



Gambar 2. Grafik pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap susut bakar sampel

Pada sampel dengan aditif *cullet* 15% dan 20% susut bakar maksimum adalah pada sampel dengan suhu *sintering* 1100°C. Pada sampel dengan suhu *sintering* 1150°C terjadi penurunan prosentase susut bakar. Hal ini terjadi karena keramik porselen tersebut sudah mengalami deformasi linier setelah mendekati titik lelehnya. Penurunan prosentase susut bakar ini juga disebabkan pada suhu 1150°C pori yang terdapat pada keramik mengalami ekspansi akibat memuainya gas yang mengisi pori. Hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan dimensi sampel yang menyebabkan penurunan susut dimensi.

3.2. Pengaruh Suhu *Sintering* terhadap Densitas

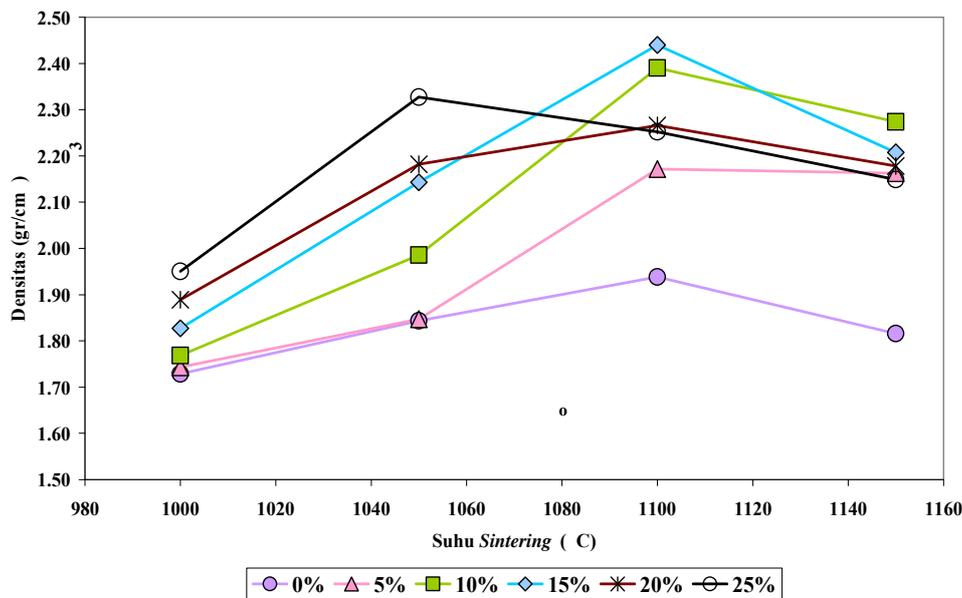
Pengukuran densitas dimaksudkan untuk mengetahui massa jenis keramik porselen. Keramik porselen mempunyai densitas berkisar antara 2,2 sampai 2,5 gr/cm³ [14]. Secara teoritis, dengan bertambahnya suhu *sintering*, densitas badan akan meningkat [15]. Peningkatan densitas badan disebabkan karena pori-pori badan telah terisi oleh matrik gelas yang terbentuk. Tetapi jika suhu *sintering* terus meningkat, sampai titik tertentu, akan terjadi penurunan densitas karena terjadi perubahan fase dari unsur-unsur penyusunnya. Penurunan densitas juga diakibatkan terjadinya ekspansi gas pada pori yang menyebabkan membesarnya pori. Setelah dilakukan perhitungan didapat data yang disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan penambahan *flux cullet* maka densitas akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena fasa-fasa keramik yang terjadi semakin banyak dan pori-porinya berkurang. Hal ini terjadi hingga titik optimum sebelum keramik porselen mengalami deformasi. Jika suhu *sintering* terus dinaikkan dan melewati titik optimum, maka badan keramik (*ceramic body*) akan mengalami deformasi yang ditandai dengan perubahan bentuk setelah proses *sintering*.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa sampel dengan aditif *cullet* sebesar 5%-20% mempunyai densitas optimum pada suhu *sintering* 1100°C, sementara pada sampel dengan aditif *cullet* 25% densitas optimum didapat pada suhu *sintering* 1050°C. Hal ini karena di atas suhu tersebut badan keramik mengalami deformasi sehingga densitas cenderung turun karena

bahan mulai mendekati titik lelehnya (*melting point*). Pengaruh komposisi penambahan *cullet* menunjukkan adanya pergeseran temperatur pematangan dari keramik akibat persentase penambahan tersebut.

Dari hasil yang didapat terlihat bahwa densitas meningkat dengan adanya penambahan aditif *cullet*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan *cullet* akan meningkatkan densitas meskipun tidak terlalu tinggi disebabkan semakin banyaknya butiran yang mendifusi dengan partikel *cullet*.



Gambar 3. Grafik pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap densitas sampel

Sampel-sampel dengan penambahan *cullet* yang rendah serta mengalami proses *sintering* pada suhu yang rendah memiliki densitas di bawah literatur yaitu berkisar pada 1,73-2,27 gr/cm³. Kondisi tersebut dikarenakan pada komposisi dan temperatur tersebut keramik belum mengalami pematangan sempurna atau belum mencapai temperatur *sintering*nya yang akan mempengaruhi sifat lainnya.

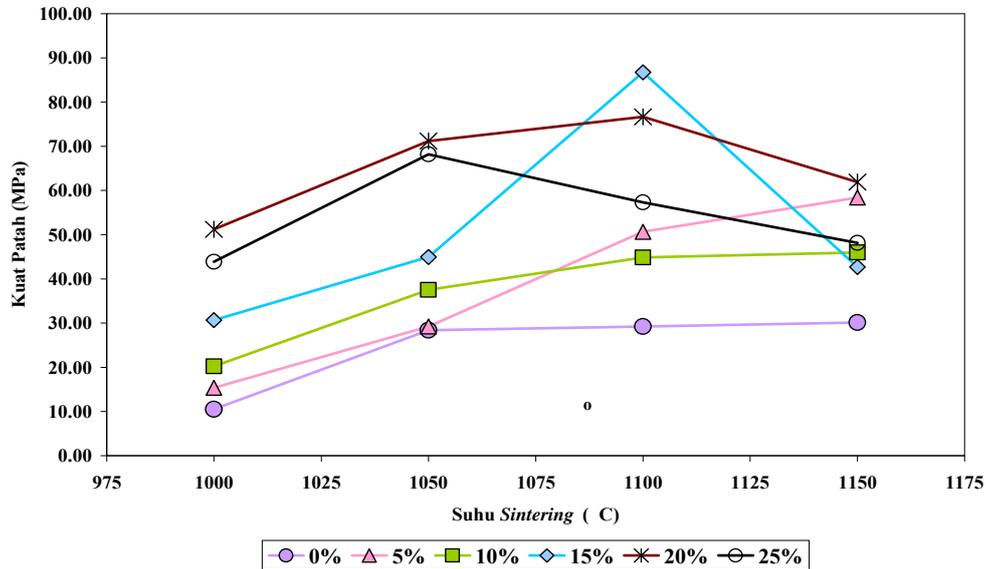
3.3. Pengaruh Suhu *Sintering* terhadap Kuat Patah

Kuat patah untuk suatu keramik porselen berkisar antara 83 MPa [14]. Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan, hasil pengujian kekuatan patah (*bending strength*) diperlihatkan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa untuk sampel tanpa aditif *cullet* terjadi kenaikan kuat patah seiring dengan kenaikan suhu *sintering*. Kenaikan kuat patah juga terjadi pada sampel dengan aditif *cullet* sebesar 5% dan 10%. Hal ini dikarenakan pada suhu *sintering* yang semakin tinggi maka semakin banyak partikel yang melebur sehingga mengisi pori-pori keramik porselen. Dengan semakin berkurangnya pori-pori keramik porselen maka akan didapat porselen yang memiliki kekuatan mekanik yang semakin besar.

Kuat patah sampel tanpa aditif *cullet* berkisar antara 10,52-30,16 MPa yang lebih kecil dari referensi yaitu 83 Mpa karena proses *sintering* belum sempurna dan densitas bahan masih rendah, sehingga tidak adanya *flux (cullet)* yang dapat menurunkan suhu *sintering*. Rendahnya densitas menunjukkan dalam badan keramik masih terdapat banyak pori. Sehingga rapuh. Sampel dengan aditif *cullet* 5%-20% memiliki kuat patah yang lebih besar daripada sampel tanpa aditif *cullet*, karena adanya *cullet* yang dapat mengisi pori-pori keramik dan dapat menurunkan titik leleh bahan lainnya. Pada sampel dengan aditif *cullet* 15% dan 20% memiliki kuat patah optimum pada suhu 1100°C, sementara sampel dengan aditif *cullet* 25% memiliki kuat patah optimum pada suhu 1050°C. Penurunan kekuatan patah sampel dapat disebabkan

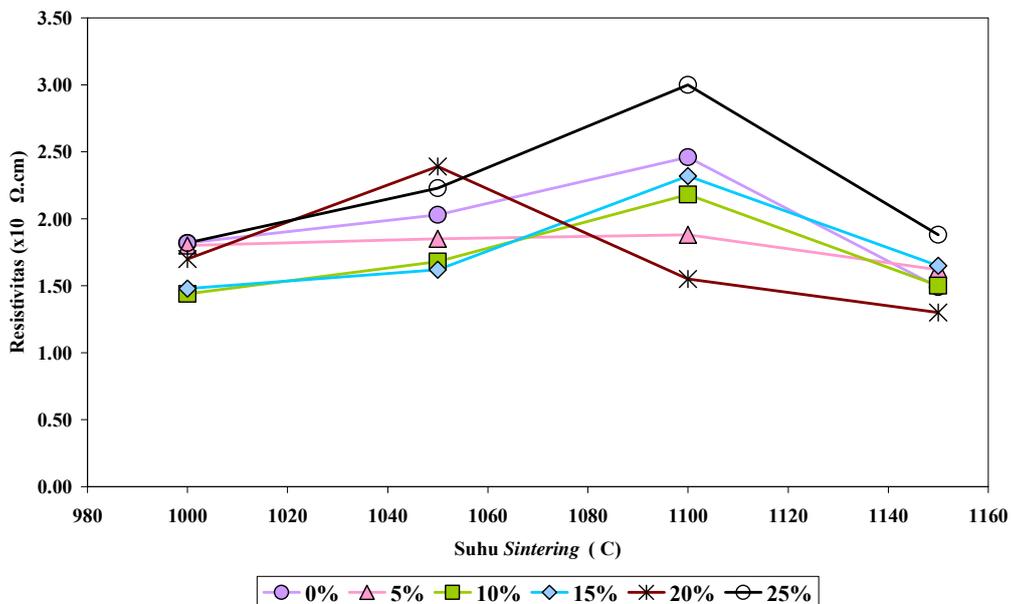
karena fasa gelas yang terdapat dalam keramik terlalu banyak. Flux yang digunakan dalam penelitian ini adalah *cullet* yang memiliki sifat dasar rapuh, sehingga akibat banyaknya *cullet* densitas mengalami peningkatan, kuat patah sampel tetap mengalami penurunan. Kuat patah maksimum didapat pada sampel dengan aditif *cullet* 15% dengan suhu *sintering* 1100°C.



Gambar 4. Grafik pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap kekuatan patah.

3.4. Pengaruh Suhu *Sintering* terhadap Resistivitas

Resistivitas merupakan ukuran kemampuan bahan dalam menahan arus listrik. Pengukuran resistansi sampel ini dilakukan pada kondisi suhu ruang yaitu 25°C.



Gambar 5. Grafik pengaruh variasi suhu *sintering* terhadap resistivitas bahan

Dari Gambar 5 terlihat bahwa resistivitas bahan cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya suhu *sintering*, karena resistivitas berbanding lurus dengan densitas bahan. Namun, setelah mencapai titik optimum, resistivitas keramik kembali mengalami penurunan. Resistivitas terbesar adalah pada sampel yang diberi aditif *cullet* sebesar 25% dengan suhu *sintering* 1100°C yaitu $3,00 \times 10^8 \Omega \text{cm}$. Tetapi, karena *cullet* bersifat rapuh, maka kandungan *cullet* yang terlalu banyak akan mengakibatkan rendahnya kekuatan mekanik sampel (kekuatan mekanik untuk sampel yang diberi aditif *cullet* 25% dengan suhu *sintering* 1100°C adalah 57,32 MPa). Rendahnya kekuatan mekanik suatu isolator dapat menurunkan fungsi kerja isolator itu sendiri, karena untuk dapat menjadi isolator yang baik selain harus memiliki sifat listrik yang baik (memiliki resistivitas $> 10^7 \Omega \text{cm}$), juga harus memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, yaitu $> 83 \text{ MPa}$. Oleh karena itu, dari data yang sudah diambil terlihat bahwa sampel yang memenuhi kriteria ini adalah sampel yang diberi aditif *cullet* sebesar 15% dengan suhu *sintering* 1100°C. Kekuatan mekanik sampel ini adalah 86,73 MPa, dengan resistivitas sebesar $2,32 \times 10^8 \Omega \text{cm}$.

4. SIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *cullet* dapat mempercepat proses pembentukan fasa gelas sehingga dapat menurunkan temperatur *sintering*.
2. Keramik porselen berbasis feldspar yang diperoleh memiliki sifat-sifat mendekati standar keramik sebagai isolator listrik, dengan hasil optimum didapat pada keramik yang diberi aditif *cullet* sebesar 15% dengan suhu *sintering* 1100°C, dengan sifat: susut bakar 9,70 %, densitas $2,44 \text{ g/cm}^3$, kuat patah 86,73 Mpa, dan resistivitas $2,32 \times 10^8 \Omega \text{cm}$.
3. Keramik yang dihasilkan memiliki resistivitas $\sim 10^8 \Omega \text{cm}$ sehingga dapat digunakan sebagai isolator untuk tegangan rendah, yaitu tegangan $< 1000 \text{ Volt}$

DAFTAR PUSTAKA

1. Yusup, "**Keramik: Dari Gerabah hingga Superkonduktor**", Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, Jakarta, 1998.
2. Hawley, K. A., "**Development of the Porcelain Insulator**", Journal Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Volume 50, Issue 1, Page(s):47 - 51, March 1931.
3. Stevenson, R.D.; Rosenwasser, S.N.; Washburn, R.M.; "**Development of advanced ceramic matrix composite insulators for electromagnetic railguns**", Journal IEEE Transactions on Magnetics, Volume 27, Issue 1, Page(s):538 - 543, January 1991.
4. Muljadi. "**Substitusi Komposisi Al_2O_3 Pada Pembuatan Isolator Porselin Berbasis: Feldspar-Clay-Silica dan Karakterisasinya**" Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII hal 45, 2000.
5. Sebayang, P. "**Pengaruh Suhu dan Waktu Sinter terhadap Sifat Bahan Porselen untuk Komponen Elektronik**", Proceedings ECCIS B.30, Surabaya, TEUB Press, 2000.
6. Wibawati, E. "**Pembuatan dan Pengujian Kekuatan Dielektrik Bahan Porselen Sebagai Bahan Isolator Listrik**" Skripsi Fisika Unair Surabaya, 1996.
7. Abduh, S., "**Teori Kegagalan Isolasi**", Universitas Trisakti Press, Jakarta, 2003.
8. Worrall, W. E. "**Clays and Ceramic Raw Materials**," 2nd edition. London. Elsevier Applied Science Publishers. 1986.
9. Herbert, J. M dan Moulson, A. J., "**Electroceramics**" Chapman and Hall, New York, 1990.
10. Chesters, J. H., "**Refractories for Iron and Steelmaking**" The Metals Society, London, 1974.
11. Van Vlack, L., "**Ilmu dan Teknologi Bahan**", Erlangga, Jakarta, 1985.
12. Harper, C. A., "**Handbook of Ceramics, glasses and Diamonds**", McGraw-Hill, USA, 2001.
13. Buchanan, R. C., "**Ceramic Materials for Electronics**", Marcel Dekker Inc., New York, 1986.
14. Mencik, J., "**Strength and Fracture of Glass and Ceramics**" Elsevier, Czechoslovakia, 1992.

15. Schneider, S. J., "**Ceramic and Glasses, Engineered Materials Handbook Vol 4**", The Materials Information Society, USA, 1991.
16. Aji, I. B., "**Pengaruh Komposisi Bahan Baku Porselin Keras Terhadap Sifat Fisik, Sifat Mekanis, Sifat Listrik dan Ekspansi Termal Keramik Porselin sebagai Bahan Isolator Listrik**", Tugas Akhir, Jurusan Metalurgi, Universitas Indonesia, Jakarta, 1999.