

PENGARUH PENGGUNAAN MINERAL LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN BAHAN ADITIF TSG 107 + Pb₃O₄ DALAM PEMBUATAN KERAMIK UNTUK IMMOBILISASI SLUDGE CaCO₃ YANG MENDUNG CESIUM

Basuki¹

ABSTRACT

Industry using radioactive agent of cesium will result of radioactive waste. The waste may be liquid or solid waste. When it is disposed to environment, it will be very harmful for human being and other living creatures. The objective of this research was to study effect of clay mineral for immobilization of CaCO₃ waste as ceramic material, using absorption test, press test and leaching test.

Method used is weight of 300 grams mix of ceramic material consisting of 80% base mineral composition (kaolin, 60%; feldspar 15%; clay, 5%). Waste of CaCO₃ consisting cesium with variation of 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. Additions of additive substance were 2%, 4%, 6%, 8% and 10%. Water varieties were 45, 5%, 6%, 8%, and 10% weight.

Result of the research indicated that composition of base mineral making ceramic, addition of CaCO₃ waste containing cesium and addition of additive influence heavily on velocity of leaching of ceramic monolith. Greater CaCO₃ addition and additive addition caused lower leaching velocity. It was indicated with 5% to 15% CaCO₃ addition, velocity decreased from $549.378 \times 10^{-6} \text{ gram.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ to $74.665 \times 10^{-6} \text{ gram.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$. Greater addition of CaCO₃ result in lower density of ceramic monolith block as result from heating at 1000°C, but weight decrease was greater. Water release in heating process led to holes in ceramic monolith block that would reduce its stress strength. In conclusion, amount of ceramic-making base mineral composition, CaCO₃ waste, and additive addition affect density, weight decrease pre-and post-heating at 1000°C, absorption level, stress strength and leaching velocity.

Keywords: Clay Mineral, Additive Agent, CaCO₃ Immobilization

INTISARI

Industri yang menggunakan bahan radioaktif cesium akan menghasilkan limbah radioaktif pula. Limbah yang dihasilkan dapat berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah tersebut apabila langsung dibuang ke lingkungan akan sangat berbahaya bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya. Maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan mineral lempung untuk immobilisasi limbah CaCO₃ yang mengandung cesium sebagai bahan keramik dengan menggunakan uji serap; uji tekan dan uji lindi.

Metode yang digunakan yaitu melakukan penimbangan 300 gram campuran bahan keramik yang terdiri dari komposisi mineral dasar 80% (kaolin: 60%, feldspar: 15% dan clay: 5%). Limbah CaCO₃ yang mengandung cesium dengan variasi: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, untuk bahan aditif: 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dan untuk air dengan variasi: 4%, 5%, 6%, 8% dan 10% berat.

Hasil penelitian menunjukkan komposisi mineral dasar pembentuk keramik, penambahan limbah CaCO₃ yang mengandung cesium dan penambahan bahan aditif sangat berpengaruh pada kecepatan pelindihan hasil sampel blok monolit keramik. Semakin besar jumlah penambahan CaCO₃ dan penambahan bahan aditif semakin rendah kecepatan pelindiannya dan kecepatan pelindihan akan naik bila penambahan CaCO₃ dan bahan aditif terlalu besar, hal ini ditunjukkan pada penambahan CaCO₃ = 5% sampai 15%, kecepatan pelindihan turun dari $549,378 \times 10^{-6} \text{ gram.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ menjadi $74,665 \times 10^{-6} \text{ gram.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$. Semakin besar jumlah penambahan CaCO₃, maka densitas blok monolit keramik hasil pemanasan pada suhu 100°C semakin rendah, namun susut beratnya semakin besar dan terlepasnya air didalam oven pada suhu 1000°C akan menyebabkan adanya rongga didalam blok monolit keramik, sehingga akan menurunkan kuat tekannya.

¹ Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan "YLH" Yogyakarta

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besar kecilnya komposisi mineral dasar pembentuk keramik, penambahan limbah CaCO_3 yang mengandung cesium, penambahan aditif berpengaruh pada densitas, penyusutan berat dari sebelum dan sesudah pemanasan pada suhu 1000°C , daya serap, kuat tekan dan kecepatan pelindian.

Kata Kunci: Mineral Lempung, Bahan Aditif, Immobilisasi CaCO_3

PENDAHULUAN

Pemadatan atau immobilisasi limbah radioaktif merupakan suatu tahapan proses pengolahan limbah. Pemadatan dimaksudkan untuk mengungkung radionuklida agar tidak mencemari lingkungan pada saat penyimpanan atau pembuangan akhir.⁽¹⁾ Berbagai bahan yang dapat digunakan untuk pemadatan antara lain semen, bitumen, bahan penyusun gelas/keramik dan lain-lain. Menurut definisi barang keramik harus mengalami pembakaran paling sedikit satu kali, yaitu untuk mengubah secara "irreversible" bahan keramik yang telah dibentuk (dalam keadaan mentah) menjadi produk yang keras, tahan terhadap air dan kimia. Pembakaran keramik sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan, persiapan bahan dan metode pembakaran⁽²⁾. Bahan mineral yang dapat dipakai sebagai bahan baku keramik ada beberapa jenis antara lain: kaolin, silika, kuarsa, felspar, lempung, kalsit, dolomit, talk, piroplit dll. Felspar adalah suatu kelompok mineral alumina silikat yang mengandung satu atau lebih kation basa dari kalium, natrium dan kalsium. Felspar pada proses keramikisasi berfungsi sebagai bahan pelebur, baik untuk komposisi bahan keramik maupun untuk pembuatan gelas⁽³⁾. Kaolin adalah salah satu jenis lempung yang mengandung mineral-mineral golongan kaolinit, dalam keadaan kering berwarna putih, demikian pula setelah dibakar berwarna putih atau hampir putih. Sifat fisik lempung banyak dipengaruhi oleh sifat-sifat ion yang teradsorpsi, kapasitas pertukaran suatu ion di dalam sistem partikel-partikel koloid lempung akan tergantung kepada komposisi kimia dan juga jenis mineral lempung⁽⁴⁾.

Pembuatan keramik, baik untuk keramik tradisional ataupun keramik modern dilakukan dengan proses kalsinasi pada suhu tinggi. Hal ini akan melibatkan tahap sintering, yaitu suatu cara mema-

dat-kompakkan bubuk oksida, karbida ataupun nitrida halus dengan sintesis ber-bahan baku lempung, kaolin dan felspar. Tahapan perubahan fisika, kimia dan mineral dari lempung selama proses pembakaran, pada prinsipnya dibagi menjadi 3 tahap, yaitu: tahap dehidrasi air higroskopis, tahap oksidasi dan tahap vitrifikasi⁽⁵⁾. Pada tahapan vitrifikasi ini akan terjadi pembentukan kristal pada suhu tinggi. Kristalisasi merupakan reaksi dimana oksida-oksida mengalami transformasi atom membentuk senyawa-senyawa kristalin, reaksi ini terjadi pada suhu 850°C sampai dengan 1470°C , pada suhu ini akan terjadi perubahan trydimite menjadi kristobalite yang stabil⁽⁶⁾.

Dalam mencapai suhu bakar yang tinggi, maka proses pembakaran keramik akan tercapai seperti apa yang diinginkan, memang merupakan pekerjaan yang sulit, untuk itu perlu dilakukan upaya untuk menurunkan titik lebur dari senyawa penyusun keramik tersebut.

Untuk mencapai kualitas produk yang baik dan proses pembakaran keramik dengan suhu yang tidak terlalu tinggi diperlukan bahan tambahan (aditif) yang dapat berfungsi untuk memperbaiki sifat pemuai, keplastisan dan proses pengerasan, disamping itu dapat mengurangi jumlah air pembentuk adonan, mempermudah pengerjaannya dan penurunan suhu pembentukan keramik. Bahan aditif ini dipilih bahan-bahan yang mengandung oksida-oksida logam yang titik leburnya cukup rendah. Bahan-bahan mineral yang mengandung alkali seperti campuran natrium, alumina, silika sebagian melebur pada suhu 732°C , bila natrium diganti kalium peleburan terjadi pada 695°C . Pembentukan cairan gelas akan terjadi pada temperatur "eutektik" jumlah gelas, hal ini tergantung dari kecepatan dan kenaikan temperatur, jumlah unsur pelebur, ukuran butir, lamanya pe-

nahanan temperatur maksimum dan ketebalan bahan gelas yang terbentuk.

Pada percobaan ini dipakai aditif campuran Pb_3O_4 dan TSG-107, apabila campuran Pb_3O_4 dan TSG-107 ini dipakai sebagai aditif dengan perbandingan berat yang sama, maka titik leburnya $800^\circ C$ sedang campuran Pb_3O_4 dan TSG - 107 dengan perbandingan berat 30 % dan 70 % maka titik leburnya $1000^\circ C$.

Untuk mencapai hasil yang baik dalam percobaan ini perlu dilakukan percobaan pendahuluan. Adapun parameter tersebut diantaranya jumlah air pembentukan, berat adonan, komposisi adonan dan aditif yang digunakan. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk membuat kondisi monolit blok keramik tinggi dan diameternya sama sehingga memenuhi persyaratan untuk uji tekan maupun uji lucut. Disamping itu juga komposisi dari mineral dasar pembentuk keramik, berat limbah dan berat aditif yang ditambahkan, sehingga sampel bisa diuji sesuai parameter uji.

Untuk menentukan metode penanganan selanjutnya. Apakah hasil immobilisasi disimpan pada pengawasan yang ketat atau dapat dilepas ke lingkungan. Hal ini perlu dipertimbangkan sifat fisis/kimia dari hasil immobilisasi.

Adapun bahan-bahan pembentuk keramik adalah sebagai berikut:

Lempung adalah mineral yang terdiri dari hidrat aluminium silikat atau magnesium silikat yang mengandung kation natrium, kalium, kalsium dan magnesium dan bersifat mudah dibentuk. Lempung merupakan istilah ukuran butir yang lebih kecil dari $1/256$ mm (menurut ukuran Wentworth). Apabila butir-butir tersebut sudah kompak kemudian disebut batu lempung. Lempung dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu, (Sukan-darrumidi, 1999) :

1. Lempung residu

Merupakan lempung yang terbentuk karena proses pelapukan (alterasi) batuan beku dan dijumpai di sekitar batuan induknya. Mutu lempung ini pada umumnya lebih baik dibandingkan dengan lempung sedimen. Komposisinya didominasi oleh mineral illit dan digunakan untuk bahan pembuatan keramik struktur.

2. Lempung sedimen

Lempung sedimen disebut sebagai tanah liat. Penyebutan ini didasarkan atas sifatnya yang liat apabila terkena air. Tanah liat merupakan hasil desintegrasi, pelapukan kimia terutama pengaruh H_2O dan CO_2 dibantu oleh mikroorganisme terhadap batuan induk. Hasilnya adalah bagian yang halus dan tidak larut dalam air. Selanjutnya material ini diangkat oleh air sebagai suspensi dan akhirnya mengendap berlapis-lapis.

Sifat yang penting dari lempung adalah plastisitasnya (keliatannya). Sifat ini dapat diperoleh apabila ada air dan karena sifatnya ini, lempung dapat dicetak.

Derajat keliatan lempung tergantung dari:

1. Susunan dan kehalusan dari butiran
2. Banyaknya air yang ada di dalamnya
3. Banyaknya garam lain yang terlarut di dalam air
4. Jumlah bahan organik yang ada

Adapun sifat plastisitasnya mempunyai ciri :

1. Dibentuk tanpa mudah patah
2. Timbul kerut pada saat pengeringan
3. Bertambah kuat pada saat pengeringan

Plastisitas berfungsi sebagai pengikat dalam proses pembentukan, sehingga monolit yang dibentuk tidak akan mengalami keretakan/pecah atau berubah bentuk. Penyusunan dasar lempung adalah mineral kaolinit atau alumina silikat montmorilonit, illit dan halloysit, (Wilson, 1927) :

Kaolinit : $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

Halloysit : $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$

Illit : Komplek hidro silikat dari Al, Fe, Mg dan K

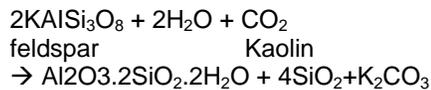
Montmorilonit : Komplek hidro silikat dari Al, Mg dan Na

Lempung yang digunakan pada penelitian ini adalah yang tersusun dari mineral feldspar, kaolin dan lempung produksi PT. Brataco.

Nama kaolin berasal dari kauling bahasa Cina yang berarti pegunungan tinggi. Kaolin merupakan masa batuan tersusun dari material lempung dengan kandungan besi rendah. Kaolin mempunyai komposisi hidraus aluminium silikat

($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan disertai mineral penyerta.

Proses pembentukan kaolin (kaolinisasi) dapat terjadi melalui proses pelapukan dan proses hidrotermalalterasi pada batuan beku feldsparatik (Sukandarrumidi, 1999). Proses pelapukannya sbb :



Proses pelapukan tersebut terjadi pada permukaan atau sangat dekat dengan permukaan, umumnya pada batuan beku. Endapan kaolin yang terjadi karena proses hidrotermal terdapat pada rekahan-rekahan, patahan-patahan atau daerah dengan permeabilitas tinggi. Mineral yang termasuk dalam kelompok kaolin adalah kaolinit, nakrit, dikrit dan halloys ($\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SiO}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, yang mempunyai kandungan air lebih besar dan umumnya membentuk endapan tersendiri. Kaolin merupakan salah satu bahan dasar pembuat keramik yang mempunyai sifat :

1. Praktis dan mudah dicetak pada waktu basah
2. Kaku setelah dikeringkan
3. Bersifat kaca setelah dipanaskan pada temperatur yang sesuai.

Sebagai mineral silikat pembentukan batuan, feldspar mempunyai kerangka struktur teksosilikat yang menunjukkan 4 (empat) atom oksigen dalam struktur tetrahedral SiO yang dipakai juga oleh struktur tetrahedral lainnya. Kondisi ini menghasilkan kisi-kisi kristal seimbang terutama apabila ada kation lain yang masuk ke struktur tersebut seperti penggantian silikon oleh aluminium, (Sukandarrumidi, 1999).

Rumus kimia feldspar adalah KAlSi_3O_8 dengan komposisi $\text{K}_2\text{O}=16\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18,4\%$ dan $\text{SiO}_2 = 64\%$. Feldspar berfungsi sebagai perekat dan pengisi serta pencair pada keramik. Pencair disini dimaksudkan untuk merendahkan suhu pengelasan (Bisri, 1991)

Sifat fisik feldspar antara lain berwarna putih keabu-abuan, hijau muda dan kuning kotor, nilai kekerasan antara 6 - 6,5 (skala kekerasan Mohs), berat jenis 2,4 - 2,8 g/cm^3 , titik lebur 1100 - 1500°C digunakan sebagai pelebur, un-

tuk benda keramik dapat dibuat keramik menjadi padat, mengurangi penyusutan pada waktu proses pengeringan dan pembakaran. Feldspar digunakan pada suhu tinggi dalam pembentukan keramik halus seperti barang pecah belah atau alat makan dan minum, saniter isolator dan industri gelas/kaca (Jafri, 1995)

Pada pembakaran lempung dalam pembuatan keramik maka akan terjadi proses dehidrasi dan dekomposisi mineral kaolinit, halloys dan montmorillonit dan senyawa yang ada diluar lempung, misalnya: calcite (CaCO_3) yang terurai pada suhu 800°C menghasilkan gas CO_2 . Selain jumlah pori monolit, maka tingkat kemasifan dari mineral sangat berpengaruh dalam hal sifat serap air monolit keramik. Semakin kecil jumlah pori monolit maka sifat serap air monolit menjadi semakin rendah. Variabel ini juga ditentukan oleh suhu pembakaran monolit, semakin tinggi suhu pembakarannya, kemungkinan terjadinya proses peleburan mineral semakin besar sehingga pori monolit yang terbentuk relatif menjadi lebih rendah dan sifat serapnya terhadap air akan semakin rendah. Nilai serap air yang diizinkan adalah kurang dari 3% dari berat monolit keramik.

Kuat ketahanan tekan adalah suatu nilai yang menggambarkan tentang kekuatan dari suatu bahan yang biasanya kuat tekan diwakili oleh tegangan maksimum dengan muatan satuan Mpa (mega pascal), kN/cm^2 atau dalam ton/m^2 . Kuat tekan merupakan salah satu uji karakteristik fisik produk immobilisasi termasuk di dalamnya adalah monolit keramik, yaitu dengan memberikan beban secara bertahap sampai benda uji mengalami kerusakan. Kuat ketahanan sangat dipengaruhi oleh monolitas dari monolit keramik dan tingkat monolitas keramik dipengaruhi oleh banyak sedikitnya pori monolit. Semakin sedikit pori monolit yang terjadi, maka semakin besar kuat ketahanan tekannya dan semakin banyak pori yang terbentuk maka ketahanan tekannya semakin rendah.

Laju pelindian merupakan parameter yang penting dalam evaluasi keamanan dari limbah radioaktif. Pada kondisi normal limbah yang sudah dipadatkan dapat kemasukan air yang me-

ngakibatkan terlepasnya radionuklida dari limbah yang dipadatkan tersebut.

Penentuan laju pelindian dimaksudkan :

1. Untuk mendapatkan bahan atau data perbandingan mengenai teknik yang dipakai untuk limbah radioaktif tertentu.
2. Untuk dasar evaluasi dari jumlah bahan radioaktif yang akan terlindi per satuan waktu pada jumlah limbah radioaktif tertentu yang diproses immobilisasi pada kondisi pembuangan

Media campuran untuk melaksanakan uji pelindian biasanya digunakan :

1. Air setempat (tempat calon pembuangan/penyimpanan)
 - a. Air tanah dari tempat pembuangan /simulasi dengan komposisi kimia yang sama
 - b. Air laut dari tempat pembuangan /simulasi
2. Air standar
 - a. Air suling
 - b. Air laut sintesis

Metode pelindian yang biasa dilakukan di laboratorium adalah dengan memakai wadah plastik, misalnya pole- etelin yang dilengkapi tutup. Uji pelindian dilakukan pada suhu kamar dan kehilangan berat diabaikan karena sangat kecil. (Sukandarrumidi, 1999)

Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan bekas serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena operasi nuklir dan tidak dapat dipergunakan lagi, (Ronodirdjo, 1982).

Pengelolaan limbah radioaktif adalah serangkaian aktivitas / kegiatan yang meliputi pengolahan, penyimpanan dan pembuangan limbah radioaktif sehingga aman dan tidak membahayakan manusia dan lingkungan. Adapun hal-hal yang termasuk di dalam pengelolaan limbah radioaktif adalah: pengumpulan, pengangkutan, pemantauan, pengolahan, pembuangan atau penyimpanan akhir limbah. Penanganan limbah radioaktif padat tidak hanya ditunjukkan pada pengolahan dan penyimpanan akhir ke lingkungan, tetapi juga faktor penanganan dan pengangkutan sebelum dan sesudah proses pengolahan limbah radioaktif cair, baik secara fisik, kimia maupun secara biologi. Limbah radioaktif padat biasanya

berasal dari bahan sisa alat perlengkapan proses ulang, terutama dari bekas selongsong elemen bahan bakar nuklir yang mempunyai radioaktif tinggi. Limbah radioaktif cair merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan oleh instalasi nuklir yang menggunakan air sebagai bahan untuk proses ataupun pencucian.

Immobilisasi merupakan pengungkapan zat radioaktif atau non radioaktif dalam padatan, dengan zat radioaktif maupun zat yang berbahaya dan beracun diikat atau dijepit sangat kuat di tengah-tengah padatan sehingga zat-zat tersebut sulit terlepas ke lingkungan (Ronodirdjo, 1981). Immobilisasi limbah dimaksudkan untuk :

1. Mengurangi immobilisasi radionuklida
2. Memudahkan dalam pengangkutan
3. Reduksi volume
4. Mengurangi pengawasan
5. Lebih ekonomis

Proses immobilisasi adalah proses pengubah limbah menjadi bentuk padat, untuk mengurangi kemampuan pindah (migrasi) atau penyebaran (dispersi) zat pencemar yang ada dalam limbah karena proses alamiah dalam penyimpanan, pengangkutan dan pembuangan (Ronodirdjo, 1981). Endapan yang dapat diolah dengan proses immobilisasi adalah :

1. Lumpur atau sludge hasil pengolahan kimia
2. Abu hasil proses insinerasi
3. Serbuk hasil kalsinasi

Dalam proses ini, hidroksida, karbonat dan bikarbonat dari metal berat mengendap, sedangkan strontium karbonat mengendap bersama CaCO_3 dalam kristal campuran. Efisiensi dari penghilangan strontium berbanding lurus dengan derajat pelunakan. Oleh karena itu efektifitas penghilangan strontium sangat perlu agar kesadahan cesium dikurangi serendah mungkin. Penghilangan strontium paralel dengan penghilangan kesadahan lebih efektif dalam proses panas ($t = 96^\circ\text{C}$), pengendapan akan lebih sempurna dalam 10 menit dibandingkan pada suhu 10°C selama 24 jam. Pengolahan dengan soda kapur menunjukkan penggunaannya yang paling besar untuk menghilangkan Sr 90. Pada reaksi di

atas, reaksi 1 dan 2 dapat mengurangi aktifitas, 50%-80%, pada reaksi 3 dan 4 dapat mengurangi aktivitas Sr 90, 80%-90% serta dapat mengurangi aktivitas Cs 137. Pengendapan CaCO_3 dengan Na_2CO_3 dilakukan pada pH 11.

Cesium adalah logam alkali dengan nomor atom 55, berat atom cesium stabil 133. Sifat cesium mirip dengan logam alkali yang lain terutama rubidium (Rb) dan kalium (K). Dalam suhu kamar cesium berfase cair dengan titik didih 690°C . Dengan oksigen (O_2) cesium dapat membentuk oksida, peroksida dan superperoksida. Dalam air cesium menjadi Cs^+ . Cesium larut dalam amonia dan warna biru ketika dilarutkan. Warna emisi cesium lebih biru dari pada rubidium (Rb) dan kalium (K) (Benedict, 1981).

Cesium (Cs) dalam $\text{Cs}(\text{NO}_3)$ dengan natrium karbonat dan asam sulfat akan membentuk reaksi sebagai berikut :

1. Reaksi dengan larutan natrium karbonat dan asam sulfat
$$2\text{Cs}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{Cs}_2\text{CO}_3 \text{ (mengendap)}$$
2. Reaksi dengan H_2SO_4 encer akan terjadi endapan
$$2\text{Cs}^+ + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cs}_2\text{SO}_4 \text{ (mengendap)}$$

Cesium -137 (Cs -137) adalah radionuklida buatan yang merupakan produk fisi dari U-233, U-235, PU-239 dengan neutron termal. Selain itu dapat juga terjadi dari produk fisi yang menghasilkan U-235, PU-239, Th-232, U-238 dengan neutron cepat dengan hasil tertinggi (sekitar 6%). Cesium (Cs-137) merupakan radionuklida hasil pembentukan dari I-137 yang merupakan hasil fisi dari suatu proses fisi nuklir.

Komposisi Bahan Pembuat Keramik diberikan dengan konsep sebagai berikut:

1. Penentuan komposisi air pembentukan untuk pembuatan sampel blok monolit keramik .
Ditimbang 300 gram campuran bahan keramik yang terdiri dari komposisi mineral dasar 80 % (kaolin = 60 %, felspar = 15 % , clay = 5 %) , 10 % limbah sludge kering yang mengandung CaCO_3 dan mineral penambah

10 % (Pb_3O_4 =50% dan TSG TSG Prit=50 %). Campuran bahan keramik tersebut dicampur dan ditambahkan aquades 5 % berat, selanjutnya diaduk menggunakan pengaduk listrik sampai terbentuk adonan yang homogen. Diambil 23 gram adonan dicetak menggunakan cetakan sampel dengan alat penekan Poul Weber dengan tekanan 40 bar. Sampel yang terbentuk diamati dan diukur diameter, tinggi dan berat sampel. Dengan cara yang sama aquades yang ditambahkan divariasikan dari 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 % berat. Dari pelaksanaan dan hasil blok monolit keramik dapat ditentukan komposisi air pembentukan terbaik.

2. Penentuan berat adonan untuk sampel dengan tinggi dan diameter sama Adonan dengan komposisi air terbaik yang diperoleh percobaan 1 dibuat berat campuran 300 gram. Ditimbang 23 gram adonan kemudian dicetak menggunakan cetakan sampel dengan alat penekan Poul Weber dengan tekanan 40 bar. Sampel yang terbentuk diamati dan diukur diameter, tinggi dan berat sampel. Dengan cara yang sama berat adonan yang divariasikan dari 22; 22,5; 23; 23,5; 24,5 dan 25 gram. Dari pelaksanaan dan hasil monolit blok dapat ditentukan berat terbaik.
3. Pengaruh komposisi mineral, kandungan limbah dan bahan aditif Adonan dengan komposisi 93 % mineral dasar, 5 % limbah CaCO_3 dan 2% campuran dari Pb_3O_4 dan TSG 107 dengan penambahan limbah cair Cs-137 sesuai dengan komposisi berat air terbaik yang diperoleh percobaan ke 1 dengan berat terbaik dari yang diperoleh dari percobaan ke 2 dicetak menggunakan cetakan sampel dengan alat penekan Poul Weber dengan tekanan 40 bar. Sampel yang terbentuk diamati dan diukur diameter, tinggi dan berat sampel serta dipanaskan dengan tungku pemanas dengan suhu pemanasan 1000°C selama 1 jam. Setelah pemanasan dianggap selesai dan suhu tungku sudah dingin sampel dikeluarkan dan diamati dan diukur dia-

meter, tinggi dan berat sampel. Dengan cara yang sama dibuat adonan komposisi limbah CaCO_3 divariasi dari 5 %, 10 %, 15 %, 20 % dan 25 %, sedang aditif campuran dari Pb_3O_4 dan TSG 107 divariasi dari 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, dan 10 %. Hasil blok monolit keramik setelah dipanaskan ditentukan susut beratnya dan dilakukan uji serap, uji tekan dan uji lindi.

Untuk menentukan susut berat, daya serap, kuat tekan dan laju pelindian blok monolit keramik rumusnya sebagai berikut :

$$S_b = \frac{B_o - B_t}{B_t} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

$$D_s = \frac{(B_s - B_o)}{B_o} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

$$K = \frac{KM}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- Sb = Susut berat
- Bo = Berat awal (gram)
- Bt = Berat setelah pemanasan (gram)
- K = Kuat tekan (N/cm^2)
- Ds = Daya serap
- Bs = Berat sampel setelah penyerapan (gram)
- KM = Tekanan yang mengenai sampel hingga pecah (N)

Uji pelindian dengan test standar IAEA, 1985 cuplikan dibuat berbentuk tabung silinder berukuran diameter 5 cm dan tinggi 5 cm, untuk cuplikan aktivitas jenis lebih besar dari 1 Ci/liter ukuran dapat diperkecil menjadi 2,5 cm dan tingginya 2,5 cm. Cuplikan kemudian dimasukkan ke dalam tabung yang lebih besar, sehingga semua bagian luarnya terendam sekurang-kurangnya 5 cm, sehingga perbandingan:

(volume cairan) / (dibanding luas permukaan) = tidak lebih dari 10 cm.

Cuplikan berbentuk silinder dengan diameter dan tinggi sama, peletakannya cuplikan dalam tempat pelindian dibuat posisi tidur, hal ini dimaksudkan agar daerah/permukaan cuplikan yang tidak kontak dengan cairan sekecil mungkin. Untuk test pelindian pada temperatur kamar, apabila kehilangan berat sangat ke-

cil, laju pelindian dapat dihitung memakai rumus^(7,8) :

$$R = \frac{At.W_o}{A_o.S.t} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- R = Laju pelindian (gram. cm^{-2} . hari-1)
- S = Luas permukaan sampel (cm^2)
- t = Waktu pelindian (hari)
- At = Aktivitas air lindi (Ci/l)
- Wo = Berat sampel (gram)
- Ao = Aktivitas awal (Ci/l)

Menurut standart ISO/TC 85 laju pelindian dalam 150 hari = $10^{-2} \text{ kg}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$. hari1.

Cetakan sampel terbuat dari baja 70 yang terdiri dari badan cetakan, tutup bawah cetakan, ring bawah, ring atas dan piston diperiksa dan dibersihkan serta dioles dengan minyak parafin diutamakan pada bagian-bagian yang berseinggungan dengan adonan. Badan cetakan diberi lubang kecil, lubang kecil ini dimaksud untuk memberi jalan air dan udara sewaktu adonan dicetak dengan ditekan. Ring atas maupun bawah dimaksudkan untuk memudahkan melepas sampel, piston sebagai alat penekan yang diberi tanda batas sesuai tinggi cetakan untuk memudahkan pengeluaran sampel.

Tutup bawah dan ring bawah dipasang pada lubang badan cetakan selanjutnya adonan yang telah ditimbang dimasukkan kedalam lubang sampel sedikit demi sedikit. Setelah adonan masuk ring atas dipasang diatas adonan pada lubang cetakan (tempat sampel) setelah itu piston dipasang dan ditekan dengan alat tekan yang sudah diatur tekanan dan waktu penekanannya. Alat tekan ditutup lubang pengatur udara dan dihidupkan. Setelah selesai, alat cetak dikeluarkan, sampel dikeluarkan dengan cara diambil tutup bawah cetakan diganti dengan lubang penutup lebih besar dari diameter sampel, kemudian dibalik dan ditekan. Penekan dihentikan setelah piston masuk pada lubang cetakan, sampai tanda batas, setelah selesai sampel diambil dan siap untuk perlakuan selanjutnya.

PEMBAHASAN

1. Penentuan komposisi air pembentuk blok monolit keramik.

Hasil percobaan penentuan komposisi air pembentukan sampel blok

monolit keramik disajikan pada Tabel 1

Tabel.1 Data monolit blok keramik sebelum pemanasan dengan berat adonan 23 gram yang terdiri dari komposisi mineral dasar 80 %(kaolin = 60 %, felspar = 15 % , clay = 5 %) dan mineral penambah 20 %(Pb₃O₄ =50% dan TSG-107 =50 %), diameter sampel = 2,454 cm.

No.	Komposisi air(%)	Pembuatan Adonan	Sisa air (ml)	Tinggi sampel(cm)	Berat sampel(gram)
1.	4	Keras /bersuara	0,0	2,382	22,654
2.	5	Keras /bersuara	0,0	2,383	22,654
3.	6	Keras /bersuara	0,0	2,383	22,654
4.	7	Mudah/licin	0,0	2,383	22,654
5.	8	Mudah/licin	0,1	2,362	22,562
6.	9	Keras bersuara	0,4	2,290	22,344
7.	10	Keras bersuara	0,8	2,254	22,250

Dari Tabel. 1 terlihat bahwa penambahan air pembentukan sangat berpengaruh pada pelaksanaan pembuatan sampel maupun hasil sampel. Hal ini ditunjukkan pada penambahan air 4 s/d 6 % pada pencetakan kelihatan keras dengan ditandai dengan suara gesekan. Kondisi ini akan sangat tidak menguntungkan, baik alat pencetakan ataupun alat penekan begitu pula pada penambahan air 9 dan 10 %, namun disini selain keras dan bersuara, air keluar dan adonan terikutkan. Semakin banyak penambahan air pembentukan semakin be-

sar jumlah air maupun adonan yang keluar, hal ini ditandai dengan semakin kecilnya tinggi sampel. Dari tabel tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa untuk penambahan air pembentukan 7 % didapat hasil terbaik dilihat dari angka kemudahan, angka keselamatan alat maupun tinggi sampel monolit keramik.

2. Penentuan berat adonan untuk sampel dengan tinggi dan diameter sama Hasil percobaan penentuan berat adonan untuk sampel dengan tinggi dan diameter sama disajikan pada Tabel 2.

Tabel.2. Data monolit blok keramik sebelum pemanasan dengan berat adonan bervariasi, komposisi mineral dasar 80 %(kaolin = 60 %, felspar = 15 % , clay = 5 %) dan mineral penambah 20 %(Pb₃O₄ =50% dan TSG -107 =50 %), diameter sampel = 2,454 cm.

No.	Berat adonan(gram)	Sisa air (ml)	Tinggi sampel(cm)	Berat sampel(gram)
1.	22,0	0,0	2,255	21,354
2.	22,5	0,0	2,315	21,854
3.	23,0	0,0	2,383	22,254
4.	23,5	0,0	2,452	22,654
5.	24,0	0,0	2,522	23,062
6.	24,5	0,0	2,590	23,344
7.	25,0	0,0	2,654	23,750

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa berat adonan berpengaruh tinggi hasil sampel blok monolit keramik. Berat adonan semakin besar akan menghasilkan blok monolit keramik yang tingginya lebih besar dari diameternya, begitu pula berat adonan semakin kecil akan menghasilkan blok monolit keramik yang tingginya lebih kecil dari diameternya. Untuk pengujian dipersyaratkan diameter dan ting-

ginya dibuat sama, sehingga seolah-olah sampel berbentuk kubus. Jadi perlu ditentukan berat adonan yang pas sehingga diameter dan tingginya sama. Dari percobaan berat adonan yang menghasilkan monolit yang tinggi dan mendekati diameter blok monolit keramik adalah 23,5 gram, menghasilkan blok monolit keramik dengan tinggi = 2,452

cm sedang diameter blok monolit keramik = 2,454 cm.

3. Pengaruh komposisi mineral, kandungan limbah dan bahan aditif

Hasil percobaan pengaruh komposisi mineral, kandungan limbah dan bahan aditif Tabel 3 dan 4.

Tabel.3. Pengaruh komposisi mineral dasar (kaolin = 60 %, felspar = 25 % , clay = 15 %), berat limbah Ca CO₃ dan berat aditif Pb₃O₄ =50% dan TSG-107 =50 %) terhadap penyusutan berat daya serap dan kuat tekan blok monolit keramik(pembakaran 1000 °C selama 1 jam).

No.	Mineral Dasar(%)	CaCO ₃ (%)	Aditif (%)	Densitas (gram/cm ³)	Penyusutan Berat(%)	Daya serap(%)	Kuat tekan(N/cm ²)
1.	93	5	2	1,719	11,360	23,769	33,408
2.	91	5	4	1,719	11,360	22,652	33,408
3.	89	5	6	1,656	11,365	22,563	29,232
4.	87	5	8	1,656	11,365	21,761	29,332
5.	85	5	10	1,637	11,428	20,369	29,232
6.	88	10	2	1,612	11,743	23,018	31,320
7.	86	10	4	1,612	11,998	23,018	31,320
8.	84	10	6	1,612	11,820	23,520	29,232
9.	82	10	8	1,615	11,820	23,520	29,232
10.	80	10	10	1,615	11,849	23,542	29,232
11.	83	15	2	1,629	13,289	23,649	25,056
12.	81	15	4	1,629	13,332	23,649	25,056
13.	79	15	6	1,562	13,507	23,310	20,880
14.	77	15	8	1,528	13,766	23,350	20,880
15.	75	15	10	1,584	14,080	22,684	18,792
16.	78	20	2	1,372	14,131	23,563	22,968
17.	76	20	4	1,572	15,352	23,811	22,968
18.	74	20	6	1,572	16,517	23,883	22,968
19.	72	20	8	1,572	16,885	23,880	20,880
20.	70	20	10	1,520	17,017	23,887	20,880
21.	73	25	2	1,472	18,021	23,746	25,056
22.	71	25	4	1,472	18,553	23,772	25,056
23.	69	25	6	1,460	18,698	23,941	20,880
24.	67	25	8	1,553	20,256	23,941	18,792
25.	65	25	10	1,402	23,514	23,814	16,704

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa secara umum besar kecilnya komposisi mineral dasar pembentuk keramik, penambahan limbah yang mengandung CaCO₃ dan penambahan aditif (Pb₃O₄ dan TSG-107) berpengaruh pada densitas, penyusutan berat dari sebelum dan sesudah dipanaskan, daya serap dan kuat tekan hasil sampel blok monolit keramik. Semakin besar jumlah penambahan CaCO₃, densitas blok monolit keramik hasil pembakaran semakin rendah namun susut beratnya semakin besar. Hal ini dimungkinkan karena semakin besar jumlah penambahan CaCO₃ penambahan air pembentukan blok monolit keramik sebelum dibakar juga semakin besar, sedang dalam pembakaran, air yang ada pada monolit keramik akan terlepas yang menyebabkan berat monolit keramik semakin rendah, karena ukuran blok monolit tidak banyak berubah sehingga volume

blok monolit keramik juga tidak banyak berubah, sehingga densitas susut, beratnya semakin besar. Terlepasnya air didalam pemanasan blok monolit keramik akan menyebabkan adanya rongga didalam blok monolit keramik, monolit keramik semakin besar akan menyebabkan kekeroposan yang selanjutnya akan menurunkan kuat tekannya.

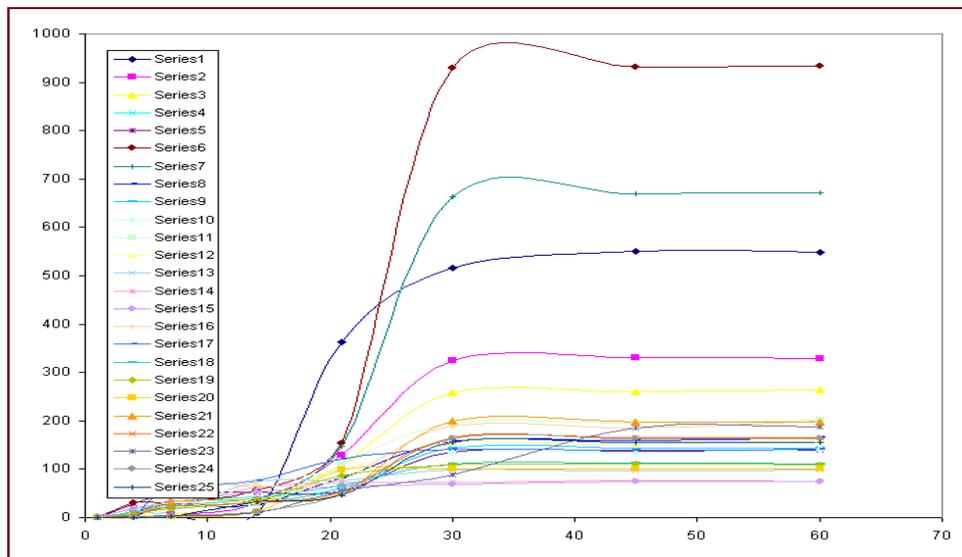
Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa secara umum besar kecilnya komposisi mineral dasar pembentuk keramik, penambahan limbah yang mengandung CaCO₃ dan penambahan aditif (Pb₃O₄ dan TSG-107) berpengaruh pada kecepatan pelindihan hasil sampel blok monolit keramik. Semakin besar jumlah penambahan CaCO₃ dan penambahan aditif (Pb₃O₄ dan TSG-107) semakin rendah kecepatan pelindiannya, dan kecepatan pelindihan akan naik apabila penambahan CaCO₃ dan penambahan aditif (Pb₃O₄

dan TSG-107) terlalu besar, hal ini ditunjukkan pada penambahan $\text{CaCO}_3 = 5\%$ sampai dengan 15% kecepatan pelindihan turun dari $549,378 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ menjadi $74,665 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ dan pada penambahan $\text{CaCO}_3 = 15\%$ sampai dengan 25% kecepatan pelin-

dihan naik dari $74,665 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ menjadi $154,311 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$. Penambahan aditif (Pb_3O_4 dan TSG-107) semakin tinggi kecepatan pelindihan semakin turun untuk semua komposisi berat CaCO_3 .

Tabel.4. Pengaruh komposisi mineral dasar (kaolin = 60 %, felspar = 25 %, clay = 15 %), berat limbah CaCO_3 dan berat aditif $\text{Pb}_3\text{O}_4 = 50\%$ dan TSG-107 =50 %) kecepatan pelindihan blok monolit keramik (pembakaran 1000°C selama 1 jam).

No.	Mineral Dasar(%)	CaCO_3 (%)	Aditif (%)	Kecepatan pelindihan hari ke. ($\times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$)							
				1	4	7	14	21	30	45	60
1.	93	5	2	0,835	1,327	4,833	10,250	363,000	516,700	550,751	549,378
2.	91	5	4	0,991	3,772	6,118	27,831	129,702	324,554	329,814	328,698
3.	89	5	6	0,025	4,881	6,316	33,860	109,700	259,004	260,337	265,002
4.	87	5	8	0,006	10,774	31,665	42,960	60,228	142,229	143,228	142,776
5.	85	5	10	0,204	27,960	48,448	51,985	54,223	135,231	136,209	139,227
6.	88	10	2	0,000	30,387	31,818	57,387	152,886	930,368	932,221	933,284
7.	86	10	4	0,000	12,990	27,229	39,226	148,117	664,221	668,801	671,089
8.	84	10	6	0,135	4,517	23,728	25,613	83,169	158,008	159,229	165,228
9.	82	10	8	0,000	6,331	23,933	30,338	60,301	142,664	143,293	143,882
10.	80	10	10	0,000	7,458	23,346	32,737	47,968	132,228	133,297	140,220
11.	83	15	2	0,015	7,246	25,518	25,338	108,006	195,537	196,208	200,765
12.	81	15	4	0,000	7,331	22,287	72,080	98,552	155,237	151,774	161,296
13.	79	15	6	0,107	12,379	12,948	74,501	76,837	98,766	97,228	99,673
14.	77	15	8	0,100	17,339	22,665	62,554	72,864	72,117	76,993	74,751
15.	75	15	10	1,125	18,958	32,001	52,286	65,224	68,402	75,392	74,665
16.	78	20	2	0,016	4,406	68,331	65,467	79,449	189,586	186,209	199,971
17.	76	20	4	0,018	7,617	59,550	76,263	120,299	140,166	140,002	141,958
18.	74	20	6	0,014	12,368	23,036	41,288	66,486	110,486	112,917	109,893
19.	72	20	8	0,015	9,008	19,002	33,881	87,206	108,284	110,753	109,862
20.	70	20	10	0,014	1,043	1,307	11,417	98,886	100,114	100,321	100,805
21.	73	25	2	0,045	4,505	31,986	37,538	50,537	198,886	198,006	197,331
22.	71	25	4	0,046	6,229	22,810	29,665	55,312	166,225	165,201	166,001
23.	69	25	6	0,043	2,253	4,322	10,233	55,312	87,728	186,220	187,639
24.	67	25	8	0,000	0,014	3,297	11,952	47,917	163,990	164,001	163,861
25.	65	25	10	0,000	0,000	2,927	31,469	45,927	155,726	155,628	154,311



Grafik 1. Hasil Pengukuran Pelindihan Pada Hari 1-60

KESIMPULAN

Penambahan air pembentukan sangat berpengaruh pada pelaksanaan pembuatan sampel maupun hasil sampel.

Berat adonan berpengaruh tinggi pada hasil sampel blok monolit keramik

Besar kecilnya komposisi mineral dasar pembentuk keramik, penambahan limbah yang mengandung CaCO_3 dan penambahan aditif (Pb_3O_4 dan TSG-107) berpengaruh pada densitas, penyusutan berat dari sebelum dan sesudah dipanaskan, daya serap dan kuat tekan sangat berpengaruh pada kecepatan pelindihan hasil sampel blok monolit keramik. Semakin besar jumlah, semakin rendah kecepatan pelindiannya, dan kecepatan pelindihan akan naik bila penambahan CaCO_3 dan penambahan aditif terlalu besar, hal ini ditunjukkan pada penambahan $\text{CaCO}_3 = 5\%$ sampai dengan 15% kecepatan pelindihan turun dari $549,378 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ menjadi $74,665 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ dan pada penambahan $\text{CaCO}_3 = 15\%$ sampai dengan 25% kecepatan pelindihan naik dari $74,665 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$ menjadi $154,311 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$. Penambahan aditif semakin tinggi kecepatan pelindihan semakin turun untuk semua komposisi berat CaCO_3 .

Hasil terbaik pada percobaan ini adalah penambahan berat $\text{CaCO}_3 = 15\%$

dan penambahan aditif = 8% dengan kuat tekan $20,880 \text{ N/cm}^2$, kecepatan pelindiannya = $74,751 \times 10^{-6} \text{ gram. cm}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$

DAFTAR PUSTAKA

- Benedict, 1981, *Nuclear Chemical Engineering*, Second Edition, Mc. Graw Hill Co.
- Bisri, Uun, 1991, *Bahan Galian Feldspar*, Direktorat Jendral Pertambangan Umum Pusat Pengembangan Teknologi Mineral, Jakarta.
- I.A.E.A., 1983, "Conditioning of Radioactive Waste for Storage and Disposal", p 53-163, Vienna.
- Jafril, Na, 1995, *Bahan Galian Industri Feldspar*, Direktorat Jendral Pertambangan Umum Puslitbang Teknologi Mineral, Jakarta.
- Ronodirdjo, S, 1981, *Diktat Kuliah Pengelolaan Sampah Radioaktif (Radioaktif Wastes Management)*, Bagian Teknik Nuklir Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta (tidak dipublikasikan)
- Ronodirdjo, S, 1982, *Pengelolaan Sampah Radioaktif*, BATAN, Yogyakarta.
- Sukandarrumidi, 1999, *Bahan Galian Industri*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Wilson, H, 1927, *Ceramik-Clay Technology*, Mc. Graw Hill Book Company, Inc, New York