

PENGARUH PENAMBAHAN KADAR TiO₂ TERHADAP HARGA KEKERASAN UBIN KERAMIK

Muh Amin^{*)}

Abstrak

Keramik memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik terutama memiliki sifat keras, tahan terhadap abrasi. Penambahan TiO₂ kedalam Kaolin dan Clay Pekalongan dalam bentuk komposit diharapkan dapat memiliki nilai lebih pada Keramik Ubin yaitu sebuah Keramik Ubin dengan kemampuan dapat membersihkan atau menghilangkan bau dan mensterilkan bakteri, sehingga fungsi Keramik Ubin dapat sebagai antibiotik. Salah satu sifat keramik yang perlu diperhatikan adalah harga densitas keramik. Dari hasil densitas dapat dipergunakan untuk mencari jumlah porositas yang terjadi pada keramik ubin. Harga densitas akan sangat bergantung pada variasi suhu sintering, maka pada penelitian ini akan dibuat variasi suhu sintering sebesar (1000, 1100, 1200)°C dengan Heating Rate 5°C/menit dan holding time 1 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari harga densitas yang optimal dari CMC. Sebagai data pendukung akan dilakukan uji struktur mikro untuk mengetahui secara visual porositas yang terjadi dengan mikroskop optik.

Kata Kunci: TiO₂, densitas, CMC, porositas, mikrostruktur

PENDAHULUAN

Katalis TiO₂ mempunyai sifat *self-cleaning* dan *self-sterilizing* yaitu daya membersihkan sendiri berfungsi untuk menghilangkan bau, zat organik dan anorganik dan sifat *self-sterilizing* dapat mensterilkan bakteri dan virus, sehingga kinerja katalis TiO₂ dapat dipakai sebagai antibiotik. Bau yang menyengat (amonia) sering terjadi di dalam fasilitas umum misalnya toilet, berasal dari peruraian urea sebagai komponen bahan organik terbanyak dalam urine oleh jasad renik menjadi energi dan gas NH₃. Selain menurunkan konsentrasi amonia, TiO₂ juga dapat digunakan untuk menurunkan laju pertumbuhan bakteri, misalnya *E. Coli*, *MRSA*, *Pseudomonas auregius* dalam ruang umum maupun ruang operasi. Bila bakteri kontak dengan permukaan ubin yang terfotokatalis TiO₂ maka bakteri tersebut akan terurai /busuk bahkan akan mati.

Oleh karena itu untuk membuktikan hal tersebut, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian suatu desain atau model pembuatan ubin keramik terfotokatalis TiO₂ dalam bentuk CMC (Ceramic Matrix Composite). CMC dapat dibuat dengan

^{*)} Dosen S1 Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

menambahkan kadar TiO_2 kedalam Kaolin dan Clay dari Pekalongan sebagai matrixnya. Prosentase penambahan kadar TiO_2 kedalam Kaolin dan Clay Pekalongan adalah (0, 5, 10 dan 15) %volume. Campuran TiO_2 , Kaolin dan Clay di-*mixing* selama satu jam yang selanjutnya dilakukan penekanan dalam pencetakan dengan Tekanan kompaksi sebesar 25 MPa. Proses sintering dilakukan dengan variasi suhu sintering (900, 1000 dan 1100) °C dengan Heating Rate 5°C/jam dan Holding Time selama 1 jam.

Penggunaan TiO_2 sebagai bahan penambah pada sebuah matrix dalam bentuk komposit tidak sama untuk bahan yang memiliki densitas yang berbeda. Densitas suatu bahan dapat dipergunakan untuk mengetahui besarnya porositas yang terjadi sehingga dapat dipergunakan untuk mengetahui kondisi bahan yang memiliki sifat mekanik optimal. Maka dari itu perlu sekali diketahui harga densitas untuk berbagai variasi suhu sintering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui densitas dari keramik dengan bahan dasar Kaolin dan *Clay* Pekalongan dengan variasi berbagai penambahan TiO_2 .

TINJAUAN PUSTAKA

Senyawa amonia dan bakteri pada dasarnya dapat mengalami degradasi secara alamiah oleh cahaya matahari (*photodegradasi*) namun berlangsung secara lambat. Hal ini dapat mengakibatkan akumulasi amonia dan bakteri lebih cepat daripada degradasinya, sehingga konsentrasi amonia dan bakteri meningkat sampai mencapai tingkat yang berbahaya. Reaksi fotodegradasi ini dapat ditingkatkan dengan menggunakan oksida-oksida logam transisi seperti CdO, ZnO, Fe_2O_3 , dan TiO_2 yang berfungsi sebagai fotokatalis. Reaksi fotodegradasi terkatalisis sangat efektif untuk menguraikan amonia menjadi N_2 , CO_2 , dan H_2O .

Menurut Mukaromah, dkk. (2005) bahwa fotokatalis TiO_2 dapat meningkatkan efektivitas penurunan konsentrasi p-klorofenol dengan adanya ion-ion logam Fe(III) dan Cu(II). Pengaruh adanya ion Fe(III) dapat meningkatkan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol dengan fotokatalis TiO_2 sampai 93,90% dan adanya ion Cu(II) dengan konsentrasi yang sangat rendah juga dapat meningkatkan efektivitas fotodegradasi p-klorofenol, tetapi pada konsentrasi Cu(II) yang dapat menghambat fotodegradasi p-klorofenol. Masalah yang ditimbulkan dengan penggunaan katalis TiO_2 adalah adanya

katalis TiO_2 yang masih berada dalam limbah yang sudah terdegradasi, sehingga diperlukan pengambilan katalis TiO_2 yang dapat dipergunakan kembali dalam proses fotokatalitik. Oleh karena itu diperlukan adanya pembuatan membran untuk memisahkan katalis TiO_2 , molekul-molekul hasil degradasi dan dapat dihasilkan air yang dapat digunakan kembali untuk keperluan industri setelah proses degradasi dengan fotokatalis (Mukaromah, A.H., dkk. 2008). Selain itu katalis TiO_2 juga dapat digunakan untuk mendegradasi amonia, dan bakteri karena sifat yang dimiliki sebagai *self-cleaning* dan *self-sterilizing* sampai saat ini belum banyak dilakukan penelitian.

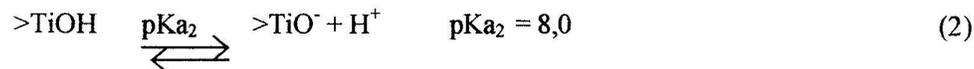
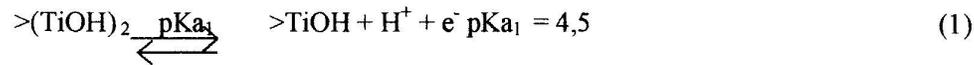
Efektivitas degradasi amonia dapat ditingkatkan dengan menggunakan oksida logam transisi seperti fotokatalis TiO_2 yang dengan adanya sinar ultra violet dapat menghasilkan radikal OH untuk menurunkan konsentrasi amonia. Sifat Fotokatalis TiO_2 yang penting adalah sebagai *self-cleaning* dan *self-sterilizing* perlu ditambahkan pada proses pembuatan ubin keramik. Menurut Amin, M. (2008), kondisi optimum pembuatan keramik kaolin pada tekanan kompaksi 25 MPa, dan suhu sintering 1500°C dimana diperoleh harga densitas $2,57 \pm 0,01 \text{ g/cm}^2$, kekerasan 7,5 Gpa, *fracture toughness* 3,12 MPa m 0,5. Penggunaan “*Self-cleaning*” katalis TiO_2 dalam pembuatan ubin keramik juga dapat menurunkan konsentrasi pertumbuhan bakteri (Fujishima, A., 1999).

Fotokatalis TiO_2

Fotokatalis TiO_2 mempunyai sifat *self-cleaning* dan *self-sterilizing* yaitu daya membersihkan sendiri berfungsi untuk menghilangkan bau, zat organik dan anorganik dan sifat *self-sterilizing* yang dapat mensterilkan bakteri dan virus, sehingga kinerja katalis TiO_2 dapat dipakai sebagai antibiotik (Fujishima, A., dkk., 1999). Fotokatalis TiO_2 dapat menghambat sintesis protein, dan asam nukleat. Sintesis protein merupakan hasil akhir dari dua proses utama, yakni transkripsi (sintesis asam ribonukleat) dan translasi (sintesis protein yang ARN-dependent). Katalis ini merupakan penghambat efektif terhadap sintesis DNA (Deoxribo Nucleic Acid). Sebenarnya, obat-obat demikian membentuk kompleks dengan DNA melalui ikatan pada residu deoksiganosin. Kompleks DNA aktinomisin menghambat polimerase RNA (Ribo Nucleic Acid) yang tergantung pada DNA serta menahan pembentukan mRNA (Darmawati, S., 2008)

Metode kimia yang telah dilaporkan adalah fotodegradasi terkatalisis oleh TiO₂ (Hoffmann, et. al, 1997). Penggunaan fotokatalis tersebut telah dilaporkan dapat meningkatkan efektivitas reaksi fotodegradasi secara signifikan.

Sebagai fotokatalis, spesies aktif dari TiO₂ dalam larutan benar adalah >TiOH. Keberadaan >TiOH dapat dilihat dari persamaan reaksi berikut :

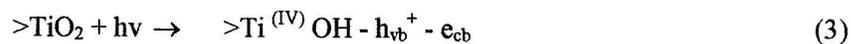


Dari persamaan reaksi 1 dan 2 terlihat bahwa TiOH stabil pada pH 4,5 sampai dengan pH 8 (Hoffmann et al., 1997).

TiO₂ dapat dipergunakan antara lain sebagai pigmen dalam industri cat, pemutihan pada industri kosmetik, dan fotokatalis. TiO₂ dapat berfungsi sebagai fotokatalis yaitu mempercepat reaksi yang diindikasikan oleh cahaya karena mempunyai struktur semikonduktor yaitu struktur elektronik yang dikarakterisasi oleh adanya pita valensi (valence band; vb) terisi dan pita konduksi (conduction band ; cb) yang kosong. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi celah pita (band gap energy ; Eg). Eg TiO₂ jenis *anatase* sebesar 3.2 eV dan jenis *rutile* sebesar 3.0 eV, sehingga jenis *anatase* lebih foto reaktif dari pada jenis *rutile* (Hoffmann et al., 1997; Fujishima et al., 1999).

Fotokatalis TiO₂ mampu menyerap radiasi menghasilkan radikal OH. Radikal OH ini merupakan oksidator kuat untuk purifikasi air dan udara, antibakteri, antikanker, anti minyak, dan antifoging. Menurut Hofman, et al., (1997), reaksi dapat dituliskan sebagai berikut :

Pembentukan pembawa muatan oleh foton (cahaya) :



Pembentukan radikal OH :



$>TiO_2$ mewakili permukaan fotokatalis, h_{vb}^+ dan e_{cb}^- masing-masing adalah hole dan electron yang merupakan spesies fotoaktif, $OH_{(s)}$ merupakan gugus hidroksil pada permukaan katalis, $h\nu$ merupakan energi radiasi yang berasal dari lampu UV/visible atau cahaya matahari yang diserap oleh terbentuk pada permukaan katalis • $OH_{(s)}$ dan $OH_{(l)}$ masing-masing adalah radikal OH yang terbentuk pada permukaan katalis dan dalam larutan (Fujishima et al., 1999). Penggunaan katalis TiO_2 ditambahkan pada cermin, sehingga tampak bening, tak berkabut, dan tidak mudah kotor. Selain itu, katalis untuk pelapis bahan bangunan seperti lantai, dinding, atap dalam bangunan.

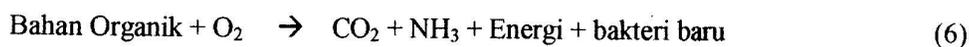
Amonia

Amonia merupakan limbah cair yang berasal dari limbah domestik (rumah tangga), dari industri, dan buangan lainnya. Komposisi dan karakteristik limbah cair sebagian besar terdiri dari air (99,9%) dan sisanya zat padat. Zat padat terbagi atas 70% zat organik (protein, karbohidrat dan lemak) dan 30% zat anorganik terutama garam dan logam-logam. Sifat air limbah dibedakan menjadi 3 bagian yaitu sifat fisik, kimia, dan biologi. Sifat fisika seperti kandungan zat padat, bau misalnya bau amonia dari limbah yang berasal dari kamar mandi dan WC (toilet) merupakan hasil peruraian urea dari komponen urin oleh bakteri, warna dan temperatur. Sifat kimia meliputi bahan kimia organik seperti fenol, protein, karbohidrat, lemak, minyak, dan surfaktan, dan sifat biologis seperti mikroorganisme bakteri, jamur, ganggang, protozoa, virus, dan sebagainya. Tujuan pengolahan air limbah adalah untuk menghilangkan atau mengurangi nutrient beracun serta zat lainnya yang sukar dibiodegradasi (Sugiharto, 2005).

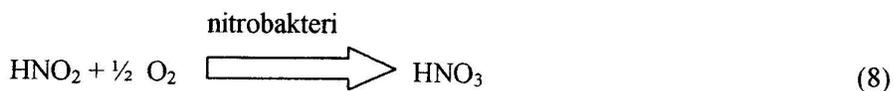
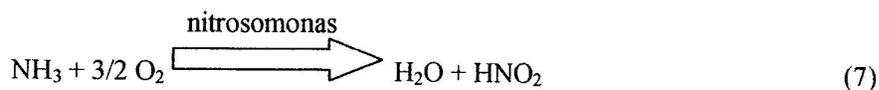
Menurut Duncen Mara (1978) dan Sugiharto (2005) bahwa komposisi air limbah berasal dari kamar mandi dan WC tertera pada Tabel 1. Untuk menganalisis bahan organik secara keseluruhan adalah tidak spesifik dan tidak memberikan perbedaan yang komplit jika bahan organik berada dalam air limbah. Jasad renik yang ada dalam air limbah akan menggunakan oksigen untuk mengoksidasi bahan menjadi energi, bahan buangan lainnya serta gas.

Reaksinya sebagai berikut:

bakteri



Reaksi selanjutnya proses nitrifikasi yaitu mengoksidasi amonia dengan bakteri nitrosomonas dan nitrobakteri seperti reaksi berikut:



Tabel 1. Komposisi air limbah yang berasal dari kamar mandi dan WC

Uraian	Faeces	Air Seni
Jumlah perorang perhari (basah)	133-270 g	1-1,31g
Jumlah perorang perhari (kering)	20-35 g	0,5-0,7g
Uap air (kelembapan)	66-80%	93-96%
Bahan organik	88-97%	93-96%
Nitrogen	5-7%	15-19%
Fosfor(P ₂ O ₅)	3-5,4%	2,5-5%
Potasium (K ₂ O)	1-2,5%	3-4,5%
Karbon	4,4-5,5%	11-17%
Kalsium(CaO)	4,5-5 %	4,5-6%

Di daerah perkotaan pada umumnya 80% dari kehidupan suatu individu tinggal dalam ruangan (*indoor*). Kadar bahan polutan di dalam rumah berbeda dengan bahan polutan di luar ruangan. Meningkatnya kadar bahan polutan di dalam rumah selain dapat berasal dari penetrasi bahan polutan di luar ruangan, dapat pula berasal dari bahan polutan di dalam ruangan, seperti asap rokok, asap yang berasal dari dapur, bau ammonia dari kamar mandi dan WC (toilet). Pada ubin keramik biasa, konsentrasi amonia dalam ruang mencapai 1,5 ppm (bau tidak enak) setelah ± satu minggu dan meninggalkan warna kuning yang sulit dibersihkan, tetapi pada ubin keramik terkatalis TiO₂, konsentrasi amonia tinggal 0,3 setelah ± dua minggu dan ubin tetap tidak berwarna (Fujishima, dkk., 1999).

Efek Amoniak (NH_3) terhadap kesehatan dan lingkungan adalah mengganggu pernapasan, iritasi selaput lendir hidung dan tenggorokan pada konsentrasi 5000 ppm dapat menyebabkan edema laring, paru, dan akhirnya dapat menyebabkan kematian, iritasi mata (mata merah, pedih, dan berair) dan bisa menyebabkan kebutaan total, iritasi kulit dapat menyebabkan terjadinya luka bakar (frostbite), bersifat teratogenik pada paparan yang menahun (Mukono, 2005).

Bakteri *Staphylococcus Aureus*, *Escherchia Coli* dan *Methicillin Resistance Staphylococcus Aureus* (MRSA)

Bakteri *Staphylococcus aureus*, *Escherchia coli*, dan *Methicillin resistance Staphylococcus aureus* (MRSA) ini dijumpai di ruang terbuka, ruang operasi, ruang yang kotor, maupun ruang yang ada aktivitasnya. Di Jepang pada musim panas terjangkit kasus infeksi dari bakteri patogen strain *Escherchia coli* dan *Methicillin resistance Staphylococcus aureus* resisten sehingga berbahaya bagi kesehatan. Ubin keramik terkatalis TiO_2 mempunyai sifat *self-cleaning* dan *self-sterilizing* yaitu daya membersihkan dan mensterilkan sehingga digunakan sebagai anti bakteri. Bakteri akan mati 99,9% selama waktu reaksi 1-4 jam bila kontak dengan ubin keramik terkatalis TiO_2 (Fujishima, dkk., 1999). Menurut penelitian Ambarsari, R., Putri Maharani, bahwa kinerja fotokatalis dengan bantuan sinar UV A dapat menurunkan bakteri *Escherchia coli*. Media pertumbuhan *E.coli* adalah Mac conkey, EMBA, dan ENDO. Media *Pseudomonas* adalah Mac conkey (MC) dan Nutrient Agar (NA), sedangkan media *MRSA* adalah Mars Borth.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Serbuk TiO_2
- Clay diperoleh dari daerah Pekalongan dengan ukuran partikel rata-rata 200 mesh.
- Kaolin dengan ukuran partikel rata-rata 200 mesh.
- Resin untuk *mounting* spesimen.
- Kertas ampelas (ukuran 120, 220, 400, 600, 800 dan 1000) untuk menghaluskan permukaan spesimen.

Alat Penelitian

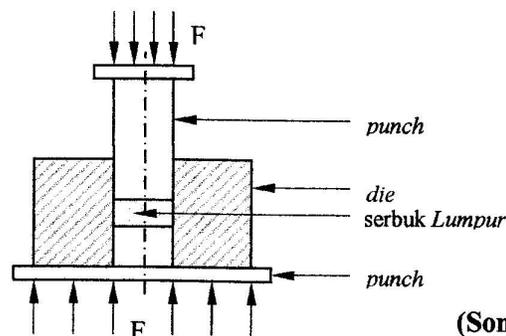
Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

- Timbangan *digital* (Sartorius Type LC 1201 S) digunakan untuk menimbang serbuk Caly, Kaolin dan TiO_2 serta untuk pengujian densitas keramik dalam bentuk CMC.
- Cetakan (bentuk silindris) digunakan untuk pembuatan spesimen uji densitas dan struktur mikro.
- Mesin tekan (*Tarno Grocki type UPHG20 Japan*) digunakan untuk penekan (*press*) dalam pembuatan *green body*.
- Dapur pemanas digunakan untuk proses *sintering*.
- Mikroskop optik (*Olympus Japan*) digunakan untuk pengamatan struktur mikro.

Cara Penelitian

Pada persiapan penelitian dilakukan dengan:

- Mempersiapkan bahan uji berupa Caly Pekalongan.
- Pembuatan cetakan spesimen silindris seperti pada Gambar 1.
- Mempersiapkan kertas ampelas (ukuran 120, 220, 400, 600, 800 dan 1000).
- Menyediakan resin untuk *mounting* spesimen.
- Pembuatan spesimen pertama kali dilakukan dengan pembuatan *green body* dengan *uniaxial pressing* pada sebuah cetakan dan selanjutnya dilakukan proses *pressureless sintering*.



Gambar 1. Cetakan Spesimen Silindris

Variasi spesimen pada penelitian ini yaitu seperti terlihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 2 Variasi Pengujian dan Jumlah Spesimen

% Vol TiO ₂	Spesimen Uji Kekerasan Densitas			Jumlah Spesimen
	Temperatur Sintering (°C)			
	900	1000	1100	
0	5	5	5	15
5	5	5	5	15
10	5	5	5	15
15	5	5	5	15
Total Spesimen				60

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen yang disinter pada suhu sinter 1000°C, 1100°C dan 1200°C yang sebelumnya di-mounting dalam resin untuk memudahkan sewaktu pemolesan dan pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan beban 153, 2 N menggunakan mesin uji kekerasan makro. Kedua diagonal injakan indenter Vickers diamati dengan menggunakan mikroskop optik.

Angka kekerasan Vickers dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (9)$$

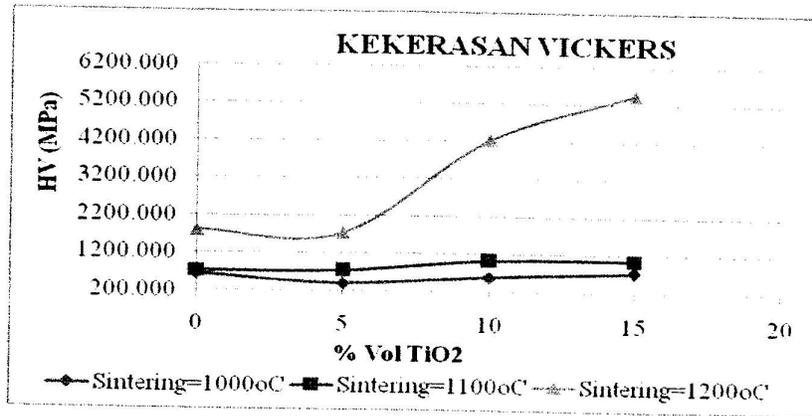
Dimana :

Hv = angka kekerasan Vickers (MPa)

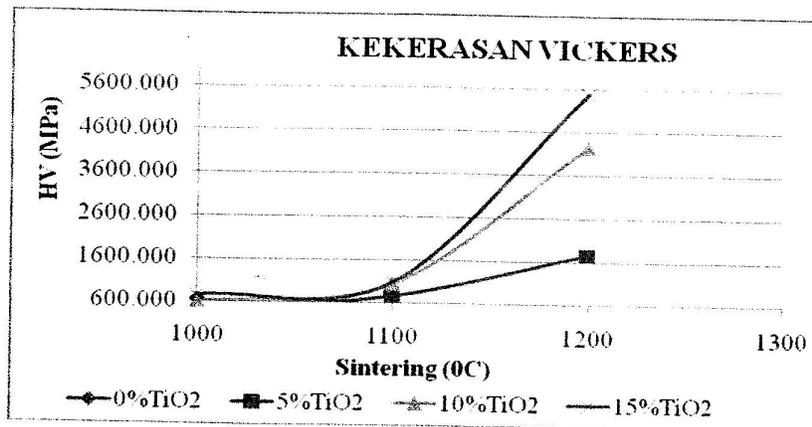
P = pembebanan (N)

d = diagonal rata-rata akibat pembebanan Vickers (mm)

Harga kekerasan Vickers dihitung dengan menggunakan persamaan (9) dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 2(a) dan 2(b).



Gambar 2.A. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Dengan Variasi Tio2



Gambar 2.B. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Dengan Variasi Suhu Sintering

Pada Gambar 2(a) terlihat bahwa dengan penambahan % volume TiO₂ pada suhu sintering 1000°C sampai dengan 1100°C terjadi peningkatan harga kekerasan Vickers secara berangsur-angsur dan terjadi peningkatan yang signifikan pada 15% volume TiO₂. Hal ini disebabkan pada suhu sintering 1200°C TiO₂ yang memiliki titik *melting* jauh lebih besar dari 1200°C baru mengalami tahap kedua dalam proses sintering (*intermediate stage*) yaitu terjadi *neck growth*, *grain growth* dan *pore-phase continuous* atau bahkan tahap pertama (*initial stage*) yang hanya terjadi *rearrangement* dan *neck formation* saja.

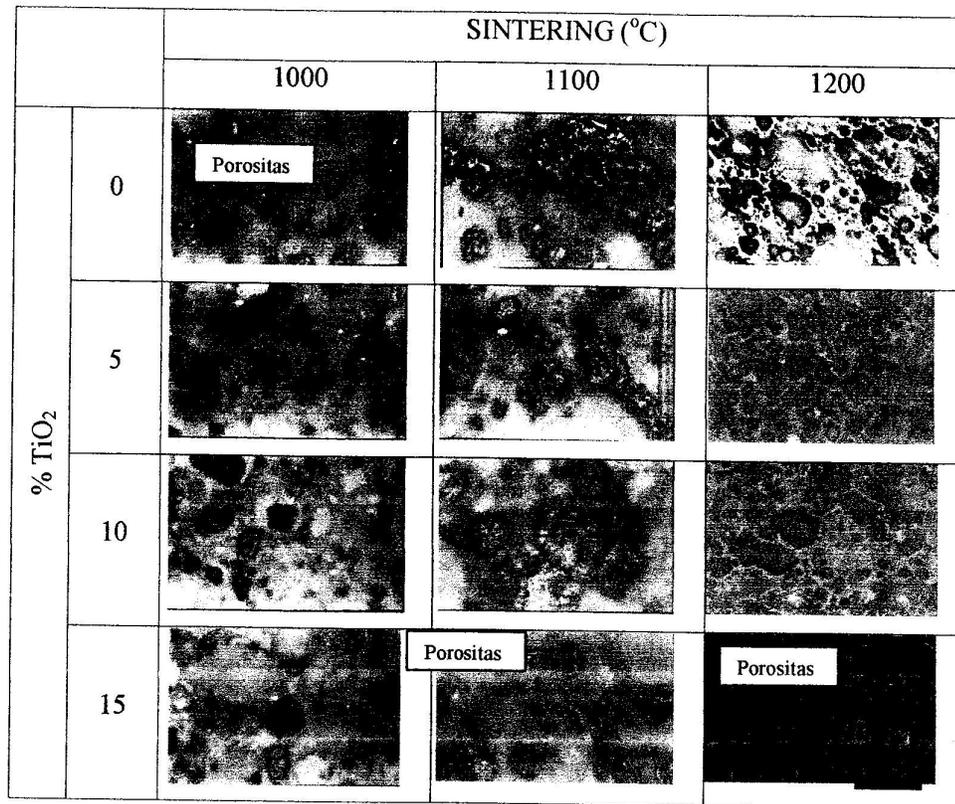
Sedangkan pada suhu 1200°C untuk material Clay sudah mengalami *fracture surface* karena pada suhu tersebut Clay kemungkinan sudah mengalami oksidasi. Akibat *clay* yang beroksidasi tersebut mengakibatkan terjadinya penambahan harga porositas. Hal ini juga dapat dilihat dari hasil foto mikro keramik yang menunjukkan adanya lobang-lobang porositas yang besar seperti tampak pada hasil foto mikro permukaan (Gambar 3). Harga kekerasan pada suhu sintering 1100°C dengan penambahan 10% volume TiO₂ adalah (1043, 336 ± 30,754) MPa. Meskipun demikian harga kekerasan yang tertinggi dicapai pada suhu yang lebih tinggi, hal ini disebabkan dengan meningkatnya suhu sintering pada fase sebelum *final stage* akan mengakibatkan kekerasan semakin tinggi karena akan terjadi ikatan yang kuat antar partikel-partikel tersebut (Djaprie, 1994).

Pengamatan Struktur Mikro

Pada Gambar 3 merupakan hasil dari foto mikro pada Keramik Ubin yang telah mengalami proses sintering. Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik terlihat bahwa dengan bertambahnya %volume TiO₂ untuk masing-masing suhu sintering terjadi penurunan porositas yang ditandai dengan meningkatnya densitas keramik. Disamping itu juga dapat dilihat dari hasil foto mikro yang menunjukkan adanya penurunan jumlah porositas.

Apabila ditinjau dari variasi suhu sintering dari foto mikro terlihat bahwa pada suhu sintering 1100 cenderung memiliki jumlah porositas yang paling sedikit untuk masing-masing prosentase penambahan TiO₂.

Pada suhu 1200°C tampak pada gambar terjadi penambahan porositas, hal ini disebabkan clay pada suhu tersebut sudah terjadi melting yang akan terjadi pertumbuhan *grain* yang lebih besar sehingga inilah yang menyebabkan densitas Keramik Ubin terjadi penurunan karena porositasnya semakin besar.



Gambar 3. Foto Struktur Mikro Keramik Ubin

KESIMPULAN

1. Harga kekerasan pada suhu sintering 1100°C dengan penambahan 10% volume TiO₂ adalah $(1043,336 \pm 30,754)$ MPa.
2. Hasil pengamatan struktur mikro Keramik Ubin juga menunjukkan adanya jumlah porositas yang semakin kecil dengan bertambahnya %volume TiO₂ untuk suhu sintering 1100°C.
3. Pada penambahan 15% volume TiO₂ pada Komposit Keramik Ubin dengan suhu sintering 1100°C berdasarkan pengamatan struktur mikro menunjukkan harga porositas yang terkecil (kondisi keramik dengan sifat mekanik yang terbaik).

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M, dan Bagus Irawan, B., 2008.** *Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap karakterisasi Keramik Kaolin yang Dibuat Dengan Proses Pressureless Sintering*, Majalah Ilmiah traksi, ISSN: 1693-3541.
- Barsoum, M. W., 1997,** *Fundamental of Ceramics*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- BAPPEDAL Prop. Jateng, 2004.** *Peratura Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10tahun 2004 tentang baku Mutu Air Limbah.*
- Djaprie S, 1987,** *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta.
- Fujishima, AK., Hasimoto, K., Watanabe, T., 1999.** *TiO₂ Photocatalysis Fundamental and Application*. Japan: Koyo pringting.
- Geissen. S.U., et al. 2001.,** Comperation of Suspended and Fixed Photocatalytic Reactor System. *Water Science and technology*, 44,245-249.
- German R.M., 1994,** *Powder Melallurgy Science*, The Penylvania State University, USA.
- German R.M., 1991,** *Fundamentals of Sintering*, Engineered Materials Handbook Ceramics and Glassses, ASM International, USA.
- Gordan, L, 1991,** *Aplication for Traditional Ceramic*, Engineering Material Handbook Ceramic and Glasses, ASM International, USA.
- Green, D. J., 1998,** *An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramic*, University Press, Cambridge, Great Britain.
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W., and Bahneman, D.W. 1997.,** Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *J. Chem. Rev.*, 69 96.
- Mukaromah, A. H., dan Ariyadi, T. 2005.** *Pengaruh Adanya Ion-ion logam Cu(II) dan Ion Fe(III) Terhadap Efektifitas Fotodegradasi p-Klorofenol Terkatalisis TiO₂*. Laporan Penelitian dosen Muda, DIKTI.
- Mukaromah, A. H., Irawan B., Rahmawati A., 2008.** *Pembuatan Reaktor Membran Fotokatalitik dalam Mendegradasi Fenol Terkatalis TiO₂ dengan Adanya Ion Logam Fe(III) dan Cu(II)*, Penelitian Hibah Bersaing, DIKTI.
- Piero, A.M., Antonio, J., Peral,J., and Domenech, X. 2000.** *TiO₂-photocatalyzed*
- Somiya S., 1989,** *Advanced Technical Ceramics*, Academic Press inc, Tokyo.

- Sugiarto**, 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. UI Press. Jakarta
- Surdia T**, 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- U. S. EPA**, 1996. *Tes Methods for Evaluating Solid Waste Physical / Chemical Method. SW-846*, on line versions, Method 7196A, U.S. Env. Protection Agency, Washington, DC. [http: www.epa.gov/epaoswr/main.htm](http://www.epa.gov/epaoswr/main.htm).
- Vlack V**, 1980, *Elements of Materials Science and Engunering*, Addison-Wesley Publishing Company, USA.

PENULIS

MUH AMIN, ST, MT

Program S1 Teknik Mesin UNIMUS, Jl. Kasipah 12 Semarang, Telp. (024) 8445768

Faks. (024) 8445768

E-mail: amin.unimus@gmail.com