

PEMBUATAN BATUBATA DENGAN BAHAN BAKU LUMPUR SIDOARJO

Endang Srihari Mochni*, Arief Budhyantoro

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Surabaya

*Corresponding email: esriharimochni@yahoo.com

Abstract

Many attempts to reduce the volume of Sidoarjo mudflow that came out, one of which is the use of Sidoarjo mud for making bricks. The results of research in the chemical laboratory show that the Sidoarjo mud mineral content is mostly silica and alumina minerals, so it is very supportive for use as a material for making bricks. Making bricks requires mixed materials, one of which is paper sludge. Paper sludge waste is discharged from the paper industry, which can pollute the environment if it is discharged directly into the environment. Therefore, a solution is needed by utilizing the potential of the sludge waste. One of them is by using paper sludge as an additive in making bricks, because most of the components of paper sludge waste are calcium carbonate. In building materials, calcium carbonate can function as an additive so that paper sludge waste can be used as an additional material in making bricks. The purpose of this study is to determine the best ratio of Sidoarjo mud with paper sludge to the quality of the bricks, find out the best combustion temperature to the quality of the bricks produced, and compare the quality of the bricks before and after burning. The bricks are synthesized with a variation of the ratio of Sidoarjo mud raw material and paper sludge (1: 0, 1: 1, 2: 1, 3: 1) and variations in combustion temperature (no combustion, 400°C, 450°C, 500°C, 750°C, 900°C). In this study, the best quality of bricks according to SNI is 2: 1 ratio bricks with a combustion temperature of 750 ° C. The ratio of 2: 1 brick with a combustion temperature of 750°C has a percentage of water absorption of 17.17% and compressive strength of 37.78 kg / cm²

Keywords: bricks, Sidoarjo mud, paper sludge

PENDAHULUAN

Bencana lumpur Sidoarjo adalah bencana skala nasional. Hingga kini, semburan lumpur masih kuat, pertama kali terdapat semburan yang keluar selain adanya lumpur 70% dan 30% air, tetapi saat ini kondisi menjadi terbalik yaitu 70% air dan 30% lumpur sedangkan gas sudah relatif kecil atau dapat dikatakan tidak ada. Dampak dari semburan lumpur ini sangat berpengaruh bagi masyarakat sekitar maupun bagi aktivitas perekonomian Jawa Timur (Elmaghira, 2017)

Banyaknya upaya untuk mengurangi volume semburan lumpur Sidoarjo yang keluar, salah satunya diperlukan upaya pemanfaatan lumpur hasil semburan untuk memberikan nilai produktif pada daerah sekitar semburan lumpur. Berdasarkan diagram Winkler, lumpur Sidoarjo diklasifikasikan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai batubata, keramik dan bahan bangunan lainnya (Triwulan, 2006). Hasil penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Malang juga menunjukkan kalau lumpur Sidoarjo mengandung 22,13 % lanau, 19,40% pasir dan 58,47% lempung. Dari hasil penelitian tersebut maka lumpur Sidoarjo termasuk jenis tanah

lempung yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah. Sifat plastis dan mudah dicetak ini sangat memudahkan dalam proses pembuatan.

Pembuatan batubata ini diperlukan bahan campuran seperti pasir, serbuk kayu, dan abu sekam padi. Dalam penelitian kami akan menambahkan *paper sludge* untuk pembuatan batubata. Limbah *paper sludge* merupakan buangan dari pabrik industri kertas, dimana dapat mencemari lingkungan bila langsung dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan solusi dengan memanfaatkan potensi yang dimiliki limbah *paper sludge* tersebut. Salah satunya dengan memanfaatkan *paper sludge* sebagai bahan *additive* dalam pembuatan batubata, karena sebagian besar komponen limbah *paper sludge* yaitu kalsium karbonat sekitar 60% selain bahan organik. Di dalam bahan bangunan, kalsium karbonat dapat berfungsi sebagai bahan *additive* sehingga limbah *paper sludge* dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan batubata. Penambahan *paper sludge* dapat mempengaruhi kandungan bahan organik, bobot isi, dan pembentukan stabilitasi agregat. (Henggar, 2009).

Untuk menghasilkan batubata yang baik, maka perlu menambahkan proses pembakaran batubata. Pembakaran batubata yang dilakukan tidak hanya bertujuan untuk mencapai suhu yang diinginkan, melainkan juga harus memperhatikan kenaikan suhu dan kecepatan suhu untuk mencapai suhu tersebut, agar proses pembakaran berjalan dengan baik. Selama proses pembakaran terjadi perubahan fisika, kimia, dan mineralogi dari lumpur Sidoarjo tersebut. Variasi suhu pembakaran yang digunakan yaitu tanpa pembakaran (pengeringan), 400°C, 450°C, 500°C, 750 °C, 900°C. Secara umum semakin tinggi dan semakin lama proses pembakaran, maka kualitas bata yang dihasilkan akan semakin baik. Pada suhu pembakaran yang ideal, akan terjadi perubahan struktur dan bentuk kristal.

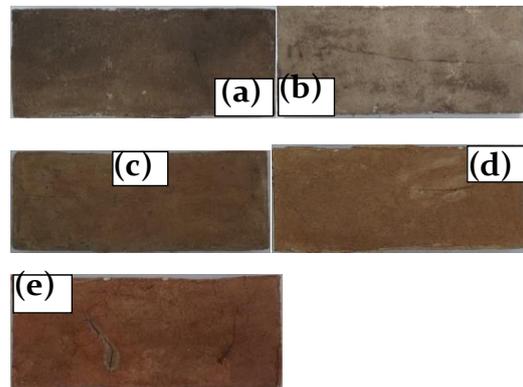
Berdasarkan permasalahan diatas, maka penelitian yang akan dilakukan adalah pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai bahan baku membuat batubata. Lumpur Sidoarjo dicampur dengan *additive* (*paper sludge*) dengan variasi komposisi 1:0, 1:1, 2:1, 3:1 dan variasi suhu pembakaran 400°C, 450°C, 500°C, 750 °C, 900°C, dan tanpa pembakaran, dimana untuk mendapatkan hasil yang diinginkan perlu dilakukan kajian atau uji adsorpsi air, karakterisasi, dan sifat mekanik (kuat tekan).

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian pembuatan batubata ini dilakukan dengan bahan baku lumpur Sidoarjo dan *paper sludge* yang diambil dari PT. Adiprima Suraprinta, Wringinanom, Gresik. Batubata disintesis dengan mencampurkan lumpur Sidoarjo dan *paper sludge* dengan beberapa rasio yaitu 1:0; 1:1; 2:1 dan 3:1. Campuran bahan baku diaduk hingga homogen dan dicetak menggunakan cetakan *press* hidrolik. Batubata yang telah dicetak kemudian dikeringkan selama 14 hari dan dipanaskan pada suhu 400°C, 450°C, 500°C, 750 °C, 900°C, dan tanpa pembakaran. Untuk melihat proses mineralisasi silika. Batubata yang diperoleh akan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM selain itu batubata yang dihasilkan akan diuji berat jenis, daya serap air dan kuat tekannya dan dibandingkan dengan nilai uji sifat batubata dari SNI. Pada penelitian ini akan ditentukan sifat fisis dari batubata merah yang dihasilkan, apakah masuk dalam kategori batubata merah atau tidak. Beberapa sifat fisis yang akan ditentukan dari batubata merah ini adalah berat jenis, daya serap air, kristalinitas mineral silika yang terbentuk dan kuat tekan.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN DATA Warna Batubata Hasil Pembakaran

Batubata yang telah dibakar menggunakan *furnace* pada suhu 400 – 900°C memberikan warna batubata yang berbeda sangat signifikan. Fenomena perbedaan warna batubata ini diberikan pada gambar 1, khususnya untuk rasio bahan baku lumpur : *paper sludge* = 1 : 1. Pada gambar tersebut tampak bahwa pada suhu rendah (400°C) warna batubata masih cenderung berwarna coklat tanah kehitaman. Hal ini menunjukkan bahwa proses *sintering* pada batubata masih belum terjadi, terutama proses mineralisasi silika menjadi quartz dan *crystalobalite*. Warna batubata ini akan menjadi lebih coklat kemerahan terang dengan meningkatnya suhu pembakaran, terutama pada suhu 900°C. Hal ini disebabkan adanya proses mineralisasi amorf silika menjadi quartz dan *crystalobalite* relatif lebih baik, khususnya pada suhu 900°C.

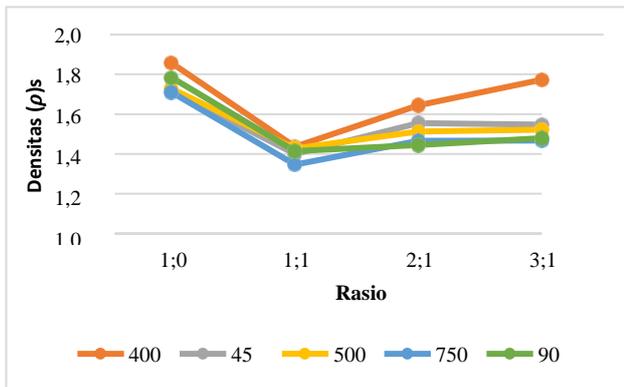


Gambar 1. Perubahan Warna Batubata Setelah Proses Pembakaran pada Variasi Suhu 400 - 900°C Selama 3 Jam. (a) 400°C (b) 450°C (c) 500°C (d) 750°C (e) 900°C

Densitas Batubata (ρ)

Penentuan berat jenis penting dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan *paper sludge* terhadap penyusutan ukuran batubata, apakah terjadi perubahan secara signifikan atau tidak. Berdasarkan data penelitian diperoleh bahwa densitas batubata mengalami penurunan setelah proses pembakaran.

Setelah dilakukan pencampuran Sidoarjo dan *paper sludge* dalam penelitian ini dengan berbagai perbandingan, ternyata berpengaruh terhadap densitas batubata. Hal lain yang mengakibatkan perubahan densitas batubata adalah pengaruh suhu pembakaran batubata. Data perubahan densitas batubata tersebut diberikan pada gambar 2 berikut ini,



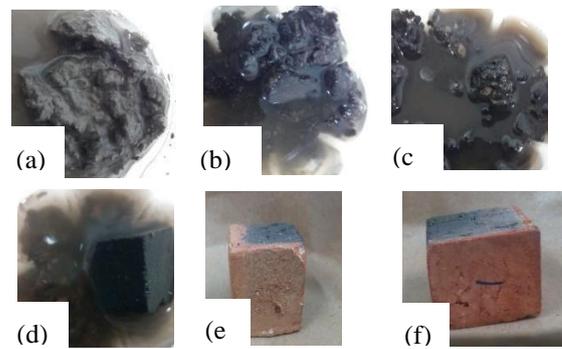
Gambar 2. Densitas Batubata pada Variasi Rasio Komposisi (1:0, 1:1, 2:1, 3:1) dan Suhu Pembakaran (400°C, 450°C, 500°C, 750°C, 900°C)

Berdasarkan gambar 2 terdapat dua fenomena, yaitu fenomena perbedaan nilai densitas karena pengaruh rasio komposisi batubata dan suhu pembakaran batubata. Pada fenomena pertama, dapat dilihat bahwa pada rasio 1:0 menuju rasio 1:1 terjadi penurunan nilai densitas batubata. Sedangkan pada rasio 1:1 menuju rasio 2:1 dan 3:1 terjadi kenaikan densitas batubata. Hal ini dikarenakan perbedaan densitas lumpur Sidoarjo dan *paper sludge*. Ketika *paper sludge* dan lumpur Sidoarjo dicampur, volume lumpur akan digantikan oleh *paper sludge* begitu juga dengan densitasnya. Oleh karena itu perbedaan rasio batubata dapat mempengaruhi nilai densitas batubata (Siswanto, 2019).

Fenomena pengaruh suhu pembakaran dapat terjadi karena sifat dari bahan batubata yang menyerupai tanah lempung, yaitu proses *swelling* (pengembangan) dan *shrinking* (penyusutan). Hal ini terjadi karena perubahan kadar air didalam batubata. Pada saat proses pembakaran batubata, air yang ada didalam batubata teruapkan dan terjadi penyusutan volume. Oleh karena itu perbedaan suhu pembakaran batubata dapat mempengaruhi nilai densitas batubata. Standar densitas batubata yang sesuai SNI-15-2094-2000 adalah sebesar 1,6-2,5 gr/cm³ (Muhardi dkk, 2007). Pada batubata rasio 1:0, semua batubata dengan perbedaan suhu pembakaran memenuhi standar densitas SNI.

Daya Serap Air dan Gaya Agregasi

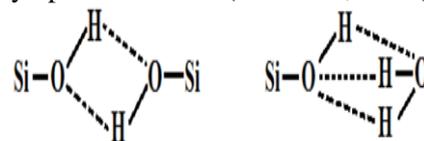
Ketika dilakukan uji daya serap air, batubata dengan suhu pembakaran 400°C, 450°C, 500°C, dan tanpa pembakaran mengalami kerusakan. Sedangkan batubata yang dibakar pada suhu 750°C dan 950°C strukturnya masih utuh pada saat uji daya serap air. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3



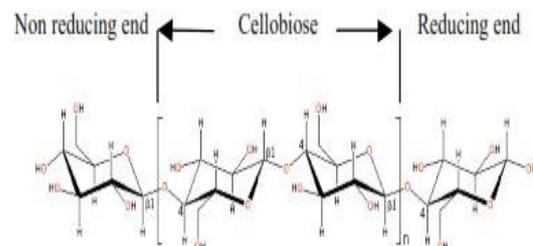
Gambar 3. Batubata dari Lumpur Sidoarjo dan paper Sludge dengan ratio 1:1 pada Uji Daya serap Air (a) Tanpa Pembakaran, (b) pembakaran suhu 400°C, (c) 450°C, (d) 500°C, (e) 750°C dan (f) 900°C

Batubata yang hancur belum bisa didefinisikan sebagai batubata merah karena menurut SNI 15-2094-2000, batubata merah merupakan suatu material bangunan yang dibakar dengan suhu tinggi agar tidak dapat hancur ketika direndam didalam air (Muhardi dkk, 2007).

Pada gambar 3 menunjukkan fenomena hancurnya batubata rasio (1:0, 1:1, 2:1, dan 3:1) pada suhu pembakaran dibawah suhu 750°C. Hal ini dikarenakan saat batubata direndam didalam air terjadi proses hidrasi partikel silika. Hidrasi partikel silika adalah kondisi dimana partikel lempung dikelilingi oleh molekul air. Akibatnya ikatan hidrogen antara partikel lempung dan molekul air lebih besar daripada ikatan hidrogen partikel lempung dengan partikel lempung, seperti pada gambar 4. Hal ini dapat diperkuat dari data FTIR pada gambar 5 yang menunjukkan adanya gugus Si-OH & C-O yang memiliki kemampuan membentuk ikatan hidrogen dan mengakibatkan terjadinya proses hidrasi (Suci dkk, 2019).



Gambar 4. Diagram Ikatan Hidrogen antara :
(a) Partikel SiO₂ dengan Partikel SiO₂,
(b) Partikel SiO₂ dengan Partikel H₂O.



Gambar 5. Struktur Polymer Selulosa (Fibersource, 2005)

Batubata yang dipanaskan pada suhu 400-500°C, menunjukkan selulosa tidak dapat terbakar sempurna. Keberadaan selulosa dalam *paper sludge*

mengakibatkan batubata mengikat molekul air lebih banyak. Hal ini disebabkan pada selulosa memiliki gugus OH yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air, gambar 5 (Wardhana, dkk 2018). Jika batubata menyerap air dalam jumlah besar maka ikatan antar partikel silika pada lempung menjadi lemah karena adanya halangan oleh molekul air. Selulosa juga menghalangi interaksi antara partikel silika dalam batubata. Akibatnya batubata hancur ketika direndam dalam air. Kesempurnaan polimerisasi silika oksida pada batubata juga dapat dijelaskan melalui data FTIR pada gambar 6

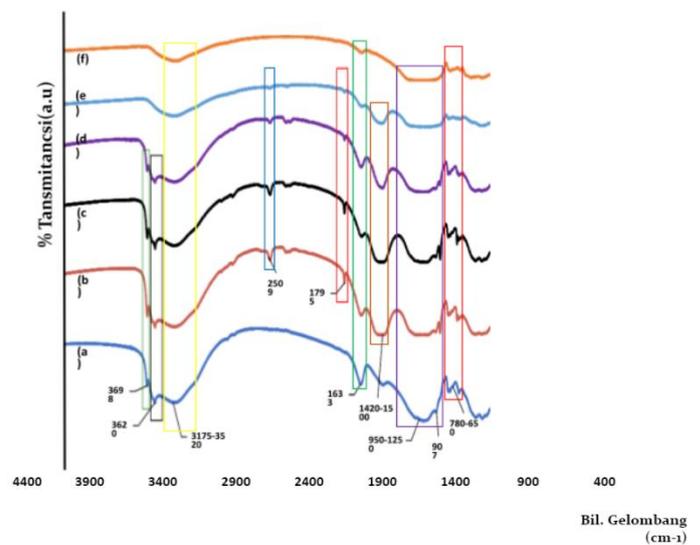
Karakterisasi Batubata dengan FTIR

Karakterisasi FTIR pada gambar 6 adalah untuk mengidentifikasi keberadaan gugus hidroksida, gugus silanol, *paper sludge*, dan polimerisasi mineral silika yang terdapat pada batubata. Pada radiasi sinar infra merah yang terukur adalah energi vibrasi ikatan antar atom dalam sebuah senyawa. Interaksi molekul dan radiasi elektromagnetik ini mampu menunjukkan molekul yang terkandung dalam suatu bahan pada panjang gelombang tertentu. (Hendayana, 1994)

Gambar 6 merupakan hasil uji FTIR batubata dengan bahan baku lumpur Sidoarjo dan paper sludge pada rasio 1:1 dan variasi suhu pembakaran. Pada gambar 6 muncul peak pada bilangan gelombang 530 cm^{-1} – 450 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi bending ikatan Si-O-Si dan serapan pada bilangan gelombang 770 cm^{-1} – 690 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi bending ikatan Si-O. (Madejova, 2002). Keberadaan ikatan Si-O-Si pada batubata diperkuat dengan munculnya peak serapan pada bilangan gelombang 950 cm^{-1} – 1250 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi stretching dari ikatan Si-O-Si (Mustopa dan Rendra 2013). Daerah serapan ini tampak semakin melebar ketika suhu pembakaran batubata semakin tinggi. Pelebaran *peak* pada daerah bilangan gelombang ini menunjukkan semakin beragamnya bentuk ikatan Si-O-Si pada batubata. Hal ini menjelaskan adanya proses polimerisasi dari unit-unit SiO_2 baik dari amorf maupun kristalin dari silika (Flanigen et.al, 1971), pada saat proses pembakaran batubata.

Munculnya *peak* pada bilangan gelombang 870 dan 1420-1500 cm^{-1} dari batubata rasio 1:1 yang dibakar pada suhu 400°C, 450°C, dan 500°C, merupakan *peak* vibrasi *bending* dari ikatan C-H baik pada bidang maupun keluar bidang ikatan. *Peak* ini muncul karena adanya selulosa dalam batubata yang merupakan komponen dari *paper sludge*. Keberadaan selulosa ini diperkuat juga dengan munculnya *peak* pada bilangan gelombang 1798 cm^{-1} yang merupakan puncak vibrasi *bending* ikatan C-C pada cincin-6. *Peak* serapan pada bilangan gelombang kisaran 2509 cm^{-1} merupakan puncak vibrasi *bending* ikatan C-O-C dari ikatan glukosida. Namun *peak* ikatan C-H dan

C-O-C glukosida hilang ketika suhu pembakaran batubata dilakukan pada suhu 750°C dan 900°C. Hal ini disebabkan terjadinya proses pembakaran terhadap selulosa dan menghasilkan karbon (C), gas CO_2 dan molekul air (H_2O).



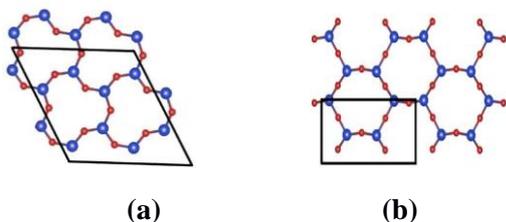
Gambar 6. Hasil Analisis Gambar 6. Hasil Analisis FTIR Batubata dengan Bahan Baku Lumpur Sidoarjo pada Variasi Suhu dan Rasio. (a) Tanpa pembakaran 1:0, (b) Suhu 400°C 1:1, (c) Suhu 450°C 1:1, (d) Suhu 500°C

Keberadaan gugus OH dan ikatan hidrogen oleh gugus OH dan molekul air (seperti dibahas pada bagian daya serap air) ditunjukkan dengan munculnya beberapa *peak* pada data FTIR. *Peak* tajam pada 3698 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* gugus hidroksi (-OH) yang terisolasi atau tidak berikatan. Gugus OH ini berasal dari molekul air bebas yang masih banyak berada dalam batubata. Keberadaan molekul air ini diperkuat dengan munculnya *peak* vibrasi bending ikatan H-O-H pada bilangan gelombang 1633 cm^{-1} . (Palanivel dan Velraj, 2007). *Peak* tajam pada 3620 cm^{-1} menunjukkan vibrasi *stretching* gugus hidroksi (-OH) dari struktur selulosa, yang terikat pada cincin glukosa. Keberadaan kedua gugus OH ini meningkatkan daya serap air batubata yang dibakar pada suhu 400-500°C. Kedua *peak* ini akan hilang dengan semakin tingginya suhu pembakaran batubata, yaitu pada suhu 750 dan 900°C. *Peak* melebar pada rentang 3570-3500 cm^{-1} menunjukkan keberadaan vibrasi *stretching* gugus -OH yang membentuk ikatan hidrogen (Mustopa, Rendra 2013). Ikatan hidrogen ini diperkirakan terbentuk antara gugus Si-OH yang terdapat dalam batubata dengan molekul air. Hal ini dikenal dengan air kimia yang terdapat dalam batubata.

Berdasarkan data FTIR ini penjelasan tentang kemampuan adsorpsi air oleh batubata disebabkan keberadaan gugus -OH. Gugus -OH pada batubata

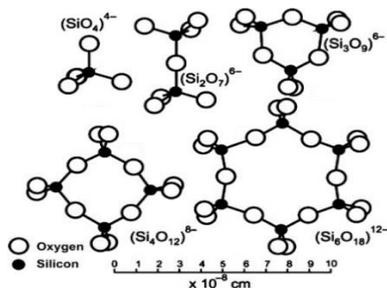
ini berasal dari gugus Si-OH maupun dari struktur selulosa, hal ini terkonfirmasi dengan jelas.

Pada gambar 7 diberikan struktur kristal quartz dan *crystalobalite* yang tersusun dari polimer silika oksida (SiO_2) (Feya, 2018). Pada gambar tersebut tampak perbedaan struktur kristal keduanya, dimana kristal quartz berbentuk rombig (kubus miring) dengan sudut-sudut yang runcing. Mineral *crystalobalite* memiliki struktur kristal kotak persegi empat, dengan bentuk unit kristal berbentuk heksagonal.



Gambar 7. Struktur Permukaan Atas Kristal SiO_2 (a) Quartz, (b) *Crystalobalite* (Feya, 2018)

(Heldar dkk, 2014) menggambarkan proses polimerisasi kristal qwarsa terjadi secara bertahap, dimulai dari unit terkecil yaitu tetrahedral silikat (SiO_4^{4-}) seperti pada gambar 7. Unit-unit ini kemudian bergabung membentuk tetrahedral ganda dan akhirnya membentuk struktur polyhedral silikat sudut 12. Keberadaan mineral qwarsa dan *crystalobalite* dapat diamati melalui data difraksi sinar-X (XRD) seperti diberikan pada gambar 9.

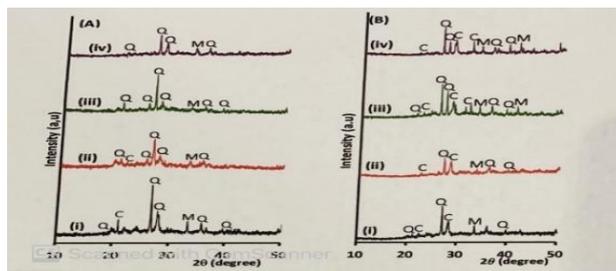


Gambar 8. Proses Polimerisasi Partikel Silika Membentuk Mineral *Crystalobalite* (Haldar dkk, 2014)

Karakterisasi Difraksi Sinar-X

Pada bagian ini penjelasan kristalinitas mineral silika dalam batubata dapat diberikan dengan metode karakterisasi difraksi sinar-X. Metode ini juga digunakan untuk menentukan hubungan kristalinitas batubata terhadap daya serap air dan kuat tekan batubata.

Pada gambar 9 diberikan data difraksi sinar-X untuk batubata yang dibakar pada suhu 750°C dan 900°C dan rasio bahan baku 1:0 – 3:1. Pada bagian ini akan dijelaskan pengaruh rasio bahanbaku tersebut terhadap pembentukan mineral quartz dan *crystalobalite*.



Gambar 9. Hasil XRD Kandungan Batubata dengan suhu pembakaran (A) 750°C dan (B) 900°C dengan ratio Lumpur Sidoarjo : Paper Sludge = (i) 1:0, (ii) 1:1 dan (iv) 3:1 M = Mulite, Q=Quartz, C=Crystalobalite

Pada gambar 9 (A) tampak bahwa pembakaran batubata pada suhu 750°C belum menunjukkan terbentuknya mineral *crystalobalite*. Hal yang berbeda tampak ketika dilakukan pembakaran batubata pada suhu 900°C (gambar 9 (B)) dimana telah terbentuk mineral *crystalobalite* pada semua rasio bahan baku. Mineral *crystalobalite* muncul pada *peak* utama difraksi pada $2\theta = 22$. Hal ini semakin menegaskan bahwa mineral *crystalobalite* hanya terbentuk pada suhu tinggi (900°C) (Ranjhbar dkk, 2015). Namun pada batubata dengan rasio bahan baku 3:1 jumlah *crystalobalite* yang terbentuk semakin sedikit. Hal ini disebabkan pada jumlah lumpur Sidoarjo yang relatif banyak jumlah kandungan air juga relatif banyak. Jumlah air yang cukup besar dalam bahan baku batubata akan berpengaruh terhadap pelarutan silika (SiO_2) membentuk silikat (SiO^{4-}). Konsentrasi silikat (SiO^{4-}) yang besar dalam bahan baku batubata berpengaruh pada pembentukan struktur kristal quartz yang semakin mudah daripada struktur kristal *crystalobalite*. Pengaruh rasio lumpur Sidoarjo : paper sludge sebagai bahan baku batubata, berpengaruh terhadap tingkat kristalinitas mineral quartz. Pada rasio lumpur Sidoarjo : paper sludge = 1:0 – 2:1, kristalinitas mineral quartz tampak semakin tinggi. Namun pada rasio 3:1 kristalinitas mineral quartz menurun dibandingkan rasio 2:1. Fenomena ini dimungkinkan karena pada komposisi lumpur Sidoarjo semakin tinggi komposisi silikat (SiO^{4-}) dalam batubata berada pada komposisi yang dapat mendorong terbentuknya mineral *crystalobalite*. Hal ini diperkuat dengan data XRD dimana kristalinitas *crystalobalite* semakin tinggi pada rasio 3:1.

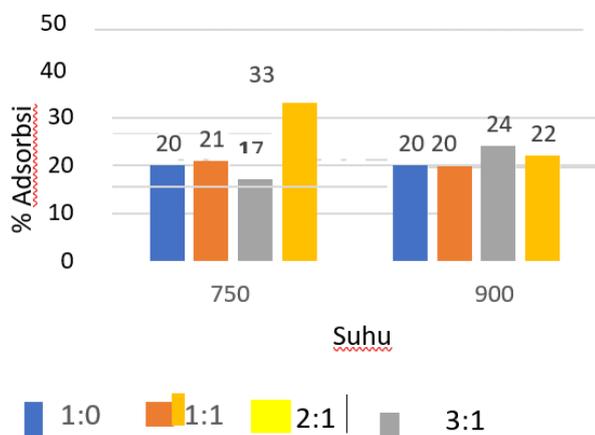
Berdasarkan tabel 1, batubata rasio 2:1 dan 3:1 dengan suhu pembakaran 900°C memiliki persentase kristalinitas lebih besar dibandingkan batubata rasio 2:1 dan 3:1 dengan suhu pembakaran 750°C . Hal ini membuktikan bahwa adanya selulosa dari paper sludge dapat menghambat proses kristalinitas. Selain itu, proses pembakaran pada suhu 900°C menyebabkan selulosa hilang. Fenomena ini dibuktikan dengan hilangnya *peak* FTIR pada bilangan gelombang 1410, yang merupakan *peak* vibrasi ikatan C-O dari polimer selulosa. Akibatnya

proses polimerisasi silika pada batubata dengan suhu pembakaran 900°C lebih mudah terjadi dibandingkan pada batubata dengan suhu pembakaran 750°C

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kristalinitas Batubata dan Persentase Daya Serap Air pada Variasi Rasio Komposisi dan Suhu Pembakaran 750°C dan 900°C.

Suhu °C	Ratio	Kristalinitas (%)	Daya serap Air (%)
750	1 : 0	88,3505	20,096
	1 : 1	72,5980	20,953
	2 : 1	49,4059	17,174
	3 : 1	44,2447	33,105
900	1 : 0	85,4428	20,060
	1 : 1	68,7231	19,821
	2 : 1	72,7533	24,164
	3 : 1	62,5569	22,090

Dikarenakan batubata sebelum dan setelah dibakar dengan suhu 400°C, 450°C, 500°C hancur saat di uji daya serap, maka pembahasan selanjutnya akan terfokus pada batubata dengan suhu pembakaran 750°C dan 900°C, seperti pada data yang diberikan pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Pengujian Daya Serap Air Batubata pada Variasi Rasio Komposisi (1:0, 1:1, 2:1, 3:1) dan Suhu Pembakaran (750°C dan 900°C)

Dari hasil Analisa FTIR dan kristalinitas mineral silika diatas dapat dihubungkan dengan kemampuan daya serap batubata lumpur Sidoarjo terhadap masing-masing variasi suhu pembakaran. Bahwa pada gambar 6 (semua variasi suhu), muncul *peak* pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} merupakan vibrasi ikatan -OH dari molekul air yang terdapat didalam batubata. Semakin tinggi suhu pembakaran, maka molekul air akan mudah lepas. *Peak* tajam pada

variasi tanpa pembakaran 1:0 pada 1640 cm^{-1} menunjukkan bahwa terdapat gugus hidroksida dari molekul air (ciri khas puncak vibrasi molekul air) yang dominan daripada variasi pembakaran pada suhu 750°C dan 900°C yang cenderung melebar. Air gugus hidroksida mulai lepas pada suhu 600°C, oleh karena itu batubata yang suhu pembakarannya kurang dari 600°C akan mudah rapuh karena gugus hidroksidanya belum lepas. Gugus hidroksida inilah yang dapat mempengaruhi kemampuan daya serap air batubata lumpur Sidoarjo. Semakin banyak gugus OH maka batubata akan memiliki daya serap air yang tinggi. (Pramono, 2014).

Kuat Tekan

Pada bagian ini akan dibahas hubungan antara kuat tekan batubata dengan kristalinitas batubata pada suhu pembakaran 750°C dan 900°C. Kuat tekan merupakan salah satu hal yang penting dalam material batubata, dimana batubata harus memiliki kemampuan untuk menahan beban (Kartika dan Darmawan, 2008).

Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Menggunakan contoh pengujian bata merah dan luas bidang pengujian sebesar 81 cm^2 .

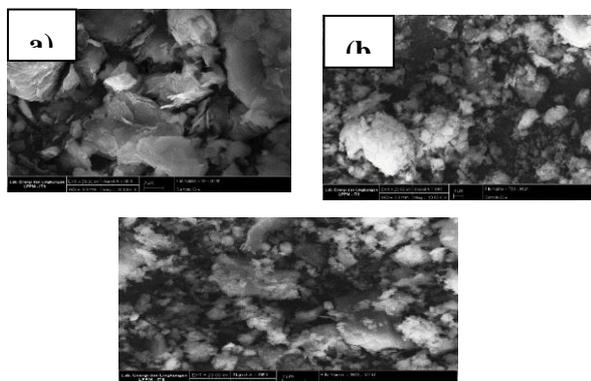
Hasil pengujian kuat tekan batubata pada penelitian ini diberikan pada tabel 2. Pada tabel tersebut tampak harga kristalinitas batubata berpengaruh terhadap kuat tekan batubata.

Tabel 2. Pengaruh Kristalinitas Batubata Terhadap Kuat Tekan Batubata pada Variasi Rasio (1:0 –3:1) dan Suhu Pembakaran pada 750°C dan 900°C.

Suhu	Rasio	Kristalinitas mineral silika (%)	Kuat Tekan (kg/cm^2)
Tanpa Pembakaran	1;0	21,39	5,86
	1;1	13,83	2,22
	2;1	11,35	1,90
	3;1	15,69	1,90
750°C	1;0	88,35	27,41
	1;1	72,60	22,22
	2;1	49,40	37,78
	3;1	44,24	34,57
900°C	1;0	85,44	25,93
	1;1	68,72	30,86
	2;1	72,75	41,98
	3;1	62,56	19,75

Pada tabel 2, tampak bahwa pada suhu pembakaran 750°C dan 900°C batubata dengan kuat tekan paling tinggi diberikan oleh batubata dengan

rasio bahan baku 2:1. Diperkirakan peningkatan nilai kuat tekan batubata disebabkan semakin tingginya kristalinitas mineral *quartz* dalam batubata. Hal ini dapat dilihat dari *peak* utama difraksi sinar-X mineral *quartz* pada $2\theta = 26,6$ derajat yang tampak paling tinggi. Pada batubata dengan rasio bahan baku 1:0 tampak memiliki kristalinitas mineral silika yang sangat tinggi pada kedua suhu pembakaran, yaitu 88,35% pada suhu 750°C dan 85,44% pada suhu 900°C. namun kuat tekannya relatif lebih rendah dibandingkan batubata pada rasio bahan baku 2:1. Hal ini diperkirakan keberadaan *paper sludge* mendorong pembentukan mineral silika lebih mudah. Hal ini dibuktikan dengan jumlah puncak difraksi sinar-X dari mineral silika pada batubata berbahan baku lumpur Sidoarjo dan *paper sludge* lebih banyak. Heterogenitas mineral silika dalam batubata mendorong pembentukan agregat menjadi lebih kompak dan berukuran lebih besar.



Gambar 11. Morfologi Ukuran Partikel Batubata, (a) SEM Lumpur Sidoarjo (Bahan Baku Lumpur Sidoarjo), (b) SEM Batubata Rasio 2:1 dengan Suhu Pembakaran 750°C, dan (c) Rasio 2:1 dengan Suhu Pembakaran 900°C

Jika dibandingkan kuat tekan batubata pada rasio 2:1 dengan suhu pembakaran 750°C dan suhu 900°C, maka kuat tekan pada suhu 900°C lebih besar dibandingkan pada suhu 750°C. Hal ini disebabkan pada suhu 900°C selain terbentuk mineral *quartz*, juga terbentuk mineral *crystalite* dalam batubata. Hal ini tentunya berpengaruh terhadap ukuran agregasi partikel silika dalam batubata. Pada suhu 900°C ukuran agregat mineral silika lebih besar daripada suhu 750°C. Hal ini berarti ikatan antar partikel semakin kuat sehingga untuk memutuskan ikatan antar partikel ini dibutuhkan energi yang semakin besar (Kartika dan Darmawan, 2008). Ukuran agregat ini dapat dibuktikan dengan gambar SEM batubata yang dibakar pada suhu 750°C dan suhu 900°C dan lumpur Sidoarjo, gambar 11.

Pada gambar 11 (a), tampak SEM struktur lumpur Sidoarjo (lempung) yang berbentuk lapisan, dimana fenomena ini dikarenakan batubata masih didominasi struktur amorf silika- alumina (Rosalia dan Asmi, 2016). Pada gambar 10 (b) dan (c) tampak

ukuran agregat kristal mineral silika dalam batubata pada pembakaran 750°C dan 900°C. Pada batubata hasil pembakaran suhu 900°C ukuran agregat kristal silika relatif lebih besar dibandingkan agregat mineral silika dalam batubata hasil pembakaran suhu 750°C. Ukuran agregat ini berdampak pada kuat tekan batubata hasil pembakaran pada suhu 900°C lebih besar dibandingkan batubata hasil pembakaran pada suhu 750°C (Suci dkk, 2019).

Berdasarkan acuan tetapan batubata merah SNI-03-0349-1989, batubata yang memenuhi standar kuat tekan batubata kelas 25 adalah batubata yang memiliki nilai kuat tekan 25-50 Kg/cm². Pada penelitian ini, bata dengan suhu pembakaran 750°C pada rasio 2:1, dan batubata dengan suhu pembakaran 900°C pada rasio 2:1 memenuhi standar kuat tekan SNI batubata diatas.

SIMPULAN

Dari pengukuran dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa

1. Rasio terbaik antara lumpur Sidoarjo dengan *paper sludge* terhadap kualitas batubata yaitu rasio 2:1 dengan suhu pembakaran 750°C. Batubata dengan rasio 2:1 dan suhu pembakaran 750°C memiliki nilai kuat tekan dan persentase daya serap air sesuai standar yaitu sebesar 37,78 kg/cm² dan 17,17 %.
2. Untuk menghasilkan batubata berkualitas baik diperlukan suhu pembakaran yang tinggi yaitu antara suhu 750-900°C. Batu bata dibakar hingga matang dan terjadi proses *sintering*. Pembakaran pada suhu tinggi (*sintering*) menyebabkan batubata mengalami polimerisasi dan agregasi partikel silika sehingga batubata menjadi lebih kuat.
3. Batubata yang dikeringkan belum bisa didefinisikan sebagai “Batubata Merah” menurut SNI 15-2094-2000, karena batubata hancur ketika direndam didalam air. Sedangkan, batubata merah yang dibakar dengan suhu tinggi memiliki kualitas baik dan tidak dapat hancur ketika direndam didalam air.

DAFTAR PUSTAKA

- Adonaranita, Florentika dan Mas Suryanto, (2011), “Pengaruh Komposisi Lumpur Lapindo Sidoarjo Terhadap Mutu Batu Bata Berdasarkan SNI 15-2094-2000”, Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya, 1-7.
- Afrianti, Suci dkk, (2019), “Pengaruh Suhu Pembakaran dan Konsentrasi Grafena Terhadap Karakteristik Batu Bata”, Jom FTEKNIK, 6.
- Badan Standarisasi Nasional, ICS 91.100.20 : SNI-15-2094-2000.

- Bishop, J., Madejova, J., Komadel, P., Froschl, H., (2002), "The influence of structural Fe, Al and Mg on the infrared OH bands in spectra of dioctahedral smectites", *Clay Miner*, 37, 607-616.
- Elika, Elmaghfira Putri dkk, (2017), "Bencana Sosial Kasus Lumpur PT. LAPINDO Brantas Sidoarjo", *Jurnal Penelitian & PKM*, 4, 2, 205-206.
- Feya, Oleg D., (2018), "Tetrahedral Honeycomb Surface Reconstructions of Quartz, Cristobalite and Stishovite" *Scientific Reports*, 8.
- Flanigen, E.M., Khatami, H and Szymanski, H, 1971, *Infrared Structural Studies of Zeolite Framework*, Union Carbide Corp, Linde Division laboratory, New York
- Haldar, S. K., & Tišljarić, J, (2014), "Basic Mineralogy. Introduction to Mineralogy and Petrology" 39–79.
- Hardiani, Henggar dan Susi Sugesty, (2009), "Pemanfaatan Limbah Sludge Industri Kertas Sigaret Untuk Bahan Baku Bata Beton", *Balai Besar Pulp dan Kertas*, 86-98.
- Hendayana, (1994), "Kimia Analitik Instrumen", IKIP Semarang Press, Semarang.
- Karimah, Rofikatul, (2008), "Potensi Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Baku Tambahan Pembuatan Batu Bata", *Hasil Penelitian PBP*, 171-125.
- Kartika, A., and Darmawan, A, (2008), "Pengaruh Serbuk Kaca dan Variasi Suhu Pembakaran pada Pembuatan Genteng Lempung Sedimentasi Banjir Kanal Timur Kota Semarang terhadap Kuat Tekan serta Daya Serapnya terhadap Air", *Journal of Scientific and Applied Chemistry Journal*, 11(3), 63–69.
- Madsen FT, Mu'ller-Vonmoos M, (1989), "The swelling behaviour of clays", *Appl Clay Sci* 4(2):143–156.
- Muhardi, dkk, (2007), "Perbaikan Karakteristik Batu Bata Lempung Dengan Penambahan AbuTerbang", *Jurnal Teknik Sipil*, 7, 2.
- Mukono dan Triwulan. 2006. *Bahan Bangunan dari Lumpur Lapindo Aman bagi Kesehatan*. Surabaya: ITS. <http://www.its.ac.id/semuaberita.php>.
- Mustopa, Rendra Syam dan Doty Dewi Risanti, (2013), "Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika", *Jurnal Teknik POMITS*, 2, 2, 256.
- Palanivel, R., and Velraj, G, (2007), "FTIR and FT-Raman Spectroscopic Studies of Fired Clay Artifacts Recently Excavated in Tamilnadu", *India Journal of Pure and Applied Physics*, 45 (June), 501–508.
- Pramono, Susatyo Adi, dkk, (2014), "Sampah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batu Bata". *Semnas Entrepreneurship*, 275-294.
- Ranjbar, N., Mehrli, M., Mehrli, M., Alengaram, U. J., and Zamin, M, (2015), "Graphene Nanoplatelet- Fly Ash Based Geopolymer Composites", *Cement and Concrete Research Journal*, 76, 222–231.
- Rosalia, Riezka., Asmi, Dwi., & Ginting, Ediman Suka, (2016), "Preparasi dan Karakterisasi Keramik Silika (SiO₂) Sekam Padi dengan Suhu Kasinasi 800°C- 1000°C", *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 4, 1.
- Siswanto, Budi, (2019), "Perbandingan Nilai Heat Transfer pada Penambahan Material Composit Batu Bata Sebagai Upaya Efisiensi Energy Bangunan Gedung", *JIPTEK*, 12, 2.
- Wardhana, K. A., & Saepulloh, R. B., (2018), "Pemanfaatan Lumpur Primer Industri Kertas sebagai Absorben", *Jurnal Selulosa*, 8, 9-20.
- Wirya dkk, (2009), "Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Bata Beton Pejal", *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 12, 39-46.
- Yusuf, A dkk, (2011), "Pemanfaatan Limbah Sludge Kertas PT. Adiprima Suraprinta dalam Pembuatan Batako", *Jurnal Aplikasi*, 9, 1,3