

# Karakterisasi Sifat Fisis Lumpur Panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika

Rendra Syam Mustopa dan Doty Dewi Risanti

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail:* dotydr@lycos.com

**Abstrak**— Lumpur panas Sidoarjo merupakan bencana yang mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak kerugiannya adalah dengan memanfaatkannya. Dari hasil penelitian sebelumnya lumpur mampu dimanfaatkan sebagai adsorben dan bahan bangunan. Untuk mengetahui performansinya diperlukan karakterisasi secara kimia dengan menggunakan HCl 3M maupun NaOH 3M dan pengaruhnya terhadap aktivasi fisika melalui proses kalsinasi. Dari hasil karakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX, XRD, FTIR, DTA, TGA-DSC, dan BET menunjukkan bahwa lumpur yang diaduk selama 1 jam pada larutan HCl 3M dan dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 1 jam (H800) memiliki performansi terbaik.

**Kata Kunci**— Lumpur panas Sidoarjo, aktivasi kimia, aktivasi fisika, karakterisasi

## I. PENDAHULUAN

Lumpur panas Sidoarjo merupakan hasil luapan semburan lumpur di daerah Porong, Sidoarjo. Luapan lumpur panas Sidoarjo terletak pada 10 km timurlaut dari Gunung Penanggungan, di dekat sumur eksplorasi Banjarpanji-1, di Desa Reno Kenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Luapan lumpur tersebut banyak mengandung material vulkanis yang disertai gas, sehingga semburan gas tersebut dinamakan *mud volcano*. Bencana luapan lumpur ini sudah terjadi hampir 7 tahun dan mengakibatkan kerugian yang cukup besar, terutama bagi warga Porong, Sidoarjo.

Hasil studi sebelumnya menunjukkan bahwa lumpur panas Sidoarjo berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben pemurnian etanol [1], adsorben pewarna tekstil *methyl orange* [2], bahan batu bata merah dan genting [3-5], bahan pengganti semen [6-7], bahan *paving block* [8], bahan beton geopolimer [9-12], bahan *filler* campuran perkerasan jalan raya khususnya campuran Laston dan *Hot Rolled Sheet* (HRS) [13] bahkan sebagai bahan baterai kering. Dalam aplikasinya fraksi volume lumpur dalam material tersebut juga relatif besar, misalnya sebagai pengganti semen dapat digunakan hingga 40% dalam campuran mortar [14] dan hingga 70% untuk batu bata [3]. Oleh karena itu, diharapkan eksploitasi batu alam sebagai bahan dasar bahan bangunan dapat dikurangi.

Untuk mendapatkan performansi yang diinginkan dari bahan tersebut perlu dilakukan kajian dan karakterisasi sifat-sifat fisis dari lumpur itu sendiri. Menurut penelitian sebelumnya [9], agar dapat digunakan sebagai bahan dasar beton geopolimer, lumpur perlu dikalsinasi agar menjadi reaktif. Di samping kalsinasi, kondisi pencucian dalam keadaan asam dan basa dilaporkan juga mempengaruhi kinerja

adsorpsi *aqueous* [2]. Guna mendapatkan pemanfaatan yang lebih luas maka penelitian ini difokuskan pada karakterisasi sifat fisis lumpur terhadap aktivasi fisis (termal) dan kimiawi (asam dan basa).

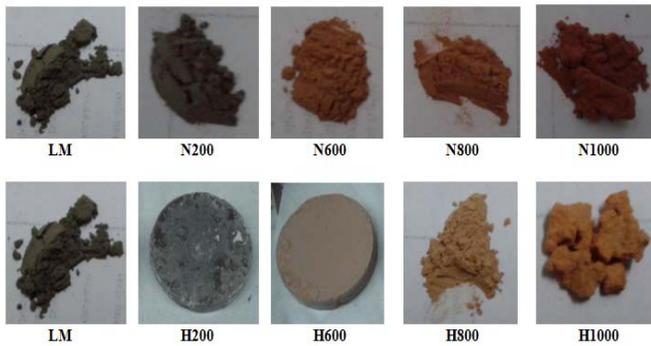
## II. METODOLOGI PENELITIAN

Lumpur panas yang digunakan diambil pada posisi ±2 km dari pusat semburan dalam kondisi setengah basah. Selanjutnya lumpur dicuci dengan menggunakan aquades dan dikeringkan pada suhu 80 °C dengan menggunakan *furnace*. Selanjutnya sampel digerus dan diayak sehingga didapatkan serbuk lumpur kering dengan ukuran 150 mesh yang akan diaktivasi. Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan cara diaduk pada larutan NaOH 3M dan HCl 3M selama 15 menit pada suhu 80 °C. Selanjutnya lumpur dikalsinasi pada suhu 200, 600, 800, dan 1000 °C dengan menggunakan *furnace* sebelum akhirnya dilakukan karakterisasi.

Morfologi lumpur diketahui melalui *Scanning Electron Microscopy* (SEM) FEI s50 dan kandungan unsurnya didapatkan melalui detektor *Energy Dispersive X-ray* (EDX) EDAX Ametek. Struktur kristal dan kandungan mineral lumpur diketahui melalui *X-ray Diffractometer* (XRD) X'Pert MPD dengan radiasi Cu K $\alpha$  dan  $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ . Analisa FTIR juga dilakukan guna mendapatkan ikatan antar partikel. Untuk mengetahui hubungan perubahan massa terhadap perubahan fase digunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) Mettler Toledo STARE *system* yang dilakukan pada lingkungan gas N<sub>2</sub> dengan laju pemanasan 10°C / menit dan massa sampel 17 mg. Selain itu, *Differential Thermal Analysis* (DTA) juga dilakukan untuk memastikan reaksi yang terjadi pada suhu tinggi dengan menggunakan DTA SETARAM TAG 24S. Area permukaan juga ditentukan dengan menggunakan metode Brunauer-Emmet-Teller (BET) pada kondisi lingkungan N<sub>2</sub> pada suhu 77 K dengan menggunakan Quatachrome Nova 1200e *Analyzer*.

## III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Ketika lumpur dipanaskan terdapat perubahan warna yang signifikan pada suhu kalsinasi 600 °C (Gambar 1). Selain itu, terdapat perbedaan warna antara sampel yang diaktivasi dengan menggunakan HCl dan NaOH. Lumpur yang teraktivasi dengan menggunakan HCl memiliki warna yang lebih cerah jika dibandingkan dengan sampel yang diaktivasi dengan menggunakan NaOH.



Gambar. 1. Perubahan warna akibat aktivasi kimia dan fisika. LM, N, dan H menunjukkan tanpa aktivasi, NaOH dan HCl secara berurutan, sedangkan angka menunjukkan suhu kalsinasi

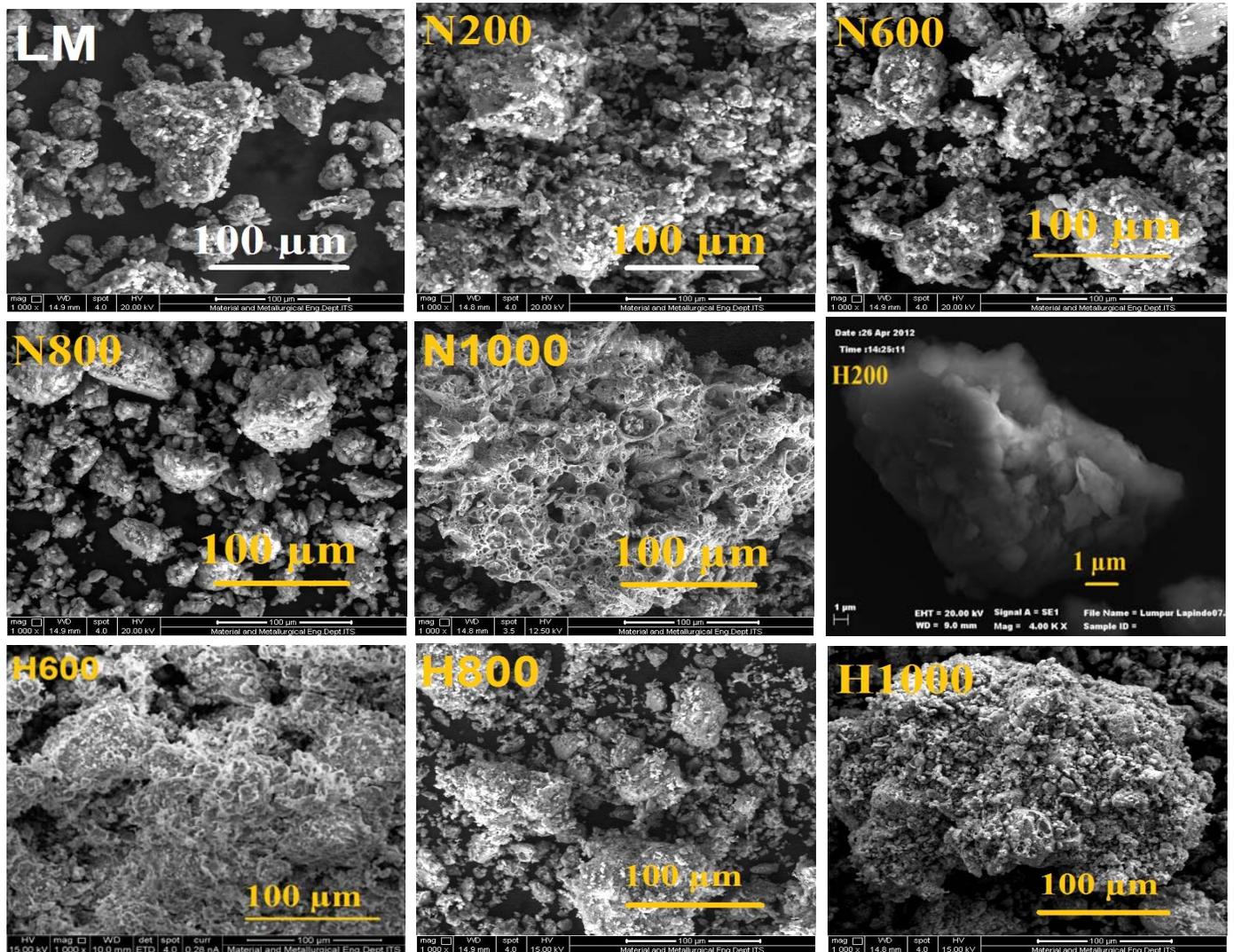
Hasil EDX lumpur tidak teraktivasi (LM) pada Tabel 1 menunjukkan bahwa unsur terbanyak adalah O, Si dan Al. hl

ini menunjukkan bahwa lumpur didominasi oleh senyawa alumina ( $Al_2O_3$ ) dan silika ( $SiO_2$ ).

Tabel 1.  
EDX lumpur tanpa aktivasi (LM)

Jenis Unsur	Wt %	At %
O K	41,81	56,54
AlK	15,21	12,20
SiK	29,56	22,75
Lainnya	13,43	8.51

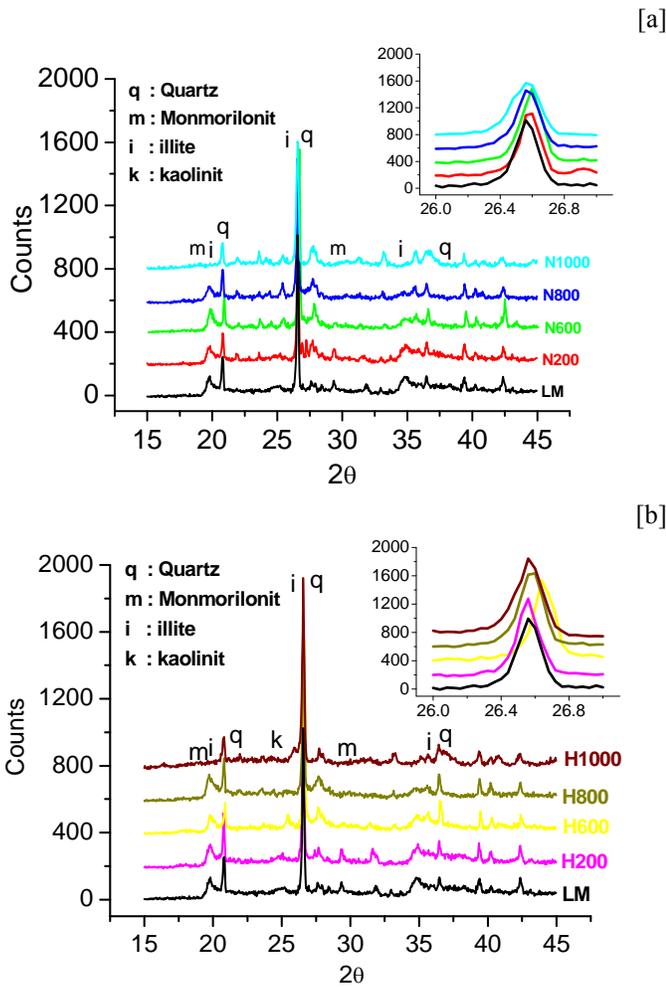
Gambar 2 menunjukkan bahwa baik lumpur teraktivasi maupun yang tidak teraktivasi memiliki morfologi yang menggumpal (teraglomerasi). Perubahan morfologi lumpur tidak terpengaruh pada kondisi basa maupun asam, tetapi perubahan morfologi lumpur lebih dipengaruhi oleh perubahan suhu kalsinasi.



Gambar. 2. Morfologi lumpur panas Sidoarjo pada perbesaran 1000 kali dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM), LM, N dan H menunjukkan tanpa aktivasi, NaOH dan HCl secara berurutan, dan angka menunjukkan suhu kalsinasi.

Pola difraksi XRD pada Gambar 3 menunjukkan bahwa puncak yang tertinggi berada pada  $(2\theta) 26^\circ$  yang dimiliki oleh quartz atau illite (ICCD No. 00-003-0427; ICCD No. 01-078-

5140). Pada puncak tersebut, lumpur yang diaktivasi dengan menggunakan NaOH memiliki puncak yang lebih rendah jika dibandingkan dengan HCl.



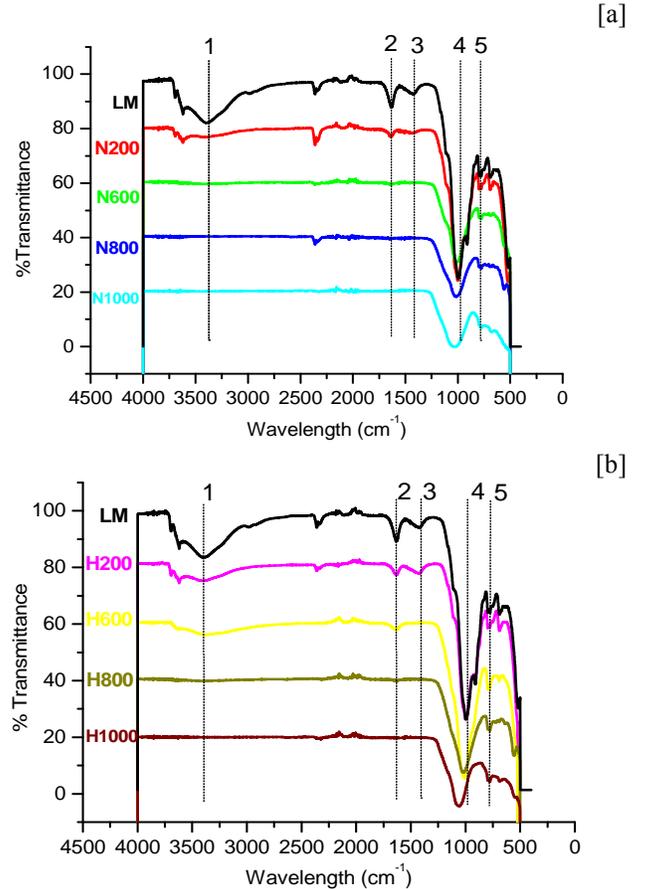
Gambar. 3. Spektrum XRD lumpur dengan aktivasi (a) NaOH dan (b) HCl

Berdasarkan hasil analisa Rietveld pola difraksi XRD pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pergeseran dan pelebaran puncak pada rentang 26° – 27° dikarenakan perubahan jumlah fase illite dan quartz. Pada kondisi asam pergeseran puncak difraksi cenderung kearah 2θ lebih besar meskipun terdapat sedikit pergeseran kearah 2θ lebih kecil. Tetapi, pada kondisi basa puncak cenderung kearah 2θ lebih kecil meskipun ada sedikit pergeseran pada arah 2θ lebih besar. Pada kondisi asam jumlah fase illite cenderung berkurang dan fase quartz bertambah terhadap suhu kalsinasi, sedangkan pada kondisi basa fase illite dan quartz cenderung bertambah.

Tabel 2.  
Hasil analisa reitvel fase mineral illite dan quartz

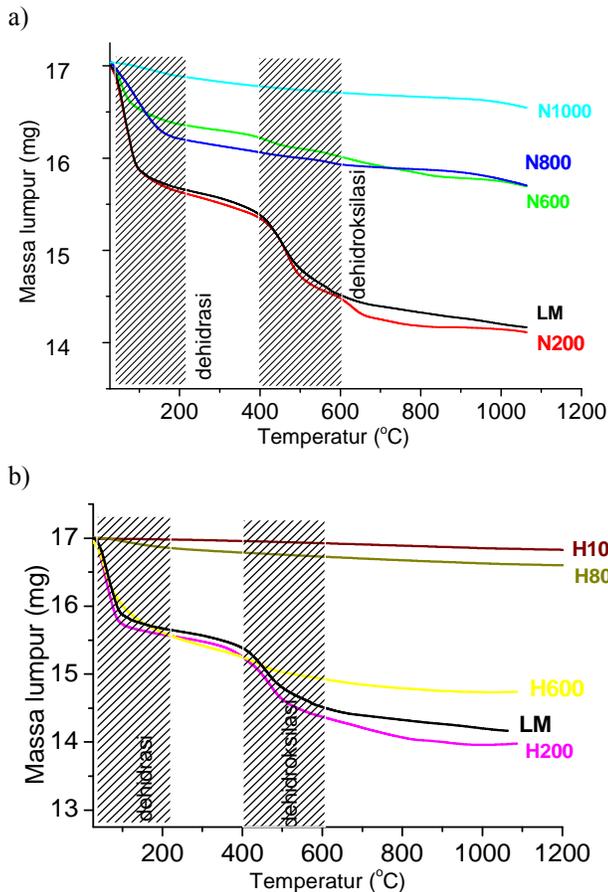
Jenis Sampel	Kandungan mineral (%)	
	Quartz	Illite
LM	5,15	86,81
H 200	8,21	71,08
H 600	19,64	69,73
H 800	12,14	81,30
H 1000	8,8	91,2
N 200	10,13	72,14
N 600	11,35	85,62
N 800	11,79	86,64
N 1000	26,3	73,70

Hasil analisa FTIR pada Gambar 4 menunjukkan bahwa seluruh puncak yang muncul berkurang terhadap peningkatan suhu kalsinasi. Terdapat 5 jenis puncak yang digambarkan dengan garis lurus. Puncak yang pertama pada  $\lambda=3400\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan O-H-O. Sedangkan puncak yang kedua pada  $\lambda= 1640\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus hidroksil (-OH). Puncak yang ketiga pada  $\lambda= 1410\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan O-C-O. Puncak keempat pada  $\lambda= 1000\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan antara unsur Si dan Al, sedangkan puncak kelima pada  $\lambda= 800\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan Si-O/-OH [10].



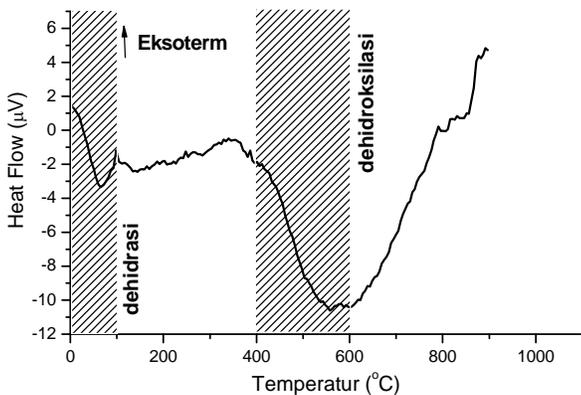
Gambar. 4. Spektrum FTIR lumpur dengan aktivasi (a) NaOH dan (b) HCl

Perubahan berat terhadap suhu pemanasan dari analisa TGA pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pada kondisi basa perubahan berat yang signifikan (> 8 mg) pada rentang 27 – 200 °C terjadi pada sampel yang dikalsinasi hingga suhu 200 °C, sedangkan pada kondisi asam terjadi pada sampel yang dikalsinasi hingga 600 °C. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi basa, penurunan massa lebih cepat habis jika dibandingkan dengan kondisi asam.



Gambar. 5. Perubahan berat terhadap temperatur pemanasan lumpur dengan aktivasi (a) NaOH dan (b) HCl

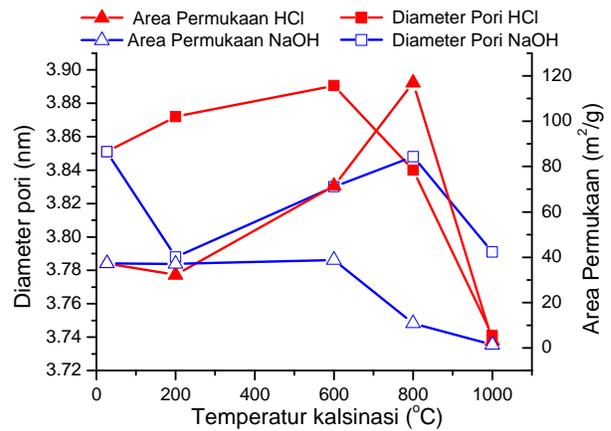
Untuk memastikan hasil tersebut dilakukan analisa DTA pada lumpur tanpa aktivasi (LM) yang ditunjukkan melalui Gambar 6. Pada Gambar 6, peristiwa dehidrasi (pelepasan molekul air) dapat ditunjukkan adanya puncak pertama yang menggambarkan reaksi endoterm pada suhu 100 °C [15]. Puncak kedua reaksi endoterm yang terletak pada rentang suhu 500 – 600 °C menunjukkan adanya pelepasan gugus hidroksil atau dehidroksilasi (Imerys,-).



Gambar. 6. Perubahan *heatflow* terhadap suhu pemanasan DTA lumpur tanpa aktivasi (LM)

Dari hasil BET pada Gambar 7 menunjukkan bahwa area permukaan lumpur pada kondisi asam cenderung

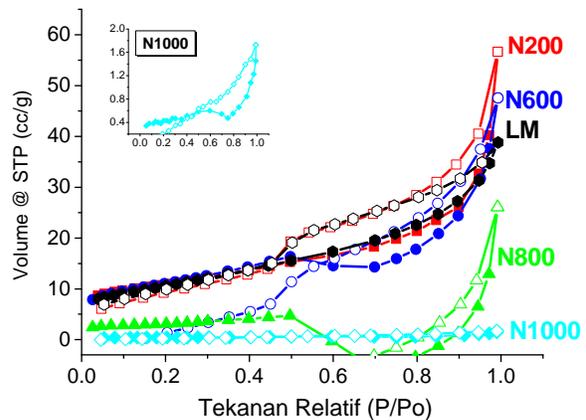
meningkat dari 37,289 m<sup>2</sup>/g menuju 116,953 m<sup>2</sup>/g hingga suhu kalsinasi mencapai 800 °C meskipun pada suhu STP (27 °C) menuju 200 °C sedikit turun dari 37,289 m<sup>2</sup>/g menuju 32,157 m<sup>2</sup>/g. Namun perubahan ini masih kurang signifikan. Pada kondisi basa perubahan yang terjadi dari kondisi tanpa kalsinasi hingga kalsinasi 600 °C kurang signifikan. Pada suhu 200 °C area permukaan sedikit menurun dari 37,289 m<sup>2</sup>/g menjadi 37,064 m<sup>2</sup>/g. Sedangkan surface area sedikit naik pada suhu 600 °C hingga 38,817 m<sup>2</sup>/g. Diatas suhu 600 °C area permukaan cenderung turun hingga mencapai 1,365 m<sup>2</sup>/g pada suhu kalsinasi 1000 °C. Selain itu, temperatur kalsinasi juga memiliki hubungan terhadap ukuran diameter pori. tetapi perubahan hanya berkisar pada 3,7 – 3,9 nm sehingga pengaruh temperatur kalsinasi terhadap perubahan diameter pori masih kurang signifikan.

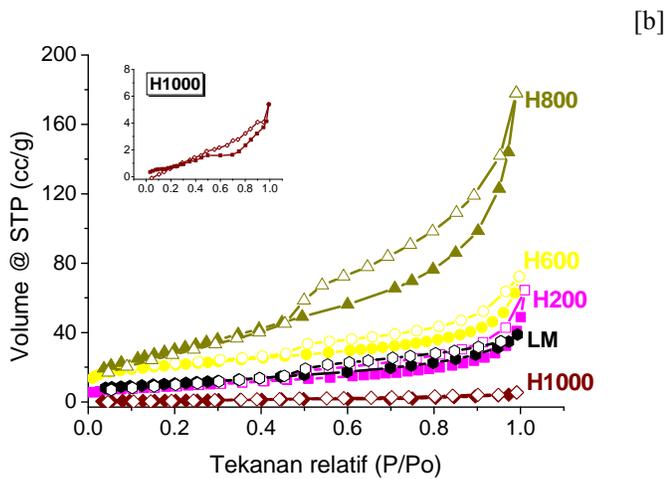


Gambar. 7. Pengaruh diameter pori dan area permukaan terhadap temperatur kalsinasi

Adsorpsi isoterm pada Gambar 8 termasuk dalam grafik isoterm IUPAC Tipe IV mesopori (2 – 50 nm). Selain itu, dapat diketahui bahwa pada kondisi asam kapasitas adsorpsi isoterm optimum dicapai pada suhu 800 °C, sedangkan pada kondisi basa pada suhu 200 °C. Kondisi basa memiliki kapasitas adsorpsi lebih kecil (56 cc/g) jika dibandingkan dengan kondisi asam (180 cc/g).

[a]





Gambar. 8. Adsorpsi isoterm lumpur dengan aktivasi (a) NaOH dan (b) HCl

Melalui hasil pengujian BET pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa lumpur mampu dimanfaatkan sebagai adsorben. Dari hasil studi abu terbang sebagai adsorben gas CO, area permukaan dari lumpur yang diaktivasi pada kondisi asam dengan suhu kalsinasi 800°C (H800) lebih besar jika dibandingkan dengan area permukaan dari abu terbang, sehingga lumpur memiliki kapasitas adsorpsi lebih besar. Selain itu, hasil aktivasi pada kondisi asam juga menunjukkan peningkatan suhu kalsinasi hingga 800 °C akan meningkatkan performansi dari adsorben *methyl orange* (MO) yang dikalsinasi pada 550 °C dengan kemampuan adsorpsi 333,33 mg/g [2]. Lumpur dengan aktivasi (H800) juga mampu dimanfaatkan dimanfaatkan sebagai adsorben air pada pemurnian etanol, tetapi potensinya masih kecil jika dibandingkan dengan adsorben lainnya [16].

Selain adsorben, berdasarkan kandungannya lumpur juga mampu digunakan sebagai bahan baku bangunan seperti batu bata merah, beton geopolimer, dan semen portland. Sesuai dengan hasil XRF [1] pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan oksida logam pada lumpur sesuai dengan standar bahan baku bata merah, tetapi diperlukan tambahan limbah batu bara (LBB) untuk mengoptimalkan hasilnya [5]. Selain itu, spektrum XRD lumpur tanpa aktivasi yang dikalsinasi pada suhu 800 °C dengan kuat tekan 36,67 [12] memiliki puncak lebih banyak jika dibandingkan dengan spektrum XRD lumpur yang teraktivasi secara kimia dengan suhu yang sama, sehingga lumpur aktif secara kimia lebih baik digunakan sebagai beton geopolimer. Sesuai dengan hasil XRF lumpur pada tabel 3 [1] lumpur juga mampu dimanfaatkan sebagai bahan baku semen portland karena memiliki kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi, tetapi unsur CaO pada lumpur masih rendah sehingga dibutuhkan tambahan CaO [17]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lumpur merah yang memiliki kandungan SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang hampir sama tetapi memiliki kandungan CaO yang lebih banyak dengan lumpur panas Sidoarjo memiliki kuat tekan 55 Mpa [18]. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa lumpur dengan tambahan CaO mampu dimanfaatkan sebagai semen portland.

Tabel 3. XRF kandungan lumpur panas Sidoarjo [1]

Jenis Senyawa	% wt		
	Tanpa kalsinasi	200 °C	600 °C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	10,1	6,2
SiO <sub>2</sub>	44,8	27,6	30
K <sub>2</sub> O	3,1	4,44	4,53
CaO	5,24	6,9	7,68
TiO <sub>2</sub>	2,09	2,76	2,79
MnO	0,46	6,65	0,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,2	42,84	43,27

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kondisi basa yang ditambah dengan suhu kalsinasi menyebabkan molekul air dan gugus hidroksil yang terdapat pada lumpur lebih cepat hilang yang ditunjukkan melalui hasil SEM, TGA dan FTIR. Suhu kalsinasi optimum yang mampu dicapai pada kondisi basa adalah 200°C, sehingga diatas tersebut hasil BET menunjukkan kapasitas adsorpsi dari lumpur cenderung akan turun. Selain itu, pada kondisi basa mineral illite dan quartz cenderung bertambah dengan peningkatan suhu kalsinasi. Pada kondisi asam suhu kalsinasi optimum bisa dicapai hingga suhu 800 °C, karena pada suhu tersebut masih terdapat senyawa yang dapat ditunjukkan melalui hasil SEM, TGA dan FTIR. Sehingga dari hasil BET dapat diketahui kapasitas adsorpsi optimum berada pada suhu 800 °C. Selain itu, pada kondisi asam berdasarkan hasil XRD senyawa quartz cenderung bertambah, tetapi illite. Hasil analisa potensi juga menunjukkan aktivasi secara kimia dan fisika mampu meningkatkan performansi dari lumpur sebagai adsorben dan bahan baku bangunan seperti bata merah, beton geopolimer dan semen portland.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditunjukkan kepada Direktorat Jendral Perguruan Tinggi Negeri yang bersedia menerima penelitian ini dalam Program Kreatifitas Mahasiswa bidang penelitian sehingga penelitian diselesaikan. Kedua, ucapan terima kasih ditunjukkan kepada jurusan Teknik Fisika ITS khususnya kepada Laboratorium Rekayasa Bahan dan Material yang banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arista, Febi. 2011. Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben dari Lumpur Lapindo untuk Pemurnian Ethanol. **Tugas Akhir**. Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Jalil, A.A., Triwahyono S., Adam, S.H., Rahim, N.D., Aziz, M.A.A., Hairom, N.H.H., Razali, N.A.M., Abidin, M.A.Z., Mohamadiah, M.K.A. 2010. Adsorption of Methyl Orange from Aqueous Solution Onto Calcined Lapindo Volcanic Mud. Science Direct. **Journal of Hazardous Materials**, 181, hal. 755-762.
- [3] Angraini, R., Setyowati, E.W., A., Lasmini. 2009. Peningkatan Kualitas Produksi Batu Bara dengan Pemanfaatan Lumpur Lapindo. **Laporan Pengabdian kepada Masyarakat**, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang
- [4] Setyowati, E.W. 2009. Penggunaan Campuran Lumpur Lapindo Sidoarjo Sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Bata Beton Pejal. **Jurnal Ilmiah Teknik Sipil** Vol. 13 No. 1, hal. 1654-1660.

- [5] Lasino, Nur, M.E., Cahyadi, D. 2010. Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Untuk Bata Merah dan Genting. **Jurnal Permukiman**, Vol. 5 No.3 November, hal. 132-138.
- [6] Wiryasa, Ngk. M. A., Sudarsana, I Wayan. 2009. Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Bata Beton Pejal. **Jurnal Ilmiah Teknik Sipil**, Vol. 12, hal. 39-46.
- [7] Nuruddin, M.F., Bayuaji, R., Masilamani, M.B., Biyanto, T.R. 2010. Sidoarjo Mud : A Potential Cement Replacement Material. **Civil Engineering Dimension**, Vol. 12 No. 1, hal. 18-22.
- [8] Noerwarsito, T., 2006. Blok Lempung Porits. Laboratorium Struktur, Jurusan Arsitektur ITS, Surabaya.
- [9] Triwulan, Ekaputri, J.J., Adiningtyas, T. 2007. Analisa Sifat Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi. **Jurnal Torsi** Vol. 27 (3), hal. 33-45.
- [10] Mustafa Al Bakri, A.M. Rafiza, A.R., Hardjito D., Kamarudin, H., Nizar, I.K. 2012. Characterization of LUSI Mud Volcano as Geopolymer Raw Material. **Advanced Material Research** Vol. 548, pp. 82-86.
- [11] Dibiantara, D.P. 2012 Pemanfaatan Lumpur Bakar Sidoarjo untuk Beton Ringan dengan Campuran Fly Ash, Foam dan Serat Kenaf. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [12] Antoni, German, R., Tjondro, R.T., Anggono, J., Hardjito, D. 2013. Effects of Calcination Temperature of LUSI Mud on the Compressive Strength of Geopolimer Mortar. **Advanced Material Research** Vol. 626, hal 224-228.
- [13] Arifin, M.Z. 2011. Penggunaan Lumpur Lapindo Sebagai Filler Pada Perkerasan Lentur Jalan Raya. **Jurnal Rekayasa Sipil** Vol. 5 No. 3, hal. 152-160.
- [14] Hardjito, D., Antoni, Wibowo, G.M. 2012 Pozzolanic Activity Assessment of LUSI (Lumpur Sidoarjo) Mud in Semi High Volume Pozzolanic Mortar. **Materials** Vol. 5, hal. 1654-1660.
- [15] Brown, M.E., Gallagher, P.K. 2003. Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry : Applicatios to inorganic and miscellaneous materials Vol. 2. Amsterdam : Elsevier.
- [16] Al-Asheh, S., Banat, E., Al-Lagtah, N. 2004. Separation of Ethanol-Water Mixtures Using Molecular Sieves and Biobased Adsorbents. **Chemical Engineering Research and Design**, 82(A7), hal. 855-864.
- [17] Siswati, N.D., Dwi P, Y., Ika L, C. 2011. Utilization of Sidoarjo Mud as the Raw Material of Making Portland Cement. **Articles Bali International Seminar on Science and Technology**, hal. 22-23, Bali.
- [18] Tsakiridis, P.E., Leonardou, S.A., Outsadakis, P. 2004. Red Mud Addition in the Raw Meal for the Production of Portland Cement Clinker. **Journal of Hazardous Materials** B11, hal.103-110.