Sintesis Nano Partikel SiO₂ dari Lumpur Lapindo Sidoarjo Melalui Metode *Spray Flame Pyrolysis* untuk Beton Tipe *Self Compacting Concretes (SCC)*

Cite as: Proceedings of Seminar Nasional FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, 1-6 (2012)

Published Online: 24 November 2012

Hengky Herdianto, Mochamad Alfi Zahwanul Farich

Identifier:

DOI

<https://doi.org/10.31219/osf.io/wr7p3>

Sintesis Nano Partikel Silika (SiO_2) dari Lumpur Lapindo Sidoarjo Melalui Metode *Spray Flame Pyrolysis* untuk Beton Tipe *Self-Compacting Concretes* (SCC)

Hengky Herdianto¹ dan Mochamad Alfi Zahwanul Farich²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

¹hengky_herdianto_sains_club@yahoo.com dan ²alfi_zahwanul_farich@yahoo.com

Abstrak

Lumpur lapindo memiliki kandungan mineral yang baik untuk pembuatan semen dengan kandungan silika yang tinggi. Komponen silika hasil sintesis dari ML adalah 80 wt% pada 100°C dan 100 menit dalam 15 wt% larutan natrium hidroksida. Larutan asam silika dibuat dari larutan natrium silika dengan metode pertukaran ion. Kecepatan larutan natrium silika dalam kolom pertukaran ion meningkat 0,5-3,0 cm/s ketika konsentrasi ion natrium meningkat 15-95 ppm. Partikel silika dibuat dari larutan asam silika menggunakan *spray flame pyrolysis*. Ukuran partikel rata-rata meningkat dengan peningkatan konsentrasi asam silika. Diameter partikel silika berkisar antara 10 sampai 45 nm. Perkembangan kekuatan beton ML silika SCC lebih baik dibandingkan dengan beton alir. Nilai DSA, MOR, MOE, dan IB yang dicapai berturut – turut adalah 16,25%; 67,42 kg/cm²; 56,28 kg/cm²; dan 63,56 kg/cm².

Kata kunci : Lapindo, Lumpur, Nano Partikel, Silika, SCC

I. Pendahuluan

Lumpur Lapindo merupakan permasalahan Bangsa Indonesia yang sampai saat ini belum teratasi. Semburan lumpur terletak di Porong, Kabupaten Sidoarjo, 12 km ke arah selatan dari Kota Sidoarjo, sekitar 100 - 500 m dari Sumur Banjar Panji 1 milik Lapindo Brantas, Ltd. Sedangkan di lokasi Sumur Porong 1,7 km sebelah timur Sumur Banjar Panji 1, terlihat tanda-tanda geologi yang menunjukkan luapan lumpur pada zaman dahulu. Semburan lumpur diperkirakan akan berhenti dalam rentang waktu puluhan hingga ratusan tahun [2,11].

Berdasarkan hasil pengujian Deputi Bidang TPSA-BPPT, hasil analisa lumpur lapindo memiliki kandungan mineral dan kimia yang baik untuk pembuatan bahan semen dengan kandungan silika yang sangat tinggi. Selain dari pada itu, hasil pemeriksaan pendahuluan lumpur panas Lapindo Sidoarjo untuk produk keramik yang dilakukan oleh Dr. Ir. Aristanto dari Balai Besar Keramik Bandung Departemen Perindustrian dapat dipaparkan sebagai berikut [10,11].

Tb.1. Kandungan Kimia Lumpur Lapindo

Kandungan	Satuan	TPSA-BPPT	Departemen Perindustrian
SiO_2	%	54,92	53,08
CaO	%	2,16	2,07
F_2O_3	%	-	5,60
Al_2O_3	%	25,07	18,27
TiO_2	%	-	0,57
MgO	%	2,90	2,89
Na_2O	%	1,57	2,97
K_2O	%	2,32	1,44
SO_2	%	-	2,96
Cl	%	0,91	-
FeO	%	1,18	-
Hilang Pijar	%	-	10,15

Nano partikel silika lebih kecil dari 30 nm telah populer digunakan sebagai abrasif untuk *wafer* semikonduktor dan aditif untuk penguatan, perangkat tambahan viskositas, dan pencegahan pengendapan *sealant*, karet, cat, dan resin tak jenuh. Penelitian lebih banyak terjadi untuk menemukan aplikasi baru di lembaga-lembaga akademik, industri, dan penelitian [6,7]. Banyak peneliti telah melaporkan pengendalian morfologi dan karakteristik partikel silika dilakukan melalui reaksi fase gas [7-9]. Baru-baru ini, yang lebih populer telah diberitakan bahwa penelitian tentang pembuatan dan karakterisasi bahan fungsional baru dengan menggunakan bahan-bahan lain dalam komposit silika [1,12].

Karya ini bertujuan untuk sintesis nano partikel silika yang dihasilkan dari bencana Semburan Lumpur Lapindo (ML) melalui tiga langkah utama. Pertama, larutan natrium silika diperoleh dengan menggiling, perawatan pra- dan ekstraksi alkali ML. Kemudian, natrium larutan bebas dari asam silika yang disintesis dari larutan natrium silika dengan menggunakan metode pertukaran ion [1]. Akhirnya, larutan asam silika disemprot dengan menggunakan *nozzle* dua cairan dan tetesan berubah menjadi nano partikel silika oleh *flame spray pyrolysis*. Kemudian nano partikel silika yang telah disintesis digunakan sebagai bahan campuran agregat untuk memproduksi beton yang memiliki kinerja tinggi dengan uji sifat fisis dan mekanis.

II. Teori

II.1. Silika

Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan [6]. Silika dengan ukuran mikron banyak diaplikasikan dalam material *building*, yaitu sebagai bahan campuran pada beton [4,10,11]. Rongga yang kosong di antara partikel semen akan diisi oleh mikrosilika sehingga berfungsi sebagai bahan penguat (*mechanical property*) dan meningkatkan daya tahan (*durability*) [4,13].

Gb.1. Struktur Umum Silika

II.2. Sintesis Larutan Natrium Silika

Empat puluh gram bahan ditambahkan pada 125 ml larutan 15% natrium hidroksida untuk mensintesis natrium silika dengan pencucian keluaran silika melalui larutan natrium hidroksida dari bahan [5]. Reaktor adalah labu bundar 500 ml terbuat dari *pyrex* kaca dan dipasang dalam mantel pemanas dengan pengaduk. Sebuah jaket air digunakan di atas reaktor untuk menyingkat air menguap dan untuk mengkondisikan air kembali ke reaktor. Sebuah filtrasi bawah vakum digunakan untuk memisahkan larutan natrium silika dari residu padat [1,5].

II.3. Larutan Asam Silika

Larutan asam silika yang dihasilkan dari air larutan natrium silika dengan metode pertukaran ion. Hidrogen tukar kation resin (Trilite MC-1) digunakan dengan densitas adalah $1,32 \text{ g/cm}^3$, ukuran partikel rata-rata adalah $650 \mu\text{m}$, itu didasarkan pada *divinilbenzena stirena*, dan asam sulfat radikal digunakan sebagai suatu penukar. Kolom terbuat dari resin akrilik dengan diameter 60 mm dan tinggi 850 mm dikemas dengan resin pertukaran ion hingga 700 mm. Kemudian, larutan natrium silika diperkenalkan ke kolom. Kapasitas pertukaran total adalah 2.400 mequiv. Hal ini lebih besar daripada jumlah ion natrium. Pertukaran ion resin dengan ion natrium diregenerasi dengan mencuci keluar ion natrium dengan asam klorida dan air [1,5].

III. Metode

III.1. Bahan

ML, yang digunakan dalam penelitian ini, menunjukkan warna kecoklatan ringan, struktur halus dan ukuran partikel mikroskopis. ML digiling menggunakan *Crusher Jaw*, *Pulverizer*, dan *Ball Miller*, dan kemudian itu dipanaskan pada 780°C selama 3,5 jam untuk menghilangkan organik dan air. Analisis komponen ML alam dilakukan dengan menggunakan analisis *X-Ray Fluorescence Spectrometer* (XRF, Shimadzu Co, Model: MXF-2400), dan spesies utama silika adalah (72,56%), alumina (9,24%), dan oksida besi (1,76 %).

Partikel distribusi ukuran partikel ML diukur oleh *analyzer* ukuran partikel (PSA, Malvern, Model Mastersizer 3000), dan ukuran partikel rata-rata adalah $7,6 \mu\text{m}$. Ukuran ini juga dikonfirmasi oleh *Scanning Electron Microscope* (SEM, JEOL, Model JSM-7800F). Untuk menghapus semua spesies selain silika dalam bubuk ML, bubuk tersebut dicelupkan ke dalam larutan 8wt% asam klorida pada 110°C selama 1,5 jam. Komponen spesies yang dihasilkan dianalisis dengan metode kimia basah yang dipaparkan dalam Tabel 2. Persentase silika dalam pra-penambahan bubuk ML meningkat menjadi 92,5% akibat penghapusan spesies lain oleh pencucian asam klorida. Pada penelitian berikut dilakukan pencampuran sebuah semen dicampur khas dengan 20% dari tanah kapur antar dengan 75% dari semen *Portland* klinker dan 5% dari *gypsum* yang banyak digunakan di Indonesia untuk kekuatan tinggi beton.

Tb.2. Analisis Kimia dan Sifat Luas Permukaan

Komposisi	Satuan	Semen	Nano Silika ML
SiO_2	wt%	17,65	92,50
Al_2O_3	wt%	3,78	1,74
Fe_2O_3	wt%	3,78	1,56
CaO	wt%	56,54	0,04
MgO	wt%	0,87	0,12
MnO	wt%	-	0,78
K_2O	wt%	0,43	0,42
Na_2O	wt%	0,14	0,98
TiO_2	wt%	-	0,12
P_2O_5	wt%	-	0,56
SO_3	wt%	2,58	-
CO_2	wt%	8,54	-
Kehalusan	m^2/g	0,44	0,76

III.2. Analisis Natrium dan Asam Silika

Larutan natrium silika dianalisis oleh induktif *coupled plasma* (ICP, Jobin-Yvon, Model JY-38 Plus) dan analisis kimia basah. Ion natrium konsentrasi dalam larutan asam silika dianalisis dengan analisis serapan atom (AA, Perkin-Elmer, Model AAS 3300).

III.3. Sintesis Nano Partikel Silika

Gambar 2.a menunjukkan diagram alir langkah-langkah yang dilakukan untuk menghasilkan nano partikel silika dari ML. Dalam penelitian ini memeriksa kombinasi silika ML dan semen dalam keadaan mengeras sebagai asumsi bahwa penambahan silika ML dengan menekan biaya total yang diberikan dari beton. Kombinasi dari sistem *turner* "Silika ML-semen" dapat meningkatkan jumlah yang tersedia dari bahan *pozzolanic* untuk beton kinerja tinggi (HPC) [13].

Gb.2. (a) Diagram Alir untuk Produksi
 (b) Skema Peralatan Produksi

Teknik eksperimental untuk produksi nano partikel silika terdiri dari *nozzle*, fluida *flame spray pyrolysis*, dan *bag filter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Larutan asam silika, yang diangkut oleh sebuah pompa disemprot dengan ukuran sekitar 15 μm oleh *nozzle* dua fluida dan tetesan dikombinasikan dengan api difusi melalui udara. Sebuah *burner* terdiri dari lima tabung *stainless steel* dengan diameter bagian dalam tabung terkecil adalah 25 mm dan diameter luar dari tabung terbesar adalah 60 mm, dan panjang *burner* adalah 300 mm. Hidrogen (99,48%) digunakan sebagai bahan bakar, dan oksigen (99,83%) dan udara digunakan sebagai senyawa oksidator. Dari tabung terdalam, asam silika aerosol (udara + asam silika), argon (6 lpm), hidrogen (5 lpm), oksigen (10 lpm) dan udara (38 lpm), dan udara (65 lpm). Sebuah tabung keramik yang berdiameter 125 mm dan panjang 850 mm digunakan untuk melindungi api dari arus udara dan untuk mencegah kehilangan panas. Sebuah filter tas yang terbuat dari *teflon* digunakan untuk mengumpulkan nano partikel silika.

Scanning Electron Microscope (SEM, JEOL, Model JSM-7800F) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM, Philips, Model CM12) digunakan untuk mengkarakterisasi morfologi

partikel dan ukuran. Luas permukaan spesifik bubuk yang dianalisis dengan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET, Micromeritics, Model ASAP 2400 Series II CHNS/O) dan diameter BET setara dihitung dengan mengasumsikan partikel yang bulat dan monodisperse. Kristalinitas bubuk diukur oleh analyzer difraksi sinar-X (XRD, Rigaku Co., Model RTP 300 RC).

III.4. Komposisi Alir dan SCC Beton

Beton alir dan *Self-Compacting Concretes* (SCC) yang diproduksi dengan menggunakan akrilik berbasis kemerosotan atau kemerosotan aliran yang diukur. Beton normal pada suhu kamar (23°C) atau uap normal pada 67°C (3,5 jam *curing* awal pada 23°C, 3,5 jam dari 23°C hingga 67°C, 7,5 jam pada 67°C, 3,5 jam dari 67°C hingga 23°C).

Tb.3. Komposisi Beton Alir dan SCC

Jenis	Semen (kg/m ³)	Nano Silika ML (kg/m ³)	Agregat (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Susut (mm)
F ₁	449	0	1750	180	242
F ₂	439	10	1750	180	240
F ₃	419	30	1750	180	238
F ₄	404	45	1750	180	243
F ₅	384	65	1750	180	241
F ₆	369	80	1750	180	237
F ₇	359	90	1750	180	245
S ₁	501	0	1957	196	740
S ₂	491	10	1957	196	745
S ₃	471	30	1957	196	735
S ₄	456	45	1957	196	742
S ₅	436	65	1957	196	744
S ₆	421	80	1957	196	738
S ₇	411	90	1957	196	743

Kuat tekan diukur pada 1-100 hari pada semua beton normal pada 23°C atau 17 jam dan 1-100 hari pada uap-normal beton. Pada beton yang sama normal 1 minggu (93% R.H.) dan kemudian direndam dalam larutan dengan 3,7% NaCl atau terkena udara, dalam rangka untuk menentukan difusi klorida atau tingkat karbonasi. Ketebalan beton ditembus oleh ion Cl⁻ ditentukan oleh tes kolorimetri berdasarkan penggunaan nitrat *fluorescein* dan perak [3,4]. Ketebalan beton ditembus oleh CO₂ ditentukan oleh tes yang biasa berdasarkan pada fenolftalein.

IV. Hasil Penelitian

IV.1. Sintesis Larutan Natrium Silika

Silika *amorf* yang tercuci dari ML pra-kombinasi dengan larutan berair dari natrium hidroksida konsentrasi rendah pada suhu rendah, dan kemudian larutan natrium silika diperoleh. Sebuah natrium hidroksida konsentrasi rendah (15 wt%, 2,83 M) digunakan karena natrium seharusnya dihapus oleh langkah pertukaran ion [6]. Parameter eksperimental adalah reaksi suhu dan waktu. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 3, komponen silika *yield* kehabisan keluar dari ML

meningkat dari 25,5% menjadi 84,2% saat suhu meningkat dari suhu ruang hingga 100°C karena peningkatan laju reaksi. Selain itu, dianggap sebagai hasil yang tinggi karena kuarsa yang merupakan bentuk kristal silika. Hasil ini di bawah 80% pada 15 menit dan tidak cukup berbeda dengan memvariasikan waktu reaksi dari 30 sampai 100 menit. Untuk memastikan reaksi, namun, digunakan kondisi 100°C dan 1,5 jam untuk sintesis larutan natrium silika.

Gb.3. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Hasil Pembubaran Silika (Waktu Reaksi: 1 jam, Konsentrasi NaOH: 15 wt%, kecepatan *pulp*: 45 g/132 ml)

IV.2. Persiapan Larutan Asam Silika

Larutan asam silika yang disintesis dari larutan natrium silika dengan metode pertukaran ion. Reaksi ditunjukkan sebagai berikut:

PH larutan menurun 12-4 karena proton. Larutan natrium silika diencerkan lima kali dengan air suling untuk menghindari pembentukan gel oleh nukleasi yang terjadi setelah 1 minggu pada suhu kamar. Sebuah kecepatan fluida larutan melewati kolom pertukaran ion terpilih sebagai parameter utama. Kecepatan dihitung dari area proyeksi dari kolom dan laju aliran. Konsentrasi residu ion natrium meningkat 15 sampai 95 ppm diukur dengan serapan atom saat kecepatan meningkat 0,5-3,0 cm/s, masing-masing (Tabel 4).

Tb.4. Pengaruh Kecepatan Fluida untuk Menghapus Na^+ dengan Metode Pertukaran Ion

Kecepatan Cairan (cm/s)	Konsentrasi Na^+ (ppm)
0.5	15
1.0	25
1.5	35
2.0	55
2.5	75
3.0	95

IV.3. Sintesis Nano Partikel Silika

Larutan asam silika siap untuk sintesis nano partikel silika pada kecepatan 3,0 cm/s. Etanol ditambahkan dalam larutan asam silika membuat konsentrasi dari 0,30 mol/l untuk mengontrol konsentrasi prekursor dan temperatur nyala. Tekanan udara di *nozzle* dua fluida bervariasi 0,5-3,0 kgf/cm² dengan memvariasikan debitnya. Gambar 4 menunjukkan gambar SEM nanopartikel dibuat pada (a) 1,5 kgf/cm², (b) 3,0 kgf/cm², dan morfologi nanopartikel adalah homogen dan hampir bulat.

Gb.4. SEM Nanopartikel Silika (a) 1,5 kgf/cm², (b) 3,0 kgf/cm²

Gb.5. Pengaruh Konsentrasi Asam Silika pada Ukuran Partikel dan Luas Permukaan Spesifik Partikel Silika

Luas permukaan spesifik dan diameter partikel setara adalah 52, 182, dan 297 m²/g dan 60, 17, dan 11 nm ketika tekanan adalah 1,2, 1,6, dan 2,2 kgf/cm², masing-masing. Gambar 5 menunjukkan luas permukaan spesifik dan diameter partikel setara sehubungan dengan konsentrasi asam silika dalam larutan pada tekanan 2,5 kgf/cm². Sebagai konsentrasi meningkat 0,28-0,55 mol/l, diameter partikel meningkat dari 10 menjadi 45 nm dan luas permukaan spesifik menurun 298-62 m²/g. Hal ini disebabkan konsentrasi nomor inti tinggi dan pertumbuhan yang dihasilkan oleh partikel kondensasi dan *sintering* pada suhu tinggi. Semua nanopartikel silika dibuat di atas adalah *amorf* (Gambar 6).

Gb.6. TEM Nano Partikel Silika Diproduksi di Udara Masukan Tekanan yang Berbeda pada *Nozzle* Dua Fluida pada Kondisi Proses Tetap ((a) 1,5, (b) 3,0 kgf/cm²)

IV.4. Hasil Uji Fisis dan Mekanis Beton

Tb.5. Nilai Uji Karakteristik Fisis dan Mekanis Beton Silika ML

Sampel	DSA (%)	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)	IB (kg/cm ²)
F ₁	15,78	43,28	44,45	42,64
F ₂	17,28	48,39	46,39	46,29
F ₃	11,42	52,52	49,41	53,52
F ₄	16,73	59,29	51,29	56,87
F ₅	16,89	64,34	53,56	61,56
F ₆	12,84	62,18	53,23	58,88
F ₇	14,67	61,27	53,28	58,34
S ₁	16,78	46,29	48,24	52,18
S ₂	17,83	53,38	50,73	54,26
S ₃	19,65	57,28	51,28	58,29
S ₄	18,25	63,47	54,49	61,39
S ₅	16,25	67,42	56,28	63,56
S ₆	17,48	62,39	55,28	62,38
S ₇	19,27	60,48	55,02	62,12

Hasil yang dipaparkan pada tabel 5 di atas dapat diketahui bahwa nilai DSA, MOR, MOE, dan IB mengalami kinerja maksimal dengan penambahan nanopartikel silika pada densitas 65 kg/m³ baik pada perlakuan sampel beton alir maupun SCC.

Gb.7. Hasil Uji Sifat Fisis dan Mekanis Beton Silika ML

Selain itu, data juga menunjukkan sampel SCC lebih baik dari pada beton alir. Nilai DSA, MOR, MOE, dan IB yang dicapai berturut – turut adalah 16,25%, 67,42 kg/cm², 56,28 kg/cm², dan 63,56 kg/cm².

IV.5. Perbedaan Beton Alir dan SCC

Perbedaan utama antara beton alir (tingkat kemerosotan 230 mm) dan SCC (tingkat kemerosotan sekitar 750 mm), baik diberikan w/c dari 0,46 dan dengan ukuran maksimum yang sama untuk agregat, adalah: (1) isi semen (384 vs 436 kg/m³), yang lebih tinggi dalam SCC; (2) jumlah air pencampuran (180 vs 196 kg/m³) yang lebih tinggi dalam SCC.

Gb.8. Penetrasi Cl⁻ dan CO₂ dalam Beton Alir dan SCC Normal pada 23°C

Gambar 8 menunjukkan penetrasi ion klorida dan CO₂ dalam campuran beton alir (Tabel 3). Angka 10 menunjukkan penetrasi ion klorida dan CO₂ ke SCC (Tabel 3). Semua hasil ini tertuju pada beton normal pada 23°C. Hasil yang sama diperoleh untuk uap normal beton. Dalam campuran beton alir dan SCC (Gambar 8) difusi klorida serta penetrasi CO₂ terhadap sampel dengan silika ML (SF), secara independen dari suhu *curing*. Perilaku dari beton dengan kombinasi *terner* dari silika ML dan semen sangat dekat dengan yang ada pada beton yang sesuai dengan silika ML saja, khususnya dalam uap normal SCC.

V. Simpulan

1. Larutan natrium silika dengan hasil lebih dari 80% diperoleh dengan menggunakan natrium hidroksida (15%) metode pencucian dari pra-kombinasi partikel ML yang memiliki silika dari 92,5% dan diameter rata-rata 9 µm.
2. Larutan asam silika dengan konsentrasi ion natrium kurang dari 95 ppm diproduksi menggunakan resin pertukaran ion hidrogen untuk menghilangkan ion natrium dalam larutan natrium silika.
3. Silika partikel nano *amorf* diproduksi dengan menggunakan larutan asam silika oleh *flame spray pyrolysis*. Diameter partikel silika berkisar antara 10 sampai 45 nm tergantung pada tekanan penyemprotan dan konsentrasi asam silika dalam larutan.

4. Sebuah pengembangan kekuatan beton silika ML lebih baik dibandingkan dengan beton alir, nilai DSA, *MOR*, *MOE*, dan *IB* yang dicapai berturut – turut adalah 16,25%; 67,42 kg/cm²; 56,28 kg/cm²; dan 63,56 kg/cm².

VI. Referensi

- [1] A. Berggren., and A.E.C. Palmqvist., Particle Size Control of Colloidal Suspension of Mesoporous Silica, *Journal of Physical Chemistry C*, 112 [3], pp. 732-737, 2008
- [2] Ajeng Hayu A., Mas Agus M., and Atiek M., Studi Lumpur Lapindo sebagai Bahan Campuran Pembuatan *Pervious Paving* untuk Menurunkan *Run Off*, *Environment Engineering Journal*, ITS, vol. 24, No. 3, March 2010
- [3] Collepardi, M., “Quick Method to Determine Free and Bound Chlorides in Concrete”, *Proceedings of RILEM Workshop on Chloride Penetration into Concrete*, Saint Remy-les Chevreuse, pp. 10-16, 1995
- [4] Collepardi, M., Ogoumah Olagot, J.J., Skarp, U. and Troli, R., “Influence of Amorphous Colloidal Silica on the Properties of Self Compacting Concretes” *Proceedings of the International Conference in Concrete Construction-Innovations and Developments in Concrete Materials and Constructions*, Dundee, Scotland, UK, 9-11 September, pp. 473-483, 2002
- [5] Hee Dong Jang., Han Kwon Chang., Ho Sung Yoon., Kuk Cho., Jin Ho Park., Se Young Oh., Production of Silica Nanopowder from Domestic Siliceous Mudstone, *Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 313–314 (2008) 121–125, April 2007
- [6] Iler, R.K., Silica Gels and Powders, In: Iler, R.K. (Ed), *The Chemistry of Silica*, John Wiley and Sons, New York, pp. 462-599, 1979
- [7] Jal, P.K., Sudarshan, M., Saha, A., Petel, S., Mishra, B. K., Synthesis and Characterization of Nano Silica Prepared by Precipitation Method, *Colloids and Surfaces A, Physicochemical and Engineering Aspect* 240, pp. 173-178, 2004
- [8] Lee, S. G., Jang, Y.S., Park, S. S., Kang, B. S., Moon, B. Y., Park, H. C., Synthesis of Fine Sodium Free Silica Powder from Sodium Silicate Using w/o Emulsion, *Materials Chemistry and Physics* 100: pp. 503-506, 2006
- [9] M. Ahmaruzzaman., Adsorption of Phenolic Compounds on Low-cost adsorbents: a review, *adv. Colloid Interf. Sci.* 143: pp. 48-67, 2008
- [10] Ngk. Made Anom W., I Nyoman S., and Agus Surya W., “The Benefits of Lapindo Silt as Cement Substitution Material in Paving Block Fabrication”, *Civil Engineering Journal*, Udayana University, vol. 12, No. 1, January 2008
- [11] Ngk. Made Anom W., and I Wayan S., “The Advantage of Lapindo Silt as Cement Substitution Material for Solid Concrete Block”, *Civil Engineering Journal*, Udayana University, vol. 13, No. 1, January 2009
- [12] Rao, K. S., Hami, K. E., Kodaki, T., Matsushige, K., Makino K., A Novel Method for Synthesis of Silica Nanoparticle, *Journal of Colloid and Interface Science* 289: pp. 125-131, 2005
- [13] Skarp, U., and Sarkar, S.L., “Enhanced Properties of Concrete Containing Colloidal Silica”, *Concrete Producer*, PP 1-4, December 2000