

Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika sebagai Upaya Pemanfaatan Potensi Sumberdaya Banjarbaru

Totok Wianto, Nurma Sari, Darminto, dan Suminar Pratapa

Abstrak: Penelitian untuk mendapatkan bahan baru dengan kinerja tinggi telah banyak dilakukan, khususnya di negara-negara industri. Salah satu program yang cukup pesat perkembangannya dan hingga sekarang sedang giat dilakukan penelitian, baik penelitian dasar maupun terapan adalah bidang nanosains dan nanoteknologi. Perkembangan nanosains dan nanoteknologi dewasa ini telah mulai mendominasi dunia industri, dan bahkan telah mengeser teknologi mikro-elektronik (10^{-6} m) yang telah berperan dalam beberapa dasawarsa terakhir (Edelstein, 1996). Nanomaterial, sebagai bagian dari nanosains dan nanoteknologi, merupakan rekayasa material dalam orde nanometer (10^{-9} m) (Kebamoto, 2003). Hampir semua material dapat dibuat dalam bentuk nanokristal dan nanopartikel, untuk menghasilkan sifat lebih unggul, yang bergantung pada pemrosesan, manipulasi dan komposisinya (Gleiter, 1989, Kimura, 1995). Produk-produk industri diperkirakan akan menggunakan nanomaterial secara komersial (Inoue, 2003) mulai tahun 2010 (NSTC, 1993). Eksploitasi sejumlah mineral, seperti logam dan batuan, telah dilakukan di daerah penambangan intan rakyat di daerah Cempaka, Kalimantan Selatan, dan difokuskan pada fragmen-fragmen yang dihasilkan dari penambangan intan. Ukuran fragmen-fragmen yang diperoleh ini berkisar antara 1,5 – 15 cm. Tumpukan fragmen-fragmen ini tidak berada jauh dari sungai yang melintas di daerah penambangan, yaitu paling jauh 100 m dan masih merupakan daerah pelamparan sedimentasi sungai (Sikumbang, 1994). Dari penelitian pendahuluan didapatkan kadar silika (SiO_2) di daerah cempaka antara 94,4% - 99% (Wianto, 2008). Ketersediaan sumber alam berupa beberapa material di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, seperti pasir silika, dapat diolah lebih lanjut sebagai nanomaterial dengan karakteristik yang khas. Nanomaterial ini dapat dibuat dalam dalam ukuran nano (< 100 nm) melalui sintesis metode gaya berat kemudian melalui proses penggilingan menggunakan *planetary ball milling*. Penggunaan peralatan *X-ray diffractometer* (XRD) dan *scanning electron microscope* (SEM) serta *transmission electron microscope* (TEM) akan menghasilkan karakteristik rinci nanosilika tersebut, menyangkut struktur, bentuk dan ukuran partikelnya serta agregasi yang mungkin terjadi. Hasil penelitian ini didapatkan material nano silika dengan ukuran antara < 100 nm setelah proses kopresipitasi sedangkan sebelum proses tersebut yaitu setelah proses ball mill didapatkan ukuran butir > 300 nm ini berdasarkan hasil metode Scherrer XRD dan SEM. Sedangkan hasil analisis kualitatif dan kuantitatif didapatkan mineral SiO_2 yang dominan yaitu 98 - 99%, ini setelah melalui proses pencucian untuk menghilangkan clay serta menggunakan magnetik separator untuk menghilangkan material magnetik.

Kata Kunci: Nanosilika, SEM, TEM, XRD

PENDAHULUAN

Penelitian untuk mendapatkan bahan baru dengan kinerja tinggi

telah banyak dilakukan, khususnya di negara-negara industri. Salah satu program yang cukup pesat

¹⁾ Staf Pengajar Program Studi Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA ITS

perkembangannya dan hingga sekarang sedang giat dilakukan penelitian, baik penelitian dasar maupun terapan adalah bidang nanosains dan nanoteknologi. Perkembangan nanosains dan nanoteknologi dewasa ini telah mulai mendominasi dunia industri, dan bahkan telah mengeser teknologi mikro-elektronik (10^{-6} m) yang telah berperan dalam beberapa dasawarsa terakhir (Edelstein, 1996). Nanomaterial, sebagai bagian dari nanosains dan nanoteknologi, merupakan rekayasa material dalam orde nanometer (10^{-9} m) (Kebamoto, 2003). Hampir semua material dapat dibuat dalam bentuk nanokristal dan nanopartikel, untuk menghasilkan sifat lebih unggul, yang bergantung pada pemrosesan, manipulasi dan komposisinya (Gleiter, 1989, Kimura, 1995). Produk-produk industri diperkirakan akan menggunakan nanomaterial secara komersial (Inoue, 2003) mulai tahun 2010 (NSTC, 1993)

Eksplorasi sejumlah mineral, seperti logam dan batuan, telah dilakukan di daerah penambangan intan rakyat di daerah Cempaka, Kalimantan Selatan, dan difokuskan pada fragmen-fragmen yang dihasilkan dari penambangan intan.

Ukuran fragmen-fragmen yang diperoleh ini berkisar antara 1,5–15 cm. Tumpukan fragmen-fragmen ini tidak berada jauh dari sungai yang melintas di daerah penambangan, yaitu paling jauh 100 m dan masih merupakan daerah pelamparan sedimentasi sungai (Sikumbang, 1994). Dari penelitian pendahuluan didapatkan kadar silika (SiO_2) di daerah cempaka antara 94,4-99% (Wianto, 2008)

Ketersediaan sumber alam berupa beberapa material di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, seperti pasir silika, dapat diolah lebih lanjut sebagai nanomaterial dengan karakteristik yang khas. Nanomaterial ini dapat dibuat dalam dalam ukuran nano (<100 nm) melalui sintesis metode gaya berat kemudian melalui proses penggilingan menggunakan *planetary ball milling*. Penggunaan peralatan *X-ray diffractometer* (XRD) dan *scanning electron microscope* (SEM) serta *transmission electron microscope* (TEM) akan menghasilkan karakteristik rinci **nanosilika** tersebut, menyangkut struktur, bentuk dan ukuran partikelnya serta agregasi yang mungkin terjadi.

Dalam aplikasinya, nanosilika dapat digunakan sebagai bahan

substitusi semen/pasir untuk struktur bangunan. Dengan ukuran yang berskala nanometer, partikel silika dapat menyisip di antara partikel – partikel material penyusun yang saling bercampur dan berukuran lebih besar. Partikel silika ini dengan teknik pencampuran yang tepat dalam pembuatan beton, selanjutnya akan menyisip ke ruang kosong yang tercipta di antara partikel–partikel berukuran lebih besar (mikrometer) dan mengurangi porositas. Produk beton dengan porositas minimal sangat sesuai untuk struktur bangunan yang terendam di lahan berair/rawa.

METODE PENELITIAN

a. Persiapan

Penelitian diawali dengan tahap persiapan yaitu Studi Literatur yang dimulai dari pembuatan proposal, pembelian dan pengambilan material penelitian, serta penyiapan peralatan indikator keberhasilannya adalah didapatkannya sampel yang dapat dikarakterisasi dan terdapat alat untuk karakterisasinya. Pasir silika diambil dari lokasi tambang dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya, guna mendapatkan kadar silika yang tinggi.

b. Pengambilan Sampel Penelitian

Sampel penelitian berupa pasir kuarsa diambil dengan melihat sifat fisik antara lain bersih, memiliki ukuran partikel yang halus hingga sedang, serta memiliki berat jenis dan indeks refraksi yang tinggi. Berat jenis yang tinggi (memungkinkan zirkon dapat dipisahkan dari mineral lain menggunakan prinsip gravitasi yaitu berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Salah satu metoda pemisahan berdasarkan perbedaan berat jenis ini antara lain yakni pendulangan. Konsentrat yang diperoleh dari hasil pendulangan ini biasanya masih bercampur dengan mineral-mineral berat lainnya seperti clay dan pasir besi. Pengambilan sampel lebih diutamakan di Penambangan Intan Daerah Cempaka Kota Banjarbaru dimana pendulang telah memisahkan antara silika pasir besi serta pasir zirkon dengan material lain.

c. Pencucian

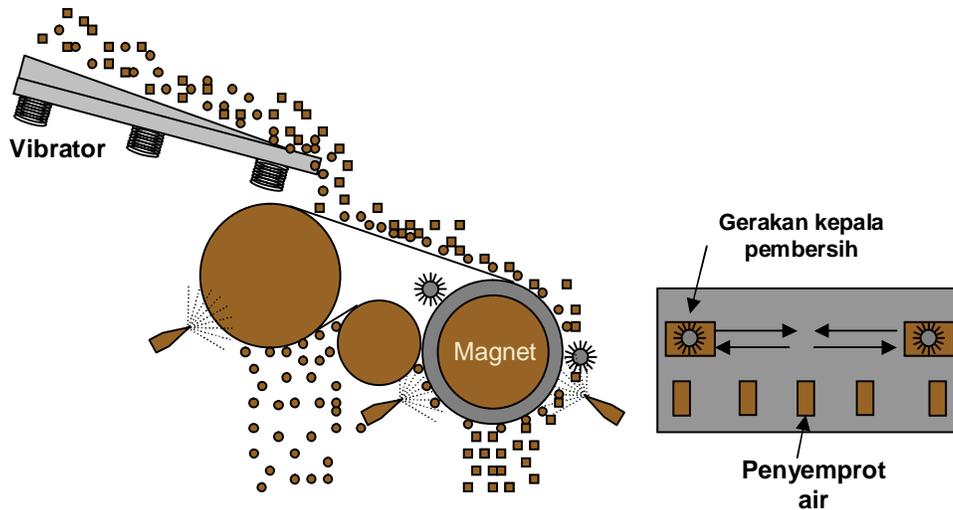
Pasir silika yang masih mengandung lempung dan material pengotor dibersihkan dengan disemprotkan air tekanan tinggi

d. Pemisahan material magnetik dan Non magnetik dengan Magnetik Separator

Konsentrat yang diperoleh dari hasil pendulangan ini biasanya

masih bercampur dengan mineral-mineral berat lainnya seperti magnetit, ilmenit, emas dan rutil. Sehingga perlu dipisahkan dengan magnetik separator. Indikator

keberhasilan dari kegiatan Pemisahan material ini dapat di lihat dengan terpisahnya material pengikut selain pasir kuarsa (cirinya seperti pada pengambilan sampel).



Gambar 1. Skema Peralatan Magnetik Separator

Pasir silika yang telah bersih dan kering dimurnikan lagi dengan *magnetic separator* guna mendapatkan pasir silika dengan tingkat kemurnian yang tinggi serta terpisah dari material magnetik. Dilakukan pengayakan dengan tujuan untuk mendapatkan material dengan ukuran atau agregat yang lebih kecil sehingga proses selanjutnya menjadi lebih mudah.

e. *Crushing*, Pengayakan dan *Seiving* serta *Ball Mill* dan Kopesipitasi

Silika yang dihasilkan dari metode tersebut kemudian dengan

ball milling digerus sampai dengan menghasilkan material silika dengan ukuran nano (≤ 100 nm), metode *seiving* dan *ball mill* hanya menghasilkan ukuran kristalin > 300 nm sehingga diperlukan metode *bottom up* dengan larutan kimia yaitu NH_4OH .



Gambar 2. Peralatan *Ball Mill*

f. Karakterisasi dengan XRD, SEM dan TEM

Difraksi Sinar-X atau XRD terjadi akibat dua fenomena (Culity, 1983): 1.) adanya hamburan tiap atom dan 2.) interferensi gelombang-gelombang yang dihamburkan oleh atom-atom tersebut. Interferensi terjadi karena adanya gelombang-gelombang yang dihamburkan oleh atom-atom yang memiliki koherensi dengan gelombang datang dan demikian dengan mereka sendiri. (Pratapa, 2004). Sampel tanah yang telah dikeringkan dihancurkan atau ditumbuk halus, kemudian bahan disintering pada suhu 100°C selama 1 jam. Sampel yang sudah disintering ditaruh dalam spesimen usahakan pada bagian atasnya harus rata. Kemudian *X-ray tube* akan menghasilkan sinar yang menggunakan target Cu. Sinar ini akan dipancarkan agar mengenai sampel dan sinar pantulannya akan diterima oleh detektor. Pengukuran dilakukan dengan interfal waktu 2 detik dan jangkauan sudutnya sebesar $5-85^{\circ}$. Dari hasil detektor ini diperoleh intensitasnya, dari intensitas ini dapat diketahui fase-fase yang terdapat didalamnya. Untuk mengetahui fase-fase dari bahan tersebut dilakukan dengan

metode *search match*. Dari hasil *search match* ini dilakukan analisa lanjut yaitu analisa *rietveld* dalam Penelitian ini untuk menentukan kandungan mineral (batuan) (Wianto dan Wahyono, 2004) .

Difraktometer merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mempelajari struktur bahan. Identifikasi mineral yang terkandung dalam suatu bahan dan lain-lainya dengan mengamati pola difraksi yang dihasilkan oleh bahan tersebut. Dalam penelitian ini digunakan difraktometer sinar-x, MD-10 Difraktometer yang dilengkapi tabung dengan logam sasaran Cu dan filter Ni, mempunyai panjang gelombang alfa 1 (a_1)= $1,5406^{\circ}\text{A}$ dan alfa 2 (a_2) = $1,5460^{\circ}\text{A}$.

1. Sampel kuarsa (SiO_2) yang berbentuk kristal (pasir) terdapat di Cempaka dan Barambai, diambil beberapa tumpukan sampel, kemudian pasir kuarsa ditumbuk sampai halus dengan lumpang porselin
2. Serbuk sampel ditempatkan pada alat difraktometer sinar-x . Dari hasil keluran pola difraksi dan hasil perhitungan d dari sampel merupakan "sidik jari" dari bahan tersebut. Setiap pola serbuk dicirikan dengan sekum-

pulan posisi sudut difraksi (2θ) dan intensitas relatif (I/I_1), selama 50 menit setiap satu sampel, dengan tegangan 30 KV

3. Dari data keluaran harga jarak antar bidang (d) setiap bahan merupakan grup utama Hanawalt. Langkah berikutnya dibandingkan dengan Utama Hanawalt pada kartu JCPDS, sehingga memenuhi senyawa atau bahan apa yang diperkirakan sesuai dengan bahan tadi.



Gambar 3. Peralatan Difraksi Sinar-X

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk melihat struktur mikro bahan dengan hasil visualisasi tiga dimensi. Digunakan untuk foto sebagai perbandingan dengan data XRD. Dari pengujian dapat diketahui unsur-unsur yang ada pada suatu titik tertentu dengan

penembakan lokasi tersebut dengan EDXA (*Electron Dispersion of X-Ray Analysis*). Elektron-elektron yang dihasilkan diarahkan pada sampel yang akan dianalisa. Elektron-elektron tersebut akan berinteraksi dengan sampel dan dihasilkan:

- Sinar X karakteristik, yang ditangkap oleh detektor spektrometer yang dirangkaikan dengan raremeter sehingga intensitas sinar-X (fonon sinar-X) dapat diukur. Perbandingan intensitas sampel dengan intensitas standart menggambarkan prosen konsentrasi unsur.
- Sinar Elektron Terhambur, yang dapat diubah menjadi signal video sehingga diperoleh gambar BEI/COMPO yang dipakai untuk menganalisa permukaan yang halus
- Sinar elektron sekunder, yang dapat diubah menjadi signal video yang ditangkap di layar CRT dan menghasilkan gambar SEI.

Dengan menggunakan *scanning coil*, elektron dapat diarahkan ke permukaan dari satu titik ke titik yang lain seperti gerak membaca permukaan sampel/*scanning*. Pada gambar terlihat bahwa sampel dihubungkan dengan *ground*,

maksudnya sampel harus konduktif, sehingga elektron-elektron yang mencapai sampel terus dialirkan ke *ground*. Karena itu sampel yang belum konduktif perlu diberikan lapisan tipis emas atau karbon.

Dalam hal ukuran partikel nanosilika yang dihasilkan terlalu kecil (< 100 nm), diperlukan pengujian dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM), yang dapat memperbesar gambar sampel hingga perbesaran lebih dari 10^5 kali.

Langkah di atas merupakan tahapan tahun pertama sedangkan untuk tahapan tahun kedua adalah:

- a. Setelah mendapatkan silika dengan ukuran <100 nm atau nanosilika maka dilakukan pencampuran dengan semen

untuk mengetahui campuran yang tepat.

- b. Kemudian dilakukan pengujian dan karakterisasi untuk mengetahui struktur dengan TEM dan XRD serta dilakukan uji mekanik.
- c. Langkah kegiatannya adalah aplikasi ke beton bangunan lahan rawa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan diperoleh data dari hasil Difraksi Sinar-X, berupa kandungan mineral dan juga kandungan unsur pada masing-masing sampel kuarsa. Distribusi silika yang paling optimal berada di Kecamatan Cempaka yaitu didaerah penambangan Intan.



Gambar. 4. Lokasi penelitian

Untuk penelitian karakterisasi kandungan mineral pada sampel digunakan data dari difraksi sinar-x. Kenapa dilakukan dengan menggunakan dari peralatan tersebut karena dari difraksi sinar-x dapat diketahui kandungan mineral dari masing-masing sampel dan kandungan mineral ini telah mengalami pengkristalan. Yang dapat terbaca

oleh difraksi sinar-x hanyalah suatu bahan yang memiliki sistem kristal karena menggunakan prinsip dari hukum Bragg. Pada umumnya struktur dari mineral kuarsa yaitu SiO_2 , hal ini dapat dilihat dalam gambar mikro dari lumpur tersebut yang direkam dalam hasil SEM. Kandungan mineral, prosentase fasa, dan ukuran kristal dari hasil Difraksi Sinar-X dapat dilihat pada Tabel 1.

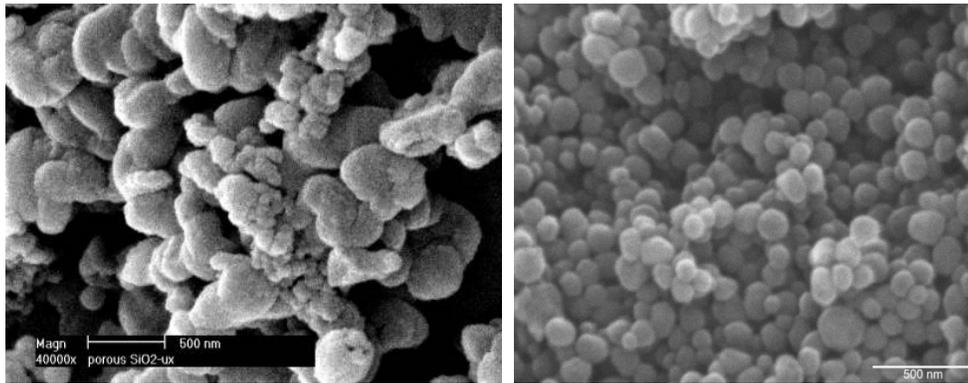
Tabel 1. Kandungan mineral, prosentase fasa, dan ukuran kristal dari hasil Difraksi Sinar-X

Sampel	Mineral	Rumus Kimia	% Fasa	D (nm)
1	Kuarsa	SiO_2	98	300
	Sodium Alumium Silicate	NaAlSiO_2	1,5	
2	Kuarsa	SiO_2	97,8	350
	Sodium Alumium Silicate	NaAlSiO_2	2	
3	Kuarsa	SiO_2	98	325
	Sodium Alumium Silicate	NaAlSiO_2	1	
4	Kuarsa	SiO_2	98,2	329
5	Kuarsa	SiO_2	99	420
6	Kuarsa	SiO_2	99	390
7	Kuarsa	SiO_2	98,5	400
8	Kuarsa	SiO_2	99	325
9	Kuarsa	SiO_2	98,5	315
10	Kuarsa	SiO_2	99	375

a. Karakteristik Silika dan nanosilika banjarbaru.



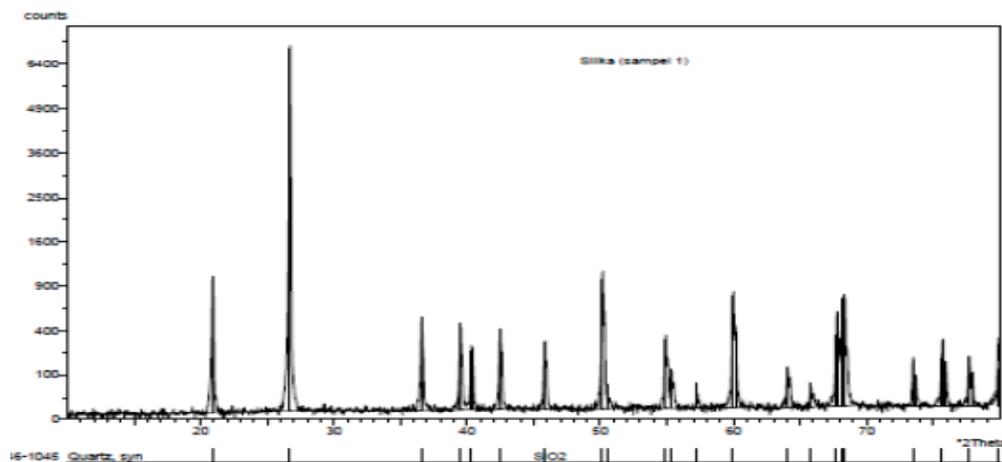
Gambar 5. Hasil silika dan nanosilika



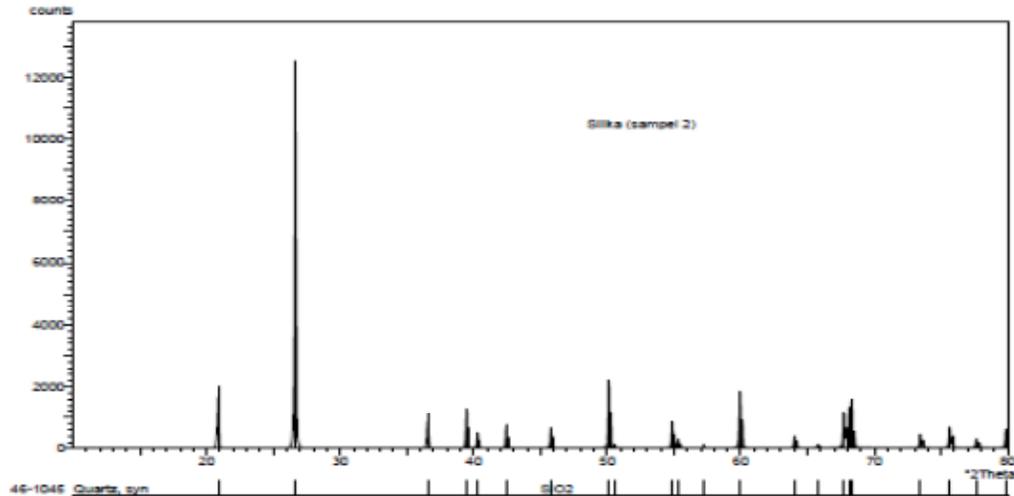
Gambar 6. Hasil SEM dan TEM sampel nanosilika

Pengujian difraksi sinar-x dilakukan preparasi sampel pada spesimen. Sampel yang berbentuk serbuk diusahakan dapat tercetak secara rapat pada spesimen, hal ini bertujuan agar sampel tidak terjatuh pada saat spesimen diputar. Hasil keluaran pola difraksi sinar-x dan hasil perhitungan d dari sampel merupakan “sidik jari” bahan tersebut.

Hasil difraksi sinar-x menunjukkan bahwa fasa atau senyawa terbesar adalah kuarsa/silika antara 98–99 %, dalam analisis difraksi sinar-x data yang didapatkan seharusnya masih terdapat senyawa lainnya seperti magnetic atau hematite (Fe_2O_3), tetapi dalam analisis kuantitatif ditunjukkan hanya persentase kuarsa/silika saja. Hasil difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hasil Difraksi Sinar-X



Gambar 8. Hasil Difraksi Sinar-X

Dari kedua data di atas dibandingkan pada kartu data Hanawalt diterbitkan oleh JCPDS (*Joint Commtes on Power Diffraction*). Pada nomor kartu standart 5-0490 lihat tabel 5-4 kartu data Hanawalt, data paling sesuai adalah bahan kuarsa (SiO_2). Disamping bahan kuarsa komponen utamanya terdapat juga sub komponen bahan lain. Dari kedua data tersebut dibandingkan dengan dengan kartu Hanawalt, pada nomor kartu Standard 10-393, yang paling sesuai adalah bahan Sodium Alumium Silicate (NaAlSiO_2). Data diatas dalam bentuk grafik pola difraksi antara cacah (*counts*) terhadap sudut.

Kandungan utama dari pasir kuarsa cempaka adalah kuarsa (SiO_2) antara 98–99 % hal ini dikarenakan sampel telah dimurnikan dengan mengambil persentase kuarsa/pasir silika yang besar.

Ukuran kristalin didapatkan antara 300 - 420 nm, sedangkan dari ukuran partikel dapat dimanfaatkan sebagai partikel nano karena persyaratan nano adalah antara 1-100 nm. Hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan dengan difraksi sinar-X, dan menggunakan alat karakterisasi pembanding lainnya seperti SEM EDX. Untuk membuktikan ukuran partikel tersebut.

Hasil difraksi dan SEM menunjukkan bahwa ukuran kristalin masih sangat besar yaitu di atas 300

nm, sehingga diperlukan metode baru yaitu opresipitasi hasil kopresipitasi yang didapatkan adalah berdasarkan hasil TEM pada Gambar 6 menunjukkan bahwa ukuran dari kristalin hasil kompresipitasi <100 nm, sehingga dapat dikatakan bahwa material hasil penelitian ini adalah nanomaterial.

KESIMPULAN

1. Distribusi mineral silika yang didapatkan sebelum pemisahan/magnetik separator >75%, dengan magnetik separator didapatkan >98% berdasarkan hasil difraksi sinar-x.
2. Pembuatan nanosilika dilakukan dengan metode *sieving* menghasilkan mikro silika (>300 nm) dan dengan metode kopresipitasi menghasilkan nanosilika dengan distribusi ukuran <100 nm. Metode atau proses ini diharapkan mendapatkan HAKI.
3. Karakteristik silika daerah Banjarbaru memiliki kadar SiO₂ > 98%
4. Karakteristik nanosilika yang berhasil dibuat memiliki kadar SiO₂ > 98% dan berdasarkan hasil SEM dan TEM didapatkan ukuran yang lebih kecil yaitu <100 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- Darminto, S. Pratapa, Triwikantoro, dan S. Purwaningsih (2006), "Pengembangan Prototipe Bahan Nano-coating Magnetik", Program Insentif Penelitian Bidang Nanosains dan Nanoteknologi, Litbangraptek NANO, Kementerian Riset dan Teknologi (KNRT) – Republik Indonesia.
- Cullity, B.D., (1983), Elements of X-Ray Diffraction, Second edition, University of Notre Dame, London, 32 – 141.
- Edelstein, A.S., Cammarata, R.C., (1996), Nanomaterials: Syntesis, Properties and Aplication, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, USA
- Gleiter, H. (1989), Nanocrystalline Materials, Progress in Materials Science, 33, 223 – 315.
- Illinsky, A.G., (2000), On Determination of Volume Fraction of Crystalline phase in Partially Crystallized Amorphous and Nanocrytaline Materials, Journal of Material Science, 35, 4495-4500.
- Inoue, A., (1999), Amorphous, Nanoquasicrystalline and Nanocrystalline Alloys in Al-based Systems, Progress Material Science,43, 365-520.
- Inoue, A., (2003), Frontiers in Bulk Mettalic Glassy ang Nano-Structured Alloys Challenges as We Approach 2010. <http://www.liquidmetalgolf.com/adv board/>

- Kebamoto, (2003), Era Dunia Baru Era Nanoteknologi, Kompas rabu 9 Juli 2003.
- Kimura, H., et al (1995), Physical and Mechanical Properties of Zr-based Metallic Glasses, *Material Transactions*, 36, 890-895.
- Omar, M.A., (1975), *Elementary Solid State Physics*, Adison Wesley Publishing Company Inc., Philipines.
- Pratapa, S. (2003), Analisis Data difraksi Sinar-X, Workshop angkatan II, ITS, Surabaya.
- Reynold, J.M, 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Ltd., New York.
- Sikumbang, N, 1994, *Geologi Lembar Banjarmasin*, P3G, Bandung.
- Sikumbang, N. & Heryanto, R., 1994, *Geological Map of Banjarmasin Quadrangle*, scale 1 : 250.000, Geological Research and Development Centre, Indonesia.
- Wianto, T., Haryanti, N.H., (2008), Studi awal pemanfaatan material cempaka sebagai nanomaterial, Laporan DIPA
- Iler, R.K., *The Chemistry of Silica* (Plenum Press, New York 1979)
- Lidong Wang, D Major, P Paga, D Zhang, M G Norton, D N McIlroy. "High yield synthesis and lithography of silica-based nanospring mats". *Nanotechnology* 17: S298-S303.
- Kihara, K., *An X-ray study of the temperature dependence of the quartz structure*, European Journal of Mineralogy, Vol. 2, p. 63 (1990)
- Wells A.F. (1984). *Structural Inorganic Chemistry*. Oxford Science Publications. ISBN 0-19-855370-6.
- Kirfel, A. (2001). "Electron-density distribution in stishovite, SiO₂: a new high-energy synchrotron-radiation study". *Acta Crystallographica A* 57: 663.
- Peter Jutzi, Ulrich Schubert (2003). *Silicon chemistry: from the atom to extended systems*. Wiley-VCH. ISBN 3527306471.
- Sunggyu Lee (2006). *Encyclopedia of chemical processing*. CRC Press. ISBN 0824755634.
- Robert Doering, Yoshio Nishi (2007). *Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology*. CRC Press. ISBN 1574446754.
- A.B.D. Nandiyanto; S.-G Kim; F. Iskandar; and K. Okuyama (2009). "Synthesis of Silica Nanoparticles with Nanometer-Size Controllable Mesopores and Outer Diameters". *Microporous and Mesoporous Materials* 120 (3): 447–453.
- Fournier R.O., Rowe J.J. (1977). "The solubility of amorphous silica in water at high temperatures and high pressures". *American Mineralogist* 62: 1052–1056.
- Brinker, C.J. and Scherer, G.W., *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing* (Academic Press, New York, 1990)
- Kamiya, K., Sakka, S., Mizutani, M., *Preparation of silica glass fibers and transparent silica*

glass from silicon tetraethoxide, Yogyo Kyokai Shi, Vol. 86, p.553 (1978)

Ikesue, A., et al., *Fabrication and Optical Properties of High Performance Polycrystalline Ceramics of Solid State Lasers*, J. Am. Ceram. Soc, Vol. 78, p. 1033 (1995), *Polycrystalline Lasers*, Optical Materials, Vol. 19, p.183 (2002)

Rondeau, V; Jacqmin-Gadda, H; Commenges, D; Helmer, C; Dartigues, Jf (2009). "Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the [PAQUID cohort](#)". *American journal of epidemiology* **169** (4): 489–96.