



Sifat dan Proses dalam Beton dilihat dari Skala Struktur Nano

N. Retno Setiati

Sifat dan Proses dalam Beton dilihat dari Skala Struktur Nano



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
www.pusjatan.pu.go.id

SIFAT DAN PROSES DALAM BETON DILIHAT DARI SKALA STRUKTUR NANO

N. Retno Setiati

Desember, 2015

Cetakan Ke-1 2015, 120 halaman

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Foto Cover : www.nanosolutions.eu

No. ISBN : 978-602-264-133-9

Kode Kegiatan : 033.11.04.2432.029.029.107

Kata kunci : Beton, Partikel Nano, Nano Silika, *Ultra High Performance Concrete*

Ketua Sub Tim Teknis:

Prof. (R). Ir. Lanneke Tristanto, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2015 pada paket pekerjaan Pengembangan Teknologi Penggunaan Struktur Jembatan sebagai Sensor Identifikasi Jumlah dan Berat Kendaraan dalam kondisi bergerak.

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonko-mersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Diterbitkan oleh:

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Badan Penelitian dan Pengembangan
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40293

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id



PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PUPR dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIK & SUB TIM TEKNIK

Tim Teknis

Ir. Agus Bari Sailendra, MT.
Prof.(R).DR. Ir. M.Sjahdanulirwan, M.Sc
Ir. Pantja Dharma Oetojo, M.Eng.Sc
Ir. IGW Samsi Gunarta, M.Appl.Sc
DR. Ir. Dadang Mohammad, M.Sc
DR. Drs. Max Antameng, MA
DR. Ir. Hedy Rahadian, M.Sc
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc
Ir. George Joseph Winston Fernandez
Ir. Soedarmanto Darmonegoro
Ir. Palgunadi, M.Eng, Sc
Ir. Teuku Anshar
Ir. Gandhi Harahap, M.Eng.Sc
DR. Ir. Rudy Hermawan, M.Sc
Ir. Saktyanu, M.Sc
DR.Ir. Kemas Ahmad Zamhari, M.Sc
DR. Ir. Hasroel, APU
DR. Ir. Chaidir Amin, M.Sc
DR. Ir. IF.Poernornosidhi, M.Sc
Ir. Lanneke Tristanto, APU
Ir. Saroso B.S.

Prof.(R). DR. Ir. Furqon Affandi, M. Sc
Ir. Joko Purnomo, MT
Ir. Moch. Tranggono, M.Sc
DR. Ir. Djoko Widayat, M.Sc
Redrik Irawan, ST., MT.
Ir. Wawan Witarnawan, M.Sc
Dr.Ir.Slamet Mulyono
DR. Ir. Didik Rudjito, M.Sc
Ir. Edward Pauner

Sub Tim Teknis

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto
Ir. Wawan Witarnawan, M.Sc
Ir. Abinhot Sihotang, MT.
Bernardus Herbudiman, ST., MT.
Dr.Eng. Ir. Made Suangga, MT.
Dr.tech Ir. Aswandy, MT.
Ir. Ahmad Yunaldi, MM.
Dr.Eng Ir. Fauzri Fahimuudin, M.Sc.Eng
Ir. Koesno Agus
Ir. Sumargo, M.Sc., Ph.D
Ir. Samun Haris, MT.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena atas bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan kegiatan penelitian Tahun Anggaran 2015 dengan tema “ Penyusunan Naskah Ilmiah Sifat Dan Proses Dalam Beton Dilihat Dari Skala Struktur Nano”.

Penelitian ini merupakan awal dari kegiatan Renstra (2015-2019) di bidang penerapan nanoteknologi khususnya untuk jembatan. Rangkaian penelitian ini dimulai dengan pemanfaatan material lokal dalam hal ini pasir silika sebagai bahan dasar nanomaterial. Penambahan nanosilika ke dalam campuran beton dapat meningkatkan kinerja beton baik dari sifat mekanik maupun durabilitas.

Naskah ilmiah ini terdiri dari Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Studi Literatur, Bab 3 Metodologi, Bab 4 Analisis dan Pembahasan, serta Bab 5 Kesimpulan dan Saran. Lingkup penelitian yang dilakukan terdiri dari pengadaan material pasir silika alam dari beberapa wilayah di Indonesia, pengujian kandungan SiO_2 dari masing-masing jenis pasir silika, pengujian karakteristik dan reaktifitas, serta proses sintesis pasir silika menjadi nanomaterial.

Hubungan kerjasama dilakukan dengan beberapa instansi seperti LIPI, ITS, ITB, Universitas Sriwijaya, Universitas Pancasila, Balai Besar Keramik, dan PT. Indocement Tunggal Prakarsa. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para narasumber atas masukan, saran, dan kritik yang disampaikan pada saat diskusi teknik.

Ucapan terima kasih juga Penulis sampaikan kepada Kepala Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Kepala Seksi Litbang, Kepala Seksi Rapyan, anggota tim, dan rekan-rekan yang sudah membantu dalam menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa naskah ilmiah ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu Penulis sangat mengharapkan adanya masukan dan saran bagi penyempurnaan naskah ini. Semoga naskah ilmiah ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, Desember 2015

N. Retno Setiati

Penyusun

DAFTAR ISI

PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATANIII

KATA PENGANTAR V

DAFTAR ISIVII

DAFTAR TABELIX

DAFTAR GAMBAR..... X

BAB 1. PENDAHULUAN 13

 Latar Belakang.....13

 Rumusan Masalah18

 Tujuan.....18

 Lingkup Penelitian.....19

 Hipotesis.....20

 Sistematika Penulisan.....20

BAB 2. STUDI LITERATUR 23

 Sejarah Perkembangan Nano Teknologi.....23

 Perkembangan Nano Teknologi Untuk Konstruksi Beton27

 Pengertian Beton.....30

 Beberapa penelitian beton dengan nanoteknologi.....39

 Pemanfaatan pasir silika alam sebagai nanomaterial untuk konstruksi beton41

 Pengertian pasir silika.....41

 Potensi pasir silika di Indonesia.....44

Aplikasi Teknologi Beton Berbasis Nano untuk Jembatan	48
---	----

BAB 3. METODOLOGI 55

Umum.....	55
Survei potensi material pasir silika alam	56
Sintesis nanomaterial / metode pembuatan pasir silika menjadi nanosilika alam.....	60
<i>Planetary ball mill (PBM)</i>	62
<i>Polishing Liquid Milling Technology (PLMT)</i>	63
<i>High Energy Milling Elips 3-D Motion</i>	65
Sonifikasi.....	66
Sintesis nanomaterial dengan metode sol-gel	66
Pengujian XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>).....	67
Pengujian XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	68
Pengujian PSA (<i>Particle Size Analyzer</i>).....	69
Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscopic</i>)	71
Material pembentuk beton.....	73
Semen.....	73
Nanosilika	74
Agregat halus	74
Agregat kasar	74
Silika fume	76
Superplasticizer (Sp).....	77
Pembuatan Mortar	78
Pengujian Sifat Mekanik dan Durabilitas.....	78

BAB 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN	81
Hasil Sintesis Nanosilika	81
Hasil Sintesis Submikro-Nanopartikel Pasir Silika.....	87
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	93
Kesimpulan.....	93
Saran.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi (%) dan kadar senyawa kimia semen Portland	35
Tabel 2.2 Karakteristik senyawa penyusun semen Portland.....	36
Tabel 2.3 Komposisi senyawa pasir silika	44
Tabel 3.1 Prosentase komposisi kimia semen tipe I (Saloma, 2014).....	73
Tabel 3.2 Prosentase komposisi kimia pasir silika komersil Bangka.....	75
Tabel 3.3 Komposisi campuran mortar dengan berbagai variasi nanosilika...	78
Tabel 4.1 Hasil uji XRF pasir silika alam asal Bolakme, kabupaten Jayawijaya, Papua.....	82
Tabel 4.2 Hasil uji XRF pasir silika alam asal kabupaten Wamena, Papua.....	82
Tabel 4.3 Hasil uji XRF pasir silika alam asal Sumatera Barat.....	83
Tabel 4.4 Hasil uji XRF pasir silika komersil I asal Bangka	83
Tabel 4.5 Hasil uji XRF pasir alam asal Bangka	84
Tabel 4.6 Kandungan oksida pasir silika.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta penyebaran sumber pasir silika di Indonesia	17
Gambar 2.1 Prinsip pengisian pori-pori pada material UHPC	28
Gambar 2.2 Kiri, foto REM beton konvensional. (lebar gambar 23 μm). Kanan, foto REM UHPC (lebar gambar 7 μm)	29
Gambar 2.3 Pasir silika bangka yang diproses menjadi nanosilika dan nanosilika komersil	40
Gambar 2.4 Lokasi quari pasir silika Bangka	41
Gambar 2.5 Proses pencucian pasir silika Bangka	42
Gambar 2.6 Pengeringan pasir silika Bangka	42
Gambar 2.7 Pasir silika Bangka komersil	43
Gambar 2.8 Jembatan Gärtnerplatz (Kassel – Jerman)	51
Gambar 2.9 Tampak struktur jembatan dengan pipa baja sebagai struktur rangka dan dengan balok UHPC sebagai <i>upper chord</i>	51
Gambar 2.10 Segmen rangka jembatan	52
Gambar 2.11 Tampak sambungan rekatan pelat lantai UHPC dengan balok <i>upper chord</i> UHPC dan detail pertemuan batang diagonal rangka baja dengan <i>upper chord</i> UHPC	52
Gambar 2.12 Pekerjaan untuk merekatkan lantai jembatan diatas <i>upper chord</i> dengan epoksi	52
Gambar 3.1 Tahapan pelaksanaan penelitian	56
Gambar 3.2 Jenis pasir silka alam asal Sumatera Barat	57
Gambar 3.3 Jenis pasir silka alam asal Pulau Bangka	58
Gambar 3.4 Pasir silka alam dan komersil asal Pulau Bangka	58

Gambar 3.5 Jenis pasir silka alam asal Papua	59
Gambar 3.6 Pasir silka alam Papua dan pasir silika komersil Bangka	60
Gambar 3.7 Skema sintesis nano partikel.....	61
Gambar 3.8 <i>Planetary ball mill</i> (PBM).....	63
Gambar 3.9 <i>Polishing Liquid Milling Technology</i> PLMT.....	64
Gambar 3.10 Alat <i>High Energy Milling Elips 3-D Motion</i>	65
Gambar 3.11 Alat Sonifikasi.....	66
Gambar 3.12 Skematik proses uji XRF	67
Gambar 3.13 Skematik proses uji XRD	69
Gambar 3.14 Alat uji PSA.....	70
Gambar 3.15 Alat uji SEM.....	72
Gambar 3.16 Nanosilika alam asal Papua.....	74
Gambar 3.17 Jenis <i>silica fume</i> untuk campuran beton nano	77
Gambar 3.18 Jenis <i>superplasticizer</i> untuk campuran beton nano	77
Gambar 3.19 Peralatan pembuatan mortar	79
Gambar 3.20 Benda uji mortar	79
Gambar 4.1 Grafik hasil uji XRD pasir silka komersil I Bangka mesh 325.....	85
Gambar 4.2 Grafik hasil uji XRD nanosilika alam asal Wamena.....	86
Gambar 4.3 Grafik hasil uji XRD pasir silika alam asal Wamena, Papua.....	88
Gambar 4.4 Grafik hasil uji XRD pasir silika komersil asal Bangka	88
Gambar 4.5 Grafik hasil uji PSA pasir silika alam asal Wamena, Papua	89
Gambar 4.6 Grafik hasil uji PSA pasir silika komersil asal Bangka.....	90

1

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Konsep nano teknologi pertama kali diperkenalkan oleh Richard Feynman pada sebuah pidato ilmiah yang diselenggarakan oleh *American Physical Society* di Caltech (*California Institute of Technology*), pada tanggal 29 Desember 1959. dengan judul “*There’s Plenty of Room at the Bottom*”. Richard Feynman adalah seorang ahli fisika dan pada tahun 1965 memenangkan hadiah Nobel dalam bidang fisika. Istilah nano teknologi pertama kali diresmikan oleh Prof. Norio Taniguchi dari *Tokyo Science University* pada tahun 1974 dalam makalahnya yang berjudul “*On the Basic Concept of ‘Nano-Technology’*,” Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.” Pada tahun 1980 an definisi nano teknologi dieksplorasi lebih jauh lagi oleh Dr. Eric Drexler melalui bukunya yang berjudul “*Engines of Creation: The coming Era of Nanotechnology*”. Nano teknologi adalah pembuatan dan penggunaan materi atau devais pada ukuran sangat kecil. Materi atau devais ini berada pada ranah

1 hingga 100 nanometer (nm). Satu nm sama dengan satu permilyar meter (0.000000001 m), yang berarti 50.000 lebih kecil dari ukuran rambut manusia. Ilmuwan menyebut ukuran pada ranah 1 hingga 100 nm ini sebagai skala nano (*nanoscale*), dan material yang berada pada ranah ini disebut sebagai kristal-nano (*nanocrystals*) atau material nano (*nano materials*). Skala nano terbilang unik karena tidak ada struktur padat yang dapat diperkecil. Hal unik lainnya adalah bahwa mekanisme dunia biologis dan fisis berlangsung pada skala 0,1 hingga 100 nm. Pada dimensi ini material menunjukkan sifat fisis yang berbeda, sehingga para ilmuwan berharap akan menemukan efek yang baru pada skala nano dan memberi terobosan bagi teknologi. Teknologi nano saat ini berada pada masa pertumbuhannya, dan tidak seorang pun yang dapat memprediksi secara akurat apa yang akan dihasilkan dari perkembangan penuh bidang ini di beberapa dekade kedepan. Meskipun demikian, para ilmuwan yakin bahwa teknologi nano akan membawa pengaruh yang penting di bidang medis dan kesehatan; produksi dan konservasi energi; kebersihan dan perlindungan lingkungan; elektronik, komputer dan sensor; dan keamanan dan pertahanan dunia. Ilustrasi ukuran nano, bahwa makhluk hidup tersusun atas sel-sel yang memiliki diameter $\pm 10 \mu\text{m}$. Bagian dalam sel memiliki ukuran yang lebih kecil lagi, bahkan protein dalam sel memiliki ukuran $\pm 5 \text{ nm}$ yang dapat diperbandingkan dengan nano partikel buatan manusia. Satu nanometer berukuran sepermilyar meter, atau sepersejuta milimeter = ukuran 1/50.000 kali diameter rambut manusia. Diperkirakan dalam 5 tahun kedepan seluruh aspek kehidupan manusia akan menggunakan produk-produk yg menggunakan teknologi nano yg diaplikasikan dalam bidang tertentu.

Pemerintah Jepang, melalui Federasi Organisasi Ekonomi Jepang (*Kaidanren*) membentuk *Expert Group on Nano Technology* sebagai motor penelitian nano teknologi. AS mulai serius mengembangkan nano teknologi tahun 2000 dan mendirikan *National Nano Technology Initiative*. Selain badan pemerintahan, perusahaan swasta juga serius mengadakan riset pengembangan nano teknologi. Nano teknologi berdampak pada bidang ilmu pengetahuan dan rekayasa serta setiap sisi kehidupan manusia sebagaimana yang kita ketahui dalam dekade pertama abad ke-21 ini. Aplikasi sebagian besar inovasi nano teknologi saat ini bersifat spekulatif dan teoritis, Namun banyak juga yang sudah menjadi aplikasi praktis, misalnya tabung nano karbon, yaitu molekul

karbon berbentuk pipa yang berstruktur unik serta mempunyai sifat-sifat yang dimiliki arus listrik. Tabung nano karbon sudah diaplikasikan pada layar beresolusi tinggi dan memperkuat materi-materi di bidang industri. Contoh lain adalah *IBM Zurich Research Laboratory* yang dipimpin oleh Petter Yettiger dan Gerd Binning, mengembangkan instrumen penyimpan data sebesar jarum nano dengan teknik *scanning tunneling microscope*. Sehingga IBM mampu menyimpan 25 juta halaman buku dalam alat penyimpanan yang ukurannya hanya sebesar perangko. Prototipe alat penyimpan data ini dinamakan *Millipede*. *Intel Corporation* pun mengembangkan prosesor yang memiliki kemampuan sepuluh kali lipat dibanding Pentium 4.

Pengembangan nano teknologi di Indonesia tidak kalah gaungnya. Diakui bersama bahwa Indonesia memiliki sumber daya alam mineral yang melimpah untuk digunakan sebagai bahan baku *nanomaterial* dan sumber energi. Sejak didirikannya Masyarakat Nano Indonesia (MNI) tahun 2005, penelitian dan pengembangan (litbang) nano teknologi kian gencar dilakukan oleh peneliti/perekayasa baik di lembaga riset maupun universitas. Dukungan pemerintah mengalir dengan dikeluarkannya *Roadmap Pengembangan Industri Berbasis Nano Teknologi* oleh Kementerian Perindustrian (Kemenperin) tahun 2008. Bidang material maju yang mayoritas berbasis nano teknologi juga menjadi salah satu bidang fokus dalam Agenda Riset Nasional (ARN) Kementerian Riset dan Teknologi (Kemenristek). Hasil survei terhadap industri juga menunjukkan bahwa 20,3% industri di Indonesia sudah menerapkan nano teknologi, meskipun hampir 89% bahan bakunya masih impor. Kondisi di atas menunjukkan bahwa Indonesia memiliki peluang dan potensi baik secara sumber daya manusia maupun *stackholder* untuk melakukan pengembangan nano teknologi untuk mengatasi permasalahan di masyarakat (<http://asrykotten.blogspot.com/2014/03/v-behaviorurldefaultvmlo.html>).

Perkembangan nano teknologi dalam bidang kesehatan, antara lain “mesin nano” yang disuntikan ke dalam tubuh guna memperbaiki jaringan atau organ tubuh yang rusak. Penderita hipertensi, misalnya, kini tak perlu lagi disuntik atau mengkonsumsi obat, cukup hanya disemprot saja ke bagian tubuh tertentu. Nano teknologi mencakup pengembangan teknologi dalam skala nanometer, biasanya 0,1 sampai 100 nm (satu nanometer sama dengan seperseribu mikrometer atau sepersejuta milimeter). Nano teknologi telah dapat

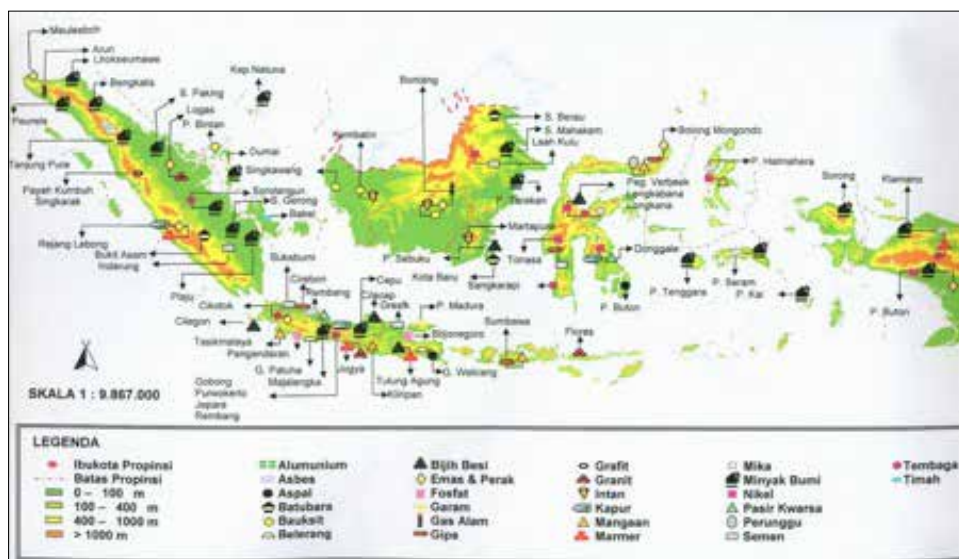
merekayasa obat hingga dapat mencapai sasaran dengan dosis yang tepat, termasuk peluang untuk mengatasi penyakit-penyakit berat seperti tumor, kanker, HIV dan lain lain.

Dalam bidang industri, berbagai terobosan dilakukan dengan nano teknologi untuk menggantikan bahan baku industri yang kian langka. Jepang pada tahun 1997 membuat proyek ultra baja untuk mengembangkan teknologi konservasi baja yang memiliki kekuatan dua kali lipat dari baja biasa dan lebih efisien. Hal ini dapat menjadi solusi bagi krisis baja yang melanda dunia beberapa bulan terakhir akibat melonjaknya permintaan baja dari Cina. Mulai tahun 2010, produk-produk industri dalam skala apa pun akan menggunakan material hasil rekayasa nano teknologi. Perkembangan pesat ini akan mengubah wajah teknologi pada umumnya karena nano teknologi merambah semua bidang ilmu. Tidak hanya bidang rekayasa material seperti komposit, polimer, keramik, supermagnet, dan lain-lain. Bidang-bidang seperti biologi (terutama genetika dan biologi molekul lainnya), bahan kimia dan rekayasa akan turut berkembang dengan pesat. Manusia akan mengecat mobil dengan cat nano partikel yang mampu memantulkan panas sehingga kendaraan tetap sejuk walau diparkir di panas terik matahari. Kawat tembaga nantinya akan sangat jarang digunakan (terutama dalam *hardware computer*) karena digantikan dengan konduktor nano karbon yang lebih tinggi konduktivitasnya.

Nano teknologi juga sudah berhasil menyodorkan suatu material hebat yang sangat ringan, tetapi kekuatannya 100 kali lebih kuat dari baja. Material hebat ini diberi nama *Carbon Nano-Tube* (CNT). Material ini hanya tersusun dari atom karbon (C), seperti grafit dan berlian, sangat kuat tetapi juga ringan, sehingga menara dapat dibuat lebih tinggi dan kabel dapat dibuat lebih panjang dan kuat.

Dalam bidang konstruksi, nano teknologi menjadikan kekuatan beton dua kali lebih kokoh, tahan gempa, dan kedap air dengan ditemukannya bahan konstruksi nano silika, suatu jenis mineral yang melimpah ruah di Indonesia dan diolah melalui teknologi nano. Dengan mencampur 10 persen bahan nano silika ke dalam beton, kekuatan bertambah menjadi dua kali lipat (Nurul, 2009).

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka perlu dikembangkan pemanfaatan kekayaan alam Indonesia dengan nano teknologi. Salah satu material



Gambar 1.1. Peta penyebaran sumber pasir silika di Indonesia
(Sumber : <http://www.crayonpedia.org>)

alam yang memiliki potensi dikembangkan adalah pasir silika (Jonbi, 2013). Indonesia memiliki cadangan pasir silika yang relatif besar dan terdapat di beberapa propinsi seperti Sumatera Barat, Bangka Belitung, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Papua (**Gambar 1-1**).

Salah satu peluang terkait penggunaan nanosilika dari potensi pasir silika yang ada di Indonesia adalah membuat nanosilika yang berasal dari pasir silika dengan nano teknologi melalui peralatan dan fasilitas yang ada di Indonesia. Seiring dengan pesatnya pembangunan di Indonesia, penggunaan nano silika berbasis material lokal sangat diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton. Hal lain adalah belum adanya standar desain campuran terkait nanobeton, belum efisiensinya penggunaan material dasar pembentuk beton, belum adanya metode praktis untuk penerapan di lapangan, dan keterbatasan peralatan yang ada di Indonesia. Oleh karena itu diperlukan suatu penelitian untuk mengembangkan pasir silika yang merupakan material alam Indonesia menjadi nano silika alam. Nano silika yang dihasilkan dapat digunakan untuk membuat beton dengan kinerja yang lebih baik dibandingkan beton konvensional.

RUMUSAN MASALAH

Sampai saat ini penelitian mengenai beton dengan kuat tekan dan durabilitas tinggi di Indonesia masih sangat terbatas. Salah satu penyebabnya adalah penggunaan material dasar yang belum efisien. Dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan, pembuatan HPC maupun UHPC dibuat tanpa menggunakan agregat kasar. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan semen dalam 1 m³ beton meningkat menjadi (30-40)% (Saloma, 2014). Tingginya penggunaan semen tersebut merupakan masalah yang serius terhadap isu lingkungan, karena pabrik semen mengeluarkan 1 ton CO₂ untuk memproduksi 1 ton klinker. Potensi penggunaan nanosilika reaktif diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen. Hal lain yang menjadi kendala adalah terhambatnya proses sintesis material dalam skala nano karena keterbatasan teknologi di Indonesia untuk mendapatkan nanomaterial.

TUJUAN

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan beton kinerja tinggi dengan durabilitas yang tinggi pula. Beton kinerja tinggi dapat diperoleh dengan meningkatkan kepadatan dan memperbaiki sifat-sifat mekanik atau kimiawi bahan pengikatnya. Dalam penelitian ini digunakan nanosilika alam dan nanosilika komersil sebagai bahan pengganti semen untuk memperbaiki sifat mekanis beton. Nanosilika akan bereaksi dengan C₃S dan C₂S dalam semen dan menghasilkan gel CSH-2 yang akan membentuk suatu ikatan gel yang sangat kuat dan padat dalam beton. Selanjutnya reduksi *kalsium hidroksida* (Ca(OH)₂) oleh SiO₂ akan mengurangi unsure pembentuk *ettringite* sehingga mengurangi sensitifitas beton terhadap serangan sulfat, sehingga beton tidak mudah ditembus air dan tahan korosi. Pengujian eksperimental di laboratorium bertujuan:

1. Mengembangkan potensi pasir silika Indonesia untuk dijadikan nanosilika alam dengan memanfaatkan nano teknologi, menggunakan peralatan dan metode yang tersedia di Indonesia;
2. Mengetahui peningkatan sifat mekanik dan durabilitas dengan penambahan nanosilika pada campuran beton;

3. Mengetahui komposisi prosentase optimum dari nanosilika alam Papua dan nanosilika komersil Bangka terhadap campuran beton;
4. Mengetahui perilaku secara mikroskopik dari beton dengan adanya penambahan nanosilika

LINGKUP PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah survei material lokal pasir silika di propinsi Papua, Sumatera Barat, dan pulau Bangka. Studi eksperimental terhadap beton dengan menggunakan nano silika alam asal Papua dan nano silika komersil asal Bangka. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan berupa nanosilika alam asal Papua dan nanosilika komersil asal pulau Bangka dengan ukuran < 100 nm. Semen yang digunakan adalah semen Tipe I OPC (*Ordinary Portland Cement*);
2. Nanomaterial yang digunakan diperoleh dari hasil sintesis dengan metode *liquid polishing milling* yang dikembangkan di Balai Besar Keramik Bandung dan Pusat Penelitian Metalurgi dan Material BPPT Serpong;
3. Pengujian dilakukan dengan membuat benda uji mortar dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm;
4. Pembuatan mortar menggunakan pasir silika komersil Bangka dengan ukuran *mesh* 325;
5. Komposisi nanosilika dibuat dalam variasi 5%, 10%, dan 15% terhadap berat semen;
6. Pengujian sifat mekanik berupa kuat tekan mortar yang dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari;
7. Aspek durabilitas yang diamati adalah uji perendaman dalam larutan sulfat sesuai standar ASTM C 1012;
8. Pengujian mikrostruktur beton dengan dan tanpa penambahan nanosilika dengan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

HIPOTESIS

Material dengan skala nanometer memiliki sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dibandingkan material dengan ukuran besar, sehingga beton yang dihasilkan memiliki karakteristik yang lebih baik. Penggunaan nanosilika sebagai bahan substitusi parsial semen dengan prosentasi tertentu mampu meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton.

SISTEMATIKA PENULISAN

Naskah ilmiah ini terdiri dari beberapa bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini membahas hal-hal yang melatarbelakangi dilakukan penelitian, rumusan masalah, tujuan, lingkup penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Studi Literatur

Bab ini membahas beberapa teori mengenai konsep nano teknologi terutama aplikasi nanomaterial untuk konstruksi beton dan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan terkait nanosilika sebagai bahan konstruksi beton. Dalam bab 2 dijelaskan mengenai salah satu aplikasi nano teknologi untuk konstruksi jembatan, hasil-hasil penelitian sifat mekanik dan durabilitas beton dari berbagai referensi baik jurnal maupun prosiding.

Bab 3 Metodologi

Bab ini membahas beberapa hal yang dilakukan dalam pengujian di laboratorium, mulai dari pengembangan pasir silika alam asal Papua dan pasir silika komersil asal Bangka menjadi nanosilika, pengujian reaktifitas nanosilika sebagai bahan campuran untuk beton, pengujian material pembentuk beton, pembuatan, benda uji mortar, dan prosedur pengujian.

Bab 4 Analisis dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil pengujian yang telah dilakukan. Hasil uji tersebut kemudian dianalisis dan dievaluasi. Pembahasan dimulai dari hasil pemilihan material dan proses pembuatan nanosilika yang berasal dari material lokal Indonesia. Pembahasan hasil pengembangan pembuatan mortar dengan dan tanpa menggunakan nanosilika alam dan nanosilika komersil.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan pembahasan yang diberikan dalam bab terdahulu, berisi kesimpulan yang dihasilkan dari rangkaian penelitian dan analisis yang dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. ■

2

STUDI LITERATUR

SEJARAH PERKEMBANGAN NANO TEKNOLOGI

(DIKUTIP DARI [HTTP://ALUMNI-UT.COM/NANO-TECHNOLOGY/30](http://ALUMNI-UT.COM/NANO-TECHNOLOGY/30) NOP. 2012)

Konsep nano teknologi pertama kali diperkenalkan oleh Richard Feynman pada sebuah pidato ilmiah yang diselenggarakan oleh *American Physical Society* di Caltech (*California Institute of Technology*), pada tanggal 29 Desember 1959. dengan judul “*There’s Plenty of Room at the Bottom*”. Richard Feynman adalah seorang ahli fisika dan pada tahun 1965 memenangkan hadiah Nobel dalam bidang fisika. Istilah nano teknologi pertama kali diresmikan oleh Prof. Norio Taniguchi dari *Tokyo Science University* pada tahun 1974 dalam makalahnya yang berjudul “*On the Basic Concept of ‘Nano-Technology’*,” Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.” Pada tahun 1980 an definisi nano teknologi dieksplorasi lebih jauh lagi oleh Dr. Eric Drexler melalui bukunya yang berjudul “*Engines of Creation*:

The coming Era of Nanotechnology". Nano teknologi adalah pembuatan dan penggunaan materi atau devais pada ukuran sangat kecil. Materi atau devais ini berada pada ranah 1 hingga 100 nanometer (nm). Satu nm sama dengan satu permilyar meter (0.000000001 m), yang berarti 50.000 lebih kecil dari ukuran rambut manusia. Ilmuwan menyebut ukuran pada ranah 1 hingga 100 nm ini sebagai skala nano (*nanoscale*), dan material yang berada pada ranah ini disebut sebagai kristal-nano (*nanocrystals*) atau material nano (*nano materials*). Skala nano terbilang unik karena tidak ada struktur padat yang dapat diperkecil. Hal unik lainnya adalah bahwa mekanisme dunia biologis dan fisis berlangsung pada skala 0,1 hingga 100 nm. Pada dimensi ini material menunjukkan sifat fisis yang berbeda, sehingga para ilmuwan berharap akan menemukan efek yang baru pada skala nano dan memberi terobosan bagi teknologi. Teknologi nano saat ini berada pada masa pertumbuhannya, dan tidak seorang pun yang dapat memprediksi secara akurat apa yang akan dihasilkan dari perkembangan penuh bidang ini di beberapa dekade kedepan. Meskipun demikian, para ilmuwan yakin bahwa teknologi nano akan membawa pengaruh yang penting di bidang medis dan kesehatan; produksi dan konservasi energi; kebersihan dan perlindungan lingkungan; elektronik, komputer dan sensor; dan keamanan dan pertahanan dunia. Ilustrasi ukuran nano, bahwa makhluk hidup tersusun atas sel-sel yang memiliki diameter $\pm 10 \mu\text{m}$. Bagian dalam sel memiliki ukuran yang lebih kecil lagi, bahkan protein dalam sel memiliki ukuran $\pm 5 \text{ nm}$ yang dapat diperbandingkan dengan nano partikel buatan manusia. Satu nanometer berukuran sepermilyar meter, atau sepersejuta milimeter = ukuran 1/50.000 kali diameter rambut manusia. Diperkirakan dalam 5 tahun kedepan seluruh aspek kehidupan manusia akan menggunakan produk-produk yg menggunakan teknologi nano yg diaplikasikan dalam bidang tertentu.

Pemerintah Jepang, melalui Federasi Organisasi Ekonomi Jepang (*Kaidanren*) membentuk *Expert Group on Nano Technology* sebagai motor penelitian nano teknologi. AS mulai serius mengembangkan nano teknologi tahun 2000 dan mendirikan *National Nano Technology Initiative*. Selain badan pemerintahan, perusahaan swasta juga serius mengadakan riset pengembangan nano teknologi. Nano teknologi berdampak pada bidang ilmu pengetahuan dan kerekayasaan serta setiap sisi kehidupan manusia sebagaimana yang kita ketahui dalam dekade pertama abad ke-21 ini. Aplikasi sebagian besar inovasi

nano teknologi saat ini bersifat spekulatif dan teoritis, Namun banyak juga yang sudah menjadi aplikasi praktis, misalnya tabung nano karbon, yaitu molekul karbon berbentuk pipa yang berstruktur unik serta mempunyai sifat-sifat yang dimiliki arus listrik. Tabung nano karbon sudah diaplikasikan pada layar beresolusi tinggi dan memperkuat materi-materi di bidang industri. Contoh lain adalah *IBM Zurich Research Laboratory* yang dipimpin oleh Petter Yettiger dan Gerd Binnig, mengembangkan instrumen penyimpan data sebesar jarum nano dengan teknik *scanning tunneling microscope*. Sehingga IBM mampu menyimpan 25 juta halaman buku dalam alat penyimpanan yang ukurannya hanya sebesar perangk. Prototipe alat penyimpan data ini dinamakan *Millipede*. *Intel Corporation* pun mengembangkan prosesor yang memiliki kemampuan sepuluh kali lipat dibanding Pentium 4.

Pengembangan nano teknologi di Indonesia tidak kalah gaungnya. Diakui bersama bahwa Indonesia memiliki sumber daya alam mineral yang melimpah untuk digunakan sebagai bahan baku *nanomaterial* dan sumber energi. Sejak didirikannya Masyarakat Nano Indonesia (MNI) tahun 2005, penelitian dan pengembangan (litbang) nano teknologi kian gencar dilakukan oleh peneliti/perekayasa baik di lembaga riset maupun universitas. Dukungan pemerintah mengalir dengan dikeluarkannya *Roadmap Pengembangan Industri Berbasis Nano Teknologi* oleh Kementerian Perindustrian (Kemenperin) tahun 2008. Bidang material maju yang mayoritas berbasis nano teknologi juga menjadi salah satu bidang fokus dalam Agenda Riset Nasional (ARN) Kementerian Riset dan Teknologi (Kemristek). Hasil survei terhadap industri juga menunjukkan bahwa 20,3% industri di Indonesia sudah menerapkan nano teknologi, meskipun hampir 89% bahan bakunya masih impor. Kondisi di atas menunjukkan bahwa Indonesia memiliki peluang dan potensi baik secara sumber daya manusia maupun *stackholder* untuk melakukan pengembangan nano teknologi untuk mengatasi permasalahan di masyarakat (<http://asrykotten.blogspot.com/2014/03/v-behaviorurldefaultvmlo.html>).

Perkembangan nano teknologi dalam bidang kesehatan, antara lain “mesin nano” yang disuntikan ke dalam tubuh guna memperbaiki jaringan atau organ tubuh yang rusak. Penderita hipertensi, misalnya, kini tak perlu lagi disuntik atau mengkonsumsi obat, cukup hanya disemprot saja ke bagian tubuh tertentu. Nano teknologi mencakup pengembangan teknologi dalam skala

nanometer, biasanya 0,1 sampai 100 nm (satu nanometer sama dengan seperseibu mikrometer atau sepersejuta milimeter). Nano teknologi telah dapat merekayasa obat hingga dapat mencapai sasaran dengan dosis yang tepat, termasuk peluang untuk mengatasi penyakit-penyakit berat seperti tumor, kanker, HIV dan lain lain.

Dalam bidang industri, berbagai terobosan dilakukan dengan nano teknologi untuk menggantikan bahan baku industri yang kian langka. Jepang pada tahun 1997 membuat proyek ultra baja untuk mengembangkan teknologi konservasi baja yang memiliki kekuatan dua kali lipat dari baja biasa dan lebih efisien. Hal ini dapat menjadi solusi bagi krisis baja yang melanda dunia beberapa bulan terakhir akibat melonjaknya permintaan baja dari Cina. Mulai tahun 2010, produk-produk industri dalam skala apa pun akan menggunakan material hasil rekayasa nano teknologi. Perkembangan pesat ini akan mengubah wajah teknologi pada umumnya karena nano teknologi merambah semua bidang ilmu. Tidak hanya bidang rekayasa material seperti komposit, polimer, keramik, supermagnet, dan lain-lain. Bidang-bidang seperti biologi (terutama genetika dan biologi molekul lainnya), bahan kimia dan rekayasa akan turut berkembang dengan pesat. Manusia akan mengecat mobil dengan cat nano partikel yang mampu memantulkan panas sehingga kendaraan tetap sejuk walau diparkir di panas terik matahari. Kawat tembaga nantinya akan sangat jarang digunakan (terutama dalam *hardware computer*) karena digantikan dengan konduktor nano karbon yang lebih tinggi konduktivitasnya.

Nano teknologi juga sudah berhasil menyodorkan suatu material hebat yang sangat ringan, tetapi kekuatannya 100 kali lebih kuat dari baja. Material hebat ini diberi nama *Carbon Nano-Tube* (CNT). Material ini hanya tersusun dari atom karbon (C), seperti grafit dan berlian, sangat kuat tetapi juga ringan, sehingga menara dapat dibuat lebih tinggi dan kabel dapat dibuat lebih panjang dan kuat.

Dalam bidang konstruksi, nano teknologi menjadikan kekuatan beton dua kali lebih kokoh, tahan gempa, dan kedap air dengan ditemukannya bahan konstruksi nano silika, suatu jenis mineral yang melimpah ruah di Indonesia dan diolah melalui teknologi nano. Dengan mencampur 10 persen bahan nano silika ke dalam beton, kekuatan bertambah menjadi dua kali lipat.

PERKEMBANGAN NANO TEKNOLOGI UNTUK KONSTRUKSI

BETON (DIKUTIP DARI RIDHO BAYUAJI, [HTTPS://BETONKUYANGHIJAU.](https://betonkuyanghiiau.wordpress.com/about/)

[WORDPRESS.COM/ABOUT/](https://betonkuyanghiiau.wordpress.com/about/))

Pada zaman era globalisasi ini, perkembangan inovasi teknologi yang sedang ramai dibicarakan adalah teknologi nano. Dalam dunia konstruksi sipil, pengembangan teknologi nano dalam menghasilkan beton dengan mutu yang sangat tinggi dan awet biasanya disebut sebagai beton nano. Bahkan menurut Ketua Masyarakat Nanoteknologi Indonesia Dr. Nurul Taufiq Rochman (2009) dengan teknologi nanosilika, konstruksi bangunan sipil dapat menjadi dua kali lebih kokoh, lebih tahan gempa, dan lebih kedap air. Material nanosilika dapat dihasilkan melalui pengolahan silika yang melimpah ruah di Indonesia. Dengan campuran 10 persen bahan nanosilika, kekuatan beton bertambah menjadi dua kali lipat. Bahan tersebut dapat ditemukan di berbagai tempat seperti pantai, pegunungan, dan lain-lain sehingga dapat diperoleh dengan mudah dan murah. Mikrosilika adalah silika yang digiling dengan peralatan penggilingan biasa sebagai bahan konstruksi beton. Namun nanosilika diproses dengan ball mill yang hasilnya menjadi lebih halus lagi sehingga menjadi lebih kuat.

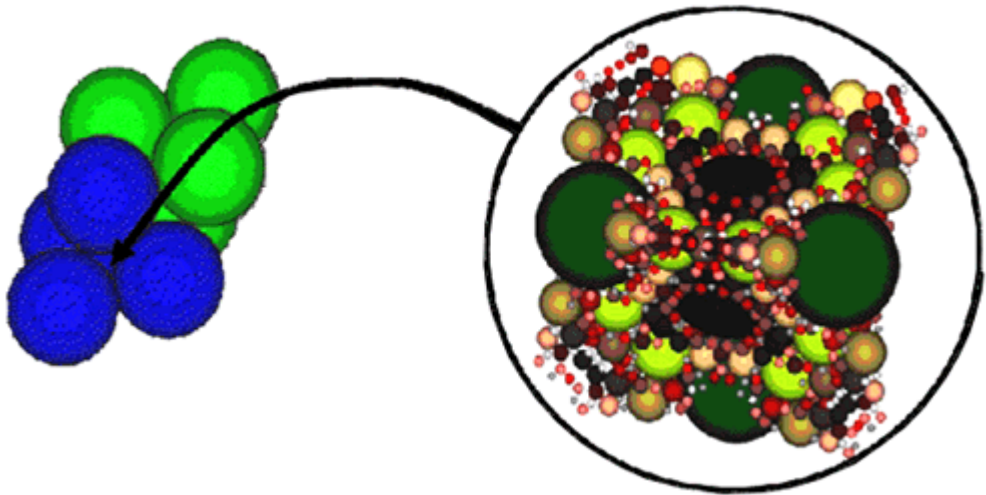
Mungkinkah beton sekuat baja? Pertanyaan tersebut belum muncul di tahun 1950-an, saat beton untuk pertama kalinya diperkenalkan di dunia konstruksi Indonesia oleh alm. Prof. Roosseno, Bapak Beton Indonesia, sebagai bahan konstruksi yang andal dan murah. Kekuatan beton saat itu kalau dibandingkan dengan kekuatan baja yang mencapai 2400 kg/cm^2 hanyalah sepersepuluhnya.

Di Institute of Structure, University of Kassel, tempat penulis bekerja, Prof. Schmidt dan Prof. Fehling, selama satu dekade ini telah melakukan penelitian berbasis teknologi nano, untuk membuat campuran beton dengan kekuatan tekannya mencapai kekuatan baja, yaitu sebesar $(2000 - 2500) \text{ kg/cm}^2$. Beton generasi baru ini dikenal dengan nama Ultra High Performance Concrete disingkat UHPC.

Susunan gradasi dari material yang membentuk beton generasi baru ini berbeda dengan susunan gradasi beton konvensional yang terletak pada rentang ukuran makro. Susunan gradasi dari material UHPC terdiri dari partikel-partikel sangat halus terletak pada ukuran submikrokopis, dengan rentang

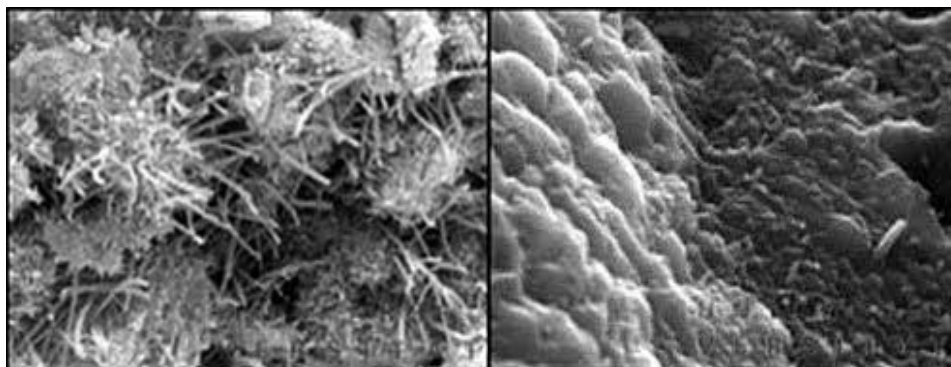
ukuran nanometer disingkat nm (10^{-9} m) sampai ukuran 0,5 mm, yang terdiri dari mikrosilika (yang berukuran antara 50 – 1000 nm), partikel semen (dengan ukuran antara 2 – 100 μm dan pasir halus (dengan ukuran antara 10 – 500 μm).

Dengan basis teknologi nano, terbuka jalan untuk melakukan optimasi dalam mendapatkan susunan material pada suatu volume tertentu yang ultra padat atau disebut sebagai *packing density*. Kepadatan yang sangat tinggi diperoleh karena ruang-ruang kosong yang ada diantara partikel-partikel yang berukuran relatif besar seperti partikel semen dapat diisi butiran debu halus berukuran nanometer seperti mikrosilika ataupun partikel mineral lainnya yang bersifat reaktif maupun tidak. Dengan demikian terbentuklah UHPC sebagai beton dengan susunan struktur yang sangat padat, dimana pori-pori yang terbentuk berada dalam ukuran 2 nm, lebih kecil dari ukuran kapiler atau praktis tidak mengandung lagi pori-pori berukuran kapiler.



Gambar 2.1. Prinsip pengisian pori-pori pada material UHPC (Sumber: Schmidt)

Gambar 2.1 menunjukkan prinsip susunan berbagai ukuran partikel halus yang mengisi pori-pori dan membentuk *packing density* dari material UHPC.



Gambar 2.2. Kiri, foto REM beton konvensional. (lebar gambar 23 μm). Kanan, foto REM UHPC (lebar gambar 7 μm) (Sumber : Schmidt, 2007)

Gambar 2.2 adalah hasil foto REM (*Raster Elektron Mikroskop*) untuk beton konvensional dan UHPC. Pada beton konvensional terlihat jelas pori-pori beton dalam ukuran kapiler, sedangkan pada UHPC pori-pori kapiler ini tidak lagi terlihat. Kekuatan tinggi pada UHPC terutama disebabkan karena rendahnya porositas yang ada pada material UHPC, dimana semen sebagai matrik, mengikat partikel halus mikro silika yang bersifat reaktif maupun partikel halus mineral lainnya yang tidak reaktif dengan pasir halus sebagai agregat, membentuk susunan struktur material yang homogen.

Akibat sedikitnya pori-pori yang ada pada suatu volume tertentu dari UHPC, maka pada campuran UHPC jumlah air dapat dikurangi sampai mencapai kurang lebih 20 % dari berat semen. Untuk menjamin agar campuran UHPC yang sedikit air ini dapat tetap dikerjakan, maka pada campuran UHPC diberi tambahan *superplastisizer*, yang paling baik adalah *superplastisizer* tipe *Polycarboxylatether* (PCE). *Superplastisizer* ini akan secara efektif membuat beton segar, walaupun kandungan airnya sedikit, menjadi sangat plastis sehingga dapat dikerjakan pengecorannya ke dalam cetakan.

Akibat tingginya kekuatan yang ada pada UHPC, beton ini mempunyai keruntuhan yang sangat getas. Energi yang tersimpan sebelum mencapai keruntuhan sangat besar, energi yang besar ini akan terlepas layaknya sebagai ledakan pada saat UHPC mengalami keruntuhan. Untuk memperbaiki daktilitas dari UHPC agar keruntuhannya tidak tiba-tiba, maka pada campuran UHPC diberikan serat baja ukuran diameter 0,15 mm dan panjang 6 mm dalam jumlah tertentu.

Dengan tercapainya kekuatan beton yang menyamai kekuatan baja, maka dengan UHPC dapat dibuat desain konstruksi beton yang lebih estetik yaitu konstruksi yang ringan dan langsing. Ringannya berat sendiri struktur UHPC memungkinkan dicapainya bentang yang lebih panjang dari struktur jembatan.

Selain mempunyai kekuatan tinggi, UHPC sebagai material tanpa pori-pori kapiler akan memberikan kinerja yang jauh lebih baik daripada beton konvensional. Tingginya *packing density* menyebabkan UHPC mengalami proses karbonisasi yang minimal, daya tahan terhadap abrasi zat-zat kimia berbahaya sangat baik, memberi perlindungan terhadap korosi tulangan di dalam konstruksi juga lebih baik. Berbagai keunggulan tersebut diataslah yang menyebabkan para peneliti lebih suka menggunakan istilah *Ultra High Performance* daripada istilah *Ultra High Strength*.

UHPC adalah hanya salah satu contoh penggunaan teknologi nano untuk mengembangkan material baru di bidang konstruksi, yang tentu saja layak untuk diteliti dan dikembangkan penggunaannya di Indonesia. Tulisan ini telah dikutip dari Majalah KONSTRUSI, edisi bulan Februari 2009.

PENGERTIAN BETON ([HTTPS://SASTRASIPILINDONESIA.WORDPRESS.COM/2010/06/24/BETON/](https://sastrasipilindonesia.wordpress.com/2010/06/24/beton/))

Beton adalah salah satu material konstruksi yang mudah dibentuk sesuai dengan perkembangan desain arsitektural. Penyusun utama beton adalah semen (sejenis semen yang mempunyai sifat proses hidrasi), air, pasir, kerikil dan bahan tambah yang bersifat memperbaiki sifat makro, mikro, fisik, kimia, keawetan beton, mineral tambahan yang bersifat pengganti semen seperti : pulverized fuel ash (PFA), fly ash, silica fume/micro silica, abu sekam padi, ground granulated blast furnace slag (ggbs), nano silica, dan sebagainya.

Sifat utama beton adalah sangat dominan di kekuatan tekan. Sehingga penelitian di bidang material beton adalah terus memperbaikinya dalam hal kuat tekan. Di sisi lain bahwa beton harus awet terhadap segala kondisi pengaruh lingkungan terutama lingkungan di laut dan lingkungan korosif. Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan beton maupun sifat-sifat beton setelah mengeras perlu diketahui. Sifat-sifat tersebut antara lain :

1. Tahan lama (*durability*), sifat ini merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Dalam hal ini perlu pembatasan nilai faktor air semen maksimum maupun pembatasan dosis semen minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan. Sifat tahan lama pada beton dapat dibedakan dalam beberapa hal, antara lain sebagai berikut:

- Tahan terhadap pengaruh cuaca.

Pengaruh cuaca yang dimaksud adalah pengaruh yang berupa hujan dan pembekuan pada musim dingin, serta pengembangan dan penyusutan yang diakibatkan oleh basah dan kering silih berganti.

- Tahan terhadap pengaruh zat kimia.

Daya perusak kimiawi oleh bahan-bahan seperti air laut, rawa, dan air limbah, zat-zat kimia hasil industri dan air limbah, buangan air kotor, dan sebagainya perlu diperhatikan terhadap keawetan beton.

- Tahan terhadap erosi.

Beton dapat mengalami kikisan yang diakibatkan oleh adanya orang yang berjalan kaki dan lalu lintas diatasnya, gerakan ombak laut, atau oleh partikel-partikel yang terbawa oleh angin dan atau air.

2. Kuat tekan

Kuat tekan beton ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/mm²).

3. Kuat Tarik

Kuat tarik beton jauh lebih kecil dari pada kuat tekannya, yaitu sekitar (10 – 15) % dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi pada balok.

4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton biasanya ditentukan pada (25 – 50)% dari kuat tekan beton.

5. Rangkak (*Creep*)

Merupakan salah satu sifat dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu dibawah beban yang dipikul.

6. Susut (*Shrinkage*)

Merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan

7. Kemampuan pengerjaan (*Workability*)

Workability adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang atau dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadinya perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu. Sifat mampu dikerjakan (*workability*) dari beton sangat terganggu pada sifat bahan, perbandingan campuran, dan cara pengadukan serta jumlah seluruh air bebas. Dengan kata lain, sifat dapat mudah dikerjakan suatu adukan beton dipengaruhi oleh:

- Konsistensi normal PC.
- Mobalitas, setelah aliran dimulai (sebaliknya adalah sifat kekasaran atau perlawanan terhadap gerak).
- Kohesi atau perlawanan terhadap pemisahan bahan-bahan.
- Sifat saling lekat (ada hubungannya dengan kohesi), berarti bahan penyusunannya tidak akan terpisah-pisah sehingga memudahkan pengerjaan-pengerjaan yang perlu dilakukan. Jadi sifat dapat dikerjakan pada beton ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang (dicetak), dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan ataupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat dapat dikerjakan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat mudah dikerjakan antara lain sebagai berikut:

- Banyaknya air yang dipakai dalam campuran aduk beton. Makin banyak air yang digunakan, makin mudah beton itu dikerjakan.
- Penambahan semen ke dalam adukan beton. Hal ini juga menambah kemudahan dikerjakan pada beton, karena biasanya penambahan semen diikuti dengan penambahan air untuk memperoleh harga faktor air semen tetap.
- Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus. Jika campuran pasir dan krikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan yang dipakai, adukan beton akan mudah dikerjakan. Pemakaian butir-butir agregat yang bulat akan mempermudah cara pengerjaan beton. Pemakaian butir maksimum agregat kasar, akan berpengaruh terhadap kemudahan dikerjakan pada adukan beton.
- Cara pemadatan beton dan atau jenis alat yang digunakan. Jika pemadatan beton dilakukan dengan menggunakan alat getar misalnya, diperlukan tingkat kelecekan yang berbeda dibandingkan menggunakan alat yang lain (dikutip dari <http://yoppyinfo.blogspot.com/2009/10/teknologi-beton-semen.html>).

Komponen penyusun beton yang bersifat pengikat atau binder yaitu semen dan air mengalami proses hidrasi. Proses hidrasi adalah proses dimana komposisi kimia semen CaO disingkat C, SiO_2 disingkat S, Al_2O_3 disingkat A, Fe_2O_3 disingkat F, bereaksi dengan air H_2O disingkat (H).

Efek proses hidrasi ini kemudian menjadikan kristal-kristal berukuran mikro dan nano yang disebut gel dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang akan tumbuh terus mengisi rongga-rongga kristal dimana rongga-rongga tersebut berisi air dan tumbuh menjadi kristal yang memadati ruang yang masih kosong.

Beton Mutu Tinggi Normal (NSC), Mutu Tinggi (HSC) dan Mutu Sangat Tinggi (VHSC)

Klasifikasi beton menurut kekuatannya dibagi menjadi tiga, yakni beton mutu normal (NSC) yang berkekuatan antara $(200 - 500) \text{ kg/cm}^2$, beton mutu tinggi (HSC) yang berkekuatan $(500 - 800) \text{ kg/cm}^2$, dan beton mutu sangat tinggi (VHSC) yang berkekuatan lebih dari 800 kg/cm^2 .

Di Indonesia, produksi beton untuk konstruksi bangunan didominasi oleh beton dengan kekuatan (200 – 500) kg/cm². Untuk beton tersebut bisa kita jumpai di pabrik *precast* dan balok-balok beton praktekan.

Konsep Desain Campuran Beton Mutu Tinggi

Bahan Dasar HSC dan VHSC

Pada dasarnya bahan untuk beton *HSC* dan *VHSC* hampir sama dengan beton normal, yakni pasta (semen), agregat kasar (batu pecah), agregat halus (pasir) dan air. Akan tetapi untuk memudahkan pengerjaan, membatasi jumlah volume rongga yang akan mempengaruhi kekuatan suatu beton tersebut. Maka digunakan bahan kimia tambahan dan bahan mineral tambahan tertentu dalam campuran beton, yaitu *Superplastisizer (SP)/water reducer*, *fly ash* (abu terbang), dan *silica fume* (mikro silika). Namun, baru-baru ini telah dikembangkan pula *nano silica*.

Semen

Semen Portland adalah material halus yang terdiri dari bahan-bahan campuran utama seperti kapur, silika, alumina, besi, dan gypsum. Semen disebut juga bahan pengikat hidrolis karena jika semen berhubungan dengan air akan menjadi bahan campuran yang aktif secara kimiawi. Dalam campuran beton, pasta yang dibentuk dari campuran semen dengan air kemudian akan mengeras, dan dalam keadaan mengikat agregat maka akan dihasilkan beton yang keras dan kuat. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Oleh karena itu, walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, tapi karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi sangat penting.

Secara garis besar ada empat senyawa kimia utama yang menyusun semen Portland, yaitu Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C3S, Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C2S, Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C3A, dan Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C4AF. Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat ketika menjadi klinker. Komposisi C3S dan C2S mengambil bagian (70 – 80) % dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan terhadap sifat semen.

Hampir dua pertiga bagian semen terbentuk dari zat kapur yang proporsinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan kurang baik untuk semen karena akan menyebabkan terjadinya disintegrasi semen setelah adanya pengikatan. Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi.

Silika membentuk sekitar seperlima, sedangkan alumina hanya sekitar seperduabelas bagian dalam semen. Silika dalam kadar tinggi, yang biasanya disertai alumina dengan kadar rendah, menghasilkan ikatan semen secara lambat dengan kekuatan tinggi dan meningkatkan ketahanan terhadap agresi kimia Tapi bilamana terjadi keadaan yang sebaliknya, kadar alumina tinggi dan kadar silika rendah, semen mengikat dengan cepat dan kekuatannya tinggi.

Untuk mendapatkan semen yang memiliki sifat tahan sulfat, prinsip dasar yang dipakai adalah berapa banyak kandungan C3A-nya. Semen yang tahan sulfat harus memiliki kandungan C3A tidak lebih dari 5%. Semen yang kandungan C3A-nya tinggi, jika terkena sulfat yang ada dalam air atau tanah maka akan mengeluarkan C3A yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang sehingga mengakibatkan retak-retak pada beton. **Tabel 2.1.** dan **Tabel 2.2.** menunjukkan komposisi kimia dan sifat karakteristik dari senyawa semen Portland.

Tabel 2.1. Komposisi (%) dan kadar senyawa kimia semen Portland

Uraian	Biasa	Pengerasan cepat	Panas rendah	Tahan sulfat
Analisa :				
Kapur	63,1	64,5	60,0	64,0
Silikat	20,6	20,7	22,5	24,4
Alumina	6,3	5,2	5,2	3,7
Besi Oksida	3,6	2,9	4,6	3,0
Senyawa kimia :				
Trikalsium Silikat (C_3S)	40	50	25	40
Dikalsium Silikat (C_2S)	30	21	45	40
Trikalsium aluminat (C_3A)	11	9	6	2
Tetrakalsium Aluminoferrit (C_4AF)	11	9	14	9

Tabel 2.2. Karakteristik senyawa penyusun semen Portland

Nilai	C3S	C2S	C3A	C4AF
Penyemenan	Baik	Baik	Buruk	Buruk
Kecepatan Reaksi	Sedang	Lambat	Cepat	Lambat
Pelepasan panas hidrasi	Sedang	Sedikit	Banyak	Sedikit

Ketika semen dicampur dengan air, maka akan timbul reaksi kimia antara unsur-unsur dalam semen dengan air. Pada tingkat awal sejumlah kecil "retarder" (gyss) cepat terlarut dan dapat berpengaruh terhadap reaksi-reaksi kimia lain yang sedang mulai. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan.

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gam. Jumlah panas yang terjadi bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Panas hidrasi naik sesuai dengan nilai temperatur pada saat hidrasi terjadi. Untuk semen biasa, panas hidrasi bervariasi mulai 37 kalori/gram pada temperatur sekitar 5°C hingga 80 kalori/gram pada temperatur 40°C.

Trikalsium Silikat mengeras dalam beberapa jam, dengan melepas sejumlah panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan beton pada umumnya, terutama dalam 14 hari pertama. Formasi senyawa dikalsium silikat berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat. Senyawa ini berpengaruh terhadap laju peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 sampai 28 hari, dan seterusnya. Semen yang mengandung senyawa dikalsium silikat dalam jumlah banyak mempunyai ketahanan terhadap agresi kimia yang relatif tinggi dengan penyusutan kering relatif rendah. Oleh karena itu, semen ini merupakan semen Portland yang paling awet.

Senyawa trikalsium aluminat mengalami proses hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas sehingga menyebabkan pengerasan awal, tetapi relatif merugikan terhadap kekuatan dan ketahanan terhadap agresi kimiawi, terutama sulfat. Akibat yang akan timbul adalah kecenderungan yang sangat besar terjadinya retak-retak yang disebabkan oleh perubahan volume.

Adanya senyawa tetrakalsium aluminoferrit kurang begitu penting karena tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lainnya.

Agregat

Agregat terbagi atas dua, yakni agregat halus dan agregat kasar. Dalam membuat beton biasanya menggunakan batu pecah dan pasir yang mempunyai peran terhadap kekuatan beton. Sifat-sifat agregat tersebut dapat mempengaruhi sifat-sifat beton, antara lain keawetan, kekuatan, susut dan rangkai, koefisien muai panas, konduktivitas, berat jenis modulus elastisitas, dan biaya. Biasanya untuk membuat HSC dan VHSC, ada persyaratan yang harus terpenuhi, yakni ASTM C33.

Selain itu, karena agregat merupakan bahan utama yang mendominasi campuran beton (60 - 80%), maka kita juga perlu memperhatikan mengenai syarat-syarat agregat yang baik (bentuk, *grading*, *surface*, *texture*, mineralogi, dan kekerasan).

Bahan Tambahan Mineral Silica Fume dan Nano Silica

Silica fume merupakan material yang terdiri dari partikel halus dengan diameter rata-rata 1 mikrometer. Material ini merupakan hasil sampingan dari produksi *silicon* dan *ferro silicon* dan mempunyai kandungan *silicon dioxide* yang tinggi. Berat jenis relatif *silica fume* umumnya berkisar antara (2,2 - 2,5).

Karena tingkat kehalusan dan kandungan silikanya yang cukup tinggi, *silica fume* termasuk material pozzolanik yang sangat reaktif. Sehingga penggunaan untuk *silica fume* dalam campuran beton berkisar antara (5-15) % dari kandungan semen portland. *Silica fume* bereaksi secara pozzolanik dengan *lime* (Ca(OH)_2) selama hidrasi dengan semen untuk membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (CSH).

Kegunaan silika fume secara geometrical adalah kemampuannya mengisi rongga-rongga diantara bahan pasta (*grain of cement*), dan mengakibatkan membaiknya distribusi ukuran pori dan berkurangnya total volume pori. Namun kenyataan di lapangan, ternyata penggunaan silika fume memiliki kekurangan. Beton yang mengandung silika fume mempunyai kecenderungan yang meningkat bahwa beton tersebut akan mengalami retak susut. Untuk itu

kita bisa gunakan beberapa trik, yakni salah satunya adalah beton *silica fume* yang masih segar harus secepatnya diberi perlindungan agar penguapan air yang cepat dapat dicegah. Penggunaan *silica fume* dapat menghasilkan beton yang kedap, awet dan berkekuatan tinggi.

Lalu tentang nano silika, tak jauh berbeda dengan *silica fume*. Hanya saja ukurannya yang sangat kecil (nanometer), membuat reaksi yang diharapkan menjadi lebih cepat, sehingga membuat waktu pengerjaan menjadi lebih cepat pula. Dan ukuran distribusi yang terisi menjadi lebih baik, sehingga kekuatannya menjadi lebih besar. Pengembangan nano silika di Indonesia saat ini belum familiar di kalangan para perencana maupun pelaksana konstruksi. Beberapa keuntungan dari penggunaan silika fume adalah :

- Kekuatan tekan hancurnya lebih tinggi.
- Kekuatan tariknya lebih tinggi.
- Rangkaknya lebih kecil.
- Regangan yang terjadi kecil.
- Susutnya kecil
- Modulus Elastisnya tinggi
- Ketahanan terhadap sulfat tinggi.
- Ketahanan terhadap serangan klorida tinggi
- Ketahanan terhadap keausan tinggi
- Permeabilitas lebih kecil.

Kendala pada saat penggunaan silika fume yaitu saat pelaksanaan, bahaya kesehatan kerja, *air entrainment*, *plastic shrinkage* (susut plastk), dan *quality control* (pengendalian mutu).

Fly Ash

Abu terbang atau *fly ash* adalah hasil limbah dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap. Dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk semen karena kandungan mineralnya hampir sama dengan semen. *Fly ash* juga dapat digunakan sebagai pengganti semen. Di Indonesia sendiri sudah banyak pembuatan beton yang menggunakan *fly ash* karena harganya yang lebih murah dibanding semen.

Variasi pada sifat fisik *fly ash* sangat mempengaruhi sifat beton mutu tinggi yang dihasilkan. Oleh karena itu, material *fly ash* yang akan digunakan untuk beton mutu tinggi perlu dites terlebih dahulu di Laboratorium agar sifat keseragaman dan kesesuaiannya dengan bahan lain dapat diketahui.

Bahan Tambahan Kimia

Pada saat mencampur beberapa bahan dasar serta mineral untuk memperkuat dan mempercepat proses pengerasan akan menimbulkan dampak yang tertentu pada saat beton berumur muda (1-14 hari) atau dengan istilah beton muda. Untuk itu perlu bahan tambahan kimia yang digunakan pada industri beton dalam memperbaiki sifat beton muda. Beberapa bahan tambahan kimia adalah *water reducer* (*superplastisizer*), *air-entrainin agents*, *retarders* dan *accelerator*.

Water Reducer (superplastisizer)

Penggunaan *water reducer (superplastisizer)* bertujuan untuk mengurangi air campuran sebesar (5 - 20)%. Hal ini mengakibatkan mengecilnya perbandingan faktor air semen (dapat mencapai (0,25-0,40)) yang dapat menimbulkan kerusakan pada beton mutu tinggi karena terlalu encer. *Water reducer* ini juga bisa dikombinasikan dengan *retarder* pada *ready mix plent*. Akan tetapi, hal yang perlu diperhatikan terutama dalam pengecoran di daerah yang cukup panas.

Accelerator

Umumnya, *accelerator* jarang digunakan sebagai bahan tambahan kimia pada beton mutu tinggi. *Accelerator* mempunyai peran mempercepat pengerasan, di mana pembukaan bekisting perlu dilakukan lebih awal. Akan tetapi, penggunaannya dapat mempengaruhi pencapaian kekuatan beton pada kemudian hari.

BEBERAPA PENELITIAN BETON DENGAN NANOTEKNOLOGI

Perkembangan teknologi beton lima tahun terakhir ini, ditandai dengan penelitian penggunaan nano silika pada mortar dan beton. Nano silika yang digunakan umumnya berasal dari bahan limbah industri semikonduktor.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan, penggunaan nano silika akan meningkatkan kuat tekan pada mortar dan beton seperti yang dilaporkan Jo et al. (2007), Sobolev et al. (2008), Said dan Zeidan (2009). Sedangkan Khanzadi et al.(2010) melaporkan pengaruh penggunaan nano silika terhadap sifat mekanik dan durabilitas. Hasilnya terjadi peningkatan kuat tekan dan tarik beton, hal ini diindikasikan dari reaktifitas nano silika. Selain itu terjadi juga peningkatan kerapatan pada *Interfacial Transition Zone* dan permeabilitas beton dibandingkan dengan beton normal. Penggunaan nano silika buatan memerlukan biaya yang mahal dan ketersediaan pengadaan yang sangat terbatas. Untuk itu, perlu dikembangkan pembuatan nano silika alam yang merupakan proses dari pengembangan nano silika pasir silika Bangka. Seiring dengan pesatnya pembangunan di Indonesia seperti gedung tinggi, jembatan bentang panjang dan infrastuktur lainnya, maka *High Performance Concrete* (HPC) berbasis material lokal sangat diperlukan. Dalam penelitian ini perlu dilakukan studi komparatif pengaruh nano silika alam (NS) dan nano silika komersi (NSHD) terhadap sifat reaktifitas dan kuat tekan. Nano silika komersil adalah nano silika yang telah diperdagangkan secara komersil sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3. Pasir silika bangka yang diproses menjadi nanosilika dan nanosilika komersil

PEMANFAATAN PASIR SILIKA ALAM SEBAGAI NANOMATERIAL UNTUK KONSTRUKSI BETON

Pengertian pasir silika

Istilah pasir silika adalah pasir yang berasal dari bebatuan yang mengalami proses pengikisan (erosi) selama jutaan tahun lalu. Erosi ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti hujan, angin, air, es, binatang (bio erosi), atau material lainnya berkaitan dengan gravitasi.



Gambar 2.4. Lokasi quari pasir silika Bangka
(Sumber : <http://pasirsilikaspesialis.blogspot.com/2014>)

Kandungan kimia yang ada dalam pasir silika adalah suatu senyawa kimia *silicon dioxide* atau silika dioksida (SiO_2). Senyawa kimia ini mempunyai bentuk seperti kristal transparan, cenderung berwarna keputihan dan memiliki tingkat



Gambar 2.5. Proses pencucian pasir silika Bangka
(Sumber : <http://pasirsilikaspesialis.blogspot.com/2014>)



Gambar 2.6. Pengeringan pasir silika Bangka
(Sumber : <http://pasirsilikaspesialis.blogspot.com/2014>)



Gambar 2.7. Pasir silika Bangka komersil
(Sumber : <http://pasirsilikaspesialis.blogspot.com/2014>)

kekerasan dan titik lebur yang cukup tinggi. Semakin tinggi kandungan SiO_2 maka warna akan semakin putih karena semakin banyak volume satuan kristal dan juga adanya bias cahaya dari kristal tersebut.

Di alam, pasir silika ditemukan dengan kemurnian yang bervariasi dan tergantung kepada proses terbentuknya. Disamping adanya material lain yang ikut selama proses pengendapan, material pengotor tersebut bersifat sebagai pemberi warna pada pasir silika dan dapat diperkirakan derajat kemurniannya.

Setelah melalui beberapa pencucian terhadap unsur pengotor, pasir silika dapat diproses menjadi beberapa jenis ukuran sesuai dengan kebutuhan. Pasir ini dikenal dengan istilah pasir silika komersil (**Gambar 2.7**).

Pada umumnya pasir silika ditemukan dengan ukuran butiran yang bervariasi dalam distribusi yang melebar mulai dari fraksi halus (0,06 mm) sampai dengan ukuran kasar (2 mm). Sebagai contoh spesifikasi pasir silika komersil asal Bangka ditunjukkan dalam **Tabel 2-3**.

Tabel 2.3. *Komposisi senyawa pasir silika*

No	Senyawa Kimia	Rumus Senyawa Kimia	Prosentasi Kandungan
1	Silicon Dioxide	SiO ₂	98..21
2	Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	0.32
3	Calcium Oxide	MgO	0.01
4	Chromium Trioxide	Na ₂ O	0.07
5	Titanium Oxide	LOI	0.02
6	Silicon Dioxide	Fe ₂ O ₃	0.32
7	Calcium Oxide	MgO	0.01
8	Chromium Trioxide	Na ₂ O	0.07
9	Titanium Oxide	LOI	0.02
10	Silicon Dioxide	Fe ₂ O ₃	0.32
11	Calcium Oxide	MgO	0.01
12	Chromium Trioxide	Na ₂ O	0.07
13	Titanium Oxide	LOI	0.02

Sumber: Analisis Laboratorium Sucofindo, 2014

Potensi pasir silika di Indonesia

Cadangan pasir silika di Indonesia cukup besar dengan lokasi terbesar di 11 propinsi. Jumlah cadangan pasir kuarsa diperkirakan sekitar 4,55 milyar ton dengan perincian 78,6 juta ton cadangan terukur 12,4 juta ton terindikasi, 21,3 juta ton teroka dan 4,4 cadangan hipotetik. Cadangan pasir silika Indonesia terdapat di propinsi Sumatera barat yaitu sekitar 82,5% dari seluruh cadangan yang ada di Indonesia berikutnya adalah Kalimantan Barat, Jawa barat, Sumatera Selatan. Mutu pasir silika yang ada di Kalimantan Selatan merupakan pasir silika terbaik di Indonesia dengan kadar silika (SiO₂) berkisar antara (97,6 – 98,53)%. Pasir silika banyak digunakan di Industri gelas kaca, bata tahap api, pengecoran logam, bahan baku pembuatan tehel dan mosaik keramik, bahan baku pembuatan fero silikon, cabrida ,ampelas, pasir, filter, glass, woll dan lain-lain. Pada industri semen, pasir silika digunakan sebagai pengontrol kandungan silika dalam semen yang dihasilkan.

Jumlah pasir silika yang dicampur dengan bahan baku semen lainnya bervariasi bergantung kepada kandungan silika bahan baku semen lainnya akan tetapi secara umum dapat ditentukan dengan komposisi atau perbandingan 66,5 pasir silika untuk 1 ton produk semen. Pasir silika yang dipakai di industri pengecoran berfungsi sebagai pasir cetak dan *foundry*, sementara itu di industri tahan api pasir silika merupakan bahan baku utama persyaratan umum yang dipakai pada industri tersebut antara lain kandungan silika, distribusi ukuran, dan bentuk butiran

Penelitian mengenai nanoteknologi dalam menghasilkan beton dengan mutu sangat tinggi dan awet pernah dilakukan oleh Harianto dan Loekitho (2010). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi yang tepat dalam proses pembuatan beton nano dan karakteristik beton nano terhadap penetrasi ion klorida. Hasil dari penelitian ini bahwa karakteristik dari beton nano untuk menghasilkan beton yang kuat dan awet tidak memberikan hasil yang maksimal seperti yang diinginkan. Penggunaan *silica fume* tidak memberikan kontribusi terhadap nilai kuat tekannya. Hal ini bisa disebabkan oleh pemadatan dan pencampuran adonannya yang tidak baik. Semakin banyak penggunaan *silica fume* dalam campuran beton maka akan meningkatkan ketahanannya terhadap penetrasi ion klorida (http://dewey.petra.ac.id/catalog/ft_detail.php?knokat=15328).

Penelitian lain diantaranya pengaruh nanosemen terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur murni pada beton (Hanaylie, 2013). Dalam penelitian ini, digunakan variasi komposisi nanosemen 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Uji kuat tekan menggunakan benda berbentuk silinder 100 mm x 200 mm, sedangkan uji kuat tarik lentur murni menggunakan balok berukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm. Hasil uji menunjukkan bahwa antara lain :

1. Nanosemen tidak berpengaruh terhadap konsistensi normal semen, tetapi dapat mempercepat waktu ikat awal semen;
2. Penambahan nanosemen dapat meningkatkan kuat tekan beton;
3. Penambahan komposisi nanosemen 20% menghasilkan intensitas peningkatan kuat tekan sebesar 39% dari beton normal;

4. Modulus elastisitas beton dengan penambahan nanosemen lebih tinggi dibanding beton konvensional;

Penelitian lain yang sudah dilakukan terkait nanoteknologi untuk beton adalah sebagai berikut (dikutip dari Saloma, 2014, "Penggunaan nanosilika dari pasir alam untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton", disertasi program studi teknik sipil, ITB). Hasil riset menunjukkan bahwa penggunaan nanomaterial mampu meningkatkan kuat tekan beton, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, dan modulus elastisitas masing-masing sebesar 6,24% - 31,41%, 5,58% - 13,66%, 2,32 - 9,72%, dan 3,66% - 10,59% bila dibandingkan beton tanpa nanosilika.

Jonbi (2013) melakukan penelitian mengenai nanosilika alam untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton. Berdasarkan hasil studi diperoleh bahwa:

1. Pasir silika dengan kandungan $\text{SiO}_2 > 99\%$ sangat berpotensi untuk diproses menjadi nanosilika alam;
2. Nanosilika alam hasil proses pasir silika Bangka dengan metode *polishing liquid milling technology*, dapat disetarakan sifat kimiawi partikelnya dengan nanosilika komersil. Hal ini dapat dilihat dari partikel yang dihasilkan sudah bersifat amorphous;
3. Hasil uji XRD dengan *general structure analysis system* memperlihatkan nanosilika lebih reaktif dibandingkan dengan *silica fume*;
4. Kombinasi pemakaian nanosilika alam dengan *silica fume* lebih efektif dibandingkan dengan nanosilika alam tanpa *silica fume*. Sedangkan pada nanosilika komersil kombinasi pemakaian tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan;
5. Prosentase optimum penggunaan nanosilika alam untuk HPC adalah 10% dan SF 5% sedangkan pada nanosilika komersil prosentase optimum adalah 5% dengan dan tanpa SF 5%;
6. Prosentasi penggunaan nanosilika yang melebihi 10% menurunkan sifat mekanik dan durabilitas beton. Hal ini akibat terjadinya aglomerasi. Oleh karenanya untuk menghindari efek aglomerasi maka nanosilika yang digunakan tidak lebih dari 10%;

7. Pengamatan melalui uji SEM menunjukkan bahwa HPC yang menggunakan nanosilika alam dan komersil yang dikombinasi dengan SF menghasilkan beton yang lebih padat dan *interfacial transition zone* (ITZ).

Nazari (2011) melakukan studi eksperimental pada mortar dengan menambahkan nanopartikel TiO_2 sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% terhadap berat semen. Ukuran TiO_2 rata-rata sebesar 15 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasta dengan nano TiO_2 lebih padat dan kompak daripada tanpa nano TiO_2 .

Nazari dkk (2010) melakukan studi eksperimental untuk mengetahui kelecakan beton (*workability*) dan *setting time* dengan membuat mortar. Penambahan nanopartikel berupa Fe_2O_3 dan Al_2O_3 pada mortar dilakukan dengan komposisi masing-masing sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% terhadap berat semen. Ukuran nanopartikel Fe_2O_3 dan Al_2O_3 rata-rata sebesar 15 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *slump* dan *setting time* menurun seiring bertambahnya prosentase nanopartikel Fe_2O_3 dan Al_2O_3 .

Khaznadi (2010) melakukan penelitian absorpsi pada beton dengan campuran nanosilika tipe *water soluble*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa beton dengan penambahan nanosilika mempunyai nilai absorpsi yang lebih rendah dibandingkan tanpa nanosilika. Khaznadi juga melakukan uji SEM pada beton dengan dan tanpa penambahan nanosilika. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa Kristal *ettringite* yang telah disusupi oleh Kristal C-S-H membentuk lempengan-lempengan yang lebih padat, sehingga beton dengan nanosilika lebih homogeny daripada beton konvensional.

Ozyildirim (2010) melakukan studi eksperimental untuk mengetahui massa jenis atau kepadatan (*density*) dengan menambahkan nanomaterial berukuran < 100 nm pada campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrostruktur beton nanosilika lebih padat dan lebih beragam dibandingkan beton konvensional.

Abbas (2009) mengkaji penggunaan nanosilika dengan ukuran partikel rata-rata 15 nm pada beton normal dan UHPC. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanosilika menghasilkan peningkatan awal yang signifikan baik pada beton normal maupun UHPC. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa penambahan nanosilika pada UHPC mampu mencapai kekuatan 230 MPa.

Sadrmomtazi dkk (2009) melakukan studi eksperimental untuk mengetahui absorpsi pada beton dengan menambahkan nanosilika dan *silica fume* pada campuran mortar. Lima komposisi campuran nanosilika yaitu 0%, 3%, 5%, 7% dan *silica fume* 10%. Dari hasil uji diperoleh bahwa nilai absorpsi terendah terdapat pada campuran dengan nanosilika sebesar 7%.

Nittaya dan Apinon (2008) melakukan uji SEM pada mortar dengan penambahan nanosilika sebesar 4% dan 10%. Penambahan nanosilika dalam pasta semen menyebabkan perbedaan mikrostruktur pada pasta. Hasil pengujian menunjukkan adanya hasil hidrasi berupa Kristal *ettringite* yang *porous* berbentuk jarum di sekitar butiran semen dan nanosilika. Sebagian kristal *ettringite* telah diisi oleh Kristal C-S-H, sehingga pasta yang terbentuk menjadi lebih padat.

Jayakumar (2004) meneliti pengaruh penambahan *silica fume* terhadap absorpsi pada beton *ultra high performance concrete* (UHPC). Prosentase penambahan *silica fume* sebagai bahan substitusi parsial semen sebanyak 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen OPC. Berdasarkan hasil penelitian pada umur 28 hari dan 90 hari disimpulkan bahwa peningkatan prosentase *silica fume* mampu mengurangi absorpsi beton.

APLIKASI TEKNOLOGI BETON BERBASIS NANO UNTUK JEMBATAN (DIKUTIP DARI MAJALAH KONSTRUKSI NO. 378, DESEMBER 2008)

Jembatan Gartnerplatz di Kassel Jerman merupakan aplikasi *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) hasil penelitian dan pengembangan selama satu dasawarsa di bidang UHPC di *University of Kassel* yang merupakan batu loncatan setelah 10 tahun penelitian dan pengembangan di bidang UHPC. Aplikasi teknologi beton berbasis nano ini diterapkan pada jembatan pejalan kaki Gärtnerplatz di Kassel yang melintasi sungai Fulda sepanjang 133 m. Pilar jembatan dibagi dalam 6 bentang dengan panjang 19,2 m, 24,0 m, 21,0 m, 36,0 m, 21,0 m dan 12,0 m dengan lebar jembatan 5,0 m. Jembatan Gärtnerplatz merupakan jembatan yang pertama kali diijinkan dibangun dengan menggunakan UHPC, dan selesai dibangun pada bulan Juli 2007. Jerman termasuk negara yang belum memasukkan UHPC dalam standard perencanaan untuk beton (DIN 1045), maka untuk penggunaan UHPC dalam konstruksi diperlukan

ijin khusus untuk mengevaluasi kekuatan, keamanan dan durability UHPC. Team peneliti dari University of Kassel dibawah pimpinan Prof. Fehling dan Prof. Schmidt yang selama 10 tahun mengembangkan UHPC, dapat membuktikan dari hasil penelitian mereka selama ini bahwa UHPC memenuhi syarat keamanan dan layak untuk dipakai pada jembatan ini.

UHPC merupakan produk dari material konstruksi berteknologi tinggi, yang memungkinkan dihasilkannya beton dengan kekuatan sangat tinggi, dimana kuat tekan beton menyamai kekuatan baja, yaitu dapat mencapai (200 – 250) N/mm² (MPa). Sebagai perbandingan di Indonesia kuat tekan beton yang dipakai sampai saat ini maksimum 70 N/mm², dan baja konstruksi mempunyai kekuatan 240 N/mm². Adapun kata *Ultra Performance* lebih cocok digunakan daripada kata *Ultra Strength*, karena UHPC selain memberikan kekuatan jauh lebih tinggi daripada beton normal, ternyata memberikan *performance* yang jauh lebih baik seperti perlindungan terhadap bahaya korosi pada tulangan, ketahanan abrasi terhadap zat kimia yang berbahaya dan *durability* daripada beton normal. Desain campuran UHPC adalah berbasis teknologi nano dimana harus diperhatikan penggunaan partikel-partikel UHPC yang mempunyai ukuran dalam rentang ukuran nanometer disingkat nm (submikroskopis). Satu nanometer adalah sepermiliard meter. Melalui teknologi nano ini akan diperoleh material beton yang sangat padat, dimana pori pori dari beton lebih kecil daripada ukuran kapiler, yaitu berada dalam ukuran 0,002 µm atau sebesar 2 nm. Praktis akan diperoleh material dengan susunan struktur yang homogen. Tingginya kekuatan beton yang dihasilkan dari suatu mix design UHPC dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu:

- Rendahnya perbandingan air dan semen yang digunakan, yaitu lebih rendah dari 0,25.
- Penggunaan semen dengan bahan tambahan dari kelompok bahan mineral seperti mikro silika.
- Agregat halus : pasir dengan diameter (0,125 – 0,50) mm
- Partikel sangat halus yaitu tepung *quarz*.
- Superplastisizer.

Dalam campuran UHPC ditambahkan serat baja ataupun serat *polypropylene* agar UHPC dapat mencapai daktilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan yang bersifat tiba tiba. Karena kekuatannya sangat tinggi penggunaan UHPC memungkinkan dihasilkannya struktur beton yang ringan dan ramping, yang berarti dapat menghemat sumber daya alam dan energi. Ringannya berat sendiri struktur memungkinkan dicapainya bentang struktur yang lebih lebar dan bertambahnya tinggi bangunan. UHPC merupakan beton yang sangat padat sehingga dapat melindungi tulangan baja terhadap bahaya korosi, sehingga menjamin *durability* struktur.

Jembatan Gärtnerplatz

Jembatan Gärtnerplatz yang dibangun melintasi sungai Fulda di Kassel praktis adalah realisasi dari hasil penelitian UHPC di University of Kassel selama 10 tahun, yang menggunakan hasil pengembangan desain campuran UHPC dengan nama M1Q dan M2Q. Material yang digunakan untuk campuran UHPC dapat diperoleh secara lokal. Desain campuran M1Q dan M2Q dibantu dengan *curing* pemanasan pada suhu 90° C selama 48 jam akan menghasilkan kuat tekan beton rata rata sebesar 195 N/mm².

Jembatan sepanjang 133 m ini direncanakan untuk menggantikan jembatan kayu, tanpa harus mengganti pondasi dan pilar yang sudah ada. Untuk itu perlu desain struktur yang berat sendirinya tidak melebihi struktur jembatan kayu.

Struktur jembatan disebut sebagai konstruksi *hybrid* karena terdiri dari struktur baja dan struktur UHPC. Struktur baja terdiri dari rangka batang 3 dimensi berbentuk segitiga terbuat dari pipa baja, dimana baut dengan kekuatan tinggi dihubungkan pada dua balok menerus parallel yang terbuat dari UHPC sebagai *Upper Chord* dari badan jembatan.

Penampang balok UHPC ini sangat ramping berukuran (300 x 400) mm dengan panjang bentang segmen antara 12 m dan 36 m. Balok *upper chord* dibuat sebagai beton pracetak dilengkapi dengan kabel prategang *unbonded* St 1570/1770 . Keseluruhan enam segmen badan jembatan dibuat secara pabrikasi untuk kemudian dikirim dan di rakit di lokasi.



Gambar 2.8. Jembatan Gärtnerplatz (Kassel – Jerman)



Gambar 2.9. Tampak struktur jembatan dengan pipa baja sebagai struktur rangka dan dengan balok UHPC sebagai upper chord



Gambar 2.10. Segmen rangka jembatan
(Sumber : Fehling, 2007)



Gambar 2.11. Tampak sambungan rekatan
pelat lantai UHPC dengan balok *upper
chord* UHPC dan detail pertemuan batang
diagonal rangka baja dengan *upper chord*
UHPC.



Gambar 2.12. Pekerja untuk merekatkan
lantai jembatan diatas *upper chord*
dengan epoksi (Sumber : Fehling, 2007)

Desain struktur jembatan adalah sebagai struktur menerus, antara segmen dihubungkan dengan menggunakan sistem sambungan penuh dengan baut berkekuatan tinggi (*High Tension Bolt*).

Diatas dua balok paralel *upper chord* diletakkan pelat untuk lantai jembatan dengan lebar 5 m dan panjang segmen pelat 2 m. Pelat terbuat dari UHPC sebagai beton pracetak dengan sistem *pretension*. Tebal pelat lantai 120 mm pada bagian tengah dan 80 mm pada bagian tepi, sehingga diperoleh kemiringan lantai yang diperlukan. Dengan perbandingan tebal pelat terhadap lebar jembatan sebesar 1/40 tergolong sebagai struktur pelat yang tipis. Untuk pemasangan pelat pracetak diatas *upper chord* tidak menggunakan sambungan mekanis, tapi pelat ini direkatkan pada balok *upperchord* dengan menggunakan pasta epoksi (2-K-Epoxidharz Sikadur 30).

Setelah pemasangan pelat lantai selesai, maka kabel prategang yang terdapat pada kedua balok *upper chord* ditarik dan diangkur sebagai *unbonded* prategang. Melalui sambungan rekatan epoksi gaya prategang pada *upper chord* akan tersalurkan pada pelat lantai. Dengan

demikian pada jembatan Gärtnerplatz untuk pertama kalinya menggunakan sistem rekatan dengan epoksi untuk menyambung elemen-elemen struktur beton secara permanen.

Penggunaan UHPC dan baja yang bersama-sama membentuk struktur *hybrid*, selain memberikan efek estetika sebagai jembatan pejalan kaki yang ringan dan ramping, juga membawa keuntungan ekonomis, bahwa struktur jembatan tersebut tidak memerlukan pondasi dan pilar baru.

Keberhasilan pembangunan jembatan Gärtnerplatzt memperlihatkan keberhasilan kerjasama antara industri dan universitas, dimana penelitian dapat diaplikasikan pada dunia industri. Atas keberhasilan ini, pemerintah memberikan penghargaan "*Deutschland Land der Ideen 2007*" yang merupakan penghargaan atas kreatifitas dan imajinasi bagi para peneliti dan profesional di University of Kassel. ■

3

METODOLOGI

UMUM

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan studi eksperimental. Studi literatur ditujukan pada penguasaan data sekunder mengenai nano teknologi. Studi eksperimental merupakan serangkaian pengujian laboratorium yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui material sebagai unsur pembentuk beton dan pengujian sifat fisik, mekanik, dan durabilitas beton yang mengacu pada standar ASTM dan ACI. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ditunjukkan dalam **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Tahapan pelaksanaan penelitian

- Tahap 1 Persiapan pelaksanaan, dalam tahap ini dilakukan terlebih dahulu survei lokasi material pasir silika di beberapa tempat seperti Sumatera Barat, Bangka, dan Papua;
- Tahap 2 Pemilihan pasir silika alam dan proses pembuatan nanosilika alam yang berasal dari bahan alam lokal;
- Tahap 3 Pengujian material pembentuk beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar dan pembuatan rancangan campuran;
- Tahap 4 Pembuatan mortar dengan dan tanpa penambahan nanosilika. Komposisi nanosilika yang ditambahkan terdiri dari beberapa variasi masing-masing 5%, 10%, dan 15%;
- Tahap 5 Pengujian sifat fisik dan durabilitas mortar dengan beton;
- Tahap 6 Analisis pembahasan dan evaluasi hasil pengujian;

SURVEI POTENSI MATERIAL PASIR SILIKA ALAM

Pasir silika atau menurut istilah umum disebut dengan pasir kuarsa merupakan bahan galian yang terdiri dari kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir silika dikenal juga dengan istilah pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti silika dan feldspar. Hasil pelapukan

kemudian tercuci dan terbawa oleh air/angin yang diendapkan di tepi-tepi sungai, danau, atau laut. Pasir silika mempunyai komposisi gabungan seperti SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O berwarna putih bening dan warna lain tergantung dari senyawa pengotornya. Spesifikasi dari pasir silika ini memiliki kekerasan 7 (skala Mohrs), berat jenis 2,65 ; titik lebur 1715°C , bentuk Kristal heksagonal, panas spesifik 0,185; dan konduktivitas panas $(12 - 100)^\circ\text{C}$.

Penggunaan pasir silika sudah berkembang luas, baik sebagai bahan baku utama dalam pembuatan gelas, kaca, semen, tegel, keramik, fero silika, dan bahan abrasit (ampelas, sand blasting). maupun bahan industri (industri cor, industri perminyakan dan pertambangan, bata tahan api (refraktori) dan sebagainya).

Cadangan pasir silika terbesar terdapat di Sumatera Barat (dengan kandungan SiO_2 sekitar 71,01% berdasarkan hasil uji XRF 2015). **Gambar 3.2** adalah pasir silika dan lokasi quari yang terdapat di Sumatera Barat (Setiati, N. R, 2015).



Gambar 3.2. Jenis pasir silka alam asal Sumatera Barat (Setiati, N. R, 2015)

Potensi lain terdapat di Aceh, Bangka Belitung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, dan Papua dengan masing-masing komposisi senyawa yang berbeda. **Gambar 3.3** adalah jenis pasir silka alam dari Pulau Bangka.



Gambar 3.3. Jenis pasir silika alam asal Pulau Bangka (Setiati, N. R, 2015)

Berdasarkan uji XRF, kandungan SiO_2 pasir silika ini lebih besar dibandingkan asal Sumatera Barat, yaitu sekitar 96,50%. Jenis pasir silika asal Bangka banyak dijual di beberapa tempat sebagai pasir silika komersil. Pasir silika komersil ini diambil dari beberapa quari untuk selanjutnya diproses menjadi beberapa ukuran. (Misalnya ukuran *mesh* 325 yang ditunjukkan dalam **Gambar 3.4**).



Gambar 3.4. Pasir silika alam dan komersil asal Pulau Bangka (Setiati, N. R, 2015)

Dari **Gambar 3.4.** pasir silika komersil biasanya memiliki ukuran yang lebih homogen dan lebih halus dikarenakan pasir tersebut sudah mengalami proses penghalusan dan pencucian dari unsur pengotor. Berdasarkan hasil uji XRF, pasir silika komersil mempunyai kandungan SiO_2 lebih banyak dibandingkan pasir silika alam (sekitar 99,04%). Pasir silika alam yang memiliki kandungan SiO_2 lebih dari 99% adalah yang berasal dari Papua. Lokasi quari pasir ini terletak di daerah Tulem/Eragama, Kampung Arogolik, Distrik Witawaya, Kab. Jayawijaya, dan di lembah Baliem, Kabupaten Wamena Prop. Papua. **Gambar 3.5.** menunjukkan jenis pasir silika alam asal Papua.



Gambar 3.5. Jenis pasir silika alam asal Papua (Setiati, N. R, 2015)

Berdasarkan hasil uji XRF yang dilakukan, ternyata pasir silika alam asal Papua ini memiliki kandungan SiO_2 (99,07%) terbanyak dibandingkan dari daerah lain. Untuk dasar pengetahuan, jenis pasir silika alam dan pasir silika komersil lainnya ditunjukkan dalam **Gambar 3.6.**



Gambar 3.6. Pasir silika alam Papua dan pasir silika komersil Bangka (Setiati, N. R, 2015)

Dalam penelitian ini digunakan pasir silika alam dan komersil dengan kadar $\text{SiO}_2 > 99\%$ (yaitu pasir silika alam asal Papua dan pasir silika komersil asal Bangka). Kedua pasir ini diproses menjadi ukuran submikron ($> 100 \text{ nm}$) dan nanomaterial ($0 - 100 \text{ nm}$) yang digunakan sebagai bahan *filler* pada beton.

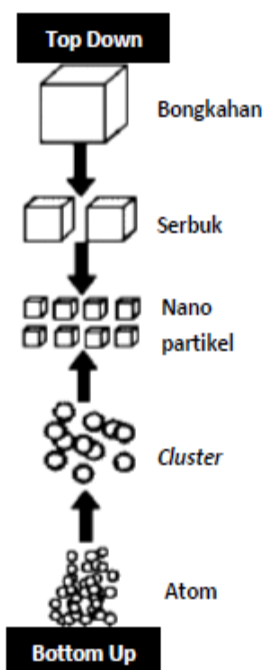
SINTESIS NANOMATERIAL / METODE PEMBUATAN PASIR SILIKA MENJADI NANOSILIKA ALAM (JONBI, 2013)

Metode pembuatan pasir silika menjadi nanosilika alam dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan *planetary ball mill* (PBM), *high energy mill* (HEM). Sonifikasi dan *polishing liquid milling technology* (PLMT). Untuk menentukan apakah pasir silika yang diproses telah berhasil menjadi nanosilika alam, dilakukan metode karakterisasi. Dalam metode ini dilakukan pengujian menentukan ukuran partikel dengan alat *particle size analyzer* (PSA). Hasil nanosilika alam yang diperoleh dapat dinyatakan sebagai material nano jika partikel telah memiliki ukuran kurang dari 100 nm (Mann 2006, Drexler 2009). Setelah itu dilakukan metode visual dengan alat *scanning electron microscope* (SEM) untuk melihat tekstur yang dihasilkan oleh butiran yang berukuran kurang dari 100 nm . Metode visualisasi juga dapat dilakukan dengan *X-ray diffractometer* (XRD) berupa bentuk kurva antara intensitas dan sudut difraksi yang menggambarkan material yang *amorphous*. Untuk dapat dikategorikan sebagai nanosilika, bahan yang dihasilkan harus memenuhi

kriteria sebagai berikut (Mann, 2006):

1. Memiliki ukuran partikel kurang dari 100 nm;
2. Mengandung minimum 99% SiO_2 ;
3. Memiliki partikel yang bersifat *amorphous*.

Ada dua metode yang digunakan dalam sintesis nanomaterial yaitu secara *top-down* dan *bottom-up*. *Top-down* adalah sintesis partikel berukuran nano secara langsung dengan memperkecil material yang besar dengan cara penggerusan (*ultrafine grinding/milling*) atau disebut juga metode *mechanochemistry* (aktivasi mekanis). Sedangkan *bottom-up* adalah menyusun atom-atom atau molekul-molekul hingga membentuk partikel berukuran nanometer, menggunakan teknik sol-gel, presipitasi kimia dan aglomerasi fasa gas. **Gambar 3.7.** memperlihatkan teknik sintesis nano partikel. Salah satu alat yang digunakan untuk proses pembuatan partikel nanomaterial secara top-down adalah ball mill.



Gambar 3.7. Skema sintesis nano partikel (Dutta, 2003)

Planetary ball mill (PBM)

Proses planetary ball mill (PBM) digunakan untuk pencampuran, homogenisasi, penggilingan mekanik, alloying mekanik, dan emulsi bahan. Alat ini dapat memproduksi bahan nano hingga 200 gram, dan dilengkapi dengan timer automatic on/off selama 1 detik hingga 100 menit dengan kecepatan mesin maksimum 1500 rpm. Spesimen dibatasi pada ukuran saringan no. 325 (44 mikron). Jika spesimen berukuran lebih besar dari saringan no. 325, maka spesimen harus dipreparasi terlebih dahulu berupa pengeringan pada suhu 110°C, dihaluskan dengan alat jaw crusher dan roll crusher, kemudian dengan ring mill hingga ukuran spesimen lolos saringan 325.. Perbandingan berat spesimen terhadap berat bola milling adalah 1:8. Spesimen yang digunakan dalam tabung spesimen berbobot 50 gram sehingga berat bola adalah 400 gram.

Untuk wet milling, cairan yang ditambahkan $\pm \frac{3}{4}$ volume tabung spesimen. Jika material yang dihaluskan berbentuk cairan, maka cairan penghalus yang digunakan adalah jenis etanol. Jika material yang dihaluskan berbentuk pasir silika, maka cairan penghalus yang digunakan adalah air. Prosedur penggerindingan dengan alat PBM adalah sebagai berikut:

- Masukkan spesimen dan bola dalam tabung sampel dengan perbandingan 1:8;
- Masukkan air hingga $\frac{3}{4}$ volume tabung spesimen, tutup rapat;
- Atur waktu milling, misal 10 jam, 30 jam, dsb;
- Atur waktu diam, misalnya 2 menit jalan dan 1 menit diam;
- Jalankan alat, dengan menekan on, lalu keringkan spesimen dengan memasukkan larutan spesimen hasil milling dalam nampan;
- Keringkan sampel di oven pada suhu 110°C, dan spesimen yang telah kering dimasukkan ke dalam wadah.



Gambar 3.8. Planetary ball mill (PBM)

Polishing Liquid Milling Technology (PLMT)

Polishing Liquid Milling Technology (PLMT) dikembangkan di Balai Besar Keramik Bandung untuk menghasilkan nanosilika sesuai dengan persyaratan. Sintesis nanosilika telah dilakukan untuk mendapatkan nanosilika dengan struktur kristalin atau amorphous dengan ukuran di bawah 100 nm. Sintesis ini telah dipatenkan di Dirjen HaKI, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia dengan judul “Penyiapan nanopowder material oksida metode *liquid polishing milling*, dengan permohonan paten P 00201000876, tanggal 14 Desember 2010.

Sintesis nano dilakukan melalui proses pencampuran senyawa silika dengan sejumlah tertentu pelarut asam atau basa sesuai dengan kelarutan dan kepolarannya dalam perbandingan tertentu yang ditetapkan atau secara stoikiometri. Setelah itu dilakukan proses penggilingan dengan variasi waktu untuk mendapatkan hasil penggilingan yang optimal. Terhadap hasil penggilingan ini kemudian dilakukan proses pengeringan pada suhu tertentu, proses

pembakaran atau kalsinasi yang sesuai, dilanjutkan dengan proses *masking gel*. Hasil dari proses ini digiling ulang dalam media larutan non polar untuk mendapatkan serbuk halus berukuran nanometer (< 100 nm).

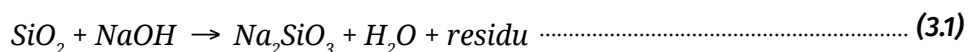


Gambar 3.9. Polishing Liquid Milling Technology PLMT
(Sumber: Balai Besar Keramik, 2013)

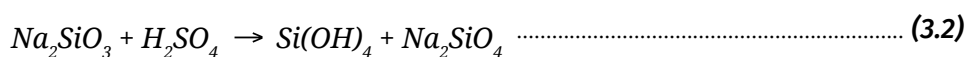
Secara detail tahapan proses nano dari material pasir silika dengan metode *Polishing Liquid Milling Technology* (PLMT) adalah sebagai berikut:

- Proses penghalusan ukuran butiran;
- Proses destruksi yang dilanjutkan dengan proses isolasi;
- Proses pembentukan senyawa amorphous dan proses nanosiasi;

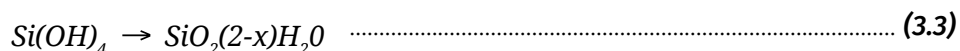
Nanosilika yang terbentuk harus dipertahankan agar tetap terdispersi dan tidak menggumpal kembali dengan ukuran < 100 nm. Beberapa bahan kimia yang digunakan untuk proses ini terdiri dari basa kuat, asam kuat, dan larutan non polar yang dilakukan pada kondisi tertentu. Proses destruksi dilakukan melalui penggunaan basa kuat dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Pada tahapan ini, pasir silika yang digunakan diubah menjadi senyawa silika yang terlarut. Tahapan reaksi selanjutnya yaitu kearah isolasi senyawa silikon hidroksida dengan menggunakan asam kuat sebagai berikut:



Untuk membentuk senyawa *amorphous*, proses yang dilakukan adalah pengaturan pembentukan air kristal melalui pemanasan pada suhu tertentu sesuai persamaan reaksi sebagai berikut:



High Energy Milling Elips 3-D Motion

High Energy Milling Elips 3-D Motion digunakan untuk pencampuran, homogenisasi, penggilingan mekanik, *alloying* mekanik dan emulsi bahan serta dapat memproduksi bahan nano sampai 50 gram. Alat ini dilengkapi dengan *timer automatic on/off* selama 1 detik sampai 99 menit dalam kecepatan mesin maksimum 1400 rpm.



Gambar 3.10. Alat High Energy Milling Elips 3-D Motion

Sonifikasi

Sonifikasi merupakan fenomena gelombang ultrasonik, khususnya ketika bekerja dalam cairan. Gelombang ultrasonik sering didefinisikan sebagai gelombang dengan frekuensi melebihi 20 kHz. Aplikasi ultrasonik secara umum dikelompokkan dalam dua area. Area pertama berkaitan dengan energy yang lebih rendah (frekuensi tinggi antara 2 MHz sampai dengan 10 MHz). Area ini digunakan untuk analisis dan pengukuran seperti pencitraan medis, analisis kimia, dan studi fenomena relaksasi. Area kedua berkaitan dengan *power* yang lebih tinggi (frekuensi rendah antara 20 kHz sampai dengan 100 kHz) dan sering digunakan untuk pembersihan, pengelasan plastik, dan sonokimia.



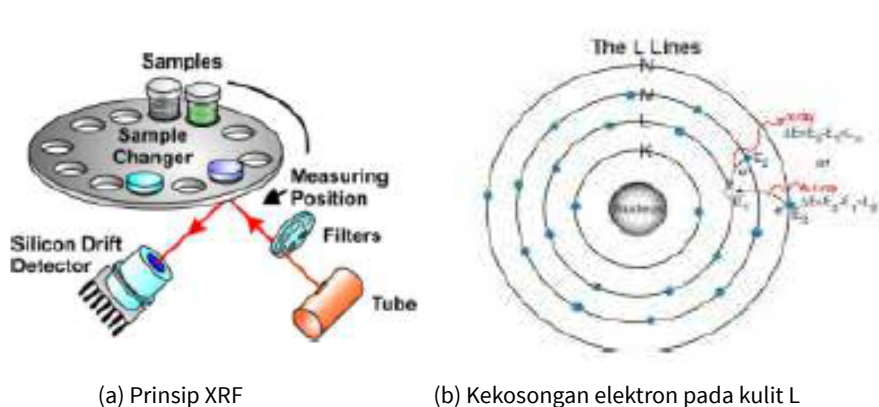
Gambar 3.11. Alat Sonifikasi

Sintesis nanomaterial dengan metode sol-gel

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “*wet method*” karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol).

Pengujian XRF (X-Ray Fluorescence)

Pengujian XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Skematik proses identifikasi dengan XRF tampak pada **Gambar 3.12**.

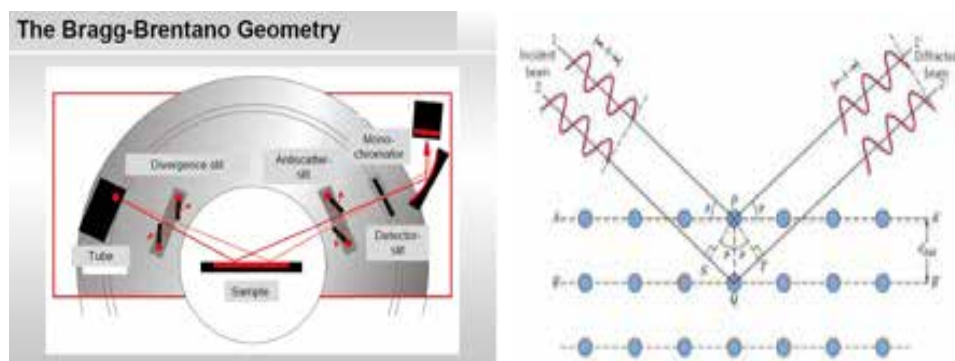


Gambar 3.12. Skematik proses uji XRF (Fansuri, 2010)

Berdasarkan **Gambar 3.12**, sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X (*X-ray Diffractometer*) atau yang sering dikenal dengan XRD adalah instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar-X memiliki panjang gelombang (10^{-10} - $5 \cdot 10^{-10}$) nm, berfrekuensi (1017-1020) Hz dan memiliki energi (103-106) eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Di dalam XRD terdapat beberapa komponen yaitu : 1. Slit dan Film, 2.Monokromator, 3. Tabung X-ray, 4. Detektor, dll. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara (0.5-2.5) Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD dapat dilihat pada **Gambar 13.3**.



Gambar 3.13. Skematik proses uji XRD (Ashari, 2010)

Pengujian PSA (*Particle Size Analyzer*)

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengetahui ukuran suatu partikel adalah sebagai berikut:

1. Metode ayakan (*Sieve analyses*)
2. *Laser Diffraction* (LAS)
3. Metode sedimentasi
4. *Electronical Zone Sensing* (EVS)
5. Analisa gambar (mikrografi)
6. Metode kromatografi
7. Ukuran aerosol submikron dan perhitungan.

Sieve analyses (analisis ayakan) dalam dunia farmasi sering kali digunakan dalam bidang mikromeritik. Yaitu ilmu yang mempelajari tentang ilmu dan teknologi partikel kecil. Metode yang paling umum digunakan adalah analisa gambar (mikrografi). Metode ini meliputi metode mikroskopi dan metode holografi. Alat yang sering digunakan biasanya SEM, TEM dan AFM. Namun seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan yang lebih mengarah ke era nanoteknologi, para peneliti mulai menggunakan *Laser Diffraction* (LAS).

Metode ini dinilai lebih akurat dibandingkan dengan metode analisa gambar maupun metode ayakan (*sieve analyses*), terutama untuk sample-sampel dalam orde nanometer maupun submikron. (Lusi, 2011). Contoh alat yang menggunakan metode LAS adalah *particle size analyzer* (PSA). Metode LAS bisa dibagi dalam dua metode:

1. Metode basah, metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji.
2. Metode kering, metode ini memanfaatkan udara atau aliran udara untuk melarutkan partikel dan membawanya ke *sensing zone*.

Metode ini baik digunakan untuk ukuran yang kasar, dimana hubungan antar partikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil. Keunggulan penggunaan *Particle Size Analyzer* (PSA) adalah:

- 1) Lebih akurat.

Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan alat lain seperti XRD ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*.

- 2) Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sample.
- 3) Rentang pengukuran dari 0,6 nanometer hingga 7 mikrometer.



Gambar 3.14. Alat uji PSA

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopic*)

SEM merupakan suatu mikroskop elektron yang mampu menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari sebuah permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan oleh SEM memiliki karakteristik penampilan tiga dimensi dan dapat digunakan untuk menentukan struktur permukaan dari sampel. Hasil gambar dari SEM hanya ditampilkan dalam warna hitam putih.

SEM menerapkan prinsip difraksi elektron, dimana pengukurannya sama seperti mikroskop optik. Prinsipnya adalah elektron yang ditembakkan akan dibelokkan oleh lensa elektromagnetik dalam SEM. SEM menggunakan suatu sumber elektron berupa pemicu elektron (*electron gun*) sebagai pengganti sumber cahaya. Elektron-elektron ini akan diemisikan secara termionik (emisi elektron dengan membutuhkan kalor, sehingga dilakukan pada temperatur yang tinggi) dari sumber elektron. Elektron-elektron yang dihasilkan adalah elektron berenergi tinggi, yang biasanya memiliki energi berkisar (20-200) keV atau sampai 1 MeV. Dalam prinsip pengukuran ini dikenal dua jenis elektron, yaitu elektron primer dan elektron sekunder. Elektron primer adalah elektron berenergi tinggi yang dipancarkan dari katoda (Pt, Ni, W) yang dipanaskan. Katoda yang biasa digunakan adalah *tungsten* (W) atau *lanthanum hexaboride* (LaB6). *Tungsten* digunakan karena memiliki titik lebur yang paling tinggi dan tekanan uap yang paling rendah dari semua meta, sehingga memungkinkannya dipanaskan pada temperatur tinggi untuk emisi elektron. Elektron sekunder adalah elektron berenergi rendah, yang dibebaskan oleh atom pada permukaan. Atom akan membebaskan elektron sekunder setelah ditembakkan oleh elektron primer. Elektron sekunder inilah yang akan ditangkap oleh detektor, dan mengubah sinyal tersebut menjadi suatu sinyal gambar. Proses pemindaian (*scanning process*) SEM secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut.

Sinar elektron, yang biasanya memiliki energi berkisar dari beberapa ribu eV hingga 50 kV, difokuskan oleh satu atau dua lensa kondenser menjadi sebuah sinar dengan spot focal yang sangat baik berukuran 1 nm hingga 5 μm . Sinar tersebut melewati beberapa pasang gulungan pemindai (*scanning coils*) di dalam lensa obyektif, yang akan membelokkan sinar itu dengan gaya raster di atas area berbentuk persegi dari permukaan sampel. Selagi elektron-elektron primer mengenai permukaan, mereka dipancarkan secara inelastis

oleh atom-atom di dalam sampel. Melalui kejadian penghamburan ini, sinar elektron primer menyebar secara efektif dan mengisi volume berbentuk air mata, yang dikenal sebagai volume interaksi, memanjang kurang dari 100 nm hingga sekitar 5 nm ke permukaan. Interaksi di dalam wilayah ini mengakibatkan terjadinya emisi elektron sekunder, yang kemudian dideteksi untuk menghasilkan sebuah gambar. Elektron-elektron sekunder akan ditangkap oleh detektor, dan mengubah sinyal tersebut menjadi suatu sinyal gambar. Kekuatan cahaya tergantung pada jumlah elektron-elektron sekunder yang mencapai detektor. Alat SEM ditunjukkan dalam **Gambar 3.15**.



Gambar 3.15. Alat uji SEM

Prinsip SEM sama dengan mikroskop optik SEM memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan untuk menggambar area yang besar secara komparatif dari spesimen, kemampuan untuk menggambar materi *bulk*, dan berbagai mode analitikal yang tersedia untuk mengukur komposisi dan sifat dasar dari spesimen. Tergantung dari instrumen, resolusi dapat jatuh di suatu tempat diantara kurang dari 1 nm dan 20 nm.

Pembesaran gambar dari resolusi SEM yang tinggi dipengaruhi oleh besarnya energi elektron yang diberikan. Semakin kecil panjang gelombang yang diberikan oleh elektron, energinya semakin besar, sehingga resolusinya juga semakin tinggi. Preparasi sampel pada SEM harus dilakukan dengan hati-hati karena memanfaatkan kondisi vakum serta menggunakan elektron berenergi tinggi.

Sampel yang digunakan harus dalam keadaan kering dan bersifat konduktif (menghantarkan elektron). Bila tidak, sampel harus dibuat konduktif terlebih dahulu oleh pelapisan dengan karbon, emas, atau platina. (Marlina, 2007).

Syarat agar SEM dapat menghasilkan citra yang tajam permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron. Benda yang akan di uji harus dilapisi dengan logam. Jika benda yang akan diamati berasal dari logam tidak perlu dilapisi dengan logam lagi. Semakin kecil panjang gelombang yang diberikan oleh elektron, energinya semakin besar, sehingga resolusinya juga semakin tinggi.

MATERIAL PEMBENTUK BETON

Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Tipe I. Semen ini dikenal pula sebagai *Ordinary Portland Cement* (OPC), merupakan semen hidro-lis yang dipergunakan secara luas dan digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti:

- Tidak memerlukan ketahanan sulfat;
- Tidak memerlukan persyaratan panas hidrasi;
- Tidak memerlukan kekuatan awal yang tinggi;

Komposisi kimia dari semen Tipe I ditunjukkan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Prosentase komposisi kimia semen tipe I (Saloma, 2014)

Komposisi kimia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
Semen Tipe I	21,20	6,96	64,90	3,10	2,10	1,20	0	0	0,90

Nanosilika

Nanosilika yang digunakan berasal dari pasir silika alam asal Papua dan pasir silika komersil Bangka yang sudah diproses di Balai Besar Keramik dan Pusat Penelitian Metalurgi dan Material BPPT Serpong menjadi nanopartikel yang reaktif (**Gambar 3.16**).



Gambar 3.16. *Nanosilika alam asal Papua (Setiati, N.R, 2015)*

Agregat halus

Pembuatan mortar menggunakan agregat halus (pasir silika Bangka komersil, *mesh 325*). **Tabel 3.2.** merupakan spesifikasi pasir silika komersil Bangka yang digunakan untuk pembuatan mortar.

Agregat kasar

Pembuatan benda uji beton menggunakan agregat kasar. Agregat kasar dibedakan atas dua macam, yaitu kerikil dari batuan alam dan kerikil dari batuan alam yang dipecah. Menurut asalnya kerikil dapat dibedakan atas kerikil galian, kerikil sungai dan kerikil pantai. Kerikil galian biasanya mengandung zat-zat seperti tanah liat, debu, pasir dan zat-zat organik. Kerikil sungai dan kerikil pantai biasanya bebas dari zat-zat yang tercampur, permukaannya licin dan bentuknya lebih bulat. Hal ini disebabkan karena pengaruh air.

Tabel 3.2. Prosentase komposisi kimia pasir silika komersil Bangka

No.	Parameter	Unit	Hasil uji	Metode
1	Fe ₂ O ₃	%	0,02	SNI 15-0346-1989
2	Al ₂ O ₃	%	0,17	SNI 15-0346-1989
3	CaO	%	< 0,01	SNI 15-0346-1989
4	MgO	%	< 0,01	SNI 15-0346-1989
5	MnO ₂	%	< 0,01	SNI 15-0346-1989
6	Cr ₂ O ₃	%	< 0,01	SNI 15-0346-1989
7	Na ₂ O	%	< 0,01	SNI 15-0346-1989
8	K ₂ O	%	0,01	SNI 15-0346-1989
9	SiO ₂	%	99,09	SNI 15-0346-1989
10	TiO ₂	%	0,02	SNI 15-0346-1989
11	LOI (<i>loss on ignition</i>)	%	0,39	SNI 15-0346-1989
12	MC (<i>moisture content</i>)	%, AR	0,06	SNI 15-0346-1989

(Sumber : Sucofindo, 2015)

Butir-butir kerikil alam yang kasar akan menjamin pengikatan adukan lebih baik. Batu pecah adalah agregat kasar yang diperoleh dari batu alam yang dipecah, berukuran (5-70) mm. Panggilingan/pemecahan biasanya dilakukan dengan mesin pemecah batu (*jaw breaker/crusher*). Menurut ukurannya, kerikil dapat dibedakan atas;

Ukuran butir : (5 -10) mm disebut kerikil halus,

Ukuran butir : (10-20) mm disebut kerikil sedang,

Ukuran butir : (20-40) mm disebut kerikil kasar,

Ukuran butir : (40-70) mm disebut kerikil kasar sekali,

Ukuran butir >70 mm digunakan untuk konstruksi beton siklop (*cycloopen concrete*). Pada umumnya yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm. Sebagai bahan adukan beton, maka agregat kasar harus diperiksa secara lapangan. Pengujian agregat kasar terdiri dari pengujian berat jenis, uji kuat hancur, *flakiness index*, dan *elongated index*. Agregat kasar diperoleh melalui pemecahan batuan dengan menggunakan *stone crusher*. Dengan variasi ukuran butiran diharapkan dapat mengisi pori pada matriks semen sehingga terbentuk beton yang padat. Hal-hal yang dapat

dilakukan dalam pemeriksaan agregat halus di lapangan adalah:

- a) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
- b) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
- c) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang relatif alkali.
- d) Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ dari tebal pelat atau $3/4$ dari jarak bersih minimum batang-batang tulangan.

Pengujian agregat kasar terdiri dari pengujian berat jenis, uji kuat hancur, *flakiness index*, dan *elongated index*. Pengujian *flakiness index* dan *elongated index* mengikuti standar ASTM D 4791.

Silika fume

Dalam teknologi beton, *Silica Fume* (SF) digunakan sebagai pengganti sebagian dari semen atau bahan tambahan pada saat sifat-sifat khusus beton dibutuhkan, seperti penempatan mudah, kekuatan tinggi, permeabilitas rendah, durabilitas tinggi, dan lain sebagainya. *Silica fume* merupakan hasil sampingan dari produk logam silikon atau alloy ferosilikon. Menurut standar "*Spesification for Silica Fume faor Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar*" (ASTM.C.1240,1995 : 637-642), *silica fume* adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara *micro silica* dengan *silica fume*).

Silica fume merupakan serbuk halus yang terdiri dari *amorphous micro-sphere* dengan diameter berkisar antara (0,1-1,0) mikron meter, berperan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik beton. Ditinjau dari sifat mekanik, secara geometrikan *silica fume* mengisi rongga-rongga di antara bahan semen

(*grain of cement*), dan mengakibatkan *pore size distribution* (diameter pori) mengecil serta total volume pori juga berkurang (Subakti, 1995: 269).

Kandungan SiO_2 yang tinggi dalam SF yang mencapai 85 sampai 98 persen, berguna untuk keperluan campuran semen (Khayat, K.H, et al, 1997).

Pemakaian *silica fume* untuk campuran mortar dan beton adalah 5% terhadap berat semen. **Gambar 3.17.** menunjukkan jenis *silica fume* yang digunakan untuk campuran beton nano.



Gambar 3.17. Jenis *silica fume* untuk campuran beton nano

Superplasticizer (Sp)

Superplastisizer yang digunakan adalah Sika Viscocrete 10 yang merupakan superplastisizer kinerja tinggi dan pengembangan generasi ketiga untuk beton dan mortar sesuai dengan ASTM C 494-92, Tipe F warna putih, *specific gravity* 1,06 kg/liter. Dosis yang digunakan untuk *soft plastic concrete* sebesar (0,2-0,6)% berat semen dan untuk *flowing and self compacting concrete* (SCC) sebesar (0,5-1,8)% berat semen. **Gambar 3.18.** menunjukkan jenis *superplasticizer* (Sp) yang digunakan untuk campuran beton nano.



Gambar 3.18. Jenis *superplasticizer* untuk campuran beton nano

Pembuatan Mortar

Secara umum pengertian mortar adalah bahan yang digunakan untuk konstruksi bangunan yang terdiri dari campuran antara semen dan agregat halus. Campuran antara semen dan agregat ini menggunakan perbandingan tertentu sehingga daya tahan mortal terhadap tekanan maupun tarikan akan semakin tinggi atau maksimal. Pengujian dan pembuatan mortar mengacu pada SNI-03-6825-2002 perihal “Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil”. **Tabel 3.3.** berikut menunjukkan komposisi dari pembuatan mortar.

Tabel 3.3. *Komposisi campuran mortar dengan berbagai variasi nanosilika (Setiati, N. R, 2015)*

Komposisi campuran mortar dengan fas 0,45												
No	Identifikasi mortar	umur (hari)				jumlah	air (gram)	pasir (gram)	semen (gram)	jumlah (gram)	NS (gram)	SF (gram)
		3	7	14	28							
1	M0 (tanpa NS)	3	3	3	3	12	450	2784	950	4234	0	50
2	M5 (+5% NS)	3	3	3	3	12	450	2784	900	4234	50	50
3	M10 (+10% NS)	3	3	3	3	12	450	2784	850	4234	100	50
4	M15 (+15% NS)	3	3	3	3	12	450	2784	800	4234	150	50
Jumlah total material							1800	11136	3500	16936	300	200
Keterangan : NS = Nanosilika, SF = Silica Fume												

Peralatan pengujian yang digunakan dalam pembuatan mortar terdiri dari oven, timbangan, *mixer*, *vicat*, gelas ukur, cetakan kerucut, alat perata, vibrator, alat pengering agregat halus, cetakan mortar, dan peralatan lainnya sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 3.19.**

Pengujian Sifat Mekanik dan Durabilitas

Pengujian sifat mekanik dilakukan dengan pengujian tekan, sedangkan pengujian durabilitas dilakukan dengan *permeability test* dan *rapid chloride penetration test* (RCPT).



Gambar 3.19. Peralatan pembuatan mortar



Gambar 3.20. Benda uji mortar

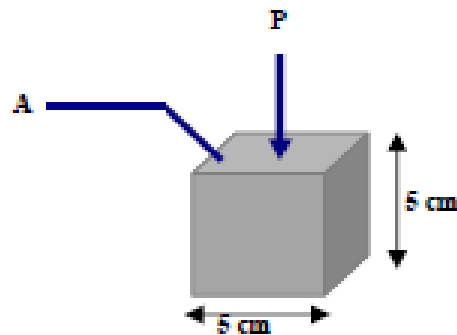
Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Sebelum pengujian, terlebih dahulu dilakukan pengukuran dimensi serta pengamatan visual terhadap benda uji kemudian menimbang dan mencatat berat benda uji.

Untuk menghitung kuat tekan benda uji dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

Sebagai ilustrasi ditunjukkan dalam **Gambar 3.20.** berikut.



Keterangan :

σ adalah kuat tekan mortar (MPa)

P adalah gaya tekan (N)

A adalah luas (mm²) ■

4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian laboratorium, dimulai dari pengembangan material nanosilika sampai dengan pembuatan dan pengujian sifat mekanik mortar dari campuran yang ditambah dengan beberapa variasi prosentase dari nanosilika. Pengembangan nanosilika mencakup pemilihan pasir silika dan penghalusan (proses *milling*). Hasil yang diperoleh dalam proses ini kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Sifat mekanik dari mortar dibahas dalam sub bab berikutnya.

HASIL SINTESIS NANOSILIKA

Proses pengembangan nanosilika ditujukan untuk menghasilkan material berukuran kurang dari 100 nm. Material disyaratkan berbentuk amorphous agar reaktif. Pengujian kimia dengan metode XRF dilakukan di Balai Inkubator Teknologi BPPT R. B07 Serpong Banten untuk mendapatkan kandungan kimiawi pasir silika alam yang berasal dari beberapa lokasi di Indonesia (Bangka, Sumatera Barat, dan Papua) termasuk pasir silika jenis komersil. Hasil pengujian XRF ditunjukkan dalam **Tabel 4.1** sampai dengan **Tabel 4.5**. berikut.

Tabel 4.1. Hasil uji XRF pasir silika alam asal Bolakme, kabupaten Jayawijaya, Papua

ANALYSIS REPORT XRF METHOD					
DATE : November 13, 2015					
SAMPLE : Pasir Silika Alami					
Compound	m/m%	StdErr	El	Weight%	StdErr
SiO2	99.08	0.05	Si	46.32	0.02
Al2O3	0.439	0.022	Al	0.232	0.012
ZrO2	0.142	0.007	Zr	0.105	0.005
Na2O	0.0996	0.0099	Na	0.0739	0.0074
MgO	0.0717	0.0036	Mg	0.0432	0.0022
TiO2	0.0503	0.0025	Ti	0.0302	0.0015
Fe2O3	0.0428	0.0021	Fe	0.0299	0.0015
P	0.0168	0.0014	P	0.0168	0.0014
BaO	0.0164	0.0036	Ba	0.0147	0.0032
Cl	0.0144	0.0032	Cl	0.0144	0.0032
K2O	0.0064	0.0008	K	0.0053	0.0007
MnO	0.0060	0.0009	Mn	0.0046	0.0007
La2O3	0.0055	0.0021	La	0.0047	0.0018
Nd2O3	0.0046	0.0019	Nd	0.0039	0.0016
Cr2O3	0.0024	0.0009	Cr	0.0016	0.0006
KnownConc= 0		REST= 0		D/S= 0.250 Cellulose	
Sum Conc's before normalisation to 100% :				70.9 %	
Total % stripped Oxygen: 53.098					

Sumber : Nanotech, 2015

Tabel 4.2. Hasil uji XRF pasir silika alam asal kabupaten Wamena, Papua

ANALYSIS REPORT XRF METHOD					
DATE : October 20, 2015					
SAMPLE : Wamena					
Compound	m/m%	StdErr	El	Weight%	StdErr
SiO2	99.07	0.05	Si	46.31	0.02
Al2O3	0.450	0.022	Al	0.238	0.012
ZrO2	0.120	0.006	Zr	0.0892	0.0045
Na2O	0.115	0.011	Na	0.0851	0.0081
MgO	0.0663	0.0037	Mg	0.0400	0.0022
TiO2	0.0640	0.0032	Ti	0.0364	0.0019
Fe2O3	0.0312	0.0016	Fe	0.0218	0.0011
BaO	0.0242	0.0041	Ba	0.0217	0.0037
Cl	0.0224	0.0034	Cl	0.0224	0.0034
La2O3	0.0114	0.0024	La	0.0097	0.0020
MnO	0.0108	0.0010	Mn	0.0084	0.0008
K2O	0.0098	0.0010	K	0.0081	0.0008
CaO	0.0088	0.0010	Ca	0.0063	0.0007
KnownConc= 0		REST= 0		D/S= 0.250 Cellulose	
Sum Conc's before normalisation to 100% :				62.7 %	
Total % stripped Oxygen: 53.097					

Sumber : Nanotech, 2015

Tabel 4.3. Hasil uji XRF pasir silika alam asal Sumatera Barat

ANALYSIS REPORT XRF METHOD					
DATE : October 20, 2015					
SAMPLE : Sumbang (II)					
Compound	m/m%	StdErr	El	Weight%	StdErr
SiO2	71.01	0.23	Si	33.20	0.11
Al2O3	14.82	0.18	Al	7.84	0.09
K2O	4.91	0.11	K	4.08	0.09
Na2O	3.41	0.09	Na	2.53	0.07
Fe2O3	2.46	0.08	Fe	1.72	0.05
CaO	1.94	0.07	Ca	1.39	0.05
MgO	0.618	0.031	Mg	0.373	0.019
TiO2	0.266	0.013	Ti	0.160	0.008
BaO	0.123	0.006	Ba	0.110	0.005
ZrO2	0.109	0.005	Zr	0.0807	0.0040
Cl	0.107	0.005	Cl	0.107	0.005
MnO	0.105	0.005	Mn	0.0813	0.0041
P2O5	0.0364	0.0032	Px	0.0159	0.0014
Rb2O	0.0291	0.0015	Rb	0.0266	0.0014
SrO	0.0204	0.0016	Sr	0.0173	0.0014
SO3	0.0199	0.0017	Sx	0.0080	0.0007
La2O3	0.0053	0.0026	La	0.0045	0.0022
ZnO	0.0050	0.0013	Zn	0.0040	0.0011
Y2O3	0.0046	0.0021	Y	0.0036	0.0017
KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0.250 Cellulose					
Sum Conc's before normalisation to 100% : 65.4 %					
Total % stripped Oxygen: 48.254					

Sumber : Nanotech, 2015

Tabel 4.4. Hasil uji XRF pasir silika komersil I asal Bangka

ANALYSIS REPORT XRF METHOD					
DATE : October 20, 2015					
SAMPLE : Bangka Komersial					
Compound	m/m%	StdErr	El	Weight%	StdErr
SiO2	99.04	0.05	Si	46.30	0.02
Al2O3	0.438	0.022	Al	0.232	0.012
ZrO2	0.173	0.009	Zr	0.128	0.006
Fe2O3	0.102	0.005	Fe	0.0715	0.0036
Na2O	0.0691	0.0097	Na	0.0513	0.0072
TiO2	0.0582	0.0029	Ti	0.0349	0.0017
MgO	0.0532	0.0034	Mg	0.0321	0.0020
CdO	0.026	0.013	Cd	0.022	0.012
MnO	0.0158	0.0009	Mn	0.0122	0.0007
Cl	0.0152	0.0033	Cl	0.0152	0.0033
BaO	0.0118	0.0037	Ba	0.0106	0.0033
K2O	0.0099	0.0008	K	0.0082	0.0007
CaO	0.0084	0.0008	Ca	0.0060	0.0006
Ar	0.0073	0.0020	Ar	0.0073	0.0020
Cr2O3	0.0020	0.0009	Cr	0.0014	0.0006
KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0.250 Cellulose					
Sum Conc's before normalisation to 100% : 70.6 %					
Total % stripped Oxygen: 53.090					

Sumber : Nanotech, 2015

Tabel 4.5. Hasil uji XRF pasir alam asal Bangka

ANALYSIS REPORT XRF METHOD					
DATE : October 20, 2015					
SAMPLE : Bangka Alam Ex.Puspitek					
Compound	m/m%	StdErr	El	Weight%	StdErr
SiO2	96.50	0.09	Si	45.11	0.04
Al2O3	2.15	0.07	Al	1.14	0.04
Fe2O3	0.331	0.017	Fe	0.232	0.012
Na2O	0.231	0.013	Na	0.171	0.009
K2O	0.219	0.011	K	0.182	0.009
TiO2	0.144	0.007	Ti	0.0861	0.0043
ZrO2	0.132	0.007	Zr	0.0975	0.0049
MgO	0.0939	0.0047	Mg	0.0566	0.0028
Ag2O	0.081	0.037	Ag	0.075	0.035
CaO	0.0347	0.0017	Ca	0.0248	0.0012
Cl	0.0271	0.0040	Cl	0.0271	0.0040
BaO	0.0224	0.0047	Ba	0.0201	0.0042
MnO	0.0176	0.0012	Mn	0.0136	0.0009
Y2O3	0.0074	0.0020	Y	0.0058	0.0015
P	0.0046	0.0016	P	0.0046	0.0016
KnownConc= 0 REST= 0 D/S= 0.250Cellulose					
Sum Conc's before normalisation to 100% : 58.6 %					
Total % stripped Oxygen: 52.750					

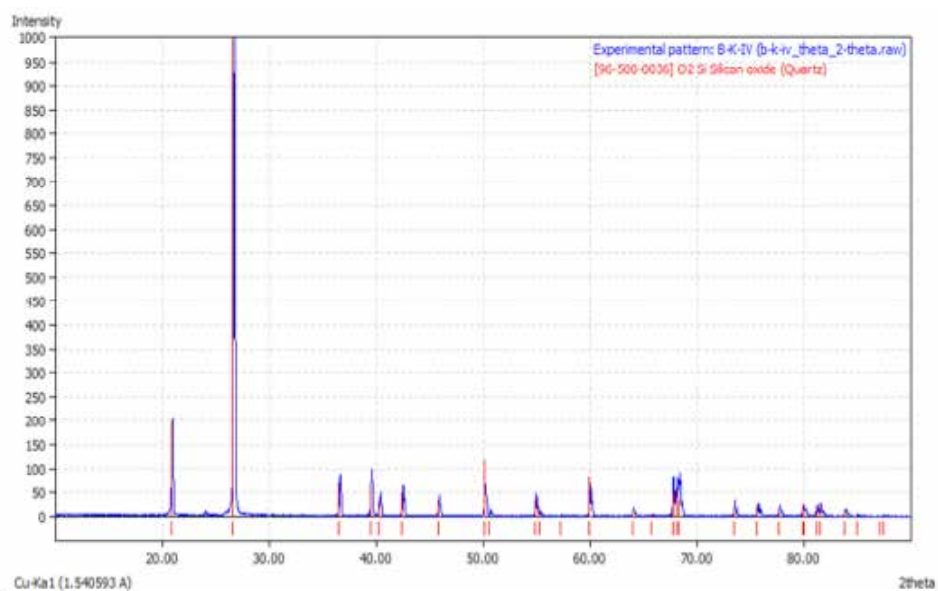
Sumber : Nanotech, 2015

Berdasarkan hasil pengujian XRF pada **Tabel 4.1.** sampai dengan **Tabel 4.2,** diperoleh bahwa pasir silika alam asal Papua dan pasir silika komersil asal Bangka memiliki kandungan SiO₂ yang sangat tinggi yaitu diatas 99% sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 4.6.**

Tabel 4.6. Kandungan oksida pasir silika

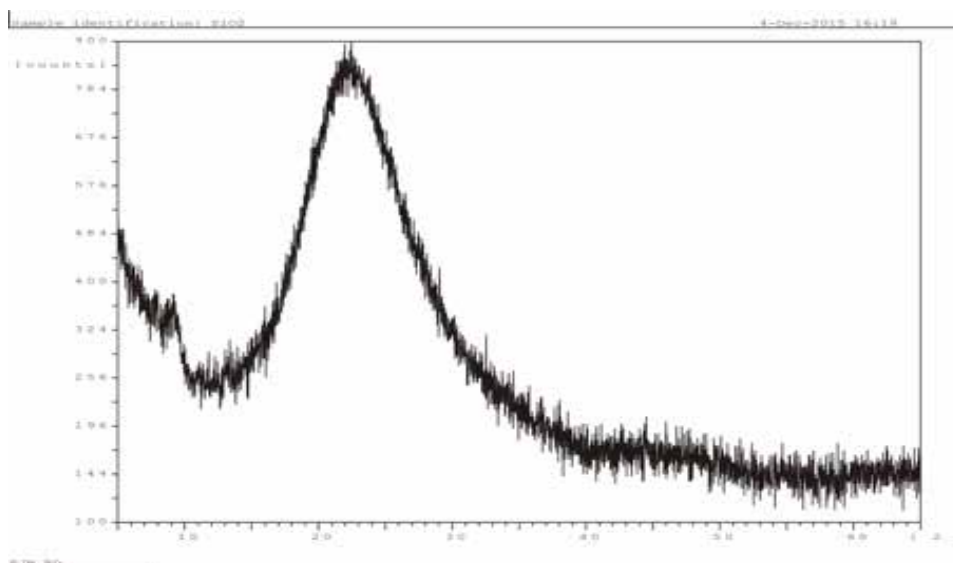
No	Identiifikasi jenis pasir silika	Oksida (%)				
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
1	Alam asal Jayawijaya, Papua	99,08	0,0503	0,439	0,0428	-
2	Alam asal Wamena, Papua	99,07	0,0640	0,450	0,0312	0,0088
3	Komersil I asal Bangka	99,04	0,0582	0,438	0,1020	0,0084
4	Alam asal Bangka	96,50	0,1440	2,150	0,3310	0,0347
5	Alam asal Sumatera Barat	71,01	0,2660	14,82	2,4600	1,9400

Dari **Tabel 4.5**, pasir silika alam asal Papua dan pasir silika komersil asal Bangka lebih berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi nanosilika alam. Selanjutnya dilakukan proses pembuatan nanosilika dengan menggunakan peralatan yang ada di Indonesia. Sebelumnya untuk mengetahui sifat reaktifitas dari pasir silika tersebut, terlebih dahulu dilakukan uji XRD untuk pasir silika komersil I asal Bangka yang memiliki ukuran mesh 325. Pasir silika komersil I asal Bangka banyak tersedia di beberapa toko dan dijual secara komersil. Pasir tersebut sudah mengalami proses penghalusan dan pencucian dari beberapa unsur pengotor. Hasil uji XRD pasir silika komersil I ditunjukkan dalam **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. Grafik hasil uji XRD pasir silika komersil I Bangka mesh 325

Berdasarkan **Gambar 4.1**, pasir silika dengan mesh 325 tersebut belum bersifat reaktif, terbukti dari hasil uji XRD, bentuk grafiknya masih memiliki puncak-puncak yang tajam. Hal ini menunjukkan pasir tersebut masih bersifat kristalin (belum reaktif). Untuk itu perlu dilakukan proses sintesis sehingga diperoleh bentuk grafik yang amorphous. Proses pembuatan nanosilika dilaku-



Gambar 4.2. Grafik hasil uji XRD nanosilika alam asal Wamena

kan dengan menggunakan alat PLMT (*Polishing Liquid Milling Technology*) yang dikembangkan oleh Balai Besar Keramik (BBK) Bandung. Hasil proses nanosilika alam dengan alat PLMT kemudian diuji dengan XRD yang hasilnya ditunjukkan dalam **Gambar 4.2**.

Dari **Gambar 4.2**, menunjukkan bahwa hasil uji XRD nanosilika alam asal Wamena, Papua sudah sesuai dengan yang diharapkan, di mana bentuk grafiknya adalah amorphous (artinya nanosilika tersebut bersifat reaktif) dan berada pada ukuran kurang dari 100 nm. Berdasarkan standar yang ada jika ukuran partikel berada dibawah 100 nm, maka nanosilika alam masuk dalam kategori material nano. Material berukuran nanometer memiliki sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material ukuran besar. Material dalam ukuran nanometer memiliki sifat yang lebih kayak arena ada beberapa sifat yang dimiliki material ukuran ini yang tidak dimiliki oleh material ukuran besar. Sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antarpartikel. Riset nanoteknologi tidak hanya terbatas pada nanopartikel, tetapi lebih luas ke material nanostruktur. Material nanostruktur adalah material yang tersusun atas bagian-bagian kecil dengan tiap-tiap bagian

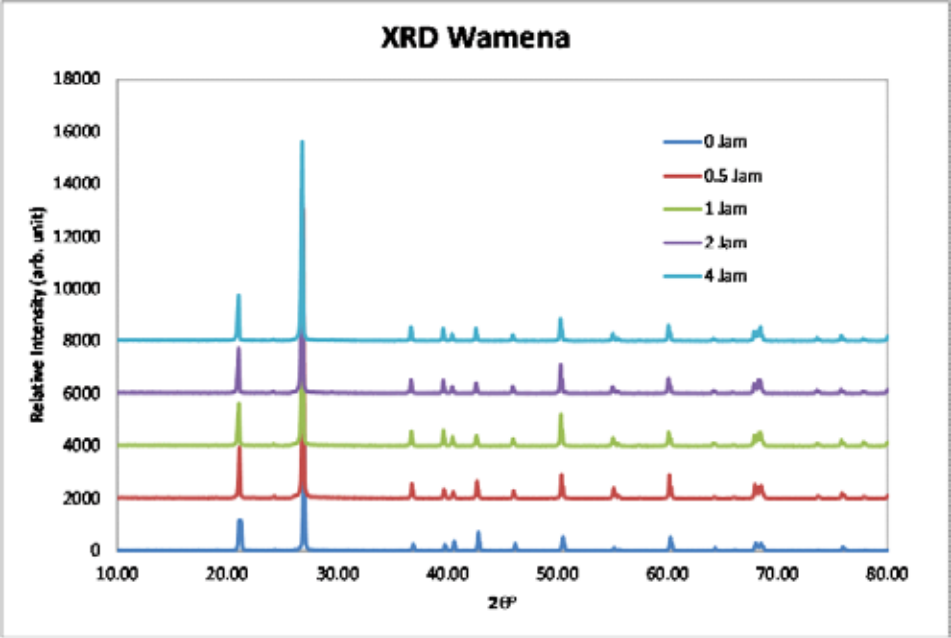
berukuran kurang dari 100 nm, walaupun ukuran material secara keseluruhan cukup besar. Namun dalam ukuran besar tersebut sifat bagian-bagian kecil harus tetap dipertahankan.

Walaupun semua material tersusun atas bagian-bagian kecil seperti atom, molekul, atau kluster yang berukuran beberapa nanometer, namun material tersebut tidak langsung dapat dikategorikan sebagai material nanostruktur. Ketika tersusun menjadi material yang berukuran besar, bisa terjadi sifat individual partikel-partikel kecil penyusun materi hilang. Jika terjadi demikian, maka material yang terbentuk tidak dikatakan material nanostruktur. Namun jika sifat individual partikel-partikel penyusun masih terbawa pada material besar, maka material tersebut dikatakan sebagai material nanostruktur. Untuk menghasilkan material nanostruktur maka partikel-partikel penyusunnya harus diproteksi sehingga apabila partikel-partikel tersebut digabung menjadi material yang berukuran besar, maka sifat individualnya dipertahankan (Saloma, 2014).

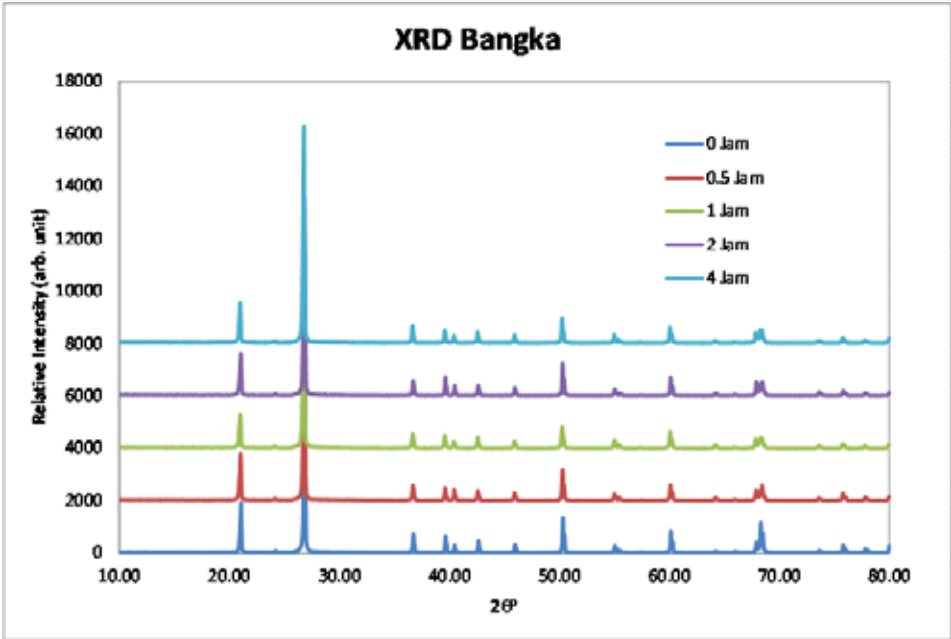
Pada penelitian ini, pembuatan nanosilika alam yang dikembangkan oleh Balai Besar Keramik Bandung dengan metode PLMT dalam skala laboratorium, fraksi massa nanosilika alam yang dihasilkan sebesar $\pm 40\%$ dari massa pasir yang digunakan. Menurut Jonbi (2015), harga jual nanosilika alam (Rp. 400.000/kg) lebih mahal dibandingkan nanosilika komersil (Rp. 45.000 – Rp. 150.000/kg), yaitu sekitar (2 – 9) kali lipat. Namun demikian, metode PLMT memiliki potensi untuk mengembangkan lebih lanjut pembuatan nanosilika alam sampai tahap produksi massal, sehingga biaya produksi bisa lebih murah dari nanosilika komersil yang ada.

HASIL SINTESIS SUBMIKRO-NANOPARTIKEL PASIR SILIKA

Ukuran submikro partikel berada pada rentang ukuran (100 – 1000) nm. Ukuran ini lebih besar daripada ukuran nanomaterial yaitu di bawah 100 nm. Proses penghalusan material menjadi ukuran submikro dilakukan secara fisika. Dalam proses sintesis submikro-nanopartikel pasir silika dilakukan beberapa pengujian seperti XRD dan PSA. Jenis pasir silika yang diuji berasal dari alam yang diambil dari daerah Papua dan pasir silika komersil Bangka dengan



Gambar 4.3. Grafik hasil uji XRD pasir silika alam asal Wamena, Papua



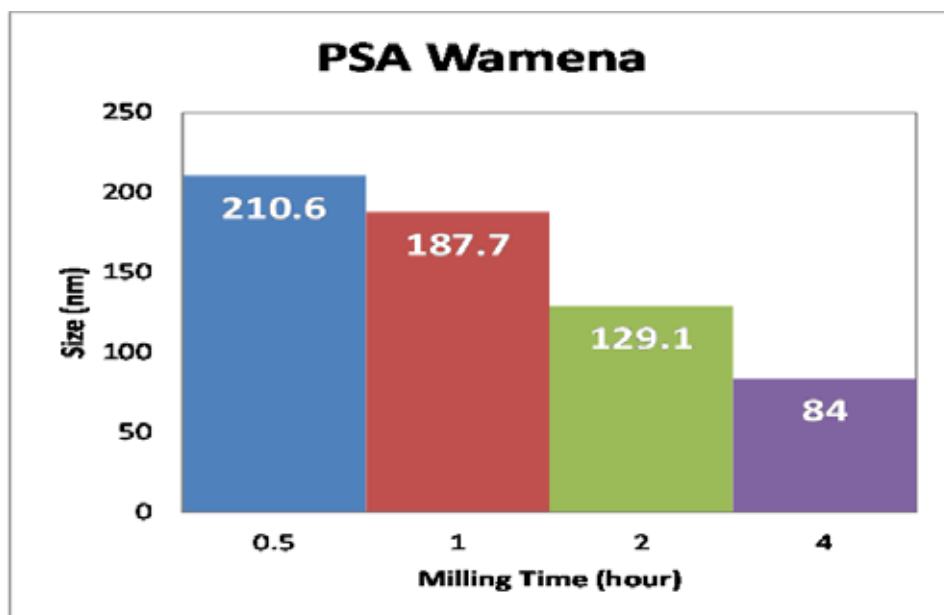
Gambar 4.4. Grafik hasil uji XRD pasir silika komersil asal Bangka

ukuran *mesh* 325. Hasil uji XRD dari material pasir silika alam Papua dan pasir silika komersil Bangka ditunjukkan dalam **Gambar 4.3.** dan **Gambar 4.4.**

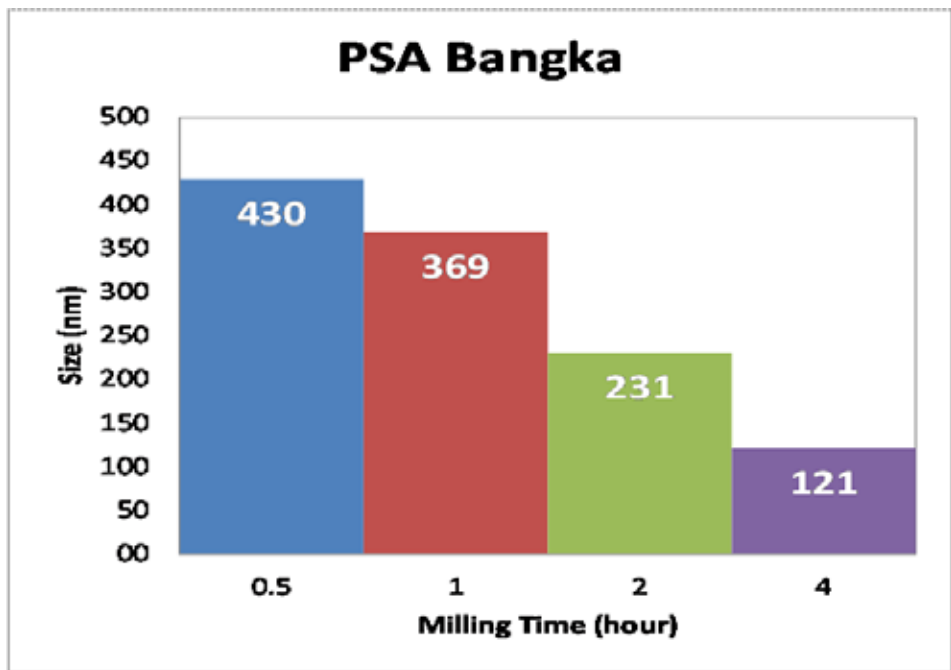
Berdasarkan hasil uji XRD yang ditunjukkan dalam **Gambar 4.3.** semakin lama proses milling yang dilakukan maka diperoleh tingkat reaktifitas yang semakin tinggi. Tingkat reaktifitas tertinggi diperoleh pada sudut difraksi antara (20 – 30) $2\theta^\circ$. Bentuk grafik dari **Gambar 4.3.** tersebut adalah kristalin.

Gambar 4.4. memiliki bentuk reaktifitas yang hampir sama dengan **Gambar 4.3.** Berdasarkan hasil uji XRD yang ditunjukkan dalam **Gambar 4.4.** semakin lama proses milling yang dilakukan maka diperoleh tingkat reaktifitas yang semakin tinggi. Tingkat reaktifitas tertinggi diperoleh pada sudut difraksi antara (20 – 30) $2\theta^\circ$. Bentuk grafik dari **Gambar 4.4.** tersebut adalah kristalin.

Disamping pengujian XRD, dalam proses submikro-nanopartikel dilakukan juga pengujian PSA (*Particle Size Analyzer*). Hasil uji PSA untuk pasir silika alam Papua dan pasir silika komersil Bangka ditunjukkan dalam **Gambar 4.5.** dan **Gambar 4.6.**



Gambar 4.5. Grafik hasil uji PSA pasir silika alam asal Wamena, Papua



Gambar 4.6. Grafik hasil uji PSA pasir silika komersil asal Bangka

Dari **Gambar 4.5**, proses *milling* yang dilakukan selama 4 jam dapat menghasilkan ukuran partikel sampai mencapai 84 nm. Sedangkan untuk proses *milling* yang dilakukan kurang dari 4 jam, ukuran maksimum partikel yang diperoleh hanya mencapai 129 nm, dimana ukuran tersebut masih diatas ukuran material nano (yaitu < 100 nm). Hasil uji PSA untuk pasir silika komersil Bangka ditunjukkan dalam **Gambar 4.6**.

Dari **Gambar 4.6**, proses *milling* yang dilakukan selama 4 jam menghasilkan ukuran partikel sampai mencapai 121 nm. Ukuran tersebut masih di atas ukuran material nano (yaitu > 100 nm). ■

5

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis beberapa pengujian terkait sifat fisik dan kimia dari nanomaterial diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pasir silika dengan kandungan SiO_2 diatas 99% sangat berpotensi untuk diproses menjadi nanosilika alam, sedangkan untuk pasir silika dengan kandungan SiO_2 kurang dari 99% dapat diproses menjadi submikrosilika. Hal ini disebabkan bahwa untuk meningkatkan kandungan SiO_2 sebesar ($\frac{1}{2}$ – 1)% diperlukan proses yang lama dan energi yang besar.
2. Nanosilika alam yang merupakan hasil proses pasir silika Papua dan pasir silika Bangka dengan metode *Polishing Liquid Milling Technology* sudah bersifat amorphous, terbukti dari hasil uji XRD yang memiliki bentuk grafik lebih landai dibandingkan grafik yang bentuknya kristalin. Hal ini membuktikan bahwa nanosilika alam tersebut bersifat reaktif.

3. Berdasarkan hasil uji PSA diperoleh bahwa proses *milling* yang dilakukan selama 4 jam terhadap pasir silika alam Papua sudah mampu menghasilkan nanopartikel dengan ukuran kurang dari 100 nm.

SARAN

1. Perlu penyempurnaan proses *Polishing Liquid Milling Technology* agar didapat nanosilika komersil yang memiliki nilai kompetitif sehingga harganya lebih ekonomis.
2. Perlu diperhatikan sifat dari nanosilika yang cenderung untuk beraglomerasi pada saat proses pencampuran terhadap beton. ■



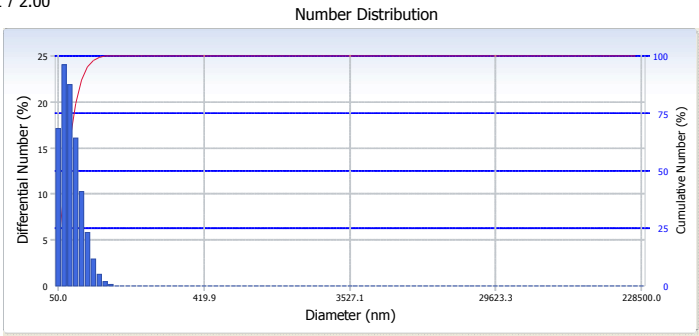
LAMPIRAN HASIL UJI



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: wamena 4
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 10:14:00	File Name	: wamena 4_20151125_101400
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: wamena 4
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)				Cumulants Results			
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.		Diameter (d)	: 5690.8	(nm)	
1	60.9	9.6		Polydispersity Index (P.I.)	: 1.243		
2	26,193.7	6,559.5		Diffusion Const. (D)	: 6.967e-010	(cm ² /sec)	
3	0.0	0.0		Measurement Condition			
4	0.0	0.0		Temperature	: 25.0	(°C)	
5	0.0	0.0		Diluent Name	: Ethyl Alcohol		
Average	62.4	205.4		Refractive Index	: 1.3611		
Residual	: 5.580e-002	(N.G)		Viscosity	: 1.1015	(cP)	
				Scattering Intensity	: 3052	(cps)	
Number Distribution Table							
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)f(cum.%)
50.0	17.2	17.2	419.9	0.0	100.0	3527.1	0.0 100.0
54.4	24.0	41.2	457.3	0.0	100.0	3840.4	0.0 100.0
59.3	21.9	63.1	497.9	0.0	100.0	4181.7	0.0 100.0
64.5	16.1	79.1	542.1	0.0	100.0	4553.2	0.0 100.0
70.3	10.2	89.4	590.3	0.0	100.0	4957.8	0.0 100.0
76.5	5.8	95.2	642.7	0.0	100.0	5398.3	0.0 100.0
83.3	2.9	98.1	699.8	0.0	100.0	5877.9	0.0 100.0
90.7	1.3	99.4	762.0	0.0	100.0	6400.2	0.0 100.0
98.8	0.5	99.9	829.7	0.0	100.0	6968.9	0.0 100.0
107.6	0.1	100.0	903.5	0.0	100.0	7588.1	0.0 100.0
117.1	0.0	100.0	983.7	0.0	100.0	8262.3	0.0 100.0
127.5	0.0	100.0	1071.1	0.0	100.0	8996.4	0.0 100.0
138.9	0.0	100.0	1166.3	0.0	100.0	9795.8	0.0 100.0
151.2	0.0	100.0	1269.9	0.0	100.0	10666.2	0.0 100.0
164.6	0.0	100.0	1382.8	0.0	100.0	11613.9	0.0 100.0
179.3	0.0	100.0	1505.7	0.0	100.0	12645.8	0.0 100.0
195.2	0.0	100.0	1639.4	0.0	100.0	13769.4	0.0 100.0
212.5	0.0	100.0	1785.1	0.0	100.0	14992.8	0.0 100.0
231.4	0.0	100.0	1943.7	0.0	100.0	16325.0	0.0 100.0
252.0	0.0	100.0	2116.4	0.0	100.0	17775.5	0.0 100.0
274.4	0.0	100.0	2304.5	0.0	100.0	19354.8	0.0 100.0
298.8	0.0	100.0	2509.2	0.0	100.0	21074.6	0.0 100.0
325.3	0.0	100.0	2732.2	0.0	100.0	22947.1	0.0 100.0
354.2	0.0	100.0	2974.9	0.0	100.0	24986.0	0.0 100.0
385.7	0.0	100.0	3239.2	0.0	100.0	27206.0	0.0 100.0
D (10%) :		54.4 (nm)	D (50%) :		56.3 (nm)	D (90%) :	
						70.9 (nm)	



Delsa™ Nano
DelsaNano

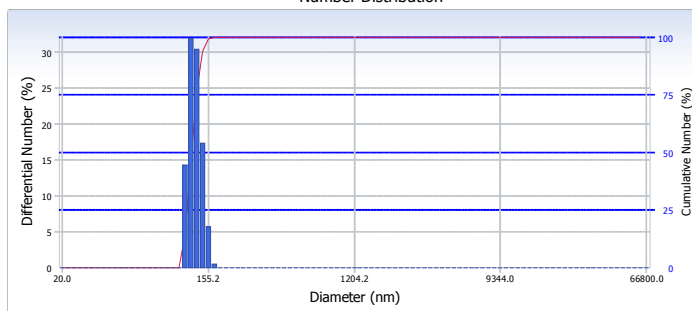
Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 2	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : wamena 2_20151125_102619	
Time : 10:26:19	Sample Information : wamena 2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	129.1	12.0
2	54,955.9	5,223.5
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	129.3	113.0

Residual : 7.358e-002 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1911.4 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.942
 Diffusion Const. (D) : 2.074e-009 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : Ethyl Alcohol
 Refractive Index : 1.3611
 Viscosity : 1.1015 (cP)
 Scattering Intensity : 3233 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	155.2	5.7	99.5	1204.2	0.0	100.0	9344.0	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	168.4	0.5	100.0	1307.1	0.0	100.0	10142.1	0.0	100.0
23.6	0.0	0.0	182.8	0.0	100.0	1418.7	0.0	100.0	11008.3	0.0	100.0
25.6	0.0	0.0	198.4	0.0	100.0	1539.9	0.0	100.0	11948.5	0.0	100.0
27.8	0.0	0.0	215.4	0.0	100.0	1671.4	0.0	100.0	12969.1	0.0	100.0
30.1	0.0	0.0	233.8	0.0	100.0	1814.1	0.0	100.0	14076.7	0.0	100.0
32.7	0.0	0.0	253.8	0.0	100.0	1969.1	0.0	100.0	15279.0	0.0	100.0
35.5	0.0	0.0	275.4	0.0	100.0	2137.2	0.0	100.0	16584.0	0.0	100.0
38.5	0.0	0.0	299.0	0.0	100.0	2319.8	0.0	100.0	18000.4	0.0	100.0
41.8	0.0	0.0	324.5	0.0	100.0	2517.9	0.0	100.0	19537.8	0.0	100.0
45.4	0.0	0.0	352.2	0.0	100.0	2733.0	0.0	100.0	21206.5	0.0	100.0
49.3	0.0	0.0	382.3	0.0	100.0	2966.4	0.0	100.0	23017.7	0.0	100.0
53.5	0.0	0.0	414.9	0.0	100.0	3219.7	0.0	100.0	24983.6	0.0	100.0
58.0	0.0	0.0	450.4	0.0	100.0	3494.7	0.0	100.0	27117.5	0.0	100.0
63.0	0.0	0.0	488.8	0.0	100.0	3793.2	0.0	100.0	29433.5	0.0	100.0
68.4	0.0	0.0	530.6	0.0	100.0	4117.2	0.0	100.0	31947.4	0.0	100.0
74.2	0.0	0.0	575.9	0.0	100.0	4468.8	0.0	100.0	34676.0	0.0	100.0
80.6	0.0	0.0	625.1	0.0	100.0	4850.5	0.0	100.0	37637.7	0.0	100.0
87.4	0.0	0.0	678.5	0.0	100.0	5264.8	0.0	100.0	40852.3	0.0	100.0
94.9	0.0	0.0	736.4	0.0	100.0	5714.5	0.0	100.0	44341.4	0.0	100.0
103.0	0.0	0.0	799.3	0.0	100.0	6202.5	0.0	100.0	48128.6	0.0	100.0
111.8	14.2	14.2	867.6	0.0	100.0	6732.3	0.0	100.0	52239.2	0.0	100.0
121.4	31.9	46.1	941.7	0.0	100.0	7307.3	0.0	100.0	56700.9	0.0	100.0
131.7	30.4	76.5	1022.1	0.0	100.0	7931.4	0.0	100.0	61543.6	0.0	100.0
143.0	17.4	93.8	1109.4	0.0	100.0	8608.8	0.0	100.0	66800.0	0.0	100.0
D (10%) : 109.1 (nm)			D (50%) : 122.6 (nm)			D (90%) : 140.4 (nm)					



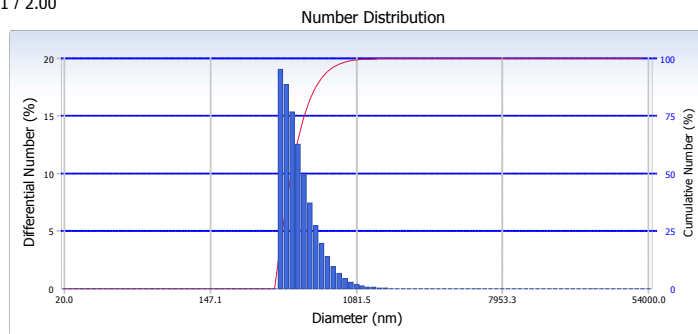
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 1-2	Repetition : 1/1
Date : 11/24/2015	File Name : wamena 1-2_20151124_105851	
Time : 10:58:51	Sample Information : wamena 1-2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	505.4	144.2
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	505.4	144.2

Residual : 2.456e-002 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 1834.0	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.668	
Diffusion Const. (D)	: 2.162e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Refractive Index	: 1.3611	
Viscosity	: 1.1015	(cP)
Scattering Intensity	: 9904	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	147.1	0.0	0.0	1081.5	0.4	99.3	7953.3	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	159.3	0.0	0.0	1171.4	0.2	99.6	8614.1	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	172.5	0.0	0.0	1268.7	0.2	99.7	9329.7	0.0	100.0
25.4	0.0	0.0	186.9	0.0	0.0	1374.1	0.1	99.8	10104.8	0.0	100.0
27.5	0.0	0.0	202.4	0.0	0.0	1488.3	0.1	99.9	10944.3	0.0	100.0
29.8	0.0	0.0	219.2	0.0	0.0	1611.9	0.0	99.9	11853.6	0.0	100.0
32.3	0.0	0.0	237.4	0.0	0.0	1745.8	0.0	100.0	12838.4	0.0	100.0
35.0	0.0	0.0	257.1	0.0	0.0	1890.9	0.0	100.0	13905.0	0.0	100.0
37.9	0.0	0.0	278.5	0.0	0.0	2048.0	0.0	100.0	15060.2	0.0	100.0
41.0	0.0	0.0	301.6	0.0	0.0	2218.1	0.0	100.0	16311.4	0.0	100.0
44.4	0.0	0.0	326.7	0.0	0.0	2402.4	0.0	100.0	17666.5	0.0	100.0
48.1	0.0	0.0	353.8	0.0	0.0	2602.0	0.0	100.0	19134.2	0.0	100.0
52.1	0.0	0.0	383.2	19.1	19.1	2818.2	0.0	100.0	20723.9	0.0	100.0
56.4	0.0	0.0	415.1	17.7	36.8	3052.3	0.0	100.0	22445.6	0.0	100.0
61.1	0.0	0.0	449.6	15.3	52.1	3305.9	0.0	100.0	24310.4	0.0	100.0
66.2	0.0	0.0	486.9	12.6	64.7	3580.5	0.0	100.0	26330.0	0.0	100.0
71.7	0.0	0.0	527.4	9.9	74.6	3878.0	0.0	100.0	28517.5	0.0	100.0
77.7	0.0	0.0	571.2	7.5	82.0	4200.2	0.0	100.0	30886.7	0.0	100.0
84.1	0.0	0.0	618.6	5.5	87.5	4549.1	0.0	100.0	33452.8	0.0	100.0
91.1	0.0	0.0	670.0	4.0	91.5	4927.0	0.0	100.0	36232.0	0.0	100.0
98.7	0.0	0.0	725.7	2.8	94.3	5336.4	0.0	100.0	39242.2	0.0	100.0
106.9	0.0	0.0	786.0	1.9	96.2	5779.7	0.0	100.0	42502.4	0.0	100.0
115.8	0.0	0.0	851.3	1.3	97.5	6259.9	0.0	100.0	46033.4	0.0	100.0
125.4	0.0	0.0	922.0	0.9	98.4	6780.0	0.0	100.0	49857.9	0.0	100.0
135.8	0.0	0.0	998.6	0.6	99.0	7343.2	0.0	100.0	54000.0	0.0	100.0
D (10%) :	369	(nm)	D (50%) :	444.6	(nm)	D (90%) :	650.2	(nm)			



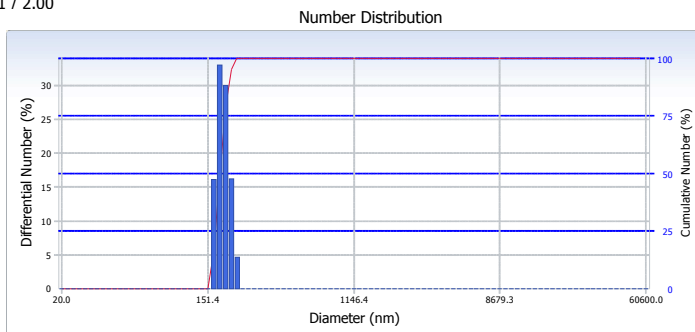
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 1	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : wamena 1_20151125_100641	
Time : 10:06:41	Sample Information : wamena 1	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	187.7	16.6
2	48,037.5	5,176.9
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	191.5	431.1
Residual :	4.679e-002	(N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) :	1803.6	(nm)
Polydispersity Index (P.I.) :	0.870	
Diffusion Const. (D) :	2.198e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature :	25.0	(°C)
Diluent Name :	Ethyl Alcohol	
Refractive Index :	1.3611	
Viscosity :	1.1015	(cP)
Scattering Intensity :	7939	(cps)

Number Distribution Table

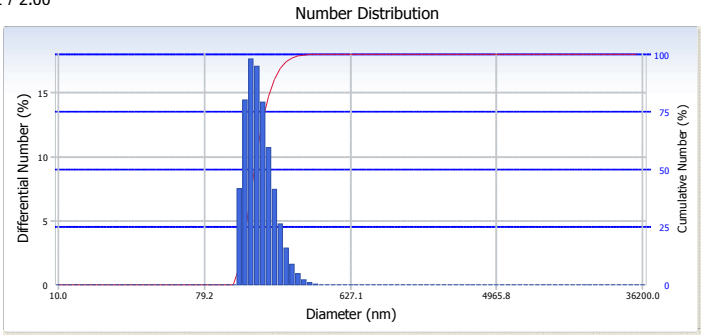
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	151.4	0.0	0.0	1146.4	0.0	100.0	8679.3	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	164.2	16.1	16.1	1243.1	0.0	100.0	9411.4	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	178.0	33.0	49.1	1347.9	0.0	100.0	10205.1	0.0	100.0
25.5	0.0	0.0	193.1	30.0	79.1	1461.6	0.0	100.0	11065.9	0.0	100.0
27.6	0.0	0.0	209.3	16.2	95.3	1584.9	0.0	100.0	11999.2	0.0	100.0
30.0	0.0	0.0	227.0	4.7	100.0	1718.6	0.0	100.0	13011.2	0.0	100.0
32.5	0.0	0.0	246.1	0.0	100.0	1863.5	0.0	100.0	14108.6	0.0	100.0
35.3	0.0	0.0	266.9	0.0	100.0	2020.7	0.0	100.0	15298.5	0.0	100.0
38.2	0.0	0.0	289.4	0.0	100.0	2191.1	0.0	100.0	16588.8	0.0	100.0
41.5	0.0	0.0	313.8	0.0	100.0	2375.9	0.0	100.0	17987.9	0.0	100.0
44.9	0.0	0.0	340.3	0.0	100.0	2576.3	0.0	100.0	19505.1	0.0	100.0
48.7	0.0	0.0	369.0	0.0	100.0	2793.6	0.0	100.0	21150.2	0.0	100.0
52.8	0.0	0.0	400.1	0.0	100.0	3029.2	0.0	100.0	22934.0	0.0	100.0
57.3	0.0	0.0	433.9	0.0	100.0	3284.7	0.0	100.0	24868.3	0.0	100.0
62.1	0.0	0.0	470.4	0.0	100.0	3561.7	0.0	100.0	26965.7	0.0	100.0
67.4	0.0	0.0	510.1	0.0	100.0	3862.1	0.0	100.0	29240.0	0.0	100.0
73.1	0.0	0.0	553.1	0.0	100.0	4187.9	0.0	100.0	31706.2	0.0	100.0
79.2	0.0	0.0	599.8	0.0	100.0	4541.1	0.0	100.0	34380.3	0.0	100.0
85.9	0.0	0.0	650.4	0.0	100.0	4924.1	0.0	100.0	37280.0	0.0	100.0
93.2	0.0	0.0	705.2	0.0	100.0	5339.4	0.0	100.0	40424.3	0.0	100.0
101.0	0.0	0.0	764.7	0.0	100.0	5789.7	0.0	100.0	43833.7	0.0	100.0
109.5	0.0	0.0	829.2	0.0	100.0	6278.0	0.0	100.0	47530.7	0.0	100.0
118.8	0.0	0.0	899.2	0.0	100.0	6807.5	0.0	100.0	51539.5	0.0	100.0
128.8	0.0	0.0	975.0	0.0	100.0	7381.7	0.0	100.0	55886.5	0.0	100.0
139.6	0.0	0.0	1057.2	0.0	100.0	8004.2	0.0	100.0	60600.0	0.0	100.0
D (10%) :	159.2	(nm)	D (50%) :	178.5	(nm)	D (90%) :	203.9	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: banka 4
Date	: 11/25/2015	File Name	: banka 4_20151125_111602
Time	: 11:16:02	Sample Information	: banka 4
SOP Name	: Nanotech	Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results	
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 1293.6 (nm)
1	176.5	37.3	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.602
2	16,163.3	3,434.8	Diffusion Const. (D)	: 3.072e-009 (cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition	
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.1 (°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol
Average	176.9	94.1	Refractive Index	: 1.3611
Residual	: 7.290e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.0995 (cP)
			Scattering Intensity	: 6965 (cps)

Number Distribution Table											
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	79.2	0.0	0.0	627.1	0.0	100.0	4965.8	0.0	100.0
10.9	0.0	0.0	86.0	0.0	0.0	681.2	0.0	100.0	5394.3	0.0	100.0
11.8	0.0	0.0	93.4	0.0	0.0	740.0	0.0	100.0	5859.8	0.0	100.0
12.8	0.0	0.0	101.5	0.0	0.0	803.8	0.0	100.0	6365.5	0.0	100.0
13.9	0.0	0.0	110.3	0.0	0.0	873.2	0.0	100.0	6914.8	0.0	100.0
15.1	0.0	0.0	119.8	0.0	0.0	948.6	0.0	100.0	7511.5	0.0	100.0
16.4	0.0	0.0	130.1	7.5	7.5	1030.4	0.0	100.0	8159.6	0.0	100.0
17.8	0.0	0.0	141.3	14.5	22.0	1119.3	0.0	100.0	8863.7	0.0	100.0
19.4	0.0	0.0	153.5	17.6	39.6	1215.9	0.0	100.0	9628.6	0.0	100.0
21.1	0.0	0.0	166.8	17.1	56.7	1320.8	0.0	100.0	10459.5	0.0	100.0
22.9	0.0	0.0	181.2	14.3	71.0	1434.8	0.0	100.0	11362.1	0.0	100.0
24.9	0.0	0.0	196.8	10.7	81.7	1558.6	0.0	100.0	12342.5	0.0	100.0
27.0	0.0	0.0	213.8	7.4	89.2	1693.1	0.0	100.0	13407.6	0.0	100.0
29.3	0.0	0.0	232.3	4.8	93.9	1839.2	0.0	100.0	14564.5	0.0	100.0
31.9	0.0	0.0	252.3	2.9	96.8	1997.9	0.0	100.0	15821.3	0.0	100.0
34.6	0.0	0.0	274.1	1.6	98.4	2170.3	0.0	100.0	17186.6	0.0	100.0
37.6	0.0	0.0	297.7	0.9	99.3	2357.6	0.0	100.0	18669.7	0.0	100.0
40.8	0.0	0.0	323.4	0.4	99.7	2561.1	0.0	100.0	20280.7	0.0	100.0
44.4	0.0	0.0	351.3	0.2	99.9	2782.1	0.0	100.0	22030.8	0.0	100.0
48.2	0.0	0.0	381.6	0.1	100.0	3022.1	0.0	100.0	23931.8	0.0	100.0
52.4	0.0	0.0	414.6	0.0	100.0	3282.9	0.0	100.0	25997.0	0.0	100.0
56.9	0.0	0.0	450.3	0.0	100.0	3566.2	0.0	100.0	28240.3	0.0	100.0
61.8	0.0	0.0	489.2	0.0	100.0	3873.9	0.0	100.0	30677.2	0.0	100.0
67.1	0.0	0.0	531.4	0.0	100.0	4208.2	0.0	100.0	33324.4	0.0	100.0
72.9	0.0	0.0	577.3	0.0	100.0	4571.4	0.0	100.0	36200.0	0.0	100.0
D (10%) :		132 (nm)	D (50%) :		161.5 (nm)	D (90%) :		216.9 (nm)			



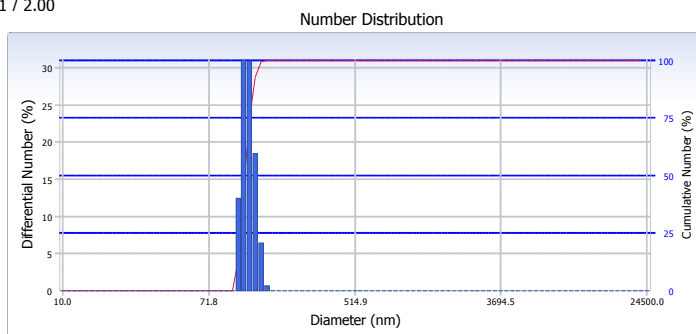
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : bangsa 2	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : bangsa 2_20151125_112348	
Time : 11:23:48	Sample Information : bangsa 2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	122.9	11.1
2	21,777.0	1,601.8
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	123.2	75.8

Residual : 8.295e-002 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 971.3	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.489	
Diffusion Const. (D)	: 4.082e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Refractive Index	: 1.3611	
Viscosity	: 1.1015	(cP)
Scattering Intensity	: 14511	(cps)

Number Distribution Table

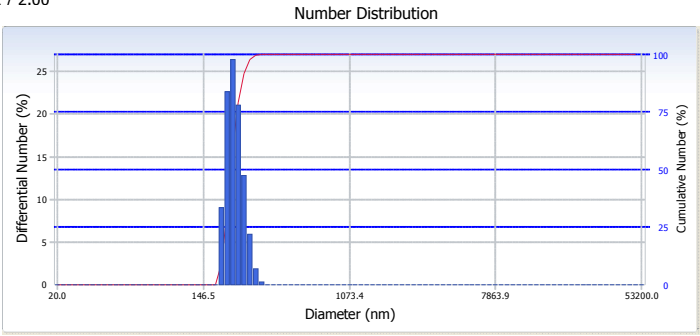
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	71.8	0.0	0.0	514.9	0.0	100.0	3694.5	0.0	100.0
10.8	0.0	0.0	77.6	0.0	0.0	557.1	0.0	100.0	3997.5	0.0	100.0
11.7	0.0	0.0	84.0	0.0	0.0	602.8	0.0	100.0	4325.3	0.0	100.0
12.7	0.0	0.0	90.9	0.0	0.0	652.2	0.0	100.0	4680.1	0.0	100.0
13.7	0.0	0.0	98.4	0.0	0.0	705.7	0.0	100.0	5063.9	0.0	100.0
14.8	0.0	0.0	106.4	12.4	12.4	763.6	0.0	100.0	5479.2	0.0	100.0
16.0	0.0	0.0	115.1	31.0	43.4	826.2	0.0	100.0	5928.6	0.0	100.0
17.4	0.0	0.0	124.6	30.9	74.3	894.0	0.0	100.0	6414.9	0.0	100.0
18.8	0.0	0.0	134.8	18.5	92.8	967.3	0.0	100.0	6941.0	0.0	100.0
20.3	0.0	0.0	145.9	6.5	99.3	1046.7	0.0	100.0	7510.3	0.0	100.0
22.0	0.0	0.0	157.8	0.7	100.0	1132.5	0.0	100.0	8126.2	0.0	100.0
23.8	0.0	0.0	170.8	0.0	100.0	1225.4	0.0	100.0	8792.7	0.0	100.0
25.8	0.0	0.0	184.8	0.0	100.0	1325.9	0.0	100.0	9513.9	0.0	100.0
27.9	0.0	0.0	199.9	0.0	100.0	1434.6	0.0	100.0	10294.2	0.0	100.0
30.1	0.0	0.0	216.3	0.0	100.0	1552.3	0.0	100.0	11138.5	0.0	100.0
32.6	0.0	0.0	234.1	0.0	100.0	1679.6	0.0	100.0	12052.0	0.0	100.0
35.3	0.0	0.0	253.3	0.0	100.0	1817.4	0.0	100.0	13040.5	0.0	100.0
38.2	0.0	0.0	274.0	0.0	100.0	1966.4	0.0	100.0	14110.0	0.0	100.0
41.3	0.0	0.0	296.5	0.0	100.0	2127.7	0.0	100.0	15267.3	0.0	100.0
44.7	0.0	0.0	320.8	0.0	100.0	2302.2	0.0	100.0	16519.5	0.0	100.0
48.4	0.0	0.0	347.2	0.0	100.0	2491.0	0.0	100.0	17874.3	0.0	100.0
52.3	0.0	0.0	375.6	0.0	100.0	2695.3	0.0	100.0	19340.3	0.0	100.0
56.6	0.0	0.0	406.4	0.0	100.0	2916.4	0.0	100.0	20926.6	0.0	100.0
61.3	0.0	0.0	439.8	0.0	100.0	3155.6	0.0	100.0	22642.9	0.0	100.0
66.3	0.0	0.0	475.8	0.0	100.0	3414.4	0.0	100.0	24500.0	0.0	100.0
D (10%) :	104.8	(nm)	D (50%) :	117.1	(nm)	D (90%) :	133.2	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: bangka 1-2
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 10:51:43	File Name	: bangka 1-2_20151125_105143
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: bangka 1-2
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 1682.1	(nm)
1	225.5	26.9	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.770	
2	43,252.7	4,400.2	Diffusion Const. (D)	: 2.357e-009	(cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition		
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0	(°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Average	227.6	303.2	Refractive Index	: 1.3611	
Residual	: 4.959e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.1015	(cP)
			Scattering Intensity	: 9557	(cps)

Number Distribution Table											
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	146.5	0.0	0.0	1073.4	0.0	100.0	7863.9	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	158.7	0.0	0.0	1162.4	0.0	100.0	8515.9	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	171.8	0.0	0.0	1258.8	0.0	100.0	9222.0	0.0	100.0
25.4	0.0	0.0	186.1	9.0	9.0	1363.2	0.0	100.0	9986.7	0.0	100.0
27.5	0.0	0.0	201.5	22.6	31.6	1476.2	0.0	100.0	10814.8	0.0	100.0
29.8	0.0	0.0	218.2	26.4	58.0	1598.6	0.0	100.0	11711.5	0.0	100.0
32.3	0.0	0.0	236.3	21.1	79.1	1731.2	0.0	100.0	12682.5	0.0	100.0
34.9	0.0	0.0	255.9	12.8	91.9	1874.7	0.0	100.0	13734.1	0.0	100.0
37.8	0.0	0.0	277.1	5.9	97.8	2030.1	0.0	100.0	14872.9	0.0	100.0
41.0	0.0	0.0	300.1	1.9	99.7	2198.5	0.0	100.0	16106.1	0.0	100.0
44.4	0.0	0.0	325.0	0.3	100.0	2380.8	0.0	100.0	17441.5	0.0	100.0
48.0	0.0	0.0	351.9	0.0	100.0	2578.2	0.0	100.0	18887.7	0.0	100.0
52.0	0.0	0.0	381.1	0.0	100.0	2791.9	0.0	100.0	20453.8	0.0	100.0
56.3	0.0	0.0	412.7	0.0	100.0	3023.4	0.0	100.0	22149.8	0.0	100.0
61.0	0.0	0.0	446.9	0.0	100.0	3274.1	0.0	100.0	23986.3	0.0	100.0
66.1	0.0	0.0	484.0	0.0	100.0	3545.6	0.0	100.0	25975.2	0.0	100.0
71.5	0.0	0.0	524.1	0.0	100.0	3839.6	0.0	100.0	28129.0	0.0	100.0
77.5	0.0	0.0	567.6	0.0	100.0	4157.9	0.0	100.0	30461.3	0.0	100.0
83.9	0.0	0.0	614.6	0.0	100.0	4502.7	0.0	100.0	32987.0	0.0	100.0
90.9	0.0	0.0	665.6	0.0	100.0	4876.1	0.0	100.0	35722.2	0.0	100.0
98.4	0.0	0.0	720.8	0.0	100.0	5280.4	0.0	100.0	38684.1	0.0	100.0
106.5	0.0	0.0	780.5	0.0	100.0	5718.2	0.0	100.0	41891.6	0.0	100.0
115.4	0.0	0.0	845.2	0.0	100.0	6192.3	0.0	100.0	45365.1	0.0	100.0
124.9	0.0	0.0	915.3	0.0	100.0	6705.8	0.0	100.0	49126.6	0.0	100.0
135.3	0.0	0.0	991.2	0.0	100.0	7261.8	0.0	100.0	53200.0	0.0	100.0
D (10%) :		186.7	(nm)	D (50%) :		213	(nm)	D (90%) :		252.9	(nm)



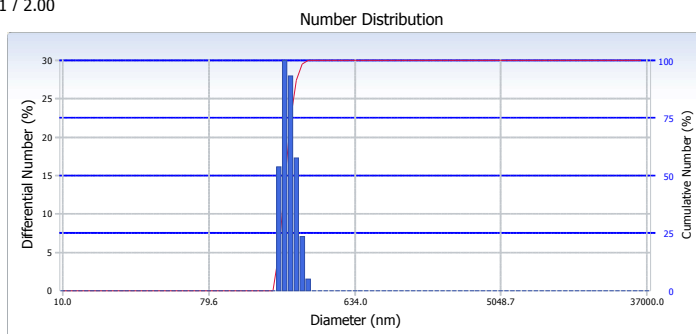
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : bangsa 1	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : bangsa 1_20151125_112913	
Time : 11:29:13	Sample Information : bangsa 1	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	250.3	25.7
2	30,685.4	2,927.5
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	251.0	147.5

Residual : 7.175e-002 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1305.0 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.619
 Diffusion Const. (D) : 3.038e-009 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : Ethyl Alcohol
 Refractive Index : 1.3611
 Viscosity : 1.1015 (cP)
 Scattering Intensity : 12053 (cps)

Number Distribution Table

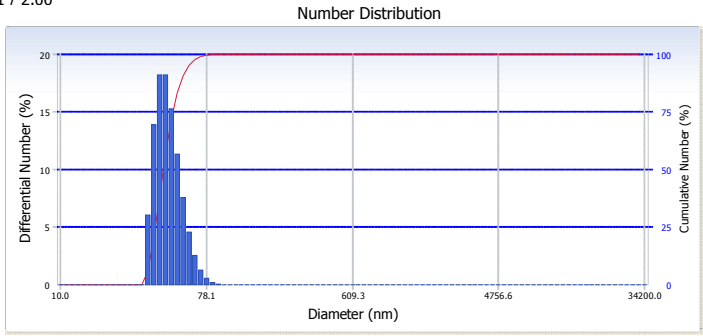
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	79.6	0.0	0.0	634.0	0.0	100.0	5048.7	0.0	100.0
10.9	0.0	0.0	86.5	0.0	0.0	688.9	0.0	100.0	5485.6	0.0	100.0
11.8	0.0	0.0	94.0	0.0	0.0	748.5	0.0	100.0	5960.3	0.0	100.0
12.8	0.0	0.0	102.1	0.0	0.0	813.3	0.0	100.0	6476.1	0.0	100.0
13.9	0.0	0.0	111.0	0.0	0.0	883.7	0.0	100.0	7036.4	0.0	100.0
15.1	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	960.1	0.0	100.0	7645.3	0.0	100.0
16.5	0.0	0.0	131.0	0.0	0.0	1043.2	0.0	100.0	8306.9	0.0	100.0
17.9	0.0	0.0	142.4	0.0	0.0	1133.5	0.0	100.0	9025.7	0.0	100.0
19.4	0.0	0.0	154.7	0.0	0.0	1231.6	0.0	100.0	9806.7	0.0	100.0
21.1	0.0	0.0	168.1	0.0	0.0	1338.1	0.0	100.0	10655.3	0.0	100.0
22.9	0.0	0.0	182.6	0.0	0.0	1453.9	0.0	100.0	11577.3	0.0	100.0
24.9	0.0	0.0	198.4	0.0	0.0	1579.8	0.0	100.0	12579.1	0.0	100.0
27.1	0.0	0.0	215.6	16.1	16.1	1716.5	0.0	100.0	13667.6	0.0	100.0
29.4	0.0	0.0	234.2	30.0	46.1	1865.0	0.0	100.0	14850.3	0.0	100.0
32.0	0.0	0.0	254.5	28.0	74.1	2026.4	0.0	100.0	16135.3	0.0	100.0
34.7	0.0	0.0	276.5	17.2	91.4	2201.7	0.0	100.0	17531.5	0.0	100.0
37.7	0.0	0.0	300.4	7.1	98.5	2392.2	0.0	100.0	19048.6	0.0	100.0
41.0	0.0	0.0	326.4	1.5	100.0	2599.2	0.0	100.0	20696.9	0.0	100.0
44.5	0.0	0.0	354.7	0.0	100.0	2824.1	0.0	100.0	22487.8	0.0	100.0
48.4	0.0	0.0	385.4	0.0	100.0	3068.5	0.0	100.0	24433.7	0.0	100.0
52.6	0.0	0.0	418.7	0.0	100.0	3334.0	0.0	100.0	26548.0	0.0	100.0
57.1	0.0	0.0	454.9	0.0	100.0	3622.5	0.0	100.0	28845.3	0.0	100.0
62.1	0.0	0.0	494.3	0.0	100.0	3936.0	0.0	100.0	31341.3	0.0	100.0
67.4	0.0	0.0	537.1	0.0	100.0	4276.6	0.0	100.0	34053.3	0.0	100.0
73.3	0.0	0.0	583.6	0.0	100.0	4646.7	0.0	100.0	37000.0	0.0	100.0
D (10%) : 208.9 (nm)			D (50%) : 236.9 (nm)			D (90%) : 274.7 (nm)					



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: wamena 4
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 10:15:59	File Name	: wamena 4_20151125_101559
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: wamena 4
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 1224.5	(nm)
1	46.2	8.8	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.601	
2	15,219.0	3,150.9	Diffusion Const. (D)	: 3.238e-009	(cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition		
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0	(°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Average	47.5	143.7	Refractive Index	: 1.3611	
Residual	: 1.171e-001	(N.G)	Viscosity	: 1.1015	(cP)
			Scattering Intensity	: 4612	(cps)
Number Distribution Table					
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	78.1	0.6	99.7
10.9	0.0	0.0	84.7	0.2	99.9
11.8	0.0	0.0	92.0	0.1	100.0
12.8	0.0	0.0	99.9	0.0	100.0
13.9	0.0	0.0	108.4	0.0	100.0
15.1	0.0	0.0	117.7	0.0	100.0
16.4	0.0	0.0	127.8	0.0	100.0
17.8	0.0	0.0	138.8	0.0	100.0
19.3	0.0	0.0	150.7	0.0	100.0
21.0	0.0	0.0	163.6	0.0	100.0
22.7	0.0	0.0	177.6	0.0	100.0
24.7	0.0	0.0	192.8	0.0	100.0
26.8	0.0	0.0	209.3	0.0	100.0
29.1	0.0	0.0	227.2	0.0	100.0
31.6	0.0	0.0	246.7	0.0	100.0
34.3	6.1	6.1	267.8	0.0	100.0
37.3	13.9	20.0	290.8	0.0	100.0
40.4	18.2	38.2	315.7	0.0	100.0
43.9	18.2	56.4	342.8	0.0	100.0
47.7	15.3	71.8	372.1	0.0	100.0
51.8	11.3	83.1	404.0	0.0	100.0
56.2	7.6	90.7	438.6	0.0	100.0
61.0	4.6	95.3	476.2	0.0	100.0
66.2	2.6	97.8	517.0	0.0	100.0
71.9	1.3	99.1	561.3	0.0	100.0
609.3	0.0	100.0	609.3	0.0	100.0
661.5	0.0	100.0	661.5	0.0	100.0
718.2	0.0	100.0	718.2	0.0	100.0
779.7	0.0	100.0	779.7	0.0	100.0
846.5	0.0	100.0	846.5	0.0	100.0
919.1	0.0	100.0	919.1	0.0	100.0
997.8	0.0	100.0	997.8	0.0	100.0
1083.3	0.0	100.0	1083.3	0.0	100.0
1176.1	0.0	100.0	1176.1	0.0	100.0
1276.8	0.0	100.0	1276.8	0.0	100.0
1386.2	0.0	100.0	1386.2	0.0	100.0
1505.0	0.0	100.0	1505.0	0.0	100.0
1633.9	0.0	100.0	1633.9	0.0	100.0
1773.9	0.0	100.0	1773.9	0.0	100.0
1925.9	0.0	100.0	1925.9	0.0	100.0
2090.8	0.0	100.0	2090.8	0.0	100.0
2270.0	0.0	100.0	2270.0	0.0	100.0
2464.4	0.0	100.0	2464.4	0.0	100.0
2675.5	0.0	100.0	2675.5	0.0	100.0
2904.8	0.0	100.0	2904.8	0.0	100.0
3153.6	0.0	100.0	3153.6	0.0	100.0
3423.8	0.0	100.0	3423.8	0.0	100.0
3717.1	0.0	100.0	3717.1	0.0	100.0
4035.5	0.0	100.0	4035.5	0.0	100.0
4381.2	0.0	100.0	4381.2	0.0	100.0
4756.6	0.0	100.0	4756.6	0.0	100.0
5164.0	0.0	100.0	5164.0	0.0	100.0
5606.4	0.0	100.0	5606.4	0.0	100.0
6086.7	0.0	100.0	6086.7	0.0	100.0
6608.2	0.0	100.0	6608.2	0.0	100.0
7174.3	0.0	100.0	7174.3	0.0	100.0
7788.9	0.0	100.0	7788.9	0.0	100.0
8456.2	0.0	100.0	8456.2	0.0	100.0
9180.6	0.0	100.0	9180.6	0.0	100.0
9967.1	0.0	100.0	9967.1	0.0	100.0
10820.9	0.0	100.0	10820.9	0.0	100.0
11748.0	0.0	100.0	11748.0	0.0	100.0
12754.4	0.0	100.0	12754.4	0.0	100.0
13847.0	0.0	100.0	13847.0	0.0	100.0
15033.3	0.0	100.0	15033.3	0.0	100.0
16321.2	0.0	100.0	16321.2	0.0	100.0
17719.4	0.0	100.0	17719.4	0.0	100.0
19237.4	0.0	100.0	19237.4	0.0	100.0
20885.4	0.0	100.0	20885.4	0.0	100.0
22674.6	0.0	100.0	22674.6	0.0	100.0
24617.1	0.0	100.0	24617.1	0.0	100.0
26726.0	0.0	100.0	26726.0	0.0	100.0
29015.6	0.0	100.0	29015.6	0.0	100.0
31501.3	0.0	100.0	31501.3	0.0	100.0
34200.0	0.0	100.0	34200.0	0.0	100.0
D (10%) :		35.1 (nm)	D (50%) :		42.6 (nm)
			D (90%) :		55.8 (nm)



Delsa™ Nano
DelsaNano

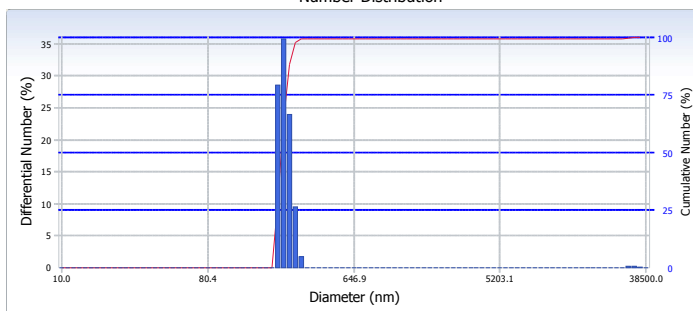
Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 2	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : wamena 2_20151125_102505	
Time : 10:25:05	Sample Information : wamena 2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	242.6	21.0
2	35,053.1	2,183.5
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	435.7	2,590.3
Residual :	3.588e-001	(N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1329.1 (nm)
Polydispersity Index (P.I.) : 0.645
Diffusion Const. (D) : 2.983e-009 (cm²/sec)
Measurement Condition
Temperature : 25.0 (°C)
Diluent Name : Ethyl Alcohol
Refractive Index : 1.3611
Viscosity : 1.1015 (cP)
Scattering Intensity : 8536 (cps)

Number Distribution Table

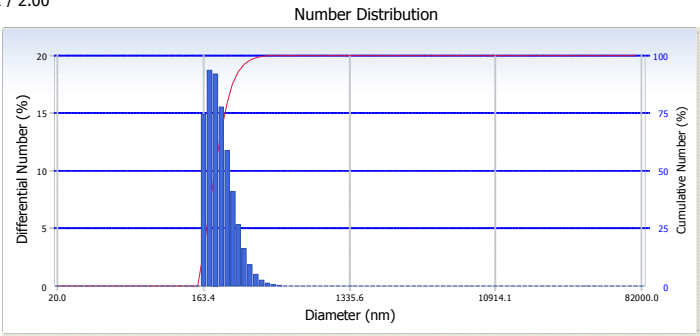
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	80.4	0.0	0.0	646.9	0.0	99.4	5203.1	0.0	99.4
10.9	0.0	0.0	87.4	0.0	0.0	703.2	0.0	99.4	5655.6	0.0	99.4
11.8	0.0	0.0	95.0	0.0	0.0	764.3	0.0	99.4	6147.4	0.0	99.4
12.8	0.0	0.0	103.3	0.0	0.0	830.8	0.0	99.4	6682.0	0.0	99.4
14.0	0.0	0.0	112.3	0.0	0.0	903.0	0.0	99.4	7263.2	0.0	99.4
15.2	0.0	0.0	122.0	0.0	0.0	981.6	0.0	99.4	7894.8	0.0	99.4
16.5	0.0	0.0	132.7	0.0	0.0	1066.9	0.0	99.4	8581.4	0.0	99.4
17.9	0.0	0.0	144.2	0.0	0.0	1159.7	0.0	99.4	9327.7	0.0	99.4
19.5	0.0	0.0	156.7	0.0	0.0	1260.6	0.0	99.4	10138.9	0.0	99.4
21.2	0.0	0.0	170.4	0.0	0.0	1370.2	0.0	99.4	11020.7	0.0	99.4
23.0	0.0	0.0	185.2	0.0	0.0	1489.4	0.0	99.4	11979.2	0.0	99.4
25.0	0.0	0.0	201.3	0.0	0.0	1618.9	0.0	99.4	13021.0	0.0	99.4
27.2	0.0	0.0	218.8	28.6	28.6	1759.7	0.0	99.4	14153.4	0.0	99.4
29.6	0.0	0.0	237.8	35.7	64.3	1912.7	0.0	99.4	15384.3	0.0	99.4
32.1	0.0	0.0	258.5	23.9	88.2	2079.1	0.0	99.4	16722.2	0.0	99.4
34.9	0.0	0.0	281.0	9.5	97.8	2259.9	0.0	99.4	18176.5	0.0	99.4
38.0	0.0	0.0	305.4	1.7	99.4	2456.4	0.0	99.4	19757.3	0.0	99.4
41.3	0.0	0.0	332.0	0.0	99.4	2670.1	0.0	99.4	21475.5	0.0	99.4
44.9	0.0	0.0	360.8	0.0	99.4	2902.3	0.0	99.4	23343.2	0.0	99.4
48.8	0.0	0.0	392.2	0.0	99.4	3154.7	0.0	99.4	25373.3	0.0	99.4
53.0	0.0	0.0	426.3	0.0	99.4	3429.1	0.0	99.4	27580.0	0.0	99.4
57.6	0.0	0.0	463.4	0.0	99.4	3727.3	0.0	99.4	29978.5	0.0	99.4
62.6	0.0	0.0	503.7	0.0	99.4	4051.4	0.0	99.4	32585.7	0.2	99.6
68.1	0.0	0.0	547.5	0.0	99.4	4403.8	0.0	99.4	35419.6	0.2	99.9
74.0	0.0	0.0	595.1	0.0	99.4	4786.8	0.0	99.4	38500.0	0.1	100.0
D (10%) :	207.2	(nm)	D (50%) :	230	(nm)	D (90%) :	262.6	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: wamena 1-2
Date	: 11/24/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 10:34:02	File Name	: wamena 1-2_20151124_103402
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: wamena 1-2
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)				Cumulants Results			
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.		Diameter (d)	: 2248.1	(nm)	
1	210.6	43.9		Polydispersity Index (P.I.)	: 1.026		
2	33,222.0	7,347.1		Diffusion Const. (D)	: 1.764e-009	(cm ² /sec)	
3	0.0	0.0		Measurement Condition			
4	0.0	0.0		Temperature	: 25.0	(°C)	
5	0.0	0.0		Diluent Name	: Ethyl Alcohol		
Average	210.6	57.9		Refractive Index	: 1.3611		
Residual	: 4.284e-002	(N.G)		Viscosity	: 1.1015	(cP)	
				Scattering Intensity	: 6801	(cps)	
Number Distribution Table							
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	163.4	14.9	14.9	1335.6	0.0 100.0
21.8	0.0	0.0	177.8	18.7	33.7	1452.7	0.0 100.0
23.7	0.0	0.0	193.3	18.4	52.1	1580.0	0.0 100.0
25.7	0.0	0.0	210.3	15.5	67.6	1718.5	0.0 100.0
28.0	0.0	0.0	228.7	11.8	79.4	1869.1	0.0 100.0
30.4	0.0	0.0	248.8	8.2	87.6	2033.0	0.0 100.0
33.1	0.0	0.0	270.6	5.3	92.9	2211.2	0.0 100.0
36.0	0.0	0.0	294.3	3.3	96.2	2405.0	0.0 100.0
39.2	0.0	0.0	320.1	1.9	98.1	2615.8	0.0 100.0
42.6	0.0	0.0	348.2	1.0	99.1	2845.1	0.0 100.0
46.3	0.0	0.0	378.7	0.5	99.6	3094.5	0.0 100.0
50.4	0.0	0.0	411.9	0.2	99.8	3365.8	0.0 100.0
54.8	0.0	0.0	448.0	0.1	99.9	3660.8	0.0 100.0
59.6	0.0	0.0	487.3	0.0	100.0	3981.8	0.0 100.0
64.9	0.0	0.0	530.0	0.0	100.0	4330.8	0.0 100.0
70.5	0.0	0.0	576.4	0.0	100.0	4710.4	0.0 100.0
76.7	0.0	0.0	627.0	0.0	100.0	5123.3	0.0 100.0
83.4	0.0	0.0	681.9	0.0	100.0	5572.4	0.0 100.0
90.8	0.0	0.0	741.7	0.0	100.0	6060.9	0.0 100.0
98.7	0.0	0.0	806.7	0.0	100.0	6592.2	0.0 100.0
107.4	0.0	0.0	877.4	0.0	100.0	7170.1	0.0 100.0
116.8	0.0	0.0	954.3	0.0	100.0	7798.6	0.0 100.0
127.0	0.0	0.0	1038.0	0.0	100.0	8482.2	0.0 100.0
138.2	0.0	0.0	1129.0	0.0	100.0	9225.8	0.0 100.0
150.3	0.0	0.0	1227.9	0.0	100.0	10034.5	0.0 100.0
D (10%) : 159 (nm)				D (50%) : 191.5 (nm)		D (90%) : 258.3 (nm)	



Delsa™ Nano
DelsaNano

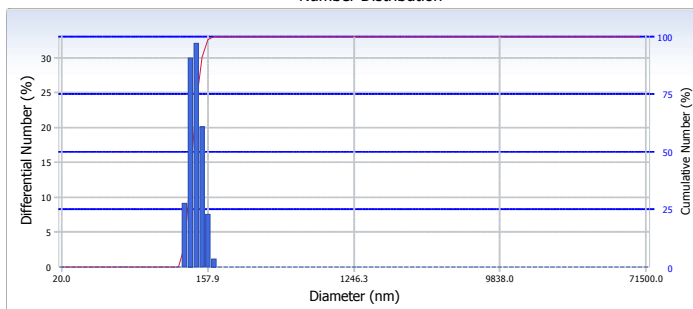
Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 1	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : wamena 1_20151125_100220	
Time : 10:02:20	Sample Information : wamena 1	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	133.4	12.6
2	54,713.9	6,438.4
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	154.5	1,082.3
Residual :	2.774e-002	(N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 2007.1 (nm)
Polydispersity Index (P.I.) : 0.979
Diffusion Const. (D) : 1.984e-009 (cm²/sec)
Measurement Condition
Temperature : 25.2 (°C)
Diluent Name : Ethyl Alcohol
Refractive Index : 1.3611
Viscosity : 1.0975 (cP)
Scattering Intensity : 8930 (cps)

Number Distribution Table

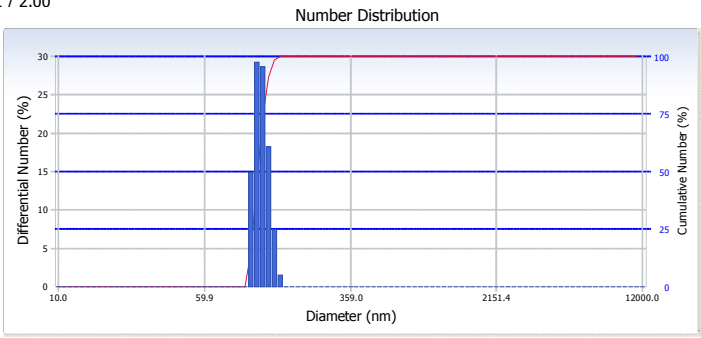
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	157.9	7.6	98.8	1246.3	0.0	100.0	9838.0	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	171.5	1.2	100.0	1353.6	0.0	100.0	10685.6	0.0	100.0
23.6	0.0	0.0	186.3	0.0	100.0	1470.3	0.0	100.0	11606.2	0.0	100.0
25.6	0.0	0.0	202.3	0.0	100.0	1596.9	0.0	100.0	12606.1	0.0	100.0
27.8	0.0	0.0	219.7	0.0	100.0	1734.5	0.0	100.0	13692.2	0.0	100.0
30.2	0.0	0.0	238.7	0.0	100.0	1884.0	0.0	100.0	14871.8	0.0	100.0
32.8	0.0	0.0	259.2	0.0	100.0	2046.3	0.0	100.0	16153.1	0.0	100.0
35.7	0.0	0.0	281.6	0.0	100.0	2222.6	0.0	100.0	17544.8	0.0	100.0
38.7	0.0	0.0	305.8	0.0	100.0	2414.1	0.0	100.0	19056.3	0.0	100.0
42.1	0.0	0.0	332.2	0.0	100.0	2622.0	0.0	100.0	20698.1	0.0	100.0
45.7	0.0	0.0	360.8	0.0	100.0	2847.9	0.0	100.0	22481.4	0.0	100.0
49.6	0.0	0.0	391.9	0.0	100.0	3093.3	0.0	100.0	24418.2	0.0	100.0
53.9	0.0	0.0	425.6	0.0	100.0	3359.8	0.0	100.0	26522.0	0.0	100.0
58.6	0.0	0.0	462.3	0.0	100.0	3649.3	0.0	100.0	28807.0	0.0	100.0
63.6	0.0	0.0	502.1	0.0	100.0	3963.7	0.0	100.0	31288.8	0.0	100.0
69.1	0.0	0.0	545.4	0.0	100.0	4305.2	0.0	100.0	33984.5	0.0	100.0
75.0	0.0	0.0	592.4	0.0	100.0	4676.1	0.0	100.0	36912.4	0.0	100.0
81.5	0.0	0.0	643.4	0.0	100.0	5078.9	0.0	100.0	40092.6	0.0	100.0
88.5	0.0	0.0	698.8	0.0	100.0	5516.5	0.0	100.0	43546.8	0.0	100.0
96.2	0.0	0.0	759.0	0.0	100.0	5991.8	0.0	100.0	47298.5	0.0	100.0
104.4	0.0	0.0	824.4	0.0	100.0	6508.0	0.0	100.0	51373.5	0.0	100.0
113.4	9.1	9.1	895.5	0.0	100.0	7068.7	0.0	100.0	55799.6	0.0	100.0
123.2	30.0	39.1	972.6	0.0	100.0	7677.7	0.0	100.0	60607.0	0.0	100.0
133.8	32.1	71.2	1056.4	0.0	100.0	8339.2	0.0	100.0	65828.6	0.0	100.0
145.4	20.1	91.2	1147.4	0.0	100.0	9057.6	0.0	100.0	71500.0	0.0	100.0
D (10%) :	113.7	(nm)	D (50%) :	126.7	(nm)	D (90%) :	144.6	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: bangka 4
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 11:20:13	File Name	: bangka 4_20151125_112013
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: bangka 4
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 598.0	(nm)
1	121.2	10.7	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.310	
2	11,560.2	413.9	Diffusion Const. (D)	: 6.629e-009	(cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition		
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0	(°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Average	121.3	20.0	Refractive Index	: 1.3611	
Residual	: 5.665e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.1015	(cP)
			Scattering Intensity	: 18211	(cps)
Number Distribution Table					
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	59.9	0.0	0.0
10.7	0.0	0.0	64.4	0.0	0.0
11.5	0.0	0.0	69.1	0.0	0.0
12.4	0.0	0.0	74.3	0.0	0.0
13.3	0.0	0.0	79.8	0.0	0.0
14.3	0.0	0.0	85.7	0.0	0.0
15.4	0.0	0.0	92.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	98.9	0.0	0.0
17.7	0.0	0.0	106.3	14.9	14.9
19.1	0.0	0.0	114.2	29.2	44.1
20.5	0.0	0.0	122.6	28.6	72.8
22.0	0.0	0.0	131.7	18.2	91.0
23.6	0.0	0.0	141.5	7.5	98.5
25.4	0.0	0.0	152.0	1.5	100.0
27.3	0.0	0.0	163.3	0.0	100.0
29.3	0.0	0.0	175.4	0.0	100.0
31.5	0.0	0.0	188.5	0.0	100.0
33.8	0.0	0.0	202.5	0.0	100.0
36.3	0.0	0.0	217.5	0.0	100.0
39.0	0.0	0.0	233.6	0.0	100.0
41.9	0.0	0.0	251.0	0.0	100.0
45.0	0.0	0.0	269.6	0.0	100.0
48.3	0.0	0.0	289.6	0.0	100.0
51.9	0.0	0.0	311.1	0.0	100.0
55.8	0.0	0.0	334.2	0.0	100.0
359.0	0.0	100.0	359.0	0.0	100.0
385.7	0.0	100.0	385.7	0.0	100.0
414.3	0.0	100.0	414.3	0.0	100.0
445.1	0.0	100.0	445.1	0.0	100.0
478.1	0.0	100.0	478.1	0.0	100.0
513.6	0.0	100.0	513.6	0.0	100.0
551.8	0.0	100.0	551.8	0.0	100.0
592.7	0.0	100.0	592.7	0.0	100.0
636.7	0.0	100.0	636.7	0.0	100.0
684.0	0.0	100.0	684.0	0.0	100.0
734.8	0.0	100.0	734.8	0.0	100.0
789.4	0.0	100.0	789.4	0.0	100.0
848.0	0.0	100.0	848.0	0.0	100.0
910.9	0.0	100.0	910.9	0.0	100.0
978.5	0.0	100.0	978.5	0.0	100.0
1051.2	0.0	100.0	1051.2	0.0	100.0
1129.2	0.0	100.0	1129.2	0.0	100.0
1213.1	0.0	100.0	1213.1	0.0	100.0
1303.1	0.0	100.0	1303.1	0.0	100.0
1399.9	0.0	100.0	1399.9	0.0	100.0
1503.8	0.0	100.0	1503.8	0.0	100.0
1615.5	0.0	100.0	1615.5	0.0	100.0
1735.4	0.0	100.0	1735.4	0.0	100.0
1864.3	0.0	100.0	1864.3	0.0	100.0
2002.7	0.0	100.0	2002.7	0.0	100.0
2151.4	0.0	100.0	2151.4	0.0	100.0
2311.1	0.0	100.0	2311.1	0.0	100.0
2482.7	0.0	100.0	2482.7	0.0	100.0
2667.0	0.0	100.0	2667.0	0.0	100.0
2865.0	0.0	100.0	2865.0	0.0	100.0
3077.7	0.0	100.0	3077.7	0.0	100.0
3306.2	0.0	100.0	3306.2	0.0	100.0
3551.7	0.0	100.0	3551.7	0.0	100.0
3815.4	0.0	100.0	3815.4	0.0	100.0
4098.6	0.0	100.0	4098.6	0.0	100.0
4402.9	0.0	100.0	4402.9	0.0	100.0
4729.8	0.0	100.0	4729.8	0.0	100.0
5081.0	0.0	100.0	5081.0	0.0	100.0
5458.2	0.0	100.0	5458.2	0.0	100.0
5863.4	0.0	100.0	5863.4	0.0	100.0
6298.8	0.0	100.0	6298.8	0.0	100.0
6766.4	0.0	100.0	6766.4	0.0	100.0
7268.8	0.0	100.0	7268.8	0.0	100.0
7808.4	0.0	100.0	7808.4	0.0	100.0
8388.2	0.0	100.0	8388.2	0.0	100.0
9010.9	0.0	100.0	9010.9	0.0	100.0
9679.9	0.0	100.0	9679.9	0.0	100.0
10398.6	0.0	100.0	10398.6	0.0	100.0
11170.7	0.0	100.0	11170.7	0.0	100.0
12000.0	0.0	100.0	12000.0	0.0	100.0
D (10%) : 103.8 (nm)		D (50%) : 115.8 (nm)		D (90%) : 131.2 (nm)	



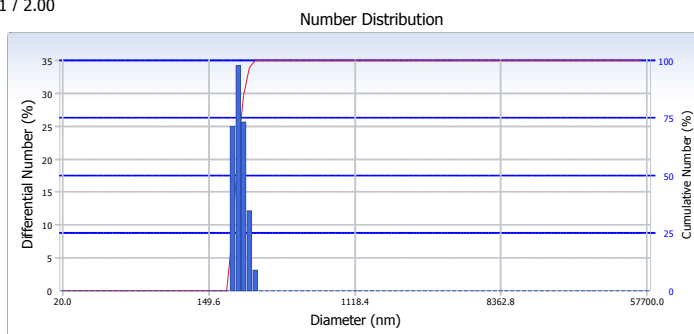
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : bangka 2	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : bangka 2_20151125_112425	
Time : 11:24:25	Sample Information : bangka 2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	230.7	20.3
2	50,964.6	3,871.1
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	231.2	157.0
Residual :	2.509e-001	(N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1742.6 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.844
 Diffusion Const. (D) : 2.275e-009 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : Ethyl Alcohol
 Refractive Index : 1.3611
 Viscosity : 1.1015 (cP)
 Scattering Intensity : 5455 (cps)

Number Distribution Table

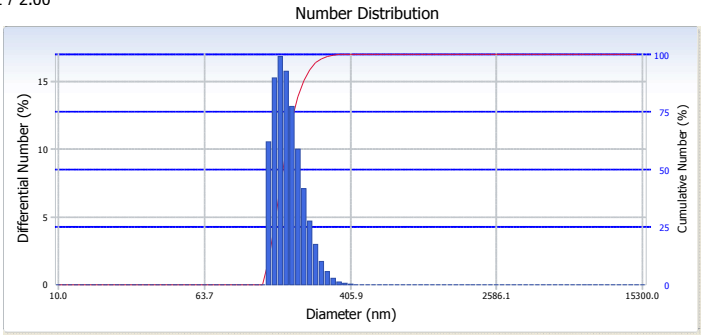
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	149.6	0.0	0.0	1118.4	0.0	100.0	8362.8	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	162.1	0.0	0.0	1212.1	0.0	100.0	9063.7	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	175.7	0.0	0.0	1313.7	0.0	100.0	9823.2	0.0	100.0
25.5	0.0	0.0	190.4	0.0	0.0	1423.7	0.0	100.0	10646.5	0.0	100.0
27.6	0.0	0.0	206.4	24.9	24.9	1543.1	0.0	100.0	11538.7	0.0	100.0
29.9	0.0	0.0	223.6	34.3	59.2	1672.4	0.0	100.0	12505.7	0.0	100.0
32.4	0.0	0.0	242.4	25.6	84.8	1812.5	0.0	100.0	13553.7	0.0	100.0
35.1	0.0	0.0	262.7	12.1	96.9	1964.4	0.0	100.0	14689.6	0.0	100.0
38.1	0.0	0.0	284.7	3.1	100.0	2129.1	0.0	100.0	15920.6	0.0	100.0
41.3	0.0	0.0	308.6	0.0	100.0	2307.5	0.0	100.0	17254.9	0.0	100.0
44.7	0.0	0.0	334.4	0.0	100.0	2500.9	0.0	100.0	18700.9	0.0	100.0
48.5	0.0	0.0	362.5	0.0	100.0	2710.4	0.0	100.0	20268.1	0.0	100.0
52.5	0.0	0.0	392.8	0.0	100.0	2937.6	0.0	100.0	21966.7	0.0	100.0
56.9	0.0	0.0	425.8	0.0	100.0	3183.8	0.0	100.0	23807.6	0.0	100.0
61.7	0.0	0.0	461.4	0.0	100.0	3450.6	0.0	100.0	25802.8	0.0	100.0
66.9	0.0	0.0	500.1	0.0	100.0	3739.8	0.0	100.0	27965.1	0.0	100.0
72.5	0.0	0.0	542.0	0.0	100.0	4053.2	0.0	100.0	30308.8	0.0	100.0
78.6	0.0	0.0	587.4	0.0	100.0	4392.8	0.0	100.0	32848.8	0.0	100.0
85.1	0.0	0.0	636.7	0.0	100.0	4761.0	0.0	100.0	35601.6	0.0	100.0
92.3	0.0	0.0	690.0	0.0	100.0	5160.0	0.0	100.0	38585.2	0.0	100.0
100.0	0.0	0.0	747.9	0.0	100.0	5592.4	0.0	100.0	41818.8	0.0	100.0
108.4	0.0	0.0	810.5	0.0	100.0	6061.1	0.0	100.0	45323.4	0.0	100.0
117.5	0.0	0.0	878.5	0.0	100.0	6569.0	0.0	100.0	49121.8	0.0	100.0
127.3	0.0	0.0	952.1	0.0	100.0	7119.5	0.0	100.0	53238.4	0.0	100.0
138.0	0.0	0.0	1031.9	0.0	100.0	7716.2	0.0	100.0	57700.0	0.0	100.0
D (10%) :	196.6	(nm)	D (50%) :	218.9	(nm)	D (90%) :	250.9	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: bangka 1-2
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
File Name	: bangka 1-2_20151125_110150		
Time	: 11:01:50	Sample Information	: bangka 1-2
SOP Name	: Nanotech	Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 709.4	(nm)
1	187.6	37.2	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.356	
2	5,942.5	1,266.3	Diffusion Const. (D)	: 5.589e-009	(cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition		
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0	(°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Average	187.6	37.4	Refractive Index	: 1.3611	
Residual	: 2.311e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.1015	(cP)
			Scattering Intensity	: 14478	(cps)
Number Distribution Table					
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	63.7	0.0	0.0
10.8	0.0	0.0	68.6	0.0	0.0
11.6	0.0	0.0	73.9	0.0	0.0
12.5	0.0	0.0	79.6	0.0	0.0
13.4	0.0	0.0	85.7	0.0	0.0
14.5	0.0	0.0	92.3	0.0	0.0
15.6	0.0	0.0	99.4	0.0	0.0
16.8	0.0	0.0	107.0	0.0	0.0
18.1	0.0	0.0	115.2	0.0	0.0
19.5	0.0	0.0	124.1	0.0	0.0
21.0	0.0	0.0	133.6	0.0	0.0
22.6	0.0	0.0	143.9	10.5	10.5
24.3	0.0	0.0	155.0	15.3	25.8
26.2	0.0	0.0	166.9	16.8	42.6
28.2	0.0	0.0	179.7	15.8	58.4
30.4	0.0	0.0	193.5	13.1	71.5
32.7	0.0	0.0	208.4	10.0	81.6
35.2	0.0	0.0	224.4	7.1	88.7
37.9	0.0	0.0	241.7	4.7	93.4
40.9	0.0	0.0	260.3	3.0	96.4
44.0	0.0	0.0	280.3	1.8	98.1
47.4	0.0	0.0	301.8	1.0	99.1
51.0	0.0	0.0	325.0	0.5	99.6
54.9	0.0	0.0	350.0	0.2	99.8
59.2	0.0	0.0	376.9	0.1	100.0
405.9	0.0	100.0	437.1	0.0	100.0
437.1	0.0	100.0	470.7	0.0	100.0
470.7	0.0	100.0	506.9	0.0	100.0
506.9	0.0	100.0	545.9	0.0	100.0
545.9	0.0	100.0	587.9	0.0	100.0
587.9	0.0	100.0	633.1	0.0	100.0
633.1	0.0	100.0	681.7	0.0	100.0
681.7	0.0	100.0	734.1	0.0	100.0
734.1	0.0	100.0	790.6	0.0	100.0
790.6	0.0	100.0	851.4	0.0	100.0
851.4	0.0	100.0	916.8	0.0	100.0
916.8	0.0	100.0	987.3	0.0	100.0
987.3	0.0	100.0	1063.2	0.0	100.0
1063.2	0.0	100.0	1145.0	0.0	100.0
1145.0	0.0	100.0	1233.0	0.0	100.0
1233.0	0.0	100.0	1327.8	0.0	100.0
1327.8	0.0	100.0	1429.9	0.0	100.0
1429.9	0.0	100.0	1539.8	0.0	100.0
1539.8	0.0	100.0	1658.2	0.0	100.0
1658.2	0.0	100.0	1785.7	0.0	100.0
1785.7	0.0	100.0	1923.0	0.0	100.0
1923.0	0.0	100.0	2070.8	0.0	100.0
2070.8	0.0	100.0	2230.0	0.0	100.0
2230.0	0.0	100.0	2401.5	0.0	100.0
2401.5	0.0	100.0	2586.1	0.0	100.0
2586.1	0.0	100.0	2784.9	0.0	100.0
2784.9	0.0	100.0	2999.0	0.0	100.0
2999.0	0.0	100.0	3229.6	0.0	100.0
3229.6	0.0	100.0	3477.9	0.0	100.0
3477.9	0.0	100.0	3745.3	0.0	100.0
3745.3	0.0	100.0	4033.3	0.0	100.0
4033.3	0.0	100.0	4343.4	0.0	100.0
4343.4	0.0	100.0	4677.3	0.0	100.0
4677.3	0.0	100.0	5036.9	0.0	100.0
5036.9	0.0	100.0	5424.1	0.0	100.0
5424.1	0.0	100.0	5841.2	0.0	100.0
5841.2	0.0	100.0	6290.3	0.0	100.0
6290.3	0.0	100.0	6773.9	0.0	100.0
6773.9	0.0	100.0	7294.7	0.0	100.0
7294.7	0.0	100.0	7855.5	0.0	100.0
7855.5	0.0	100.0	8459.5	0.0	100.0
8459.5	0.0	100.0	9109.9	0.0	100.0
9109.9	0.0	100.0	9810.2	0.0	100.0
9810.2	0.0	100.0	10564.5	0.0	100.0
10564.5	0.0	100.0	11376.7	0.0	100.0
11376.7	0.0	100.0	12251.4	0.0	100.0
12251.4	0.0	100.0	13193.3	0.0	100.0
13193.3	0.0	100.0	14207.7	0.0	100.0
14207.7	0.0	100.0	15300.0	0.0	100.0
15300.0	0.0	100.0			
D (10%)	: 143.4	(nm)	D (50%)	: 172.7	(nm)
D (90%)	: 229.2	(nm)			



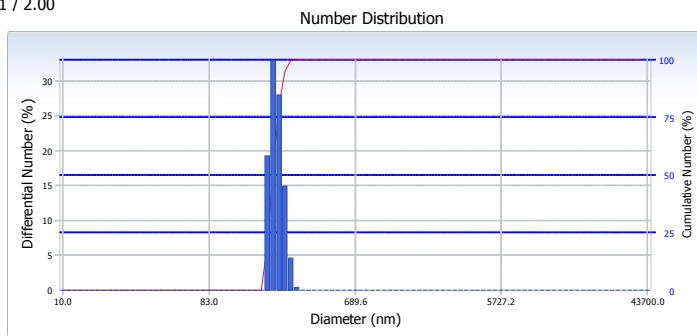
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : bangsa 1	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : bangsa 1_20151125_113806	
Time : 11:38:06	Sample Information : bangsa 1	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	221.6	21.4
2	38,129.9	3,068.5
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	222.3	159.8
Residual :	9.837e-002	(N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1457.0 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.691
 Diffusion Const. (D) : 2.721e-009 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : Ethyl Alcohol
 Refractive Index : 1.3611
 Viscosity : 1.1015 (cP)
 Scattering Intensity : 9194 (cps)

Number Distribution Table

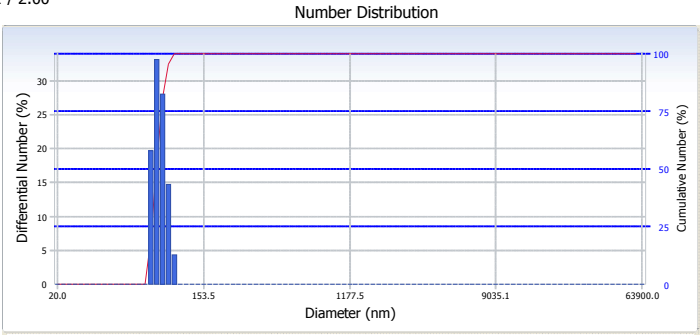
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	83.0	0.0	0.0	689.6	0.0	100.0	5727.2	0.0	100.0
10.9	0.0	0.0	90.4	0.0	0.0	750.6	0.0	100.0	6233.2	0.0	100.0
11.8	0.0	0.0	98.4	0.0	0.0	816.9	0.0	100.0	6784.0	0.0	100.0
12.9	0.0	0.0	107.1	0.0	0.0	889.1	0.0	100.0	7383.4	0.0	100.0
14.0	0.0	0.0	116.5	0.0	0.0	967.6	0.0	100.0	8035.8	0.0	100.0
15.3	0.0	0.0	126.8	0.0	0.0	1053.1	0.0	100.0	8745.9	0.0	100.0
16.6	0.0	0.0	138.0	0.0	0.0	1146.2	0.0	100.0	9518.7	0.0	100.0
18.1	0.0	0.0	150.2	0.0	0.0	1247.5	0.0	100.0	10359.7	0.0	100.0
19.7	0.0	0.0	163.5	0.0	0.0	1357.7	0.0	100.0	11275.1	0.0	100.0
21.4	0.0	0.0	177.9	0.0	0.0	1477.7	0.0	100.0	12271.4	0.0	100.0
23.3	0.0	0.0	193.7	19.2	19.2	1608.2	0.0	100.0	13355.7	0.0	100.0
25.4	0.0	0.0	210.8	32.9	52.1	1750.4	0.0	100.0	14535.8	0.0	100.0
27.6	0.0	0.0	229.4	28.0	80.1	1905.0	0.0	100.0	15820.2	0.0	100.0
30.1	0.0	0.0	249.7	14.9	95.0	2073.3	0.0	100.0	17218.0	0.0	100.0
32.7	0.0	0.0	271.7	4.6	99.6	2256.5	0.0	100.0	18739.4	0.0	100.0
35.6	0.0	0.0	295.7	0.4	100.0	2455.9	0.0	100.0	20395.2	0.0	100.0
38.8	0.0	0.0	321.9	0.0	100.0	2672.9	0.0	100.0	22197.4	0.0	100.0
42.2	0.0	0.0	350.3	0.0	100.0	2909.1	0.0	100.0	24158.7	0.0	100.0
45.9	0.0	0.0	381.3	0.0	100.0	3166.2	0.0	100.0	26293.4	0.0	100.0
50.0	0.0	0.0	414.9	0.0	100.0	3445.9	0.0	100.0	28616.7	0.0	100.0
54.4	0.0	0.0	451.6	0.0	100.0	3750.4	0.0	100.0	31145.2	0.0	100.0
59.2	0.0	0.0	491.5	0.0	100.0	4081.8	0.0	100.0	33897.2	0.0	100.0
64.4	0.0	0.0	534.9	0.0	100.0	4442.5	0.0	100.0	36892.4	0.0	100.0
70.1	0.0	0.0	582.2	0.0	100.0	4835.0	0.0	100.0	40152.2	0.0	100.0
76.3	0.0	0.0	633.7	0.0	100.0	5262.2	0.0	100.0	43700.0	0.0	100.0
D (10%) :	186	(nm)	D (50%) :	209.6	(nm)	D (90%) :	242.7	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: wamena 4
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 10:17:21	File Name	: wamena 4_20151125_101721
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: wamena 4
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results	
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 1862.3 (nm)
1	83.7	7.6	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.906
2	47,237.9	5,821.5	Diffusion Const. (D)	: 2.129e-009 (cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition	
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0 (°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol
Average	83.7	56.4	Refractive Index	: 1.3611
Residual	: 3.707e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.1015 (cP)
			Scattering Intensity	: 6163 (cps)

Number Distribution Table											
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	153.5	0.0	100.0	1177.5	0.0	100.0	9035.1	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	166.5	0.0	100.0	1277.5	0.0	100.0	9802.4	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	180.6	0.0	100.0	1386.0	0.0	100.0	10634.8	0.0	100.0
25.5	0.0	0.0	196.0	0.0	100.0	1503.7	0.0	100.0	11537.9	0.0	100.0
27.7	0.0	0.0	212.6	0.0	100.0	1631.4	0.0	100.0	12517.8	0.0	100.0
30.1	0.0	0.0	230.7	0.0	100.0	1769.9	0.0	100.0	13580.8	0.0	100.0
32.6	0.0	0.0	250.3	0.0	100.0	1920.2	0.0	100.0	14734.1	0.0	100.0
35.4	0.0	0.0	271.5	0.0	100.0	2083.3	0.0	100.0	15985.4	0.0	100.0
38.4	0.0	0.0	294.6	0.0	100.0	2260.2	0.0	100.0	17342.9	0.0	100.0
41.7	0.0	0.0	319.6	0.0	100.0	2452.2	0.0	100.0	18815.7	0.0	100.0
45.2	0.0	0.0	346.7	0.0	100.0	2660.4	0.0	100.0	20413.6	0.0	100.0
49.0	0.0	0.0	376.2	0.0	100.0	2886.4	0.0	100.0	22147.2	0.0	100.0
53.2	0.0	0.0	408.1	0.0	100.0	3131.5	0.0	100.0	24027.9	0.0	100.0
57.7	0.0	0.0	442.8	0.0	100.0	3397.4	0.0	100.0	26068.5	0.0	100.0
62.6	0.0	0.0	480.4	0.0	100.0	3685.9	0.0	100.0	28282.3	0.0	100.0
67.9	0.0	0.0	521.2	0.0	100.0	3998.9	0.0	100.0	30684.0	0.0	100.0
73.7	19.7	19.7	565.4	0.0	100.0	4338.5	0.0	100.0	33289.8	0.0	100.0
79.9	33.1	52.9	613.4	0.0	100.0	4707.0	0.0	100.0	36116.9	0.0	100.0
86.7	28.0	80.9	665.5	0.0	100.0	5106.7	0.0	100.0	39184.0	0.0	100.0
94.1	14.8	95.7	722.1	0.0	100.0	5540.4	0.0	100.0	42511.6	0.0	100.0
102.1	4.3	100.0	783.4	0.0	100.0	6010.9	0.0	100.0	46121.8	0.0	100.0
110.8	0.0	100.0	849.9	0.0	100.0	6521.3	0.0	100.0	50038.6	0.0	100.0
120.2	0.0	100.0	922.1	0.0	100.0	7075.2	0.0	100.0	54288.0	0.0	100.0
130.4	0.0	100.0	1000.4	0.0	100.0	7676.0	0.0	100.0	58898.2	0.0	100.0
141.4	0.0	100.0	1085.3	0.0	100.0	8327.9	0.0	100.0	63900.0	0.0	100.0
D (10%) :		70.8 (nm)	D (50%) :		79.4 (nm)	D (90%) :		91.2 (nm)			



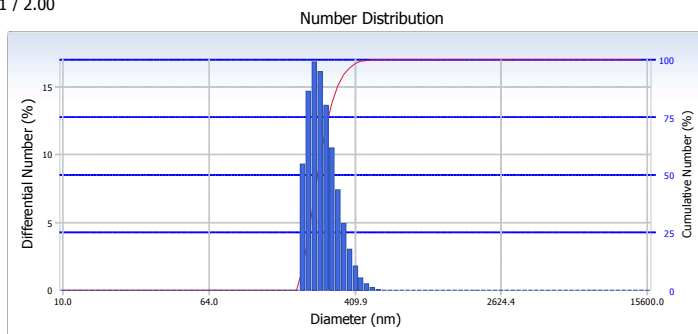
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 2	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : wamena 2_20151125_102246	
Time : 10:22:46	Sample Information : wamena 2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	275.4	53.4
2	13,205.3	757.8
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	275.4	53.5

Residual : 5.705e-002 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 724.6	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.354	
Diffusion Const. (D)	: 5.471e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Refractive Index	: 1.3611	
Viscosity	: 1.1015	(cP)
Scattering Intensity	: 6211	(cps)

Number Distribution Table

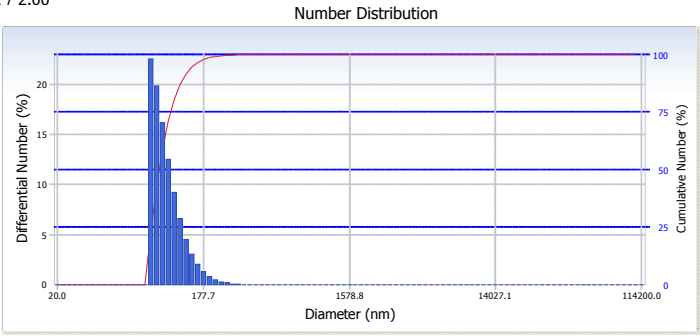
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	64.0	0.0	0.0	409.9	1.8	98.3	2624.4	0.0	100.0
10.8	0.0	0.0	69.0	0.0	0.0	441.5	0.9	99.2	2826.8	0.0	100.0
11.6	0.0	0.0	74.3	0.0	0.0	475.6	0.5	99.7	3044.7	0.0	100.0
12.5	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	512.2	0.2	99.9	3279.4	0.0	100.0
13.5	0.0	0.0	86.2	0.0	0.0	551.7	0.1	100.0	3532.2	0.0	100.0
14.5	0.0	0.0	92.8	0.0	0.0	594.2	0.0	100.0	3804.5	0.0	100.0
15.6	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	640.0	0.0	100.0	4097.9	0.0	100.0
16.8	0.0	0.0	107.7	0.0	0.0	689.4	0.0	100.0	4413.8	0.0	100.0
18.1	0.0	0.0	116.0	0.0	0.0	742.5	0.0	100.0	4754.1	0.0	100.0
19.5	0.0	0.0	124.9	0.0	0.0	799.8	0.0	100.0	5120.6	0.0	100.0
21.0	0.0	0.0	134.5	0.0	0.0	861.4	0.0	100.0	5515.3	0.0	100.0
22.6	0.0	0.0	144.9	0.0	0.0	927.9	0.0	100.0	5940.5	0.0	100.0
24.4	0.0	0.0	156.1	0.0	0.0	999.4	0.0	100.0	6398.5	0.0	100.0
26.3	0.0	0.0	168.1	0.0	0.0	1076.4	0.0	100.0	6891.8	0.0	100.0
28.3	0.0	0.0	181.1	0.0	0.0	1159.4	0.0	100.0	7423.1	0.0	100.0
30.5	0.0	0.0	195.1	0.0	0.0	1248.8	0.0	100.0	7995.4	0.0	100.0
32.8	0.0	0.0	210.1	9.3	9.3	1345.1	0.0	100.0	8611.8	0.0	100.0
35.3	0.0	0.0	226.3	14.7	24.0	1448.8	0.0	100.0	9275.7	0.0	100.0
38.1	0.0	0.0	243.7	16.9	40.8	1560.5	0.0	100.0	9990.8	0.0	100.0
41.0	0.0	0.0	262.5	16.2	57.0	1680.8	0.0	100.0	10761.1	0.0	100.0
44.2	0.0	0.0	282.8	13.6	70.6	1810.4	0.0	100.0	11590.7	0.0	100.0
47.6	0.0	0.0	304.6	10.5	81.1	1949.9	0.0	100.0	12484.3	0.0	100.0
51.2	0.0	0.0	328.0	7.4	88.6	2100.3	0.0	100.0	13446.7	0.0	100.0
55.2	0.0	0.0	353.3	4.9	93.5	2262.2	0.0	100.0	14483.4	0.0	100.0
59.4	0.0	0.0	380.6	3.0	96.5	2436.6	0.0	100.0	15600.0	0.0	100.0
D (10%) :	210.8	(nm)	D (50%) :	254.2	(nm)	D (90%) :	335.3	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: wamena 1-2
Date	: 11/24/2015	Repetition	: 1/1
File Name	: wamena 1-2_20151124_113159		
Time	: 11:31:59	Sample Information	: wamena 1-2
SOP Name	: Nanotech	Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 2773.1	(nm)
1	104.5	28.3	Polydispersity Index (P.I.)	: 1.306	
2	9,007.4	2,543.5	Diffusion Const. (D)	: 1.430e-009	(cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition		
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0	(°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Average	109.5	220.5	Refractive Index	: 1.3611	
Residual	: 3.061e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.1015	(cP)
			Scattering Intensity	: 9815	(cps)
Number Distribution Table					
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	177.7	1.3	97.9
21.8	0.0	0.0	193.9	0.8	98.7
23.8	0.0	0.0	211.6	0.5	99.2
26.0	0.0	0.0	230.9	0.3	99.5
28.4	0.0	0.0	252.0	0.2	99.7
31.0	0.0	0.0	275.0	0.1	99.8
33.8	0.0	0.0	300.2	0.1	99.9
36.9	0.0	0.0	327.6	0.0	99.9
40.2	0.0	0.0	357.5	0.0	99.9
43.9	0.0	0.0	390.1	0.0	99.9
47.9	0.0	0.0	425.7	0.0	99.9
52.3	0.0	0.0	464.6	0.0	99.9
57.1	0.0	0.0	507.0	0.0	99.9
62.3	0.0	0.0	553.3	0.0	99.9
68.0	0.0	0.0	603.8	0.0	99.9
74.2	0.0	0.0	659.0	0.0	99.9
80.9	22.5	22.5	719.1	0.0	99.9
88.3	19.8	42.4	784.8	0.0	99.9
96.4	16.2	58.6	856.4	0.0	99.9
105.2	12.5	71.1	934.6	0.0	99.9
114.8	9.3	80.3	1020.0	0.0	99.9
125.3	6.6	86.9	1113.1	0.0	99.9
136.7	4.6	91.5	1214.7	0.0	99.9
149.2	3.1	94.6	1325.7	0.0	99.9
162.8	2.0	96.6	1446.7	0.0	99.9
1578.8	0.0	99.9	1578.8	0.0	99.9
1722.9	0.0	99.9	1722.9	0.0	99.9
1880.2	0.0	99.9	1880.2	0.0	99.9
2051.9	0.0	99.9	2051.9	0.0	99.9
2239.3	0.0	99.9	2239.3	0.0	99.9
2443.7	0.0	99.9	2443.7	0.0	99.9
2666.8	0.0	99.9	2666.8	0.0	99.9
2910.3	0.0	99.9	2910.3	0.0	99.9
3176.1	0.0	99.9	3176.1	0.0	99.9
3466.0	0.0	99.9	3466.0	0.0	99.9
3782.5	0.0	99.9	3782.5	0.0	99.9
4127.9	0.0	99.9	4127.9	0.0	99.9
4504.8	0.0	99.9	4504.8	0.0	99.9
4916.1	0.0	99.9	4916.1	0.0	99.9
5364.9	0.0	99.9	5364.9	0.0	99.9
5854.7	0.0	99.9	5854.7	0.0	99.9
6389.3	0.0	99.9	6389.3	0.0	99.9
6972.7	0.0	100.0	6972.7	0.0	100.0
7609.3	0.0	100.0	7609.3	0.0	100.0
8304.1	0.0	100.0	8304.1	0.0	100.0
9062.3	0.0	100.0	9062.3	0.0	100.0
9889.7	0.0	100.0	9889.7	0.0	100.0
10792.7	0.0	100.0	10792.7	0.0	100.0
11778.1	0.0	100.0	11778.1	0.0	100.0
12853.5	0.0	100.0	12853.5	0.0	100.0
14027.1	0.0	100.0	14027.1	0.0	100.0
15307.8	0.0	100.0	15307.8	0.0	100.0
16705.5	0.0	100.0	16705.5	0.0	100.0
18230.7	0.0	100.0	18230.7	0.0	100.0
19895.3	0.0	100.0	19895.3	0.0	100.0
21711.8	0.0	100.0	21711.8	0.0	100.0
23694.2	0.0	100.0	23694.2	0.0	100.0
25857.5	0.0	100.0	25857.5	0.0	100.0
28218.4	0.0	100.0	28218.4	0.0	100.0
30794.9	0.0	100.0	30794.9	0.0	100.0
33606.6	0.0	100.0	33606.6	0.0	100.0
36675.0	0.0	100.0	36675.0	0.0	100.0
40023.6	0.0	100.0	40023.6	0.0	100.0
43677.9	0.0	100.0	43677.9	0.0	100.0
47665.9	0.0	100.0	47665.9	0.0	100.0
52018.0	0.0	100.0	52018.0	0.0	100.0
56767.5	0.0	100.0	56767.5	0.0	100.0
61950.6	0.0	100.0	61950.6	0.0	100.0
67606.9	0.0	100.0	67606.9	0.0	100.0
73779.7	0.0	100.0	73779.7	0.0	100.0
80516.1	0.0	100.0	80516.1	0.0	100.0
87867.6	0.0	100.0	87867.6	0.0	100.0
95890.3	0.0	100.0	95890.3	0.0	100.0
104645.4	0.0	100.0	104645.4	0.0	100.0
114200.0	0.0	100.0	114200.0	0.0	100.0
D (10%) :	77.1 (nm)	D (50%) :	92 (nm)	D (90%) :	132.9 (nm)



Delsa™ Nano
DelsaNano

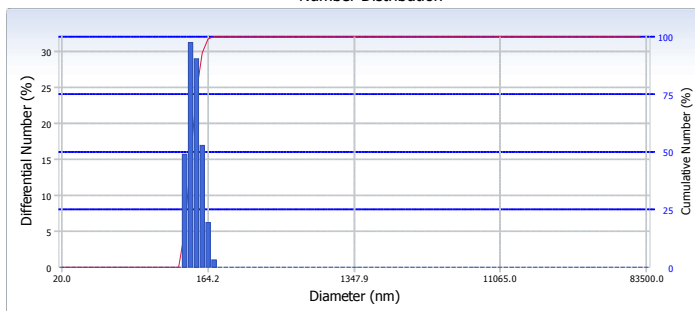
Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : wamena 1	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : wamena 1_20151125_100040	
Time : 10:00:40	Sample Information : wamena 1	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	135.9	13.6
2	64,666.4	7,296.9
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	137.2	295.2
Residual :	2.997e-002	(N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 2226.1 (nm)
Polydispersity Index (P.I.) : 1.085
Diffusion Const. (D) : 1.762e-009 (cm²/sec)
Measurement Condition
Temperature : 24.5 (°C)
Diluent Name : Ethyl Alcohol
Refractive Index : 1.3611
Viscosity : 1.1113 (cP)
Scattering Intensity : 11549 (cps)

Number Distribution Table

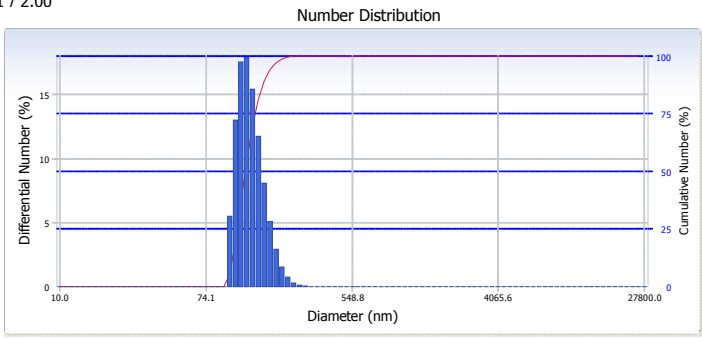
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	164.2	6.2	99.0	1347.9	0.0	100.0	11065.0	0.0	100.0
21.8	0.0	0.0	178.6	1.0	100.0	1466.3	0.0	100.0	12037.2	0.0	100.0
23.7	0.0	0.0	194.3	0.0	100.0	1595.1	0.0	100.0	13094.7	0.0	100.0
25.7	0.0	0.0	211.4	0.0	100.0	1735.2	0.0	100.0	14245.2	0.0	100.0
28.0	0.0	0.0	229.9	0.0	100.0	1887.7	0.0	100.0	15496.8	0.0	100.0
30.5	0.0	0.0	250.1	0.0	100.0	2053.6	0.0	100.0	16858.3	0.0	100.0
33.1	0.0	0.0	272.1	0.0	100.0	2234.0	0.0	100.0	18339.4	0.0	100.0
36.1	0.0	0.0	296.0	0.0	100.0	2430.2	0.0	100.0	19950.7	0.0	100.0
39.2	0.0	0.0	322.0	0.0	100.0	2643.8	0.0	100.0	21703.5	0.0	100.0
42.7	0.0	0.0	350.3	0.0	100.0	2876.0	0.0	100.0	23610.3	0.0	100.0
46.4	0.0	0.0	381.1	0.0	100.0	3128.7	0.0	100.0	25684.7	0.0	100.0
50.5	0.0	0.0	414.6	0.0	100.0	3403.6	0.0	100.0	27941.3	0.0	100.0
54.9	0.0	0.0	451.0	0.0	100.0	3702.6	0.0	100.0	30396.2	0.0	100.0
59.8	0.0	0.0	490.7	0.0	100.0	4028.0	0.0	100.0	33066.7	0.0	100.0
65.0	0.0	0.0	533.8	0.0	100.0	4381.8	0.0	100.0	35971.9	0.0	100.0
70.7	0.0	0.0	580.7	0.0	100.0	4766.8	0.0	100.0	39132.3	0.0	100.0
76.9	0.0	0.0	631.7	0.0	100.0	5185.6	0.0	100.0	42570.4	0.0	100.0
83.7	0.0	0.0	687.2	0.0	100.0	5641.2	0.0	100.0	46310.6	0.0	100.0
91.1	0.0	0.0	747.5	0.0	100.0	6136.9	0.0	100.0	50379.4	0.0	100.0
99.1	0.0	0.0	813.2	0.0	100.0	6676.0	0.0	100.0	54805.6	0.0	100.0
107.8	0.0	0.0	884.7	0.0	100.0	7262.6	0.0	100.0	59620.7	0.0	100.0
117.2	15.7	15.7	962.4	0.0	100.0	7900.6	0.0	100.0	64858.9	0.0	100.0
127.5	31.2	46.9	1047.0	0.0	100.0	8594.8	0.0	100.0	70557.3	0.0	100.0
138.7	29.0	75.9	1138.9	0.0	100.0	9349.9	0.0	100.0	76756.3	0.0	100.0
150.9	17.0	92.8	1239.0	0.0	100.0	10171.4	0.0	100.0	83500.0	0.0	100.0
D (10%) :	113.7	(nm)	D (50%) :	128.7	(nm)	D (90%) :	148.8	(nm)			



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: bangka 4
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 11:20:51	File Name	: bangka 4_20151125_112051
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: bangka 4
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results	
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 1066.0 (nm)
1	138.1	26.5	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.522
2	17,994.9	2,721.1	Diffusion Const. (D)	: 3.719e-009 (cm²/sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition	
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0 (°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol
Average	138.8	113.9	Refractive Index	: 1.3611
Residual	: 4.976e-001	(N.G)	Viscosity	: 1.1015 (cP)
			Scattering Intensity	: 9326 (cps)

Number Distribution Table											
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	74.1	0.0	0.0	548.8	0.0	100.0	4065.6	0.0	100.0
10.8	0.0	0.0	80.3	0.0	0.0	594.6	0.0	100.0	4404.7	0.0	100.0
11.7	0.0	0.0	87.0	0.0	0.0	644.2	0.0	100.0	4772.0	0.0	100.0
12.7	0.0	0.0	94.2	0.0	0.0	697.9	0.0	100.0	5170.0	0.0	100.0
13.8	0.0	0.0	102.1	5.5	5.5	756.1	0.0	100.0	5601.2	0.0	100.0
14.9	0.0	0.0	110.6	13.0	18.5	819.1	0.0	100.0	6068.3	0.0	100.0
16.2	0.0	0.0	119.8	17.5	36.1	887.5	0.0	100.0	6574.4	0.0	100.0
17.5	0.0	0.0	129.8	17.9	54.0	961.5	0.0	100.0	7122.7	0.0	100.0
19.0	0.0	0.0	140.6	15.4	69.4	1041.7	0.0	100.0	7716.7	0.0	100.0
20.6	0.0	0.0	152.3	11.7	81.1	1128.5	0.0	100.0	8360.3	0.0	100.0
22.3	0.0	0.0	165.0	8.1	89.2	1222.6	0.0	100.0	9057.5	0.0	100.0
24.1	0.0	0.0	178.8	5.1	94.3	1324.6	0.0	100.0	9812.9	0.0	100.0
26.1	0.0	0.0	193.7	2.9	97.2	1435.1	0.0	100.0	10631.3	0.0	100.0
28.3	0.0	0.0	209.9	1.6	98.8	1554.8	0.0	100.0	11517.9	0.0	100.0
30.7	0.0	0.0	227.4	0.7	99.5	1684.4	0.0	100.0	12478.5	0.0	100.0
33.3	0.0	0.0	246.3	0.3	99.9	1824.9	0.0	100.0	13519.2	0.0	100.0
36.0	0.0	0.0	266.9	0.1	100.0	1977.1	0.0	100.0	14646.7	0.0	100.0
39.0	0.0	0.0	289.1	0.0	100.0	2142.0	0.0	100.0	15868.2	0.0	100.0
42.3	0.0	0.0	313.3	0.0	100.0	2320.6	0.0	100.0	17191.5	0.0	100.0
45.8	0.0	0.0	339.4	0.0	100.0	2514.2	0.0	100.0	18625.3	0.0	100.0
49.6	0.0	0.0	367.7	0.0	100.0	2723.9	0.0	100.0	20178.6	0.0	100.0
53.8	0.0	0.0	398.3	0.0	100.0	2951.0	0.0	100.0	21861.5	0.0	100.0
58.3	0.0	0.0	431.6	0.0	100.0	3197.1	0.0	100.0	23684.7	0.0	100.0
63.1	0.0	0.0	467.6	0.0	100.0	3463.8	0.0	100.0	25660.0	0.0	100.0
68.4	0.0	0.0	506.6	0.0	100.0	3752.6	0.0	100.0	27800.0	0.0	100.0
D (10%) : 104.9 (nm)			D (50%) : 127.5 (nm)			D (90%) : 167.1 (nm)					



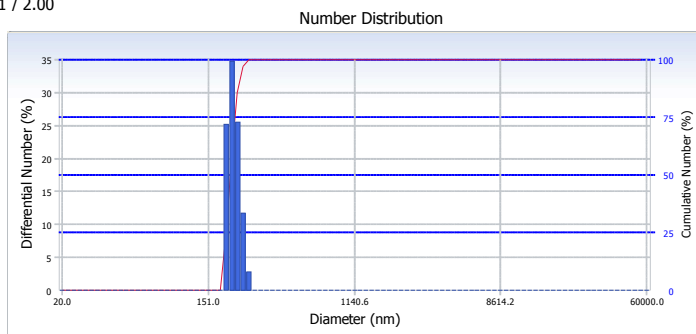
Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : bangka 2	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : bangka 2_20151125_112505	
Time : 11:25:05	Sample Information : bangka 2	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	215.0	18.8
2	50,421.4	4,627.6
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	220.8	540.2

Residual : 1.108e-001 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1785.9 (nm)
Polydispersity Index (P.I.) : 0.871
Diffusion Const. (D) : 2.220e-009 (cm²/sec)
Measurement Condition
Temperature : 25.0 (°C)
Diluent Name : Ethyl Alcohol
Refractive Index : 1.3611
Viscosity : 1.1015 (cP)
Scattering Intensity : 8410 (cps)

Number Distribution Table

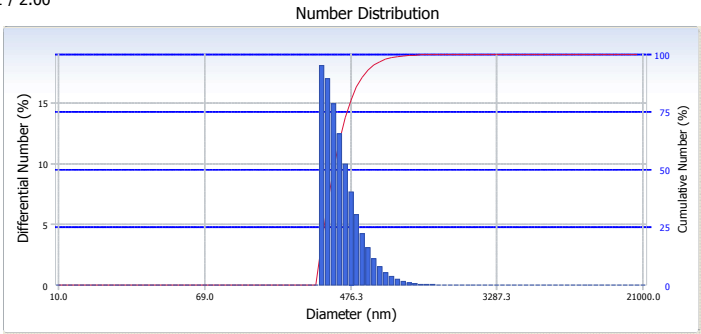
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	151.0	0.0	0.0	1140.6	0.0	100.0	8614.2	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	163.8	0.0	0.0	1236.7	0.0	100.0	9339.7	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	177.6	0.0	0.0	1340.9	0.0	100.0	10126.5	0.0	100.0
25.5	0.0	0.0	192.5	25.2	25.2	1453.8	0.0	100.0	10979.4	0.0	100.0
27.6	0.0	0.0	208.7	34.7	60.0	1576.3	0.0	100.0	11904.3	0.0	100.0
30.0	0.0	0.0	226.3	25.6	85.5	1709.1	0.0	100.0	12907.0	0.0	100.0
32.5	0.0	0.0	245.4	11.7	97.2	1853.0	0.0	100.0	13994.2	0.0	100.0
35.2	0.0	0.0	266.0	2.7	100.0	2009.1	0.0	100.0	15172.9	0.0	100.0
38.2	0.0	0.0	288.4	0.0	100.0	2178.4	0.0	100.0	16451.0	0.0	100.0
41.4	0.0	0.0	312.7	0.0	100.0	2361.9	0.0	100.0	17836.7	0.0	100.0
44.9	0.0	0.0	339.1	0.0	100.0	2560.8	0.0	100.0	19339.1	0.0	100.0
48.7	0.0	0.0	367.7	0.0	100.0	2776.5	0.0	100.0	20968.1	0.0	100.0
52.8	0.0	0.0	398.6	0.0	100.0	3010.4	0.0	100.0	22734.3	0.0	100.0
57.2	0.0	0.0	432.2	0.0	100.0	3264.0	0.0	100.0	24649.3	0.0	100.0
62.1	0.0	0.0	468.6	0.0	100.0	3538.9	0.0	100.0	26725.6	0.0	100.0
67.3	0.0	0.0	508.1	0.0	100.0	3837.0	0.0	100.0	28976.7	0.0	100.0
72.9	0.0	0.0	550.9	0.0	100.0	4160.2	0.0	100.0	31417.5	0.0	100.0
79.1	0.0	0.0	597.3	0.0	100.0	4510.6	0.0	100.0	34063.9	0.0	100.0
85.7	0.0	0.0	647.6	0.0	100.0	4890.5	0.0	100.0	36933.2	0.0	100.0
93.0	0.0	0.0	702.1	0.0	100.0	5302.5	0.0	100.0	40044.2	0.0	100.0
100.8	0.0	0.0	761.3	0.0	100.0	5749.1	0.0	100.0	43417.2	0.0	100.0
109.3	0.0	0.0	825.4	0.0	100.0	6233.4	0.0	100.0	47074.3	0.0	100.0
118.5	0.0	0.0	894.9	0.0	100.0	6758.4	0.0	100.0	51039.5	0.0	100.0
128.5	0.0	0.0	970.3	0.0	100.0	7327.7	0.0	100.0	55338.7	0.0	100.0
139.3	0.0	0.0	1052.0	0.0	100.0	7944.9	0.0	100.0	60000.0	0.0	100.0
D (10%) : 183.3 (nm)			D (50%) : 203.9 (nm)			D (90%) : 233.4 (nm)					



Delsa™ Nano
DelsaNano

Number Distribution		S/N :	
User	: DelsaNano	Group	: bangka 1-2
Date	: 11/25/2015	Repetition	: 1/1
Time	: 11:09:41	File Name	: bangka 1-2_20151125_110941
SOP Name	: Nanotech	Sample Information	: bangka 1-2
		Security	: Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	: 922.2	(nm)
1	429.6	124.1	Polydispersity Index (P.I.)	: 0.397	
2	0.0	0.0	Diffusion Const. (D)	: 4.299e-009	(cm ² /sec)
3	0.0	0.0	Measurement Condition		
4	0.0	0.0	Temperature	: 25.0	(°C)
5	0.0	0.0	Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Average	429.6	124.1	Refractive Index	: 1.3611	
Residual	: 3.087e-002	(N.G)	Viscosity	: 1.1015	(cP)
			Scattering Intensity	: 7248	(cps)
Number Distribution Table					
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	476.3	7.7	80.2
10.8	0.0	0.0	514.6	5.8	86.0
11.7	0.0	0.0	555.9	4.3	90.2
12.6	0.0	0.0	600.6	3.1	93.3
13.6	0.0	0.0	648.8	2.2	95.4
14.7	0.0	0.0	700.9	1.5	96.9
15.9	0.0	0.0	757.2	1.0	98.0
17.2	0.0	0.0	818.1	0.7	98.7
18.6	0.0	0.0	883.8	0.5	99.1
20.0	0.0	0.0	954.8	0.3	99.4
21.7	0.0	0.0	1031.5	0.2	99.6
23.4	0.0	0.0	1114.4	0.1	99.8
25.3	0.0	0.0	1203.9	0.1	99.9
27.3	0.0	0.0	1300.6	0.1	99.9
29.5	0.0	0.0	1405.1	0.0	99.9
31.9	0.0	0.0	1517.9	0.0	100.0
34.4	0.0	0.0	1639.9	0.0	100.0
37.2	0.0	0.0	1771.6	0.0	100.0
40.2	0.0	0.0	1913.9	0.0	100.0
43.4	0.0	0.0	2067.7	0.0	100.0
46.9	0.0	0.0	2233.8	0.0	100.0
50.7	0.0	0.0	2413.2	0.0	100.0
54.7	0.0	0.0	2607.1	0.0	100.0
59.1	0.0	0.0	2816.5	0.0	100.0
63.9	0.0	0.0	3042.8	0.0	100.0
69.0	0.0	0.0	3287.3	0.0	100.0
74.6	0.0	0.0	3551.3	0.0	100.0
80.5	0.0	0.0	3836.6	0.0	100.0
87.0	0.0	0.0	4144.8	0.0	100.0
94.0	0.0	0.0	4477.8	0.0	100.0
101.6	0.0	0.0	4837.5	0.0	100.0
109.7	0.0	0.0	5226.1	0.0	100.0
118.5	0.0	0.0	5646.0	0.0	100.0
128.1	0.0	0.0	6099.5	0.0	100.0
138.3	0.0	0.0	6589.5	0.0	100.0
149.5	0.0	0.0	7118.9	0.0	100.0
161.5	0.0	0.0	7690.7	0.0	100.0
174.4	0.0	0.0	8308.6	0.0	100.0
188.4	0.0	0.0	8976.0	0.0	100.0
203.6	0.0	0.0	9697.1	0.0	100.0
219.9	0.0	0.0	10476.1	0.0	100.0
237.6	0.0	0.0	11317.7	0.0	100.0
256.7	0.0	0.0	12226.9	0.0	100.0
277.3	0.0	0.0	13209.1	0.0	100.0
299.6	0.0	0.0	14270.2	0.0	100.0
323.7	18.1	18.1	15416.6	0.0	100.0
349.7	17.0	35.1	16655.1	0.0	100.0
377.8	14.9	50.0	17993.0	0.0	100.0
408.1	12.5	62.5	19438.4	0.0	100.0
440.9	10.0	72.5	21000.0	0.0	100.0
D (10%) :		312.7 (nm)	D (50%) :		377.7 (nm)
			D (90%) :		553.7 (nm)



Delsa™ Nano
DelsaNano

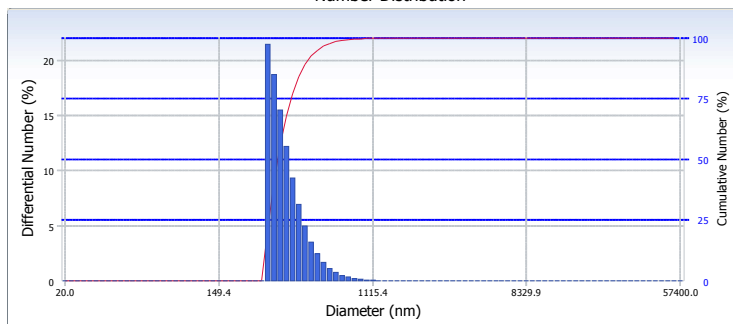
Number Distribution

S/N :

User : DelsaNano	Group : bangka 1	Repetition : 1/1
Date : 11/25/2015	File Name : bangka 1_20151125_113907	
Time : 11:39:07	Sample Information : bangka 1	
SOP Name : Nanotech	Security : Security	

Version 2.31 / 2.00

Number Distribution



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	368.6	103.8
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	368.6	103.8

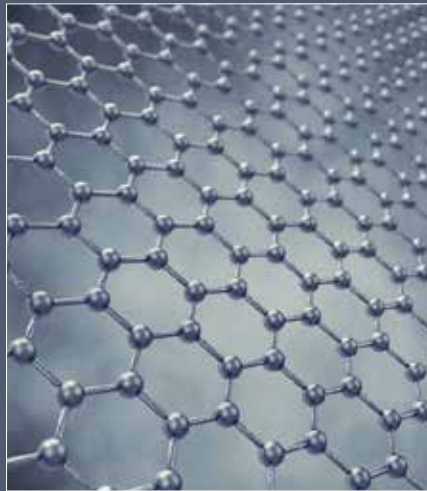
Residual : 2.930e-002 (N.G)

Cumulants Results

Diameter (d) : 1901.1 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.703
 Diffusion Const. (D) : 2.086e-009 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : Ethyl Alcohol
 Refractive Index : 1.3611
 Viscosity : 1.1015 (cP)
 Scattering Intensity : 9386 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
20.0	0.0	0.0	149.4	0.0	0.0	1115.4	0.1	99.9	8329.9	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	161.9	0.0	0.0	1208.8	0.0	99.9	9027.5	0.0	100.0
23.5	0.0	0.0	175.4	0.0	0.0	1310.1	0.0	100.0	9783.5	0.0	100.0
25.5	0.0	0.0	190.1	0.0	0.0	1419.8	0.0	100.0	10602.8	0.0	100.0
27.6	0.0	0.0	206.0	0.0	0.0	1538.7	0.0	100.0	11490.8	0.0	100.0
29.9	0.0	0.0	223.3	0.0	0.0	1667.5	0.0	100.0	12453.1	0.0	100.0
32.4	0.0	0.0	242.0	0.0	0.0	1807.2	0.0	100.0	13496.0	0.0	100.0
35.1	0.0	0.0	262.3	0.0	0.0	1958.5	0.0	100.0	14626.3	0.0	100.0
38.1	0.0	0.0	284.2	21.4	21.4	2122.6	0.0	100.0	15851.2	0.0	100.0
41.2	0.0	0.0	308.0	18.7	40.1	2300.3	0.0	100.0	17178.7	0.0	100.0
44.7	0.0	0.0	333.8	15.5	55.6	2493.0	0.0	100.0	18617.4	0.0	100.0
48.4	0.0	0.0	361.8	12.2	67.8	2701.7	0.0	100.0	20176.5	0.0	100.0
52.5	0.0	0.0	392.1	9.3	77.1	2928.0	0.0	100.0	21866.3	0.0	100.0
56.9	0.0	0.0	424.9	6.9	84.1	3173.2	0.0	100.0	23697.5	0.0	100.0
61.7	0.0	0.0	460.5	5.0	89.0	3439.0	0.0	100.0	25682.1	0.0	100.0
66.8	0.0	0.0	499.1	3.5	92.6	3727.0	0.0	100.0	27832.9	0.0	100.0
72.4	0.0	0.0	540.9	2.5	95.0	4039.1	0.0	100.0	30163.9	0.0	100.0
78.5	0.0	0.0	586.2	1.7	96.7	4377.4	0.0	100.0	32690.0	0.0	100.0
85.1	0.0	0.0	635.2	1.1	97.9	4744.0	0.0	100.0	35427.7	0.0	100.0
92.2	0.0	0.0	688.4	0.8	98.6	5141.3	0.0	100.0	38394.7	0.0	100.0
99.9	0.0	0.0	746.1	0.5	99.1	5571.8	0.0	100.0	41610.2	0.0	100.0
108.3	0.0	0.0	808.6	0.3	99.4	6038.4	0.0	100.0	45094.9	0.0	100.0
117.3	0.0	0.0	876.3	0.2	99.6	6544.1	0.0	100.0	48871.5	0.0	100.0
127.2	0.0	0.0	949.7	0.1	99.8	7092.2	0.0	100.0	52964.4	0.0	100.0
137.8	0.0	0.0	1029.2	0.1	99.9	7686.2	0.0	100.0	57400.0	0.0	100.0
D (10%) : 272.3 (nm)			D (50%) : 324.2 (nm)			D (90%) : 470.6 (nm)					



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
www.pusjatan.pu.go.id