



# Pemanfaatan SILIKA NANO untuk Konstruksi Beton

**N. Retno Setiati**



# Pemanfaatan SILIKA NANO untuk Konstruksi Beton



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

*All Rights Reserved*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Pemanfaatan SILIKA NANO untuk Konstruksi Beton

**N. Retno Setiati**



LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2017 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR)  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (Pusjatan)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pemanfaatan Silika Nano untuk Konstruksi Beton/N. Retno Setiati–Jakarta: LIPI Press, 2017.

xxii hlm. + 147 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN 978-979-799-934-6 (cetak)

978-979-799-935-3 (*e-book*)

1. Pembangunan
2. Material
3. Silika Nano

691.96

*Copy editor* : Martinus Helmiawan  
*Proofreader* : M. Fadly Suhendra dan Sarwendah Puspita Dewi  
Penata isi : Astuti Krisnawati dan Dhevi E.I.R. Mahelingga  
Desainer sampul : Rusli Fazi

Cetakan pertama : Desember 2017



Diterbitkan oleh:  
LIPI Press, anggota Ikapi  
Jln. R.P. Suroso No.39, Menteng, Jakarta 10350  
Telp: (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591  
*E-mail*: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
*Website*: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)  
 LIPI Press  
 @lipi\_press



Bekerja sama dengan:  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan  
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat  
Jln. A.H. Nasution No.264 Kotak Pos 2 Ujung Berung, Bandung 40294

Buku ini merupakan karya buku yang terpilih dalam Program Akuisisi Pengetahuan Lokal Tahun 2021 Balai Media dan Reproduksi (LIPI Press), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.



Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# PERSEMBAHAN

**H**idup ibarat waktu yang terus berjalan tanpa bisa terulang kembali.

Pergunakan masa hidupmu sebaik-baiknya dengan beribadah kepada Allah *Subhanahu wa Ta'ala* sebelum ajal menjemputmu.

Semua aktivitas yang engkau lakukan hendaklah bernilai ibadah, semata-mata mencari rida Allah *Subhanahu wa Ta'ala*.

Dunia adalah tempat kita untuk bekerja keras, beramal, berikhtiar, dan berserah diri pada Allah *Subhanahu wa Ta'ala*.

Orang yang beruntung adalah mereka yang memanfaatkan hari ini agar lebih baik dari hari kemarin. Orang yang rugi adalah mereka yang mengakhiri hari ini sama dengan hari kemarin. Orang yang celaka adalah mereka yang menjadikan hari ini lebih buruk dari hari kemarin.

Selalu berpegang teguhlah kepada agama Allah dan Rasul-Nya.

*Ya Allah, tunjukilah kami jalan yang lurus, jalan orang-orang yang telah Engkau anugerahkan nikmat kepada mereka, bukan jalan mereka yang dimurkai dan bukan pula jalan mereka yang sesat*

**(QS Al Fatihah: 6-7)**

**Buku ini penulis persembahkan untuk  
seluruh masyarakat Indonesia,  
semoga bermanfaat.**



# DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
PENGANTAR PENERBIT .....	xvii
KATA PENGANTAR .....	xix
PRAKATA .....	xxi
<b>BAB I</b> <b>Kebutuhan Beton di Bidang Konstruksi.....</b>	<b>1</b>
A. Perkembangan Teknologi Beton.....	3
B. Beton Kinerja Tinggi.....	5
C. Beton dengan Teknologi Nano.....	8
<b>BAB II</b> <b>Sifat dan Karakteristik Material Nano pada Campuran Beton.....</b>	<b>11</b>
A. Peran Material Nano dalam Perkembangan Teknologi.....	11
B. Peran Silikadioksida (SiO <sub>2</sub> ) dalam Hidrasi Semen .....	16
C. Telaah Beberapa Hasil Pembuatan Beton dengan Penambahan Silika Nano .....	18

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>BAB III Proses Pembuatan Mortar dan Beton dengan</b>	
<b>Pencampuran Material Nano .....</b>	27
A. Umum .....	27
B. Material Pembentuk Beton.....	28
C. Rancangan Campuran Mortar dan Beton .....	42
D. Proses Pencampuran Mortar dan Beton.....	49
E. Pembuatan Benda Uji.....	54
F. Perawatan Benda Uji .....	56
G. Pengujian Sifat Mekanik dan Durabilitas Mortar/Beton ..	58
<b>BAB IV Peningkatan Sifat Mekanik dan Durabilitas Beton Akibat</b>	
<b>Pengaruh Silika Nano .....</b>	69
A. Pengujian Mortar .....	69
B. Pengujian Beton .....	101
<b>BAB V Ulasan Penutup: Optimalisasi Pemanfaatan Material Nano</b>	
<b>untuk Konstruksi Beton .....</b>	115
DAFTAR PUSTAKA.....	119
GLOSARIUM .....	125
DAFTAR SINGKATAN .....	129
LAMPIRAN .....	131
INDEKS .....	145
BIOGRAFI PENULIS.....	147

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Peta Penyebaran Sumber Pasir Silika di Indonesia .....	16
<b>Gambar 3.1</b>	Tahapan Pembuatan Mortar dan Beton dengan Pencampuran Material Nano .....	29
<b>Gambar 3.2</b>	Semen Portland Tipe 1 .....	30
<b>Gambar 3.3</b>	Pasir Silika Eks Bangka.....	32
<b>Gambar 3.4</b>	Pasir Vulkanik Eks Muntilan .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	Gradasi Agregat Halus dari Pasir Vulkanik dan Pasir Silika .....	35
<b>Gambar 3.6</b>	Grafik Uji Tekan Batu Eks Songgom, Kabupaten Sumedang.....	37
<b>Gambar 3.7</b>	Butiran Agregat Kasar Eks Songgom Kabupaten Sumedang.	38
<b>Gambar 3.8</b>	Gradasi Agregat Kasar Eks Rumpin dan Eks Songgom ....	39
<b>Gambar 3.9</b>	Silika Nano Komersil .....	40
<b>Gambar 3.10</b>	Hasil Uji XRD Silika Nano Komersil .....	41
<b>Gambar 3.11</b>	Peralatan Pembuatan Mortar .....	44
<b>Gambar 3.12</b>	Proses Pencampuran Beton.....	53
<b>Gambar 3.13</b>	Pengujian <i>Slump Flow</i> .....	53

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>Gambar 3.14</b>	Benda Uji Silinder .....	55
<b>Gambar 3.15</b>	Benda Uji Balok Lentur .....	55
<b>Gambar 3.16</b>	Benda Uji Silinder dan Kubus .....	56
<b>Gambar 3.17</b>	Perawatan Benda Uji di dalam Air .....	57
<b>Gambar 3.18</b>	Skematik Proses Uji XRF .....	58
<b>Gambar 3.19</b>	Skematik Proses Uji XRD .....	60
<b>Gambar 3.20</b>	Alat Uji SEM .....	62
<b>Gambar 3.21</b>	Pengujian Kuat Tekan Beton .....	64
<b>Gambar 3.22</b>	Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton .....	65
<b>Gambar 3.23</b>	Skema Uji Permeabilitas.....	66
<b>Gambar 3.24</b>	Skema Uji RCPT .....	67
<b>Gambar 4.1</b>	Spesifikasi Pasir Silika Komersil Eks Bangka.....	71
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Uji XRF Pasir Bangka Komersil .....	72
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Uji XRD Pasir Bangka .....	73
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Mortar .....	77
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil Uji SEM Mortar Tanpa Silika Nano.....	80
<b>Gambar 4.6</b>	Komposisi Kandungan Unsur Kimia dalam Mortar Tanpa Silika Nano Berdasarkan Uji EDS .....	81
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Uji SEM Mortar dengan Penambahan 5% Silika Nano.....	83
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Uji EDS Mortar dengan Penambahan 5% Silika Nano.....	84
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Uji SEM Mortar dengan Penambahan 10% Silika Nano.....	86
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil Uji EDS Mortar dengan Penambahan 10% Silika Nano.....	87
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil Uji SEM Mortar dengan Penambahan 15% Silika Nano.....	89
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil Uji EDS Mortar dengan Penambahan 15% Silika Nano.....	90
<b>Gambar 4.13</b>	Pola Difraksi XRD Silika Nano Komersil HDKN20 .....	94

<b>Gambar 4.14</b>	Diagram Hasil Uji Kuat Tekan Mortar yang Menggunakan Pasir Gunung Api Eks Muntilan dengan dan Tanpa Silika Nano .....	96
<b>Gambar 4.15</b>	Diagram Hasil Uji Kuat Tekan Mortar yang Menggunakan Pasir Silika Eks Bangka dengan dan Tanpa Penambahan Silika Nano .....	98
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik Hubungan Peningkatan Kuat Tekan dan Jumlah Persentase Silika Nano yang Ditambahkan ke dalam Campuran Mortar .....	100
<b>Gambar 4.17</b>	Perbandingan Kuat Tekan Beton 70 MPa Tanpa dan dengan Silika Nano (3% dan 5%) .....	102
<b>Gambar 4.18</b>	Perbandingan Kuat Tekan Beton 100 MPa Tanpa dan dengan Silika Nano (3% dan 5%) .....	104
<b>Gambar 4.19</b>	Pola Runtuh Pengujian Kuat Lentur Balok dengan Penambahan 3% Silika Nano .....	106
<b>Gambar 4.20</b>	Nomogram untuk Penentuan Kelas Kualitas Beton dalam Kondisi Lembap.....	108
<b>Gambar 4.21</b>	Diagram Hubungan Nilai Q ( <i>Charge Passed</i> ) dengan Persentasi Silika Nano.....	111



# DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b>	Klasifikasi Beton Berdasarkan Kuat Tekan .....	5
<b>Tabel 1.2</b>	Hubungan Faktor Air <i>Binder</i> terhadap Kuat Tekan .....	6
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi Oksida Semen Portland.....	30
<b>Tabel 3.2</b>	Komposisi Oksida Pasir Silika Eks Bangka .....	31
<b>Tabel 3.3</b>	Komposisi Oksida Pasir Vulkanik Eks Muntilan.....	32
<b>Tabel 3.4</b>	Analisis Saringan Pasir Muntilan dan Pasir Bangka.....	34
<b>Tabel 3.5</b>	Hasil Uji Tekan Batuan .....	36
<b>Tabel 3.6</b>	Hasil Uji Abrasi Batuan .....	37
<b>Tabel 3.7</b>	Hasil Uji Kepipihan .....	38
<b>Tabel 3.8</b>	Sifat dan Karakteristik Silika Nano Komersil .....	40
<b>Tabel 3.9</b>	Hasil Uji XRF Silika Nano Komersil.....	41
<b>Tabel 3.10</b>	Komposisi Campuran Mortar .....	43
<b>Tabel 3.11</b>	Komposisi Campuran Beton Mutu 70 MPa .....	45
<b>Tabel 3.12</b>	Komposisi Campuran Beton Mutu 70 MPa dengan Penambahan 5% Silika Nano .....	46
<b>Tabel 3.13</b>	Komposisi Campuran Beton Mutu 100 MPa .....	47
<b>Tabel 3.14</b>	Komposisi Campuran Beton Mutu 100 MPa dengan Penambahan 5% Silika Nano .....	47

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>Tabel 3.15</b>	Komposisi Campuran Beton Mutu 70 MPa dengan Penambahan 3% Silika Nano .....	48
<b>Tabel 3.16</b>	Komposisi Campuran Beton Mutu 100 MPa dengan Penambahan 3% Silika Nano .....	49
<b>Tabel 3.17</b>	Kriteria Hasil RCPT (ASTM C 1202) .....	68
<b>Tabel 4.1</b>	Komposisi Material Campuran Mortar dengan Berbagai Variasi Silika Nano untuk Nilai Fas 0,8 .....	75
<b>Tabel 4.2</b>	Kuat Tekan Mortar dengan Berbagai Variasi Silika Nano (MPa).....	76
<b>Tabel 4.3</b>	Kandungan Unsur/Senyawa di dalam Mortar Tanpa Silika Nano Berdasarkan Uji EDS .....	82
<b>Tabel 4.4.</b>	Kandungan Unsur/Senyawa dalam Mortar dengan 5% Silika Nano Berdasarkan Uji EDS .....	85
<b>Tabel 4.5</b>	Kandungan Unsur/Senyawa dalam Mortar dengan 10% Silika Nano .....	88
<b>Tabel 4.6</b>	Kandungan Unsur/Senyawa dalam Mortar dengan 15% Silika Nano .....	91
<b>Tabel 4.7</b>	Komposisi Kimia Hasil Uji XRF Pasir Silika Eks Bangka .....	92
<b>Tabel 4.8</b>	Komposisi Kimia Hasil Uji XRF Pasir Eks Muntilan .....	93
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan Pasir Eks Muntilan .....	96
<b>Tabel 4.10</b>	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan Pasir Silika Eks Bangka .....	98
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 70 MPa .....	101
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 100 MPa .....	103
<b>Tabel 4.13</b>	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Mutu 70 MPa .....	105
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil Uji Permeabilitas Beton .....	107
<b>Tabel 4.15</b>	Kriteria Hasil Uji Permeabilitas .....	107
<b>Tabel 4.16</b>	Hasil Uji Ketahanan Beton terhadap Penetrasi Ion Klorida .....	109
<b>Tabel 4.17</b>	Nilai <i>Charge Passed Q</i> Hasil Uji RCPT .....	110
<b>Tabel 4.18</b>	Kriteria Hasil RCPT (ASTM 2012).....	110
<b>Tabel 4.19</b>	Perbandingan Pembuatan Beton dengan dan Tanpa Penambahan Silika Nano .....	113

# DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b>	Hasil Pengujian Agregat untuk Beton.....	131
<b>Lampiran 2.</b>	Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu .....	132
<b>Lampiran 3.</b>	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Dua Titik Pembebanan.....	133
<b>Lampiran 4.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS0) ....	134
<b>Lampiran 5.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS3) ....	135
<b>Lampiran 6.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS5) ....	136
<b>Lampiran 7.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 100 MPa (NS0) ..	137
<b>Lampiran 8.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 100 MPa (NS3) ..	138
<b>Lampiran 9.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 100 MPa (NS5) ..	139
<b>Lampiran 10.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS5 komersil) .....	140
<b>Lampiran 11.</b>	Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS0) ..	141
<b>Lampiran 12.</b>	Hasil Perancangan Campuran Mortar -1.....	142
<b>Lampiran 13.</b>	Hasil Perancangan Campuran Mortar - 2 .....	143
<b>Lampiran 14.</b>	Hasil Perancangan Campuran Mortar - 3 .....	144



# PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas untuk ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Penerbitan buku ilmiah ini juga dilakukan dengan menjunjung tinggi tugas mulia tersebut. Buku ini membahas mengenai pembuatan konstruksi beton bermutu dan berkinerja tinggi dengan memanfaatkan material silika nano yang dapat diaplikasikan untuk infrastruktur jalan dan jembatan. Nanoteknologi sebagai bahan bangunan merupakan bidang penelitian paling inovatif untuk mengatasi kekurangan dari bahan tradisional seperti beton dan baja. Adanya pendekatan inovatif yang ditawarkan dari nanoteknologi, memberi peluang baru untuk meningkatkan mutu dan kinerja beton, yaitu dengan merombak sifat dan kemampuan proses-proses fisis-kimiawi skala mikro dan nano yang menentukan karakter makro beton menjadi lebih dipahami dan direkayasa.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku yang ditulis berdasarkan hasil penelitian di Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (Pusjatan), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR) ini dapat menjadi acuan bagi banyak pihak, khususnya pemerintah melalui Direktorat Jendral Bina Marga; Badan Pengelola Jalan Nasional, Provinsi, dan Kabupaten; serta PT Jasa Marga dalam menjawab masalah pembangunan, baik jalan, jembatan, bendungan maupun pembangunan lainnya. Dengan demikian, diharapkan dapat mempercepat dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat Indonesia. Akhir kata, kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPi Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# KATA PENGANTAR

Penyusunan buku *Pemanfaatan Silika Nano untuk Konstruksi Beton* merupakan hasil dari kegiatan penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (Pusjatan), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR) Tahun Anggaran 2016. Kegiatan ini mengacu pada *Roadmap 2015–2019* yang merupakan bagian dari renstra Kementerian PUPR. Salah satu tugas dan fungsi dari institusi litbang adalah menyelenggarakan kegiatan penelitian. Oleh karena itu, penyusunan buku ini dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan para pemangku kepentingan, khususnya dalam mendapatkan beton dengan kinerja tinggi berbasis material nano yang dapat diaplikasikan untuk infrastruktur jalan dan jembatan.

Selama proses penyusunan buku ini, penulis melakukan kerja sama dengan beberapa instansi/lembaga, seperti PT Indocement Tunggal Prakarsa, Masyarakat Nano Indonesia (MNI), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), dan beberapa perguruan tinggi di Indonesia (seperti Institut Teknologi Bandung, Universitas Pancasila,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dan Universitas Sriwijaya). Buku ini diharapkan dapat dimanfaatkan, baik oleh seluruh masyarakat, para pemangku kepentingan (Direktorat Jendral Bina Marga; Badan Pengelola Jalan Nasional, Provinsi, dan Kabupaten; serta PT Jasa Marga) maupun para akademisi.

Akhirulkalam, “tidak ada gading yang tak retak”; buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran, kritik, dan masukan sangat diharapkan dalam penyempurnaan buku ini.

Bandung, Desember 2016

Kepala Puslitbang Jalan  
dan Jembatan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah memberikan kekuatan sehingga buku ini dapat diterbitkan. Buku ini merupakan hasil dari kegiatan penelitian yang sudah dilakukan oleh Pusjatan tahun 2015–2016.

Isi dari buku ini terdiri atas 5 bab, yakni Bab I Kebutuhan Beton di Bidang Konstruksi, Bab II Sifat dan Karakteristik Material Nano pada Campuran Beton, Bab III Proses Pembuatan Mortar dan Beton dengan Pencampuran Material Nano, Bab IV Peningkatan Sifat Mekanik dan Durabilitas Beton Akibat Pengaruh Silika Nano, serta Bab V Peran Material Nano pada Konstruksi Beton. Bab pertama membahas tentang mengapa beton dengan teknologi nano sangat dibutuhkan dalam era teknologi saat ini, pengertian beton konvensional, dan beton kinerja tinggi. Termasuk di dalamnya adalah beton yang dapat mengalir dengan sendirinya tanpa disertai proses pemadatan (*self compacting concrete* atau SCC), beton dengan kekuatan sangat tinggi (*ultra high performance concrete* atau UHPC), dan beton dengan teknologi nano. Bab II membahas tentang peran material nano dalam perkembangan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

teknologi, peran silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dalam hidrasi semen, dan telaah beberapa penelitian di dalam dan di luar negeri mengenai pengaruh silika nano pada beton. Bagian metodologi membahas mengenai serangkaian kegiatan uji laboratorium. Sementara itu, pada Bab III dibahas mengenai sifat dan karakteristik material pembentuk mortar dan beton, pengujian material pembentuk mortar dan beton, peralatan yang digunakan, prosedur dan persiapan sampel, pembuatan rancangan campuran beton atau mortar, proses pencampuran beton atau mortar, proses perawatan beton atau mortar, serta beberapa pengujian sifat mekanik dan durabilitas beton atau mortar. Bab IV membahas mengenai hasil dan analisis pengujian laboratorium beserta pembahasannya. Bab terakhir berisi kesimpulan yang dapat disampaikan oleh penulis selama masa penelitian berlangsung.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kepala Badan Litbang Kementerian PUPR, Dr. Ir. Herry Vaza, M. Eng. Sc., Setyo Hardono, S.T., M.T., beserta seluruh staf yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para narasumber, terutama M. Ikhlasul Amal, Ph.D. dari LIPI dan Masyarakat Nano Indonesia, Dr. Jonbi dari Universitas Pancasila, dan Dr. Saloma dari Universitas Sriwijaya. Penulis juga menyadari bahwa buku ini masih dapat disempurnakan dengan masukan, saran, ataupun kritikan dari pembaca.

Akhirulcikal, semoga buku ini dapat bermanfaat bagi semua pejabat fungsional tertentu di lingkungan Kementerian PUPR, para staf di Dirjen Bina Marga, para akademisi di perguruan tinggi, dan seluruh pemangku kepentingan.

Bandung, Desember 2016

Penulis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# BAB I

## Kebutuhan Beton di Bidang Konstruksi

Berdasarkan data populasi dari Dirjen Bina Marga Kementerian PUPR, di Indonesia terdapat 89.000 jembatan dengan total panjang 1.050 km (Dirjen Bina Marga, 1993). Pada ruas jalan nasional dan provinsi terdapat 35.000 jembatan (660 km), sedangkan 54.000 jembatan (390 km) terdapat pada ruas jalan kabupaten. Kondisi jembatan di Indonesia sangat bergantung pada pengaruh beban yang bekerja, baik internal maupun eksternal. Faktor beban internal yang memengaruhi umur layan jembatan di antaranya adalah jenis material yang digunakan untuk konstruksi jembatan, misalnya material baja, beton, kayu, atau material komposit. Sementara itu, pengaruh beban eksternal dapat berupa faktor beban kendaraan dan beban lingkungan, seperti gempa, angin, dan cuaca. Pengertian dari umur layan suatu jembatan adalah kemampuan jembatan dalam menerima beban internal dan eksternal. Semakin panjang umur layan jembatan, kondisi jembatan akan mengalami penurunan kapasitas dalam menerima beban internal dan eksternal. Penentuan umur layan jembatan sangat bergantung pada kelas dan ruas jalan. Jembatan pada ruas jalan nasional dibangun

*Buku ini tidak diperjualbelikan.*

dengan proyeksi umur layan selama 75 tahun, sedangkan jembatan pada ruas jalan provinsi atau kabupaten memiliki proyeksi umur layan selama 25–50 tahun.

Secara umum, jembatan di Indonesia dalam kondisi mengalami kerusakan sehingga kapasitasnya telah menurun sebelum masa layan yang telah diproyeksikan sebelumnya. Fakta tersebut disebabkan oleh perencanaan yang kurang memadai, pelaksanaan konstruksi yang tidak sesuai dengan standar dan spesifikasi, serta lemahnya pengendalian mutu di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan usaha dalam merencanakan, membuat, dan menjaga kualitas jalan serta jembatan agar dapat memenuhi proyeksi umur layan yang ditetapkan, bahkan sedapat mungkin melebihinya. Faktor umur layan dari suatu struktur jalan jembatan sangat bergantung pada beberapa persyaratan, seperti kekuatan, kestabilan, keawetan, dan ekonomis. Untuk mencapai syarat kekuatan dan keawetan tersebut, diperlukan material beton atau baja yang sesuai dengan standar perencanaan.

Penggunaan material untuk konstruksi beton telah mengalami perkembangan yang pesat sampai hari ini. Perkembangan tersebut dimulai dari beton konvensional yang terdiri atas material pasir, kerikil, semen, dan air. Pembuatan rancangan campuran beton konvensional lebih difokuskan pada nilai kuat tekan yang direncanakan. Setingkat lebih maju dari beton konvensional adalah beton yang mempunyai kinerja tinggi (*high performance concrete*). Material yang digunakan dalam pembuatan beton kinerja tinggi adalah sama dengan beton polos/beton konvensional, hanya saja ditambah dengan bahan aditif (*admixture*). Penambahan bahan aditif dimaksudkan agar beton mempunyai nilai kelecakan (*workability*) yang baik sehingga mudah dibuat dalam kondisi apa pun.

Beton yang mudah dibentuk (*workable*) akan berpengaruh pada nilai kekuatan. Beton dengan nilai *workability* baik akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Selain *workability*, peningkatan sifat me-

kanik beton—dalam hal ini kuat tekan—akan sangat dipengaruhi oleh material penyusun beton. Beton dengan kuat tekan dan kinerja tinggi akan tahan terhadap pengaruh lingkungan (mempunyai durabilitas tinggi). Beton yang mempunyai kuat tekan tinggi, kinerja tinggi, dan durabilitas tinggi dapat dibuat dengan penambahan material nano. Material nano pada beton, selain berfungsi sebagai *filler*, dapat mempercepat terjadinya proses hidrasi. *Filler* yang mengisi pori-pori beton membuatnya menjadi lebih kedap. Penggunaan material nano pada campuran beton juga dapat mengurangi penggunaan semen. Seperti kita ketahui, penggunaan semen yang sangat tinggi dapat menyebabkan masalah serius terhadap lingkungan. Hal tersebut karena untuk memproduksi 1 ton klinker, pabrik semen harus mengeluarkan 1 ton CO<sub>2</sub> sehingga potensi yang dimiliki material nano diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen. Pembuatan beton berbasis material nano bertujuan untuk mendapatkan beton dengan material yang direkayasa hingga skala nano dan memiliki sifat unggul dibanding dengan beton konvensional, sekaligus dapat dilaksanakan dan diproduksi oleh industri konstruksi Indonesia.

## A. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI BETON

Teknologi beton dalam bidang konstruksi mengalami perkembangan pesat. Menurut Jonbi (2013), sejak tahun 2000 perkembangan teknologi beton di dunia telah memasuki era baru yang lebih dikenal dengan era beton cerdas. Salah satu contoh beton cerdas adalah beton yang dibuat dengan memanfaatkan nanoteknologi. Pada era ini, nanoteknologi menjadi pemicu perkembangan teknologi beton yang sudah ada. Secara global, penggunaan nanoteknologi pada beton sudah dimulai sejak tahun 2000, tetapi aplikasi nanoteknologi di Indonesia masih sangat sedikit dilakukan. Perkembangan teknologi beton di Indonesia sudah tertinggal puluhan tahun. Hal ini dapat dilihat dari teknologi beton yang digunakan dalam bidang konstruksi di Indonesia yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

hingga saat ini masih sebatas menggunakan abu terbang (*fly ash*) dan *silica fume*.

Dalam menghadapi perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, perlu dilakukan upaya-upaya penguasaan teknologi beton dunia sehingga Indonesia dapat turut merasakan dan menggunakan manfaatnya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan nanoteknologi yang dapat diaplikasikan dan disesuaikan dengan perkembangan teknologi beton di Indonesia.

Nanoteknologi adalah teknologi yang memanfaatkan sifat kimia dan/atau fisika dari material dalam orde nanometer ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Saurav (2012) mengatakan bahwa apabila molekul atau atom dibuat dalam ukuran 1–100 nm, beton yang dihasilkan akan memiliki sifat mekanik dan kimia yang sangat berbeda dibandingkan beton yang menggunakan material berukuran mikron. Proses nanoteknologi dapat mengubah suatu material yang semula tidak berguna menjadi berguna melalui pengaturan kembali susunan unsur pembentuknya dan penambahan unsur-unsur lain untuk memperkuat material tersebut, yang sekaligus juga dapat berperan sebagai campuran material lain.

Sesungguhnya, Indonesia dapat berperan serta dalam menghadapi era nanoteknologi karena memiliki sumber kekayaan alam. Namun, sumber kekayaan alam tersebut masih dimanfaatkan sebatas sebagai bahan mentah dan belum diolah menjadi suatu produk jadi (komersil). Salah satu cara untuk meningkatkan nilai ekonomi bahan mentah tersebut dilakukan melalui pengolahan dengan nanoteknologi. Misalnya, dalam kasus ini pasir silika sebagai bahan mentah dapat diolah menjadi suatu material silika nano. Pembuatan beton dengan pemanfaatan silika nano dalam bidang konstruksi sudah banyak dilakukan beberapa tahun terakhir ini. Penambahan material dengan orde nano ke dalam suatu campuran beton dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton.

## B. BETON KINERJA TINGGI

Menurut Saloma (2014), secara umum pembuatan beton kinerja tinggi telah banyak dilakukan dan berpeluang besar untuk memenuhi kebutuhan bidang konstruksi. Namun, penggunaan beton kinerja tinggi di Indonesia masih sangat terbatas. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan teknologi untuk mendapatkan material skala nano, belum adanya standar untuk desain campuran, penggunaan material dasar yang kurang efisien, belum adanya metode praktis untuk penerapan di lapangan, dan keterbatasan peralatan yang tersedia.

Istilah beton kinerja tinggi berbeda dengan beton mutu tinggi. Pengertian kinerja beton dan kekuatan beton mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda. Beton mutu tinggi didasarkan pada kekuatan beton pada saat mencapai umur tertentu (The Constructor-Civil Engineering Home, 2012). Klasifikasi beton berdasarkan mutu atau kekuatan ditunjukkan dalam Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Klasifikasi Beton Berdasarkan Kuat Tekan

No.	Klasifikasi beton	Kekuatan tekan (MPa)
1.	Beton dengan kekuatan normal	(20–50 ) MPa
2.	Beton dengan kekuatan tinggi (HPC)	(50–100) MPa
3.	<i>Ultra High Performance Concrete</i> (UHPC)	(100–150 ) MPa
4.	Beton khusus	lebih dari 150 MPa

Sumber: The Constructor-Civil Engineering Home (2012)

Kuat tekan beton merupakan aspek yang paling utama berkaitan dengan beton kinerja tinggi. Tingginya kuat tekan beton sangat bergantung pada beberapa faktor, di antaranya komposisi campuran, parameter dimensi benda uji, geometri dan kelembapan, parameter pembebanan serta kekuatan komponen. Kekuatan komponen meliputi porositas bahan matriks (nilai fas, bahan mineral, dan lain-lain),

transisi daerah porositas, dan porositas agregat. Aitcin dan Mindess (2011) memperlihatkan hubungan faktor air *binder* terhadap kuat tekan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1.2.

**Tabel 1.2** Hubungan Faktor Air *Binder* terhadap Kuat Tekan

No.	Perbandingan air terhadap <i>binder</i>	Kekuatan tekan $f_c'$ (MPa)
1.	0,40	50
2.	0,35	75*
3.	0,30	100*
4.	0,25	150*

( \* ) Kuat tekan agregat kasar harus lebih tinggi dari kuat tekan beton

Sumber: Aitcin dan Mindess (2011)

Menurut Shi dan Mo (2008), beton kinerja tinggi, atau dikenal dengan istilah *high performance concrete*, ditentukan oleh tiga persyaratan sebagai berikut.

- 1) Nilai faktor air semen (fas), maksimum 0,35;
- 2) Nilai faktor durabilitas berdasarkan ASTM C 660 adalah 80%;
- 3) Nilai kuat tekan minimum: 21 MPa selama 4 jam setelah aplikasi di lapangan, 34 MPa selama 24 jam, dan 69 MPa selama 28 hari.

ACI (1998) mendefinisikan beton kinerja tinggi sebagai beton yang memenuhi persyaratan khusus yang tidak selalu bisa dicapai secara rutin dengan hanya menggunakan bahan konvensional dalam praktik pencampuran, pengerjaan, dan perawatan normalnya. Persyaratan khusus lainnya adalah peningkatan *workability*, mudah dikerjakan, mudah dalam pemadatan tanpa terjadinya segregasi, meningkatkan sifat mekanik, dan mempunyai kekuatan awal tinggi,

keras, stabil, serta tahan terhadap serangan lingkungan yang ekstrem. Beton kinerja tinggi adalah beton yang didesain agar menjadi lebih tahan lama dan lebih kuat dibandingkan beton konvensional. Seperti yang dikatakan Mehta dan Monteiro (2006) bahwa campuran beton kinerja tinggi sebenarnya tersusun dari materi yang sama dengan beton konvensional, tetapi secara proporsional didesain khusus dan direkayasa karena kekuatan dan ketahanan diperlukan, baik untuk kebutuhan struktural maupun lingkungan proyek.

Dalam perkembangan teknologi beton, dikenal beton memadat sendiri—*self compacting concrete* (SCC)—yang memiliki keunggulan dibandingkan beton konvensional, yakni mengurangi pemakaian vibrator, meningkatkan kapasitas pengisian yang tinggi, mengurangi waktu pekerjaan dan upah kerja. SCC mampu mengalir sendiri dan dapat dicetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak dipadatkan sama sekali. Beton ini memanfaatkan pengaturan ukuran agregat, porsi agregat, dan *superplasticizer* untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkannya mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat. Sekali dituang ke dalam cetakan, beton ini akan mengalir sendiri mengisi semua ruang mengikuti prinsip gravitasi, termasuk pada pengecoran beton dengan tulangan pembesian yang sangat rapat. Beton ini akan mengalir ke semua celah di tempat pengecoran dengan memanfaatkan berat campuran beton itu sendiri. Menurut Sugiharto, Kusuma, Himawan, dan Darma (2001), secara umum SCC merupakan varian beton yang memiliki tingkat derajat pengerjaan (*workability*) tinggi dan juga memiliki kekuatan awal yang besar sehingga membutuhkan faktor air semen yang rendah. Untuk mendapatkan campuran beton dengan *workability* dan kekuatan awal yang tinggi, perlu diperhatikan beberapa faktor berikut.

- 1) Agregat kasar dibatasi jumlahnya sampai kurang lebih 50% dari campuran beton;

- 2) Pembatasan jumlah agregat halus kurang lebih 40% dari volume beton;
- 3) Penggunaan *superplasticizer* pada campuran beton untuk tingkat *workability* yang tinggi sekaligus menekan faktor air semen untuk mendapatkan kekuatan awal yang besar.

Sampai saat ini, SCC telah banyak digunakan dalam dunia konstruksi karena dapat mengurangi permeabilitas dari beton sehingga permukaan beton menjadi lebih halus dan homogen.

### C. BETON DENGAN TEKNOLOGI NANO

Beton dengan teknologi nano (*nanconcrete*) merupakan beton generasi baru dengan karakteristik material sangat padat (*packing density*), kuat tekan tinggi, dan mempunyai durabilitas sangat baik. *Nanconcrete* memiliki karakteristik kinerja lebih unggul dibandingkan beton konvensional. Material dasar pembentuk *nanconcrete* hampir sama dengan beton konvensional, yaitu terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan *superplasticizer*. *Nanconcrete* terdiri atas hampir 60% campuran butiran sangat halus, yakni kurang dari 0,125 mm—yang menjadikan kandungan airnya ekstrem, yaitu perbandingan air dan semen antara 0,20 sampai 0,23. Oleh karena itu, diperlukan *superplasticizer* agar *nanconcrete* dapat dikerjakan. Berdasarkan beberapa percobaan (*trial mix*), jenis *superplasticizer* berbasis *polycarboxylic-ether* (PCE) memberikan tingkat *workability* yang terbaik (Saloma, 2014).

Salah satu inovasi baru dalam perkembangan teknologi material adalah penggunaan silika nano, *nanoclay*, nano  $Al_2O_3$ , dan sebagainya. Produk inovasi ini diproses dengan nanoteknologi dengan ketelitian dalam skala nanometer. Partikel nano dapat memiliki sifat atau fungsi yang berbeda dari material sejenis dalam ukuran besar. Partikel nano memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibanding dengan partikel sejenis dalam ukuran besar.

Hal ini membuat partikel nano bersifat lebih reaktif. Dengan berbasis teknologi nano, diharapkan susunan material pada suatu volume tertentu menjadi jauh lebih padat. Kepadatan yang sangat tinggi diperoleh karena ruang kosong yang ada di antara partikel-partikel berukuran relatif besar—seperti partikel semen—dapat diisi butiran debu halus berukuran nanometer, baik yang bersifat reaktif maupun nonreaktif.

Material nano yang digunakan sebagai bahan tambah dalam penulisan buku ini adalah silika nano. Penambahan silika nano ke dalam campuran mortar dan beton dimaksudkan untuk mengkomodasi hasil sampingan produksi hidrasi semen berupa CaOH (kalsium hidroksida bebas). Hal ini dimungkinkan terjadi karena hadirnya SiO<sub>2</sub> (silikon dioksida) aktif yang terkandung dalam silika nano. Beberapa penelitian dalam pembuatan beton yang sudah pernah dilakukan terkait penggunaan material nano terhadap kinerja beton di antaranya ialah Abbas (2009) yang mengkaji penggunaan silika nano pada beton normal dan *ultra high performance concrete* (UHPC). Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan silika nano menghasilkan peningkatan awal yang signifikan pada beton normal dan UHPC. Penambahan silika nano pada UHPC mampu menaikkan kekuatan beton hingga 230 MPa. Kemudian, Flores dkk. (2006) melakukan studi eksperimental dengan menambahkan silika nano pada campuran mortar. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan mortar sebesar 15–20% pada campuran tersebut bila ditambahkan silika nano. Kuat tekan yang dicapai adalah sebesar 145 MPa. Sementara itu, Khanzadi, Tadayon, Sepehri, and Sepehri (2010) melakukan uji *scanning electron microscope* (SEM) pada beton dengan dan tanpa penambahan silika nano. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa kristal *ettringite* yang telah disusun oleh kristal *calcium silicate hydrate* (CSH) membentuk lempengan-lempengan yang lebih padat sehingga beton dengan silika nano bersifat lebih homogen dibandingkan beton konvensional.



# BAB II

## Sifat dan Karakteristik Material Nano pada Campuran Beton

### A. PERAN MATERIAL NANO DALAM PERKEMBANGAN TEKNOLOGI

Konsep nanoteknologi pertama kali diperkenalkan oleh Richard Feynman pada sebuah pidato ilmiah yang diselenggarakan oleh American Physical Society di California Institute of Technology pada 29 Desember 1959 dengan judul “There’s Plenty of Room at the Bottom”. Richard Feynman adalah seorang ahli fisika yang pada tahun 1965 memenangkan hadiah Nobel dalam bidang fisika. Istilah nanoteknologi 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.’” Pada tahun 1980-an, definisi nanoteknologi dieksplorasi lebih jauh lagi oleh Dr. Eric Drexler melalui bukunya yang berjudul *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. Nanoteknologi adalah pembuatan dan penggunaan materi pada ukuran sangat kecil. Materi ini berada pada ranah 1–100 nm. Satu nm sama dengan satu permiliar meter

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(0,000000001 m), yang berarti 50.000 lebih kecil dari ukuran rambut manusia. Sebagai ilustrasi ukuran nano, 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. Ilmuwan menyebut ukuran pada ranah ini sebagai skala nano (*nanoscale*), dan material yang berada pada ranah ini disebut sebagai material nano (*nanomaterials*). 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.

Nanoteknologi saat ini berada pada masa pertumbuhannya, dan tidak seorang pun yang dapat memprediksi secara akurat apa yang akan dihasilkan dari perkembangan penuh bidang ini dalam beberapa dekade ke depan. Meskipun demikian, para ilmuwan yakin bahwa teknologi nano akan membawa pengaruh yang penting di berbagai bidang, seperti bidang medis dan kesehatan; produksi dan konservasi energi; kebersihan dan perlindungan lingkungan; elektronik, komputer dan sensor; serta keamanan dan pertahanan dunia. Diperkirakan dalam 5 tahun ke depan, seluruh aspek kehidupan manusia akan menggunakan produk-produk yang menggunakan teknologi nano dalam bidang tertentu.

Pemerintah Jepang, melalui Federasi Organisasi Ekonomi Jepang (Kaidanren) membentuk *Expert Group on Nano Technology* sebagai motor pembuatan nanoteknologi. AS mulai serius mengembangkan nanoteknologi pada tahun 2000 dan mendirikan *National Nano Technology Initiative*. Selain badan pemerintahan, perusahaan swasta juga serius mengadakan riset pengembangan nanoteknologi. Nanoteknologi berdampak pada bidang ilmu pengetahuan dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kerekayaan serta setiap sisi kehidupan manusia sebagaimana yang kita ketahui dalam dekade pertama abad ke-21 ini. Aplikasi sebagian besar inovasi nanoteknologi saat ini bersifat spekulatif dan teoretis. Namun, banyak juga yang sudah berhasil menjadi aplikasi praktis, misalnya tabung nano karbon, yaitu molekul karbon berbentuk pipa yang berstruktur unik dan 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 Yettinger dan Gerd Binnig yang mengembangkan instrumen penyimpanan data sebesar jarum nano dengan teknik *scanning tunneling microscope*. Oleh karena itu, IBM mampu menyimpan 25 juta halaman buku dalam alat penyimpanan yang ukurannya hanya sebesar perangk. Prototipe alat penyimpanan data ini dinamakan Millipede. Intel Corporation pun telah mengembangkan fabrikasi prosesor dengan skala nano; prosesor Intel Core terbarunya menggunakan proses fabrikasi 14 nm dengan kemampuan sepuluh kali lipat dibanding dengan Pentium 4, yang kala itu masih menggunakan proses fabrikasi 130 nm .

Bersumber dari [blogspot.co.id](http://blogspot.co.id) yang ditulis oleh A. Kotten (2014) disebutkan bahwa pengembangan nanoteknologi di Indonesia tidak kalah gaungnya dengan di luar negeri. Diakui bersama bahwa Indonesia memiliki sumber daya alam mineral yang melimpah untuk digunakan sebagai bahan baku material nano dan sumber energi. Sejak didirikannya Masyarakat Nano Indonesia (MNI) pada tahun 2005, beberapa riset dan pengembangan nanoteknologi kian gencar dilakukan oleh peneliti/perekayasa, baik di lembaga riset maupun universitas. Dukungan pemerintah mengalir dengan dikeluarkannya *Roadmap Pengembangan Industri Berbasis Nanoteknologi* oleh Kementerian Perindustrian (Kemenperin) pada tahun 2008. Bidang material maju yang mayoritas berbasis nanoteknologi juga menjadi salah satu bidang fokus dalam Agenda Riset Nasional (ARN) Ke-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

menterian Riset dan Teknologi (Kemenristek). Hasil survei terhadap industri juga menunjukkan bahwa 20,3% industri di Indonesia sudah menerapkan nanoteknologi meskipun hampir 89% bahan bakunya masih diimpor. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Indonesia memiliki peluang dan potensi, baik dari segi sumber daya manusia maupun pemangku kepentingan untuk melakukan pengembangan nanoteknologi dalam mengatasi permasalahan di masyarakat.

Contoh perkembangan nanoteknologi dalam bidang kesehatan ialah dengan diciptakannya “mesin nano” yang disuntikkan ke dalam tubuh guna memperbaiki jaringan atau organ tubuh yang rusak. Penderita hipertensi, misalnya, kini tak perlu lagi disuntik atau mengonsumsi obat, cukup hanya disemprot saja ke bagian tubuh tertentu. Nanoteknologi telah berhasil merekayasa obat sampai 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 nanoteknologi 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 tahun terakhir akibat melonjaknya permintaan baja dari Cina. Mulai tahun 2010, produk-produk industri dalam skala apa pun akan menggunakan material hasil rekayasa nanoteknologi. Perkembangan pesat ini akan mengubah wajah teknologi pada umumnya karena nanoteknologi merambah semua bidang ilmu, tidak hanya bidang rekayasa material, seperti komposit, polimer, keramik, dan supermagnet. Bidang-bidang seperti biologi (terutama genetika dan biologi molekul lainnya), bahan kimia dan rekayasa akan turut berkembang dengan pesat. Manusia akan mengencat mobil dengan cat nano partikel yang mampu memantulkan panas sehingga kendaraan tetap sejuk walau diparkir di

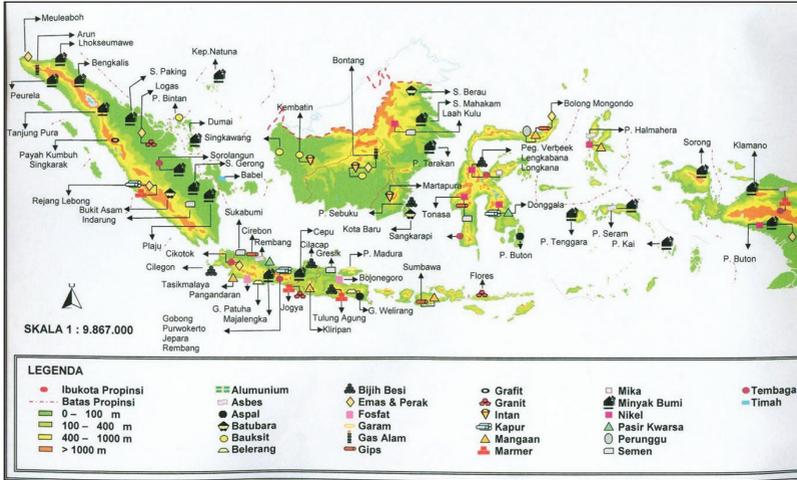
Buku ini tidak diperjualbelikan.

panas terik matahari. Kawat tembaga nantinya akan sangat jarang digunakan (terutama dalam *hardware computer*) karena digantikan dengan konduktor karbon nano yang lebih tinggi konduktivitasnya.

Nanoteknologi juga sudah berhasil menyodorkan suatu material hebat yang sangat ringan, tetapi kekuatannya 100 kali lebih kuat dari baja (Schmidt & Fehling, 2007). Material hebat ini diberi nama *carbon nano-tube* (CNT). Material ini hanya tersusun dari atom karbon (C), seperti grafit dan berlian, serta bersifat sangat kuat tetapi juga ringan sehingga menara dapat dibuat lebih tinggi dan kabel dapat dibuat lebih panjang serta kuat. Dalam bidang konstruksi, nanoteknologi menjadikan kekuatan beton dua kali lebih kokoh, tahan gempa, dan kedap air dengan ditemukannya bahan konstruksi silika nano, suatu jenis mineral yang melimpah ruah di Indonesia dan diolah melalui teknologi nano. Schmidt mengatakan bahwa dengan mencampur 10% bahan silika nano ke dalam beton, kekuatan beton bertambah menjadi dua kali lipat.

Berdasarkan uraian tersebut, perlu dikembangkan pemanfaatan kekayaan alam Indonesia dengan nanoteknologi. Menurut Jonbi (2013), salah satu material alam yang memiliki potensi dikembangkan adalah pasir silika. Indonesia memiliki cadangan pasir silika yang relatif besar dan terdapat di beberapa provinsi, seperti Sumatra Barat, Bangka Belitung, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Papua (Gambar 2.1).

Salah satu peluang terkait penggunaan silika nano dari potensi pasir silika yang ada di Indonesia adalah membuat silika nano yang berasal dari pasir silika dengan nanoteknologi melalui peralatan dan fasilitas yang ada di Indonesia. Seiring dengan pesatnya pembangunan di Indonesia, penggunaan silika nano berbasis material lokal sangat diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton. Namun, hal lain yang patut diperhatikan adalah belum adanya standar desain campuran terkait nano beton, belum efisiennya penggunaan



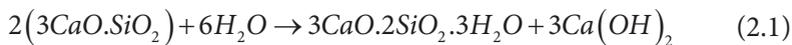
Sumber: Maulana (2017)

**Gambar 2.1** Peta Penyebaran Sumber Pasir Silika di Indonesia

material dasar pembentuk beton, belum adanya metode praktis untuk penerapan di lapangan, dan keterbatasan peralatan yang ada tersedia di dalam negeri. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk mengembangkan pasir silika yang merupakan material alam Indonesia menjadi silika nano alam. Silika nano yang dihasilkan dapat digunakan untuk membuat beton dengan kinerja yang lebih baik dibandingkan beton konvensional.

## B. PERAN SILIKADIOKSIDA ( $\text{SiO}_2$ ) DALAM HIDRASI SEMEN

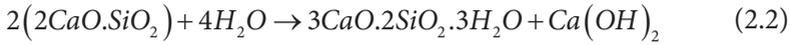
Campuran beton terdiri dari material pasir, kerikil, semen, air, dan bahan aditif. Pada saat air ditambahkan ke dalam campuran beton, akan berlangsung proses kimiawi yang disebut hidrasi sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (2.1) dan (2.2).



Trikalsium silikat

C-S-H gel

kalsium hidroksida

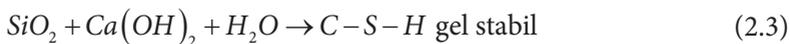


Dikalsium silikat

C-S-H gel

kalsium hidroksida

Reaksi (2.1) dan (2.2) menghasilkan produk utama kalsium silikat hidrat ( $3CaO.2SiO_2.3H_2O$ ) berupa *rigid gel* dan kalsium hidroksida. Produk yang merupakan *rigid gel* ini juga sering disebut *tobermorite gel* dan disingkat sebagai gel CSH. Unsur utama pasta semen ini berpengaruh langsung terhadap kekuatan beton dan berfungsi sebagai pengisi ruang antarbutiran semen dan mengisi pori-pori kapiler sehingga porositas semakin berkurang serta kekuatan semakin meningkat. Kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) merupakan produk hidrasi yang tidak menguntungkan karena menimbulkan perlemahan pada beton.  $Ca(OH)_2$  merupakan unsur yang bisa membuat pasta semen bersifat alkalin. Hal ini membuat pasta semen peka terhadap asam sulfat, di mana ion sulfat cenderung berikatan dengan  $Ca(OH)_2$  dan membentuk kalsium sulfat yang kemudian bereaksi dengan  $C_3A$  dan air yang menghasilkan unsur  $C_3A.3CaSO_4.3.2H_2O$  (*ettringite*). Bahan ini dapat mengakibatkan pengembangan volume dan akan merusak beton. Namun, unsur ini juga dapat memberikan keuntungan berupa perlindungan yang baik pada tulangan baja dari serangan korosi. Oleh karena itu,  $Ca(OH)_2$  perlu diikat atau diminimalkan untuk mencegah efek pengurangan mutu beton, yaitu dengan menambahkan silika yang akan bereaksi dengan  $Ca(OH)_2$  dan air sehingga dihasilkan C-S-H gel yang lebih stabil sebagaimana ditunjukkan dalam reaksi sebagai berikut.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan C-S-H yang lebih stabil, lekatan antara pasta semen dan agregat akan meningkat. Khedr dan Abou-Zeid (1994) mengatakan bahwa silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) sering digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi permeabilitas. Menurut Khanzadi dkk. (2010), penggunaan  $\text{SiO}_2$  yang terkandung dalam pasir silika berfungsi untuk mempercepat proses interaksi kimiawi antara silikon dioksida dan kalsium hidroksida yang dilepaskan selama proses hidrasi semen. Selain itu, akan terjadi peningkatan sifat mekanik beton yang diakibatkan distribusi partikel halus silikon dioksida ke dalam substansi matrik.

Ukuran partikel dari material sangat memengaruhi reaktivitas kimia dari suatu proses pencampuran beton. Reaktivitas kimia material akan berubah secara drastis jika ukuran partikel diperkecil ke dalam skala nanometer. Reaktivitas kimia suatu partikel sangat tergantung pada jumlah atom yang ada pada permukaan partikel tersebut karena atom tersebut akan melakukan kontak langsung dengan material pasangan. Fraksi atom yang menempati permukaan partikel makin besar jika ukuran partikel makin kecil. Ini membuktikan bahwa semakin kecil ukuran partikel, semakin reaktif partikel tersebut terhadap reaksi kimia.

### **C. TELAAH BEBERAPA HASIL PEMBUATAN BETON DENGAN PENAMBAHAN SILIKA NANO**

Dikutip dari hasil kegiatan yang sudah dilakukan oleh Jonbi (2013), beton merupakan bahan berpori yang berukuran mulai dari skala nanometer hingga sentimeter. Silika nano berperan menentukan sifat beton karena pori dengan ukuran sampai dengan nano dapat mengontrol sifat produk hidrasi kalsium silikat. Aplikasi nanoteknologi pada beton harus dapat memperlihatkan jumlah dan kandungan bahan-bahan nano dalam produk akhir, seperti kalsium silikat hidrat yang dihasilkan sehingga dapat dilakukan kontrol terhadap sifat kimia dan mekanik beton. Li (2004) menyebutkan bahwa sifat mekanik

pada mortar dengan menggunakan nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan silika nano dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur lebih tinggi dibandingkan penggunaan *silica fume*. Partikel  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan nano  $\text{SiO}_2$  dapat mengisi pori-pori yang ada dan mengurangi kandungan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Sobolev, Flores, Hermosillo, dan Torres-Martínez (2006) menyebutkan bahwa semen nano dapat meningkatkan kuat tekan mortar. Givi, Rashid, Aziz, dan Salleh (2010) melakukan percobaan tentang pengaruh silika nano  $\text{SiO}_2$  dengan ukuran berbeda, yaitu 15 nm dan 80 nm. Dari hasil tersebut, diperoleh bahwa silika nano dengan ukuran 15 nm menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan silika nano dengan ukuran 80 nm. Luciano dkk. (2009) menyebutkan bahwa silika nano dapat memberikan efek secara kimia dan fisika. Secara kimia, silika nano akan menghasilkan gel C-S-H lebih banyak dan peningkatan hidrasi, sedangkan secara fisika, silika nano akan meningkatkan ukuran rantai silikat, mengisi pori, dan meningkatkan sifat mekanik pada mortar atau beton. Green (2012) menyebutkan bahwa membuat *high performance concrete* (HPC) bukan dengan menggunakan mikro silika, melainkan dengan penambahan silika nano koloid yang dapat memasuki C-S gel dan penambahan CS pada rantai CSH.

Menurut Schmidt dan Fehling (2007), konsep nano pada beton secara prinsip bertujuan agar beton menjadi lebih padat. Kepadatan yang sangat tinggi pada beton diperoleh karena ruang-ruang kosong yang ada di antara partikel-partikel yang berukuran relatif besar, seperti partikel semen, dapat diisi oleh butiran debu halus berukuran nanometer, baik yang bersifat reaktif maupun tidak. Dengan demikian, terbentuklah beton dengan susunan struktur yang sangat padat, di mana pori-pori yang terbentuk berada dalam ukuran nanometer, lebih kecil dari ukuran kapiler atau praktis tidak mengandung lagi pori-pori berukuran kapiler. Dengan terisinya pori-pori beton oleh material nano, sifat mekanik dan durabilitas beton menjadi lebih baik dibandingkan beton konvensional. Nazari, Riahi, dan Shamekhi (2010)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

membuat campuran mortar dengan menambah partikel nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  masing-masing sebesar 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% terhadap berat semen dengan ukuran partikel nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  rata-rata sebesar 15 nm. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kelecakan beton (*workability*) dan *setting time* menurun seiring dengan bertambahnya persentase dari partikel nano  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Luciano dkk. (2009) melakukan beberapa percobaan mengenai pengaruh silika nano (nano  $\text{SiO}_2$ ) terhadap *setting time* pada pasta semen. Sampel dibuat dengan komposisi silika nano sebesar 0%, 1%, 2%, dan 5% terhadap berat semen. Konsistensi pasta diatur dengan menambahkan *superplasticizer* dalam jumlah yang berbeda. Secara umum, diamati bahwa penambahan silika nano dalam pasta semen memengaruhi proses *setting time*.

Sadrmohtazi, Fasihi, Balalaei, dan Hagh (2009) membuat mortar dengan menambahkan silika nano dan *silica fume* pada campuran mortar tersebut dengan komposisi masing-masing 0%, 3%, 5%, dan 7% silika nano serta 10% *silica fume*. Berdasarkan hasil studi, disimpulkan bahwa nilai absorpsi terendah terdapat pada campuran dengan silika nano sebanyak 7%.

Menurut Mehta dan Monteiro (2006), konfigurasi mikrostruktur beton dipengaruhi oleh komposisi campuran, perbandingan air-semen (fas), diameter, dan gradasi bahan pembentuknya. Cara untuk mengetahui mikrostruktur beton adalah dengan memotong secara melintang dan memanjang sehingga konfigurasi antara agregat halus, agregat kasar, mortar, dan pori-pori udara terlihat dengan jelas. Jika potongan melintang tersebut diperbesar dengan uji *scanning electron microscope* (SEM), unsur-unsur kimia C-S-H, C-A-S-H, dan C-H yang terdapat dalam mikrostruktur beton dapat dilihat dengan jelas.

Perbaikan mikrostruktur beton dapat meningkatkan kinerja beton. Cara untuk meningkatkan kinerja beton adalah dengan menambah kepadatan atau mengurangi pori, meningkatkan kekuatan mortar dan ikatan antara mortar dan agregat kasar. *Interface transi-*

*tion zone* merupakan daerah paling lemah pada material beton dan sering mengalami kehancuran terlebih dahulu. Hal ini disebabkan oleh lekatan antara agregat kasar dan mortar yang tidak sempurna. Oleh karena itu, usaha untuk memperkuat *interface transition zone* merupakan salah satu pemecahan masalah untuk mendapatkan beton dengan kekuatan tinggi.

Khanzadi dkk. (2010) melakukan uji SEM pada beton dengan dan tanpa penambahan silika nano. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa kristal *ettringite* yang telah disusupi oleh kristal C-S-H membentuk lempengan yang lebih padat sehingga beton dengan silika nano lebih homogen daripada beton polos. Thuadaj dan Nuntiya (2008) melakukan uji SEM pada mortar dengan penambahan silika nano sebesar 4% dan 10%. Penambahan silika nano dalam pasta semen menyebabkan perbedaan mikrostruktur pasta. Nili, Ihsani, dan Shabani (2010) mengkaji bahwa penggunaan silika nano 1,5% dan mikrosilika 6,0% sebagai pengganti parsial semen pada campuran beton dengan faktor air semen (fas) sebesar 0,45 mampu meningkatkan kekuatan tekan dan mengurangi absorpsi.

Jo, Kim, dan Lim (2007) mengevaluasi kekuatan tekan mortar dengan penambahan silika nano masing-masing sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12%. Variasi fas yang digunakan adalah 0,23; 0,25; 0,32; 0,35; dan 0,48. Kekuatan tekan mortar dievaluasi pada fas 0,48 dengan penambahan *silica fume* sebesar 5%, 10%, dan 15%. Hasil pembuatan mortar pada umur 28 hari menunjukkan bahwa kekuatan mortar dengan silika nano terbukti lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar dengan *silica fume*. Hal ini menunjukkan bahwa silika nano lebih berperan dalam meningkatkan kekuatan tekan dibandingkan *silica fume*. Silika nano tidak hanya berfungsi sebagai pengisi untuk meningkatkan kepadatan secara mikro, tetapi berperan juga sebagai aktivator dalam reaksi hidrasi.

Sobolev dkk. (2006) mengkaji sifat mekanik mortar dengan silika nano yang disintesis menggunakan metode sol-gel. Hasil percobaan menunjukkan terjadi peningkatan kuat tekan mortar pada tahap awal pengerasan, diikuti dengan penurunan kekuatan pada usia lanjut. Penambahan *superplasticizer* dilakukan untuk mengatasi kendala tersebut. Dengan penambahan *superplasticizer* pada mortar, terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 15–20%. Beton yang diberi beban uniaksial akan mengalami retak yang tegak lurus terhadap arah pembebanan. Bila retak terjadi, kekuatan akan berkurang dengan sangat cepat yang ditandai dengan ketidakstabilan beton setelah beban puncak. Perilaku beton mulai menyimpang dari kondisi linier seiring dengan mulai terjadinya retak pada beton, yang pada mulanya timbul pada daerah transisi agregat dan pasta. Penjalaran retak memperlemah resistensi beton terhadap beban yang bekerja sehingga terbentuk kurva tegangan regangan yang melengkung. Pada beton normal, kekuatan ikatan antarmortar atau antara mortar dan agregat relatif lebih lemah dari kekuatan agregat.

Menurut Murdock, Brock, dan Hendarkho (1991), hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan beton di antaranya

- 1) Beton harus mudah dikerjakan dan dibentuk;
- 2) Beton harus memenuhi kuat tekan dan durabilitas yang tinggi;
- 3) Beton harus memenuhi syarat ekonomis.

Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh kekuatan mortar sebagai pembentuknya. Mortar yang dibuat untuk beton mutu tinggi harus memiliki sifat kedap (tidak mempunyai jumlah pori atau rongga dalam jumlah besar). Berdasarkan PCA, 2002 persentase rongga atau pori dalam beton adalah  $(6,5\% \pm 1,5\%)$  dari volume beton.

Krisnamurti, Aswatama, dan Yunarni (2014) meneliti hubungan komposisi material UHPC terhadap kuat tekan mortar. Hasil riset mereka menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi dari benda uji

mortar tercapai pada saat komposisi kadar *water/binder ratio* sebesar 0,22. Selanjutnya, pengujian komposisi pasir dengan berat 1,2 kali berat semen dapat menghasilkan kuat tekan maksimum dari mortar. Salah satu upaya untuk membuat mortar lebih kedap adalah dengan menambah material ukuran nanometer ke dalam campuran mortar.

Sabdono, Sustiawan, dan Fadlilah, (2014), membuat mortar dengan menggunakan semen nano sebanyak 0%, 20%, 60%, 80%, dan 100%, di mana semen nano berfungsi sebagai bahan substitusi dari semen Portland yang digunakan. Pada umur 28 hari, kuat tekan mortar dengan substitusi 30–37% semen nano mengalami peningkatan yang signifikan.

Firmansyah (2007) melakukan percobaan tentang pengaruh silika halus terhadap ketahanan mortar. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa bubuk silika memiliki peran yang sama dengan mikrosilika, yaitu dapat meningkatkan ketahanan mortar terhadap serangan  $H_2SO_4$  dan  $CH_3COOH$  mencapai hampir sekitar 50% dari mortar tanpa penggunaan aditif silika sehingga bubuk silika ini memiliki peluang untuk menggantikan mikrosilika yang merupakan produk impor.

Sobolev dkk. (2006) memperlihatkan bahwa terdapat kenaikan kuat tekan mortar pada mortar yang mengandung partikel nano. Kekuatan mortar semen dengan partikel nano dinilai lebih tinggi daripada kekuatan mortar semen dengan *silica fume*. *Nano-iron-oxide* dan silika nano mengisi pori-pori dan mengurangi terbentuknya kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) saat proses hidrasi. Hal ini yang memengaruhi sifat mekanik mortar semen dengan partikel nano.

Astuti, Purwanto, dan Lie (2015) melakukan percobaan material nano *fly ash* yang ditambahkan ke dalam campuran mortar sebanyak 10%. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa terjadi intensitas dari penambahan nilai kuat tekan sebesar 180% dibandingkan mortar nor-

mal. Penambahan nano *fly ash* lebih dari 10% menurunkan kuat tekan mortar. Beberapa hasil percobaan menyebutkan bahwa penambahan silika nano ke dalam campuran mortar atau beton di atas 10% dapat menurunkan nilai kuat tekan dan durabilitas mortar tersebut. Hal ini disebabkan sifat dari silika nano yang cenderung beraglomerasi pada saat dimasukkan ke dalam campuran mortar.

Beberapa kegiatan lain yang sudah pernah dilakukan terkait efek material nano terhadap sifat mekanik beton di antaranya oleh Ozyildirim (2010), yang melakukan studi eksperimental dengan menambahkan material nano berukuran kurang dari 100 nm pada campuran beton. Tujuan kegiatan ini adalah untuk mengevaluasi penggunaan berbagai material nano dalam beton, kemudian dibandingkan dengan beton konvensional; Beton yang mengandung silika nano dan *nano clay* dibandingkan dengan beton yang mengandung *silica fume*, *fly ash*, dan *slag*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa mikrostruktur beton silika nano lebih padat dan lebih seragam daripada beton konvensional.

Green (2012) menyatakan bahwa penambahan *silica nanoparticles* (SNp) pada campuran beton mampu menghasilkan kepadatan beton sebesar  $2680 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan Khanzadi dkk. (2010) melakukan uji SEM pada beton dengan dan tanpa penambahan silika nano. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa kristal *ettringite* yang telah disusupi oleh kristal C-S-H membentuk lempengan-lempengan yang lebih padat sehingga beton dengan silika nano lebih homogen daripada beton polos.

Nili dkk. (2010) mengkaji bahwa penggunaan silika nano 1,5% dan mikrosilika 6% sebagai pengganti parsial semen pada campuran beton dengan fas 0,45 mampu meningkatkan kuat tekan sebesar 12%. Beton sebagai material konstruksi dituntut memiliki sifat yang kuat dalam menahan beban atau gaya-gaya yang bekerja. Selain itu, beton juga harus memiliki durabilitas tinggi agar mampu bertahan sesuai

dengan umur layan yang direncanakan. Durabilitas beton didefinisikan sebagai ketahanan beton terhadap serangan yang bersifat merusak dan menurunkan kinerja beton.

Ilangovana, Mahendranal, dan Nagamanib (2008) mengatakan bahwa durabilitas suatu beton dapat berkurang antara lain disebabkan akibat serangan air laut, serangan sulfat, erosi gerakan air, dan terbentuknya retak rambut. Berkurangnya durabilitas beton menyebabkan umur layan beton menurun dalam fungsinya sebagai struktur bangunan, yang berdampak umur layan beton tidak dapat mencapai masa yang direncanakan. Peningkatan sifat mekanik dan durabilitas beton sangat tergantung dari jumlah komposisi silika nano yang ditambahkan ke dalam beton.

Namun, meninjau aspek keselamatan dan lingkungan, Doaa dan Nilly (2015) berpendapat bahwa partikel nano memiliki sifat baru, kinetika dan bioaktivitas yang berpotensi pada efek biologis sistem pernapasan dan berakibat radang paru-paru. Dari penelitian tersebut, dilaporkan bahwa silika nano yang terisap dapat menyebabkan kanker paru-paru, bronkhitis, dan TBC. Ukuran diameter dari silika nano lebih kecil dari 100 nm dan memiliki luas permukaan spesifik di atas  $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ . Dengan susunan kristal yang sangat halus, silika nano dapat menembus kulit dan masuk dalam aliran darah.



# BAB III

## Proses Pembuatan Mortar dan Beton dengan Pencampuran Material Nano

### A. UMUM

Proses pembuatan mortar dan beton dengan pencampuran material nano dibuat berdasarkan studi literatur, survei lapangan, dan studi eksperimental. Studi literatur ditujukan pada penguasaan data sekunder mengenai teknologi beton kinerja tinggi berbasis material nano. Beberapa hasil kegiatan yang sudah dilakukan merupakan dasar atau referensi dari kegiatan yang akan dilakukan. Survei lapangan dilakukan untuk mengetahui beberapa lokasi material, seperti agregat halus, agregat kasar, dan semen yang digunakan sebagai bahan pencampur mortar dan beton. Berdasarkan hasil survei lapangan, dapat diketahui lokasi material yang sesuai dengan kebutuhan dalam membuat beton berbasis material nano. Sementara itu, studi eksperimental dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik material pembentuk beton, membuat rancangan campuran beton atau mortar, melakukan proses pencampuran beton sampai pada pengujian sifat mekanik dan durabilitas beton atau mortar. Pengujian laboratorium dimulai dengan tahapan sebagai berikut.

- 1) pengujian material pembentuk beton atau mortar,
- 2) pembuatan rancangan campuran beton atau mortar,
- 3) proses pencampuran beton atau mortar,
- 4) proses perawatan beton atau mortar,
- 5) pengujian sifat mekanik dan durabilitas beton atau mortar.

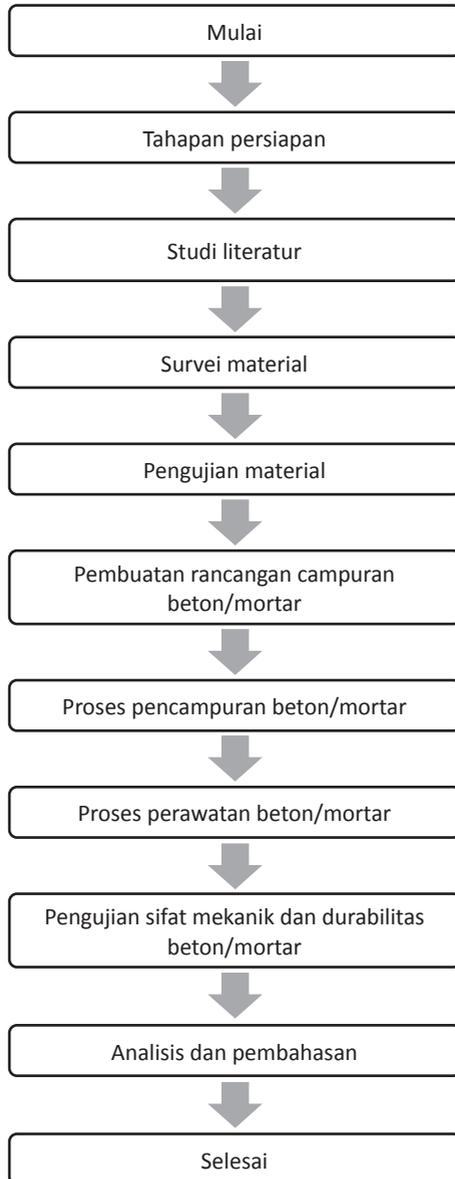
Setelah rangkaian kegiatan tersebut dilakukan, dibuat suatu hasil analisis. Hasil tersebut dikomparasikan dengan hasil percobaan yang sudah dilakukan, baik di dalam maupun luar negeri. Standar yang diacu dalam kegiatan pengujian adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) ataupun standar asing. Secara garis besar, tahapan/sistematika tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.

## **B. MATERIAL PEMBENTUK BETON**

### **1. Semen**

Semen yang digunakan dalam percobaan di laboratorium adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) Tipe 1. Semen ini sesuai dengan spesifikasi yang terdapat dalam SNI 15-2049-2004 tentang semen portland. Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland—terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis—dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Campuran tersebut boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Gambar 3.2 adalah semen portland tipe 1. Semen tersebut merupakan jenis semen yang cocok untuk berbagai macam aplikasi beton yang tidak memerlukan syarat-syarat khusus. Komposisi mayor yang terdapat dalam semen portland ditunjukkan dalam Tabel 3.1.



**Gambar 3.1** Tahapan Pembuatan Mortar dan Beton dengan Pencampuran Material Nano



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.2** Semen Portland Tipe 1

**Tabel 3.1** Komposisi Oksida Semen Portland

No.	Oksida	Jumlah (%)
1	SiO <sub>2</sub>	21,20
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,96
3	CaO	64,90
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,10
5	SO <sub>3</sub>	2,10
6	MgO	1,20
7	Na <sub>2</sub> O	0,00
8	K <sub>2</sub> O	0,00
9	LOI	0,90

Sumber: Saloma (2014)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 3.1 menunjukkan komposisi oksida yang terkandung dalam semen portland dari hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF). Senyawa terbesar yang terkandung dalam semen portland adalah CaO (kalsium oksida). Senyawa ini berfungsi mempercepat proses hidrasi apabila bereaksi dengan air.

## 2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir silika eks bangka. Pasir ini banyak mengandung senyawa silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Komposisi mayor yang terdapat dalam pasir silika ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Komposisi Oksida Pasir Silika Eks Bangka

No.	Oksida	Jumlah (%)
1	$\text{SiO}_2$	96,50
2	$\text{Al}_2\text{O}_3$	2,15
3	CaO	0,03
4	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,33
5	$\text{SO}_3$	0,00
6	MgO	0,09
7	$\text{Na}_2\text{O}$	0,23
8	$\text{K}_2\text{O}$	0,22
9	LOI	0,00

Keterangan: Pengujian dilakukan di Nanotech (2015).

Berdasarkan Tabel 3.2, jumlah komposisi  $\text{SiO}_2$  dalam pasir silika adalah 96,50%. Sebelum digunakan sebagai material pembentuk beton, pasir silika tersebut dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan kadar lumpur dan unsur pengotor lainnya. Setelah dicuci, pasir dikeringkan dengan kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry/SSD*).



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.3** Pasir Silika Eks Bangka

**Tabel 3.3** Komposisi Oksida Pasir Vulkanik Eks Muntilan

No.	Oksida	Pasir vulkanik	
		Konsentrasi (ppm)	Deviasi (+/-)
1	Fe	6,64%	0,0359%
2	Cu	38	6,84
3	LE	55,08%	0,2216%
4	Ti	5.487	138,04
5	Zn	80	4,19
6	Zr	95	2,45
7	Al	9,18%	0,1065%
8	Bi	-	-
9	Mg	2,28%	0,2239%
10	S	731	44,36
11	Si	20,46%	0,1085%

Sumber: Olympus (2016)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 3.3 menunjukkan jenis pasir silika eks banga yang sudah dicuci dan berada dalam proses pengeringan. Selain pasir silika, digunakan juga jenis pasir gunung eks muntilan. Pasir ini berasal dari letusan Gunung Merapi dan merupakan jenis pasir vulkanik. Komposisi senyawa oksida yang terdapat dalam pasir vulkanik ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

Berdasarkan Tabel 3.3, kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam pasir vulkanik adalah 20,46% dikalikan dengan faktor koreksi (2,1392). Komposisi  $\text{SiO}_2$  adalah sebesar 43,75%. Jumlah ini lebih kecil daripada pasir silika eks banga.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.4** Pasir Vulkanik Eks Muntilan

Pasir vulkanik eks muntilan merupakan pasir yang berasal dari erupsi ataupun aliran lahar dingin Gunung Merapi dan mempunyai butiran kasar. Warna pasir ini hitam dan mempunyai kadar lumpur sekitar 5%. Sebelum dibuat mortar atau beton, terlebih dahulu dilakukan analisis saringan untuk menentukan gradasi/pembagian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

butir agregat halus dengan menggunakan saringan. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), volume pori akan besar. Sebaliknya, bila ukuran butir-butirnya bervariasi, akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi. Pada agregat untuk pembuatan mortar atau beton, diinginkan suatu butiran yang kemampatannya tinggi karena volume porinya sedikit, dan ini berarti hanya membutuhkan bahan pengikat saja. Hasil analisis saringan agregat halus untuk pasir silika dan pasir vulkanik ditunjukkan dalam Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Analisis Saringan Pasir Muntlan dan Pasir Bangka

No.	Saringan (Inci)	Berat Tertahan	Jumlah Tertahan	PERSENTASE KUMULATIF (%)		Berat Tertahan	Jumlah Tertahan	PERSENTASE KUMULATIF (%)	
		Gram	Gram	Tertahan	Lewat	Gram	Gram	Tertahan	Lewat
		Pasir Muntlan				Pasir Silika			
1	9,52 (%")	0	0	0,00	100,00	0	0	0,00	100,00
2	No. 4	9,3	9,3	1,78	98,22	5,6	5,6	0,63	99,37
3	No. 8	23	32,3	6,19	93,81	42,6	48,2	5,45	94,55
4	No. 16	68	100,3	19,22	80,78	118,5	166,7	18,84	81,16
5	No. 30	181,6	281,9	54,02	45,98	206,1	372,8	42,12	57,88
6	No. 50	184	465,9	89,29	10,71	312,5	685,3	77,44	22,56
7	No. 100	50,8	516,7	99,02	0,98	148,5	833,8	94,21	5,79
8	No. 200	4,9	521,6	99,96	0,04	46,9	880,7	99,51	0,49
9	Pan	0,2	521,8	100,00	0,00	4,3	885	100	0,00
		Modulus Kehalusan		2,70		Modulus Kehalusan		2,40	

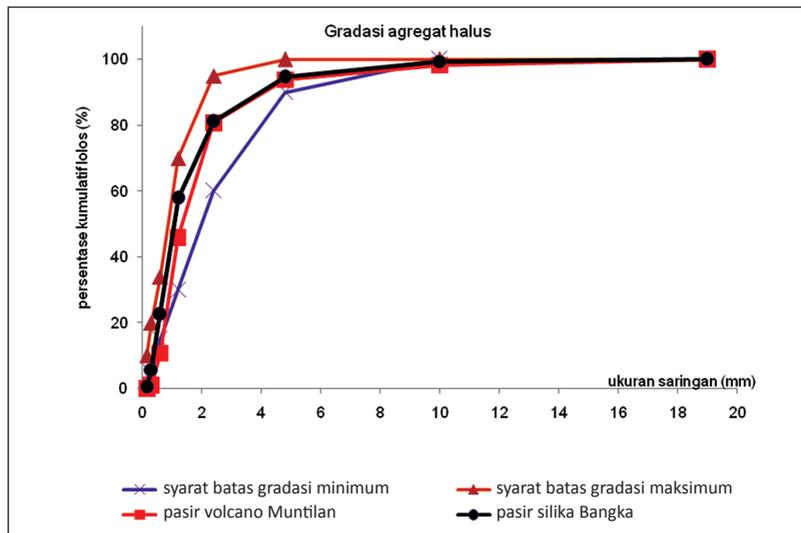
Sumber: Pusjatan (2016)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pengujian analisis saringan agregat halus mengacu pada SNI 03-1968–1990 (Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar). Gradasi agregat halus dan ukuran butir maksimum berkaitan erat dengan besarnya luas permukaan agregat, banyaknya air yang dibutuhkan, dan kadar semen dalam beton. Gradasi yang baik akan memberikan tingkat optimal untuk mendapatkan densiti dan kekuatan beton maksimum. Gradasi agregat halus dikelompokkan menjadi 4 zona sebagai berikut:

- 1) Zone/Daerah 1 : Pasir Kasar
- 2) Zone/Daerah 2 : Pasir Agak Kasar
- 3) Zone/Daerah 3 : Pasir Agak Halus
- 4) Zone/Daerah 4 : Pasir Halus

Gradasi untuk pasir vulkanik eks muntilan dan pasir silika eks bangka berada dalam Zona 1 sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Sumber: Pujatan (2016)

**Gambar 3.5** Gradasi Agregat Halus dari Pasir Vulkanik dan Pasir Silika

Berdasarkan Gambar 3.5, ukuran gradasi pasir silika eks bangsa dan pasir vulkanik eks muntinan berada dalam syarat batas gradasi minimum dan gradasi maksimum (Zona 1). Kedua pasir tersebut dikelompokkan dalam pasir kasar.

### 3. Agregat Kasar

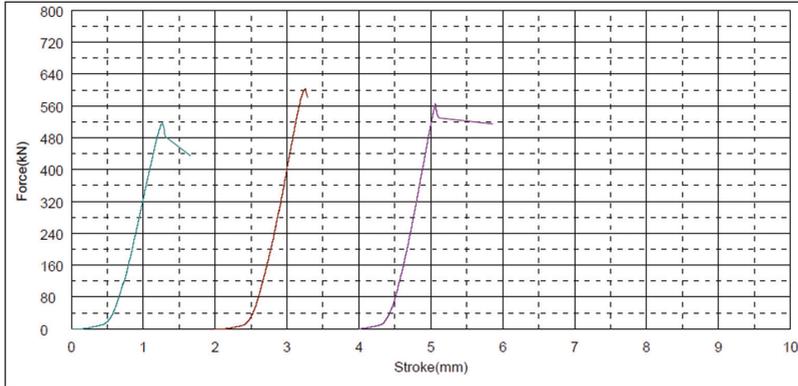
Untuk mendapatkan batuan dengan kondisi baik, telah dilakukan survei dan pengambilan contoh batu ke beberapa daerah di Jawa Barat (Rumpin, Kabupaten Bogor dan Songgom, Kabupaten Sumedang). Semua sampel batuan diuji kuat tekan, abrasi, dan kepipihannya. Pengujian kuat tekan agregat dilakukan untuk mendapatkan informasi kekuatan agregat dibanding dengan kuat tekan beton. Agregat yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dari beton berpotensi digunakan sebagai *high performance concrete* (HPC) karena diharapkan agregat tersebut lebih kuat dibandingkan pasta dan *interfacial transition zone* (ITZ). Hasil uji tekan batuan berukuran 50 mm × 50 mm × 50 mm ditunjukkan dalam Tabel 3.5.

**Tabel 3.5** Hasil Uji Tekan Batuan

No.	Sumber agregat	Kuat tekan (MPa)
1	Rumpin Bogor	157
2	Songgom Sumedang	224

Sumber: Pusjatan (2016)

Berdasarkan Gambar 3.6, kuat tekan batu untuk masing-masing benda uji 1, 2, dan 3 adalah 205,972 MPa, 240,642 MPa, dan 225,502 MPa. Kuat tekan rata-rata adalah sebesar 224,039 MPa. Berdasarkan hasil uji tekan batuan pada Tabel 3.5, dipilih batuan dari Songgom, Kabupaten Sumedang sebagai agregat kasar campuran beton karena mempunyai kuat tekan lebih besar daripada batuan asal Rumpin, Kabupaten Bogor.



**Gambar 3.6** Grafik Uji Tekan Batu Eks Songgom, Kabupaten Sumedang

Pengujian abrasi dilakukan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus dan berat semula dalam persen. Hasilnya dapat digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi beton. Pengujian abrasi mengacu pada SNI 2417:2008 (Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles). Hasil uji abrasi untuk agregat kasar ditunjukkan dalam Tabel 3.6.

**Tabel 3.6** Hasil Uji Abrasi Batuan

No.	Sumber agregat	Keausan (%)
1	Rumpin Bogor	24,37
2	Songgom Sumedang	18,39

Sumber: Pusjatan (2016)

Berdasarkan hasil uji abrasi batuan pada Tabel 3.6., dipilih batuan dari Songgom, Kabupaten Sumedang sebagai agregat kasar campuran beton karena mempunyai nilai keausan 18,39% lebih kecil daripada batuan asal Rumpin, Kabupaten Bogor (24,37%).

Untuk mengetahui jumlah persentase dari butiran agregat kasar yang berbentuk pipih, lonjong, atau pipih dan lonjong, dilakukan uji kepipihan butiran agregat. Pengujian yang dilakukan mengacu pada RSNI T-01-2005 (Cara Uji Butiran Agregat Kasar Berbentuk Pipih, Lonjong, atau Pipih dan Lonjong). Hasil uji kepipihan agregat kasar ditunjukkan dalam Tabel 3.7.

**Tabel 3.7** Hasil Uji Kepipihan

No.	Sumber agregat	Kepipihan (%)
1	Rumpin Bogor	15,340
2	Songgom Sumedang	6,578

Sumber: Pusjatan (2016)

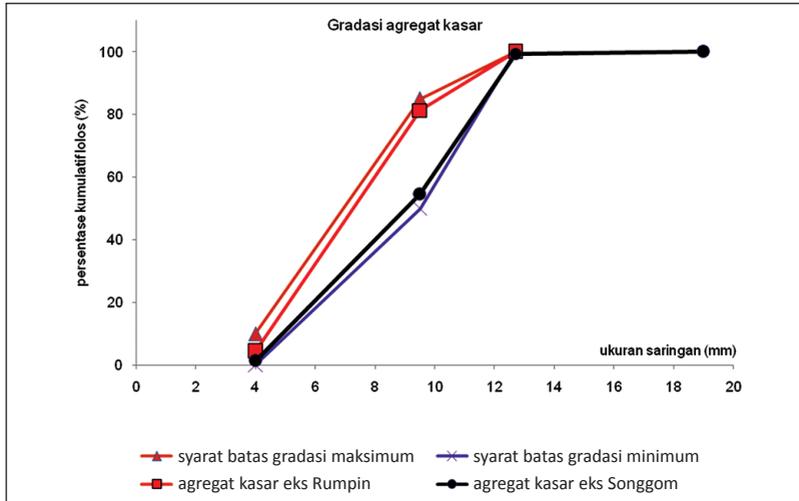
Berdasarkan standar tersebut, jumlah butiran agregat kasar yang berbentuk pipih, lonjong, atau pipih dan lonjong tidak lebih besar dari 10%. Butiran agregat kasar asal Songgom memenuhi standar tersebut (6,578%) sehingga agregat ini digunakan sebagai campuran beton. Gambar 3.7 menunjukkan jenis agregat kasar eks songgom dari Kabupaten Sumedang yang memenuhi persyaratan untuk pembuatan HPC.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.7** Butiran Agregat Kasar Eks Songgom, Kabupaten Sumedang

Sampel agregat kasar sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.7 diperoleh melalui pemecahan batuan menggunakan *stone crusher* dengan ukuran diameter 5–10 mm. Bentuk gradasi agregat kasar ditunjukkan dalam Gambar 3.8.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.8** Gradasi Agregat Kasar Eks Rumpin dan Eks Songgom

Berdasarkan Gambar 3.8, ukuran butiran agregat kasar eks rumpin dan eks songgom berada dalam batas gradasi maksimum dan gradasi minimum. Material dengan kurva gradasi tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton.

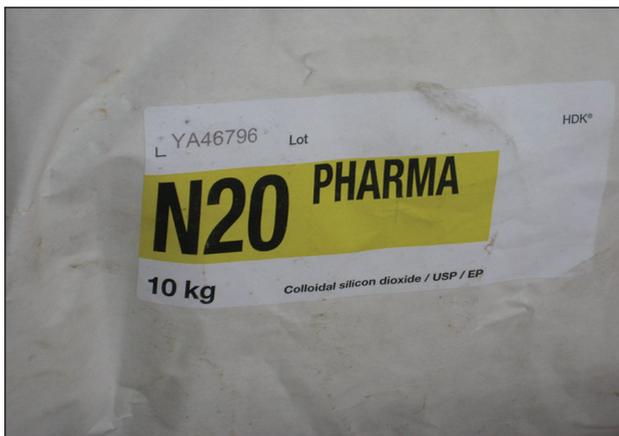
#### 4. Silika Nano

Silika nano yang digunakan dalam percobaan ini adalah silika nano komersil. Silika nano komersil adalah silika nano yang telah diperdagangkan secara komersil. Silika nano jenis HDKN mempunyai ukuran partikel antara 20–40 nm. Spesifikasi dan wujud dari silika nano berupa serbuk berwarna putih tersebut ditunjukkan dalam Tabel 3.8 dan Gambar 3.9.

**Tabel 3.8** Sifat dan Karakteristik Silika Nano Komersil

No.	Sifat dan karakteristik	Prosedur pengujian	Nilai	Satuan
1	<i>BET-surface area</i>	DIN ISO 9277	170-230	m <sup>2</sup> /g
2	<i>PH, in 4% aqueous dispersion</i>	DIN EN ISO 787-9	3,80-4,30	
3	<i>Tamped density</i>	DIN EN ISO 787-11	ca.40	g/l
4	<i>Loss on drying (2 h at 105°C)</i>	DIN EN ISO 787-2	< 1,50	%
5	<i>Sieve residue, acc. To Mocker &gt; 40 μm</i>	DIN EN ISO 787-18	< 0,04	%
6	<i>SiO<sub>2</sub> content</i>	DIN EN ISO 3262-19	> 99,80	%
7	<i>Loss on ignition at 1000°C/2h</i>	DIN EN ISO 3262-19	< 2	%
8	<i>Density of SiO<sub>2</sub></i>	-	2200	Gram/L
9	<i>Refractive index</i>	-	1,46	
10	<i>Silanol group density</i>	-	2	SiOH/nm <sup>2</sup>
11	<i>Electric resistivity (density 40 g/l)</i>	-	> 10 <sup>13</sup>	(W cm)

Sumber: Saloma (2014)



Sumber: Pujatan (2016)

**Gambar 3.9** Silika Nano Komersil

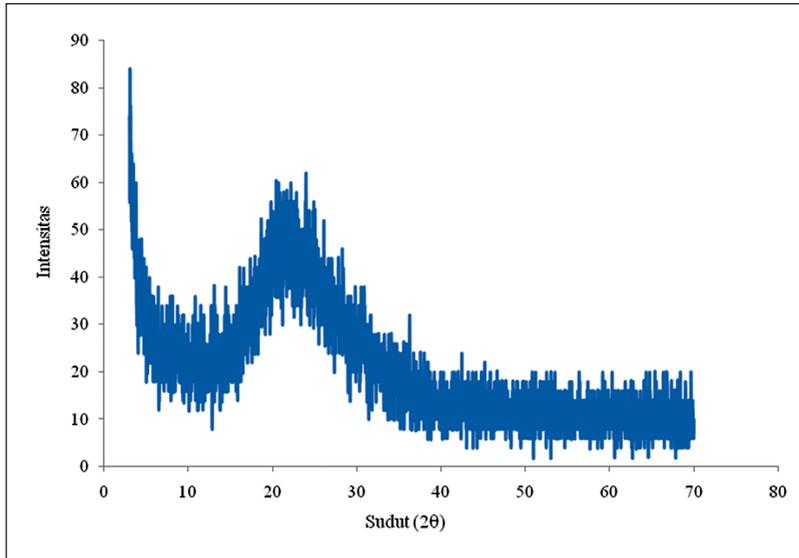
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Untuk mengetahui jumlah komposisi  $\text{SiO}_2$ , dilakukan uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.9.

**Tabel 3.9** Hasil Uji XRF Silika Nano Komersil

Oksida	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	S	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	CuO	MgO
Jumlah (%)	99,99	-	-	-	-	-	-	0,01	-

Berdasarkan Tabel 3.9, jumlah persentase  $\text{SiO}_2$  dari silika nano adalah sebesar 99,99%. Selanjutnya, untuk mengetahui bentuk partikel dari silika nano dilakukan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.10.



Sumber: Tekmira (2016)

**Gambar 3.10** Hasil Uji XRD Silika Nano Komersil

Berdasarkan hasil uji XRD pada Gambar 3.10, tampak bahwa silika nano memiliki partikel berbentuk *amorphous*.

## 5. *Superplasticizer*

*Admixture* (bahan tambah) didefinisikan sebagai material selain air, agregat, dan semen yang digunakan dalam campuran beton atau mortar, yang ditambahkan dalam adukan segera sebelum atau selama pengadukan dilakukan (ACI 211.4R-08 R). *Superplasticizer* sebagai bahan tambah digunakan untuk mencapai *workability* pada saat proses pengadukan. Jenis *superplasticizer* yang digunakan adalah *superplasticizer* berbasis *polycarboxylate derivatives* (PCE) yang memberikan tingkat *workability* terbaik.

## C. RANCANGAN CAMPURAN MORTAR DAN BETON

### 1. Rancangan Campuran Mortar

Mortar beton adalah suatu bahan adukan yang terdiri dari komposisi air, semen (termasuk *binder*), dan pasir. Pembuatan mortar dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton (termasuk ikatan antara agregat kasar dengan pasta). Kekuatan mortar, baik tekan maupun tarik, tergantung dari material penyusunnya. Metode pembuatan dan pengujian mortar mengacu pada SNI-03-6825-2002 (Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil). Sebelum pembuatan campuran mortar, semua material harus diuji terlebih dahulu. Benda uji mortar dibuat dengan komposisi pasir silika (eks Bangka) dan pasir gunung (eks Muntilan). Mortar dibuat dalam 2 variasi. Pertama yang dibuat dengan menggunakan pasir silika dan yang kedua dengan menggunakan pasir gunung. Tiap-tiap komposisi campuran tersebut ditambahkan dengan 5% silika nano dan 0% silika nano (tanpa penambahan silika nano). Dalam pembuatan mortar, ukuran benda uji mortar adalah 50 mm × 50 mm × 50 mm. Komposisi campuran mortar secara detail ditunjukkan dalam Tabel 3.10.

**Tabel 3.10** Komposisi Campuran Mortar

No.	Bahan	Ukuran saringan	Jumlah (gram)
1	Semen	-	2.100
	Pasir	No.8	113,148
		No.16	334,404
		No.30	892,836
		No.50	904,68
		No.100	249,732
		No.200	24,192
		Pan	1,008
	Air	-	559,524
	Silika Nano (0%)	-	0
Sp 0,02%		42	
2	Semen	-	1.995
	Pasir	No.8	113,148
		No.16	334,404
		No.30	892,836
		No.50	904,68
		No.100	249,732
		No.200	24,192
		Pan	1,008
	Air	-	559,524
	Silika Nano (5%)	-	105
Sp 0,02%		42	

Sumber: Pusjatan (2016)

Dari Tabel 3.10, diperoleh nilai peresapan untuk agregat halus sebesar 1,37. Jumlah pasir yang digunakan adalah 2,520 gram, jumlah *sementitious* sebesar 2,100 gram. Nilai *fas* sebesar 0,25. Perbandingan jumlah pasir terhadap jumlah *sementitious* adalah 1,2. Nilai *slump* untuk mortar tanpa penambahan silika nano adalah sebesar 180 mm, sedangkan *slump* untuk campuran mortar dengan penambahan 5% silika nano adalah sebesar 105 mm. Jumlah benda uji yang dibuat

dalam setiap umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari masing-masing adalah 3 mortar. 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 3.11.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.11** Peralatan Pembuatan Mortar

## 2. Rancangan Campuran Beton

Standar pembuatan rancangan campuran beton berbasis material nano secara spesifik belum dibuat di Indonesia. Pembuatan rancangan campuran beton menggunakan standar asing, yaitu *American Concrete Institute Method of Mix Design* (ACI-211.1). Dalam pembuatan benda uji, dibuat *high performance concrete* (HPC). HPC merupakan beton yang didesain agar menjadi tahan lama dan lebih kuat dibandingkan beton konvensional. Campuran HPC sebenarnya tersusun dari material yang sama dengan campuran beton konvensional, akan tetapi proporsinya didesain sedemikian rupa sehingga diperoleh kekuatan dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ketahanan struktural. Proses desainnya menggunakan *self compacting concrete* (SCC). Teknologi SCC memiliki keunggulan dibandingkan beton konvensional, di antaranya mengurangi pemakaian vibrator dan meningkatkan kapasitas pengisian. Mutu beton yang direncanakan adalah 70 MPa dan 100 MPa. Benda uji berupa silinder beton ukuran diameter (D) 100 mm dan tinggi (H) 200 mm. Mutu beton yang direncanakan  $f_c'$  adalah sebesar 70 MPa. Benda uji silinder dibuat dalam dua variasi, yaitu tanpa silika nano dan 5% silika nano. Penggunaan semen berkurang 5% setelah campuran ditambah dengan silika nano. Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 menunjukkan komposisi beton 70 MPa tanpa dan dengan penambahan 5% silika nano.

**Tabel 3.11** Komposisi Campuran Beton Mutu 70 MPa

No.	Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Volume absolut (m <sup>3</sup> )	Batching (kg)			Koreksi	
				SSD	Aktual	Terkoreksi	Volume (m <sup>3</sup> )	perm <sup>3</sup> (kg)
1	Air	228	0,228	5,367	4,151	5,367	0,005	179
2	Semen	512	0,165	18,019	18,019	18,019	0,006	600
3	Pasir Silika	775	0,292	24,722	24,867	24,722	0,009	823
4	Kerikil	698	0,284	21,839	22,910	21,839	0,009	727
5	<i>Superplasticizer</i>	1,48	0,001	0,052	0,052	0,052	0,000	1,7
6	Silika nano	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>2.214</b>	<b>1</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>0,030</b>	<b>2.331</b>

Sumber: Pusjatan (2016)

**Tabel 3.12** Komposisi Campuran Beton Mutu 70 MPa dengan Penambahan 5% Silika Nano

No.	Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Volume absolut (m <sup>3</sup> )	Batching (kg)			Koreksi	
				SSD	Aktual	Terkoreksi	Volume (m <sup>3</sup> )	perm <sup>3</sup> (kg)
1	Air	228	0,228	5,400	4,181	5,400	0,005	179
2	Semen	512	0,165	18,130	18,130	18,130	0,006	570
3	Pasir Silika	753	0,284	24,097	24,239	24,097	0,009	822
4	Kerikil	698	0,284	21,974	23,051	21,974	0,009	727
5	<i>Superplasticizer</i>	11,26	0,010	0,399	0,399	0,399	0,000	13,2
6	Silika nano	0	0	0	0	0	0	30
<b>Total</b>		<b>2.201</b>	<b>0,940</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>0,030</b>	<b>2.342</b>

Sumber: Pusjatan (2016)

Berdasarkan Tabel 3.11, komposisi material perkubikasi beton mutu 70 MPa terdiri dari 179 kg air, 600 kg semen, 823 kg pasir silika, 727 kg kerikil, dan 1,7 kg *superplasticizer*. Dengan penambahan 5% silika nano, komposisi material perkubikasi beton menjadi 179 kg air, 570 kg semen, 822 kg pasir silika, 727 kerikil, 13,2 kg *superplasticizer*, dan 30 kg silika nano (Tabel 3.12). Semakin banyak jumlah silika nano yang dimasukkan ke dalam campuran beton, kebutuhan semen juga semakin berkurang dan *superplasticizer* akan semakin banyak. Penambahan silika nano sebesar 5% mengurangi kebutuhan semen sebanyak 30 kg. Sementara itu, komposisi beton dengan mutu 100 MPa ditunjukkan dalam Tabel 3.13. dan Tabel 3.14.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**Tabel 3.13** Komposisi Campuran Beton Mutu 100 MPa

No.	Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Volume absolut (m <sup>3</sup> )	Batching (kg)			Koreksi	
				SSD	Aktual	Terkoreksi	Volume (m <sup>3</sup> )	perm <sup>3</sup> (kg)
1	Air	228	0,228	4,747	3,520	5,367	0,005	161
2	Semen	512	0,165	20,657	20,657	20,657	0,007	700
3	Pasir Silika	775	0,292	22,162	22,293	22,162	0,008	736
4	Kerikil	698	0,284	22,374	23,471	22,374	0,009	758
5	<i>Superplas- ticizer</i>	1,48	0,001	0,06	0,06	0,06	0,000	2
6	Silika nano	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>2.214</b>	<b>1</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>0,0295</b>	<b>2.357</b>

Sumber: Pusjatan (2016)

**Tabel 3.14** Komposisi Campuran Beton Mutu 100 MPa dengan Penambahan 5% Silika Nano

No.	Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Volume absolut (m <sup>3</sup> )	Batching (kg)			Koreksi	
				SSD	Aktual	Terkoreksi	Volume (m <sup>3</sup> )	perm <sup>3</sup> (kg)
1	Air	228	0,148	4,779	4,181	3,549	0,005	161
2	Semen	512	0,165	20,795	20,795	20,795	0,007	665
3	Pasir Silika	754	0,284	21,466	21,466	21,466	0,008	738
4	Kerikil	698	0,284	22,523	22,523	22,523	0,009	758
5	<i>Superplas- ticizer</i>	10,75	0,009	0,437	0,437	0,437	0,000	14,7
6	Silika nano	0	0	0	0	0	0	35
<b>Total</b>		<b>2.202</b>	<b>0,920</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>0,0297</b>	<b>2.371</b>

Sumber: Pusjatan (2016)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berikutnya, komposisi material perkubikasi untuk beton mutu 100 MPa terdiri dari 161 kg air, 700 kg semen, 736 kg pasir silika, 758 kg kerikil, dan 2 kg *superplasticizer* (Tabel 3.13). Dengan penambahan 5% silika nano, komposisi material perkubikasi beton menjadi 161 kg air, 665 kg semen, 738 kg pasir silika, 758 kerikil, 14,7 kg *superplasticizer*, dan 35 kg silika nano (Tabel 3.14). Semakin banyak jumlah silika nano yang dimasukkan ke dalam campuran beton, kebutuhan semen menjadi semakin berkurang dan *superplasticizer* akan semakin banyak. Penambahan silika nano sebesar 5% mengurangi kebutuhan semen sebanyak 35 kg. Untuk melihat perbandingan dari sifat mekanik dan durabilitas beton, dibuat juga komposisi campuran beton dengan penambahan 3% silika nano untuk mutu 70 MPa dan 100 MPa sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.15 dan 3.16.

**Tabel 3.15** Komposisi Campuran Beton Mutu 70 MPa dengan Penambahan 3% Silika Nano

No.	Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Volume absolut (m <sup>3</sup> )	Batching (kg)			Koreksi	
				SSD	Aktual	Terkoreksi	Volume (m <sup>3</sup> )	perm <sup>3</sup> (kg)
1	Air	228	0,168	5,397	4,175	5,397	0,005	179
2	Semen	512	0,165	17,575	17,575	17,575	0,006	582
3	Pasir Silika	758	0,286	24,770	24,916	24,770	0,009	820
4	Kerikil	698	0,284	21,959	23,036	21,959	0,009	727
5	<i>Superplasticizer</i>	8,70	0,007	0,299	0,299	0,299	0,000	9,9
6	Silika nano	0	0	0	0	0	0	18
<b>Total</b>		<b>2.205</b>	<b>0,940</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>0,0302</b>	<b>2.336</b>

Sumber: Pusjatan (2016)

**Tabel 3.16** Komposisi Campuran Beton Mutu 100 MPa dengan Penambahan 3% Silika Nano

No.	Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Volume absolut (m <sup>3</sup> )	Batching (kg)			Koreksi	
				SSD	Aktual	Terkoreksi	Volume (m <sup>3</sup> )	perm <sup>3</sup> (kg)
1	Air	228	0,228	4,756	3,528	4,756	0,005	161
2	Semen	512	0,165	20,696	20,696	20,696	0,007	679
3	Pasir Silika	769	0,290	21,967	22,096	21,967	0,008	743
4	Kerikil	698	0,284	22,416	23,515	22,416	0,009	758
5	Superplasticizer	4,10	0,003	0,166	0,166	0,166	0,000	5,6
6	Silika nano	0	0	0	0	0	0	21
<b>Total</b>		<b>2.210</b>	<b>1</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>0,0296</b>	<b>2.368</b>

Sumber: Pusjatan (2016)

Berdasarkan komposisi campuran beton mutu 70 MPa dan 100 MPa, masing-masing dibuat variasi dari jumlah silika nano yang ditambahkan ke dalam campuran beton, yaitu 0%, 3%, dan 5%. Benda uji dibuat dalam bentuk silinder berukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Pengujian kuat tekan masing-masing variasi beton dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari untuk ketiga benda uji tersebut.

## D. PROSES PENCAMPURAN MORTAR DAN BETON

### 1. Pencampuran Mortar

Standar pencampuran mortar pada prinsipnya mengacu pada SNI 06-6825-2002 (Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil) dengan terlebih dahulu mencampurkan semen dengan silika nano. Pengujian kekuatan tekan mortar semen portland dilakukan melalui tahap pekerjaan sebagai berikut.

- 1) Tuangkan 242 cc air suling ke dalam mangkok pengaduk, kemudian masukkan pula perlahan-lahan contoh semen sebanyak 500 gram, biarkan kedua bahan dalam mangkok pengaduk selama 30 detik.
- 2) Aduklah campuran air suling dan semen dengan menggunakan mesin pengaduk selama 30 detik, kecepatan putaran mesin pengaduk adalah  $140 \pm 5$  putaran per menit.
- 3) Siapkan pasir silika sebanyak 1.375 gram; masukkan sedikit demi sedikit ke dalam mangkok yang berisi campuran semen, silika nano, dan air suling sambil diaduk dengan kecepatan yang sama selama 30 detik; setelah itu pengadukan diteruskan selama 30 detik dengan kecepatan pengadukan  $285 \pm 10$  putaran per menit.
- 4) Pengadukan dihentikan, bersihkan mortar yang menempel di bibir dan bagian atas mangkok pengaduk selama 15 detik, selanjutnya mortar dibiarkan selama 75 detik dalam mangkok pengaduk yang ditutup.
- 5) Ulang kembali pengadukan selama 60 detik dengan kecepatan pengadukan  $285 \pm 10$  putaran per menit.
- 6) Lakukan percobaan leleh dengan cara sebagai berikut.
  - a) Letakkan cincin leleh di atas meja leleh, lalu isi dengan mortar sampai penuh; pengisian dilakukan dalam 2 lapis, setiap lapis harus dipadatkan 20 kali dengan alat pematik.
  - b) Ratakan permukaan atas mortar dalam cincin leleh dan bersihkan mortar yang menempel di bagian luar cincin leleh.
  - c) Angkatlah cincin leleh perlahan-lahan sehingga di atas meja leleh terbentuk mortar berbentuk kerucut terpancung.
  - d) Getarkan meja leleh sebanyak 25 kali selama 15 detik dengan tinggi jatuh  $\frac{1}{2}$  in (12,7 mm).

- e) Ukurlah diameter mortar di atas meja leleh minimal pada 4 tempat yang berlainan, lalu hitung diameter rata-rata ( $d_r$ ) mortar tersebut;
- 7) Ulangi langkah 1) sampai dengan 6) dengan mortar baru dan beberapa variasi kadar air sehingga diperoleh  $d_r$  sama dengan 1,00–1,15 kali diameter semula ( $d_s$ );
- 8) Setelah tercapai  $d_r = 1,00$ –1,15 kali  $d_s$ , pekerjaan selanjutnya dilanjutkan dengan mencetak benda uji dengan urutan sebagai berikut.
  - a) Aduk kembali mortar di dalam mangkok pengaduk dengan kecepatan pengadukan  $285 \pm 10$  putaran per menit selama 15 detik.
  - b) Masukkan mortar ke dalam cetakan kubus; pengisian cetakan dilakukan sebanyak 2 lapis dan setiap lapis harus dipadatkan 32 kali dengan 4 kali putaran dalam 10 detik; pekerjaan pencetakan benda uji harus sudah dimulai dalam waktu paling lama  $2 \frac{1}{2}$  menit setelah pengadukan semula.
  - c) Ratakan permukaan atas kubus benda uji dengan menggunakan sendok perata.
  - d) Simpan kubus-kubus benda uji dalam lemari lembap selama 24 jam.
  - e) Setelah itu bukalah cetakan dan rendamlah kubus-kubus benda uji dalam air bersih sampai saat pengujian kuat tekan dilakukan.
- 9) Bila dibuat campuran mortar duplo untuk benda uji tambahan, percobaan leleh ditiadakan dan mortar dibiarkan dalam mangkok pengaduk selama 75 detik tanpa ditutup. Selanjutnya, mortar yang menempel di bibir dan bagian atas mangkok dibersihkan dalam waktu 15 detik, kemudian mortar diaduk kembali untuk mencetak benda uji sesuai dengan urutan pada langkah 8);

- 10) Pada umur yang telah ditentukan, lakukan pengujian kekuatan tekan terhadap benda uji itu dengan urutan kegiatan sebagai berikut.
  - a) Angkatlah benda uji dari tempat perendaman, kemudian permukaannya dikeringkan dengan cara dilap dan dibiarkan selama  $\pm 15$  menit.
  - b) Timbanglah kubus benda uji, lalu catat berat benda uji itu.
  - c) Letakkan benda uji pada mesin penekan; tekanlah benda uji itu dengan penambahan besarnya gaya tetap sampai benda uji itu pecah. Pada saat pecah, catatlah besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja;
- 11) Hitunglah berat isi benda uji dan kuat tekan; selanjutnya, hitung nilai rata-rata berat isi dan kekuatan tekan benda uji.

## 2. Pencampuran Beton

Beton harus dicampur dan diaduk dengan baik sehingga semen, air, agregat, dan zat tambahan bisa tersebar merata di dalam adukan. Metode pencampurn beton mutu tinggi mengacu pada ACI Committee 211.4R-08 R (*Guide for Selecting for High Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials*). Prosedur pencampuran beton dengan penambahan silika nano adalah sebagai berikut.

- 1) Masukkan kerikil dan pasir silika ke dalam *pan mixer*, aduk selama 3 menit.
- 2) Tambahkan semen dan silika nano, aduk selama 3 menit.
- 3) Masukkan 80% air sedikit demi sedikit, aduk selama 12 menit.
- 4) Masukkan 20% air dan *superplasticizer*, aduk selama 7 menit.
- 5) Lakukan uji *slump flow*.
- 6) Masukkan campuran beton ke dalam cetakan.

Pencampuran beton segar dan pengujian *slump flow* dapat dilihat dalam Gambar 3.12. dan Gambar 3.13



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.12** Proses Pencampuran Beton



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.13** Pengujian *Slump Flow*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pengujian *slump flow* digunakan untuk menentukan *flowability* (kemampuan alir) dan stabilitas *self compacting concrete* (SCC). Peralatan terdiri dari sebuah lingkaran berdiameter 500 mm yang digambar pada sebuah tatakan datar. Alat uji kerucut *slump* diisi dengan adukan SCC kemudian diangkat ke atas sehingga campuran SCC akan turun mengalir membentuk lingkaran. Catat waktu ketika lingkaran mencapai diameter 500 mm (T50). Saat campuran berhenti mengalir, ukur diameter akhir dan amati segregasi pada ujung yang terjadi. Kebutuhan nilai *slump flow* untuk pengecoran konstruksi bidang vertikal berbeda dengan bidang horizontal. Kriteria yang umum dipakai untuk penentuan awal *workability* beton SCC berdasarkan tipe konstruksi adalah sebagai berikut.

- 1) Untuk konstruksi vertikal, disarankan menggunakan *slump flow* antara 65 cm dan 80 cm;
- 2) Untuk konstruksi horizontal disarankan menggunakan *slump flow* antara 60 cm dan 75 cm.

## E. PEMBUATAN BENDA UJI

Benda uji yang digunakan untuk pengujian tekan uniaksial sesuai dengan standar ASTM C39 berbentuk silinder berukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Gambar 3.14 menunjukkan pembuatan benda uji silinder.

Benda uji untuk kuat lentur sesuai ASTM C 293 menggunakan balok tanpa tulangan dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm (Gambar 3.15).



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.14** Benda Uji Silinder



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.15** Benda Uji Balok Lentur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Uji permeabilitas menggunakan benda uji kubus  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  dan uji ketahanan terhadap ion klorida menggunakan benda uji silinder  $100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ .



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.16** Benda Uji Silinder dan Kubus

## F. PERAWATAN BENDA UJI

Perawatan (*curing*) benda uji merupakan tindakan perawatan beton segar setelah pengecoran. Prinsip utama perawatan adalah untuk menjaga kondisi kelembapan benda uji pada temperatur yang sesuai selama proses hidrasi beton yang cepat. Perawatan sangat penting bagi pengembangan kekuatan beton dan dalam mengendalikan perubahan volume awal berupa susut. Perawatan diperlukan untuk memastikan bahwa beton terhidrasi dengan baik, dengan struktur mikro yang baik, kekuatan yang tepat, dan stabilitas volume yang baik. Standar ACI 305R mensyaratkan bahwa benda uji harus tetap dalam keadaan lembap, dilindungi, dan dipindah secara hati-hati. Benda uji harus disimpan dalam keadaan lembap pada suhu  $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$  sampai saat diuji. Perawatan beton dilakukan segera setelah beton memasuki fase

Buku ini tidak diperjualbelikan.

*hardening* atau setelah pembukaan cetakan. Menurut standar ASTM C192, ada dua kondisi perawatan benda uji, yaitu dengan direndam dalam air dan *heat treatment*. Selanjutnya, seluruh benda uji diberikan perawatan dengan direndam dalam air sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.17.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.17** Perawatan Benda Uji di dalam Air

Perawatan beton dengan cara perendaman mempunyai keunggulan, yaitu sangat ideal untuk mencegah hilangnya kelembapan dan mempertahankan suhu yang seragam. Sementara itu, kekurangan dari perawatan tersebut adalah membutuhkan tenaga kerja yang banyak dan perlu pengawasan serta tidak praktis untuk proyek besar.

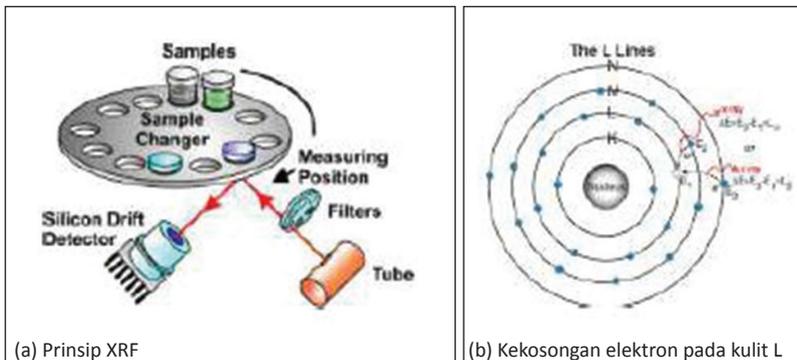
Buku ini tidak diperjualbelikan.

## G. PENGUJIAN SIFAT MEKANIK DAN DURABILITAS MORTAR/ BETON

### 1. Pengujian Sifat Kimia Fisika

#### a. Prinsip Kerja X-Ray Fluorescence (XRF)

Prinsip kerja 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 daripada 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 3.18.



Sumber: Fansuri (2010)

**Gambar 3.18** Skematik Proses Uji XRF

Berdasarkan Gambar 3.18, sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum

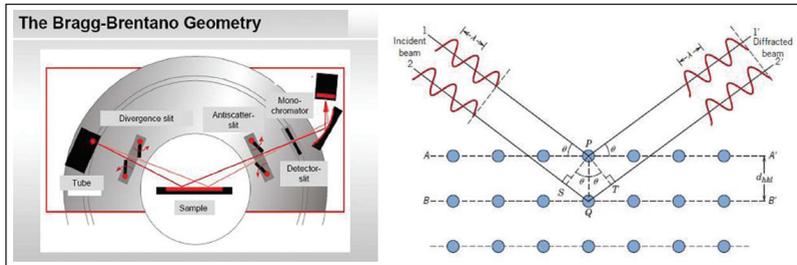
sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat masif, pelet, ataupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menentukan 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 ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi).

### **b. Prinsip Kerja *X-ray Diffractometer* (XRD)**

Difraksi sinar-X (*X-ray Diffractometer*) atau yang sering dikenal dengan XRD adalah instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit ataupun nonkristalit, 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 kristalit dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi dan untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi, yakni sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dan 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 antaratom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Di dalam XRD terdapat beberapa komponen, seperti slit dan film, monokromator, tabung *X-ray*, detektor, dan lain-lain. 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 antaratom, 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 antara 0,5–2,5 Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan oleh proses difraksi. Hamburan akibat difraksi 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 3.19.



Sumber: Cullity (1956)

**Gambar 3.19** Skematik Proses Uji XRD

**c. Prinsip Kerja *Scanning Electron Microscopy* (SEM)/*Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)**

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

Buku ini tidak diperjualbelikan.

hitam putih. SEM menerapkan prinsip difraksi elektron; pengukurannya sama seperti mikroskop optik. Prinsipnya adalah elektron yang ditembakkan akan dibelokkan oleh lensa elektromagnetik dalam SEM. Kemudian, SEM menggunakan suatu sumber elektron berupa pemacu elektron (*electron gun*) sebagai pengganti sumber cahaya. Elektron-elektron ini akan diemisikan secara termionik (emisi elektron yang 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 ditembaki 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 KeV, difokuskan oleh satu atau dua lensa kondenser menjadi sebuah sinar dengan titik *focal* yang sangat baik, berukuran 1–5  $\mu\text{m}$ . Sinar tersebut melewati beberapa pasang gulungan pemindai (*scanning coils*) di dalam lensa objektif, 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

Buku ini tidak diperjualbelikan.

oleh atom-atom di dalam sampel. Melalui kejadian penghamburan ini, sinar elektron primer menyebar secara efektif dan mengisi volume berbentuk air mata—dikenal sebagai volume interaksi—yang 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 3.20.



Sumber: Cullity (1956)

**Gambar 3.20** Alat Uji SEM

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Prinsip SEM sama dengan mikroskop optik SEM yang 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 titik di antara 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. Persiapan sampel pada SEM harus dilakukan dengan hati-hati karena pengujian dilakukan pada 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 ialah 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 lagi pelapisan oleh logam. Semakin kecil panjang gelombang yang diberikan oleh elektron, semakin besar energi dan semakin tinggi resolusinya.

## 2. Pengujian Sifat Mekanik

### a. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011 (Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder). Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan adalah *Universal Testing Machine* (UTM) dengan pembebanan tekan uniaksial dan kecepatan rata-rata 0,2–0,4

MPa/detik. Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm dengan umur pengujian 7, 14, 28, dan 56 hari. Gambar 3.21 menunjukkan pengujian kuat tekan beton.



Sumber: Pusjatan (2016)

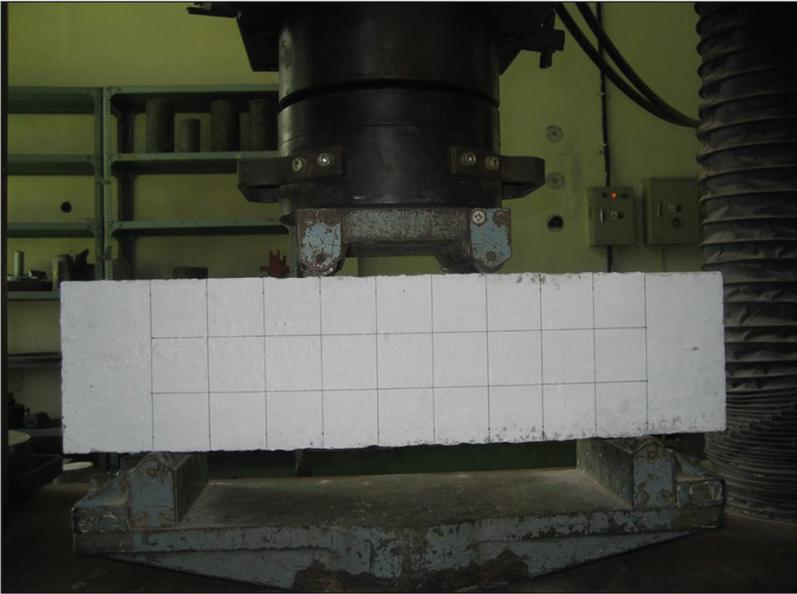
**Gambar 3.21** Pengujian Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton yang didapat selanjutnya dianalisis dan dikomparasi, antara beton tanpa silika nano dan beton yang ditambah silika nano.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## b. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur beton mengacu pada SNI 4431-2011 (Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan). Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan adalah UTM. Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari. Pembebanan berupa beban titik di tengah bentang yang didistribusikan melalui pelat baja sehingga menjadi dua beban titik pada posisi masing-masing sepertiga panjang bentang. Gambar 3.22 menunjukkan pengujian kuat tarik lentur.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.22** Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

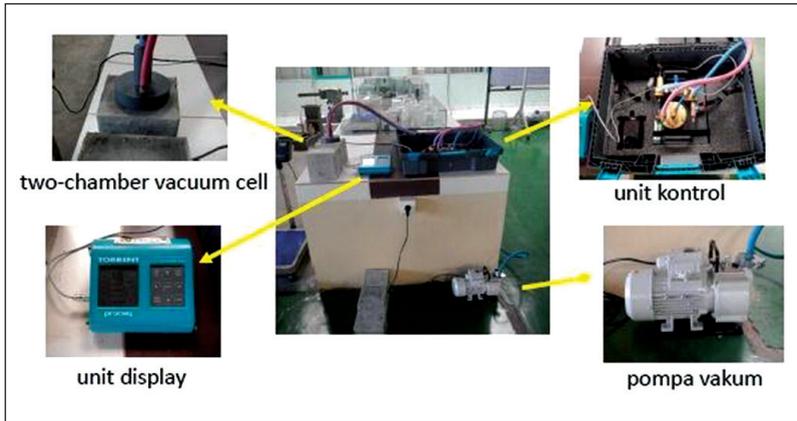
Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik lentur adalah beban puncak yang mengakibatkan keruntuhan benda uji. Selanjutnya, hasil tersebut dianalisis untuk mendapatkan nilai kuat tarik lentur beton.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

### 3. Pengujian Sifat Durabilitas

#### a. Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas beton dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton terhadap masuknya air ke dalam pori-pori beton. Permeabilitas beton adalah kemampuan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, beton tersebut dikatakan impermeabel. Oleh karena itu, sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air. Pengujian ini mengacu pada standar asing DIN 1045 (DIN 2008). Alat yang digunakan dalam pengujian permeabilitas adalah *permeability tester torrent (PTT)* sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.23.



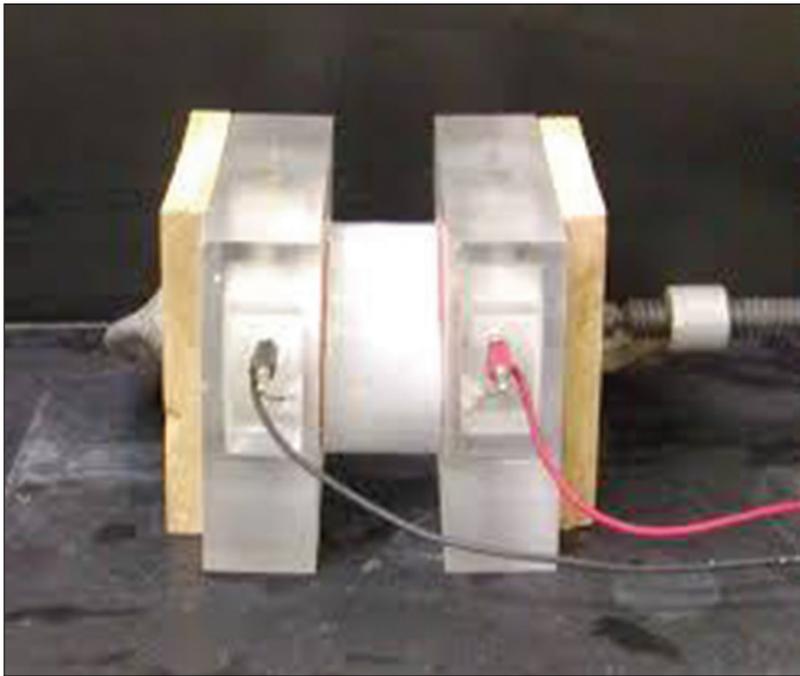
Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.23** Skema Uji Permeabilitas

Benda uji yang digunakan berupa kubus ukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm. Tekanan yang diberikan pada benda uji adalah sebesar 0,5 MPa selama 3 kali 24 jam. Beton dianggap kedap air bila penetrasi air kurang dari 50 mm.

**b. Pengujian Ketahanan Terhadap Ion Klorida (*Rapid Chloride Penetration Testing/RCPT*)**

Pengujian RCPT beton dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton terhadap serangan ion klorida. Pengujian RCPT dilakukan pada benda uji ukuran berdiameter 100 mm dengan tebal 50 mm. Metode uji RCPT mengacu pada standar ASTM C 1202. Prosedur pengujian RCPT mencakup pemasukan larutan NaOH pada *cell* untuk tegangan positif, dan pemasukan larutan NaCl pada tegangan negatif. Setelah semua larutan dimasukkan, nilai tegangan yang masuk harus sebesar 60 V (DC). Pembacaan dilakukan dengan interval 30 menit selama 6 jam atau 360 menit. Skema pengujian RCPT ditunjukkan dalam Gambar 3.24.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 3.24** Skema Uji RCPT

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Nilai-nilai hasil uji RCPT dikelompokkan dalam beberapa golongan dengan kriteria sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.17.

**Tabel 3.17** Kriteria Hasil RCPT (ASTM C 1202)

No.	Benda uji	Q (Coulomb)	Q <sub>rata-rata</sub> (Coulomb)	Keterangan
1	NS0 - 1	855	855	sangat rendah
2	NS0 - 2	855		
3	NS3 - 1	846	868,5	sangat rendah
4	NS3 - 2	891		
5	NS5 - 1	432	432	sangat rendah
6	NS5 - 2	432		

# BAB IV

## Peningkatan Sifat Mekanik dan Durabilitas Beton Akibat Pengaruh Silika Nano

Bab ini menyajikan hasil eksperimen, mulai dari proses pembuatan dan pengujian mortar sebagai bahan adukan beton hingga pembuatan dan pengujian beton terkait sifat mekanik dan durabilitas beton. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Data hasil pengujian eksperimental sifat fisik dan mekanik, baik mortar maupun beton, ditampilkan dalam bentuk tabel, kurva, dan gambar. Sifat fisik dan mekanik beton dengan penambahan silika nano akan dibandingkan dengan beton konvensional.

### A. PENGUJIAN MORTAR

#### 1. Mortar dengan Silika Nano Alam Eks Papua

Pada subbab ini akan dibahas hasil kegiatan percobaan pembuatan mortar dengan menggunakan silika nano yang berasal dari alam (eks Papua) dan silika nano komersil. Silika nano alam yang digunakan diperoleh dari hasil sintesis dengan metode *polishing liquid milling technology* (PLMT) yang dikembangkan di Balai Besar Keramik,

Kementerian Perindustrian. Benda uji yang dibuat berupa mortar berukuran 50 mm × 50 mm × 50 mm. Pembuatan mortar dilakukan dengan variasi penambahan silika nano alam sebesar 5%, 10%, dan 15% dari berat *ordinary portland cement* (OPC).

Variasi jumlah silika nano yang ditambahkan ke dalam mortar berbeda dengan pembahasan pada Bab III. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah ada peningkatan kekuatan yang signifikan apabila ditambahkan silika nano di atas 5%. Agregat halus yang digunakan adalah pasir bangka komersial berukuran *mesh* 325. Setiap variasi campuran menggunakan *silica fume* (SF) dengan persentase sebesar 5% terhadap berat semen. Penambahan *superplasticizer* dilakukan untuk mempermudah *workability* dari campuran mortar dengan penggunaan maksimum 2% terhadap berat semen. Faktor air semen (fas) pertama kali ditetapkan sebesar 0,45. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dengan jumlah masing-masing 3 benda uji. *Superplastisizer* yang digunakan adalah *Sika Viscocrete* 10 yang merupakan *superplastisizer* berkinerja 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* adalah sebesar 0,2–0,6% berat semen, dan untuk *flowing and self compacting concrete* (SCC) adalah sebesar 0,5–1,8% berat semen. Sementara itu, pemakaian *silica fume* untuk campuran mortar dan beton adalah 5% terhadap berat semen. Gambar 4.1 menunjukkan spesifikasi kandungan pasir bangka komersial *mesh* 325 yang digunakan sebagai bahan campuran mortar.

Certificate No. 36285/GBBPAI  
Date: February 26, 2015



Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia  
Phone/Fax: +62 21 8832117/68321166  
Email: afakhrudin@sucofindo.co.id

### REPORT OF ANALYSIS

The sample was submitted by client with the following identification :

CLIENT : DHIA ADIKA UTAMA, CV.  
ADDRESS : Jl. Nakula 8 C No. 283 Rt. 001 Rw. 006  
Kel. Jaka Setia Kec. Bekasi Selatan.  
BEKASI.  
TYPE OF SAMPLE : SILICA SAND.  
DATE OF RECEIVED : 16/02/2015.  
TEST REQUIRED : Chemical Analysis.  
DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Sand.  
Weight/Volume : ± 2,31 kg.  
Packing : Plastic bag.  
SAMPLE IDENTIFICATION : Code : Bangka  
DATE OF ANALYSIS : 16/02/2015 to 25/02/2015.  
YOUR REFERENCE : --

**Result:**

Parameter	Unit	Results	Method
Iron Trioxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	0.03	SNI 15-0346-1989
Aluminium Trioxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	0.17	SNI 15-0346-1989
Calcium Oxide (CaO)	%	Less than 0.01	SNI 15-0346-1989
Magnesium Oxide (MgO)	%	Less than 0.01	SNI 15-0346-1989
Manganese Dioxide (MnO <sub>2</sub> )	%	Less than 0.01	SNI 15-0346-1989
Chromium Trioxide (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	Less than 0.01	SNI 15-0346-1989
Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)	%	Less than 0.01	SNI 15-0346-1989
Potassium Oxide (K <sub>2</sub> O)	%	0.01	SNI 15-0346-1989
Silicon Dioxide (SiO <sub>2</sub> )	%	99.09	SNI 15-0346-1989
Titanium Dioxide (TiO <sub>2</sub> )	%	0.02	SNI 15-0346-1989
Loss On Ignition (LOI)	%	0.39	SNI 15-0346-1989
Moisture Content (MC)	%, AR	0.06	SNI 15-0346-1989

Note = AR (As Received Basis).

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.sucofindo.co.id](http://www.sucofindo.co.id)

SBU Mineral



CBT5000293155010-002



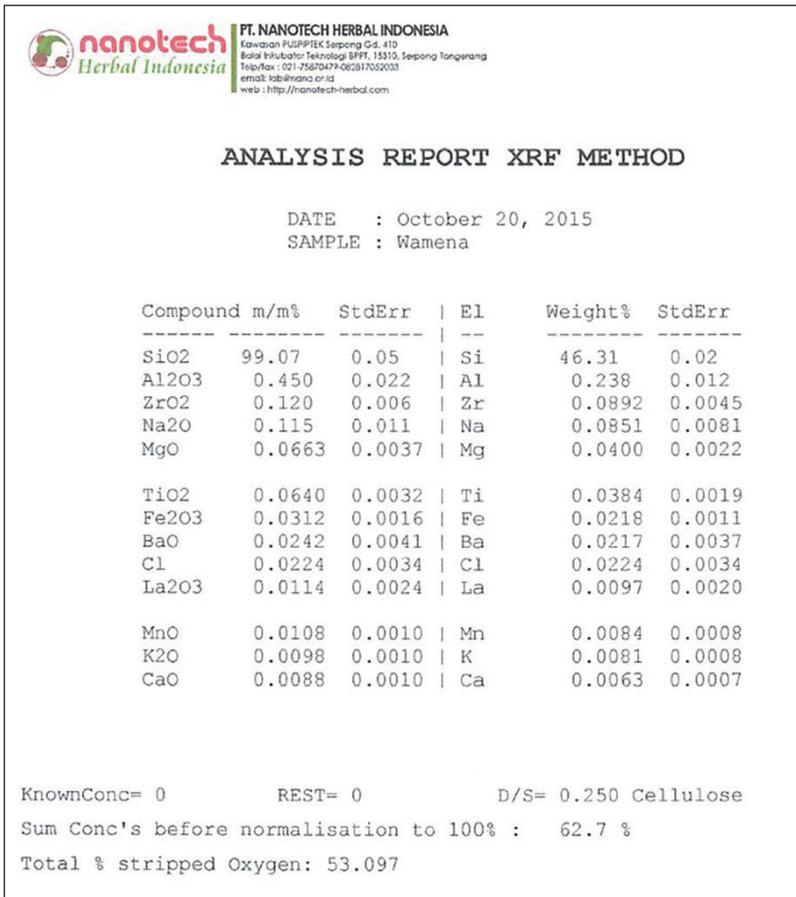
3983539

Sumber: Sucofindo (2015)

**Gambar 4.1** Spesifikasi Pasir Silika Komersil Eks Bangka

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berdasarkan spesifikasi pada Gambar 4.1, kandungan terbesar dari pasir tersebut adalah senyawa SiO<sub>2</sub> dengan komposisi 99,09%. Selain sebagai bahan campuran mortar, pasir tersebut digunakan sebagai material silika nano yang diolah melalui proses sintesis dan nanosiasi. Sebelum dibuat menjadi ukuran partikel nanometer, pasir bangka komersil tersebut terlebih dahulu diuji XRF dan uji XRD. Hasil uji XRF ditunjukkan dalam Gambar 4.2.

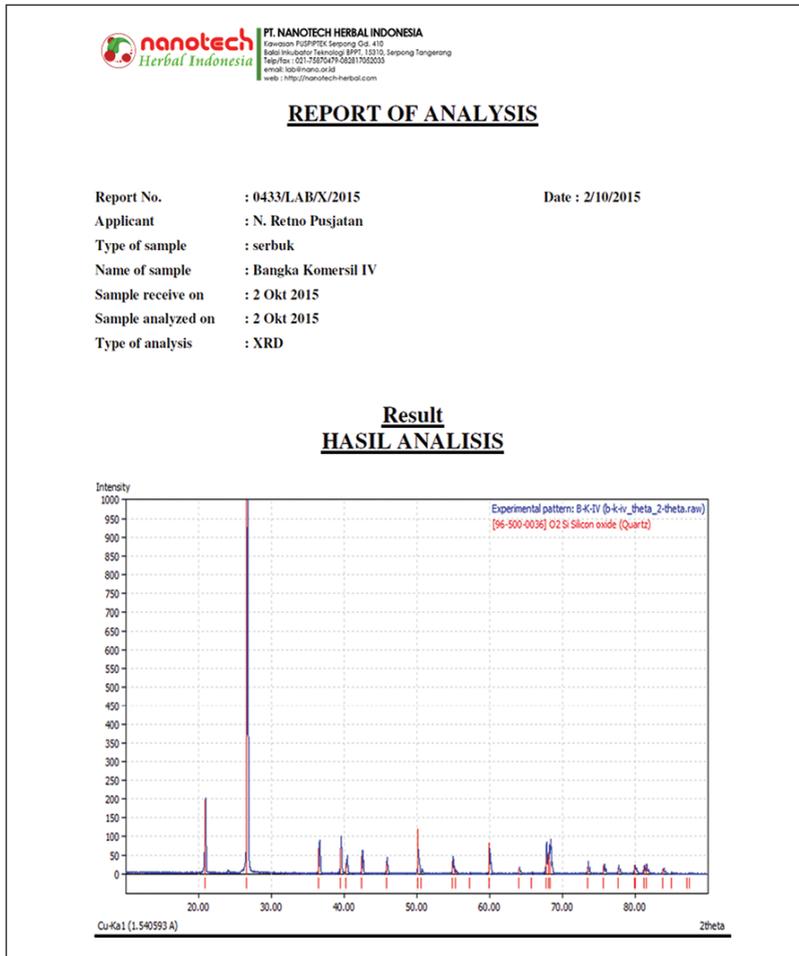


Keterangan: Pengujian dilakukan di Nanotech (2015).

**Gambar 4.2** Hasil Uji XRF Pasir Bangka Komersil

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berdasarkan hasil uji XRF, ternyata kandungan  $\text{SiO}_2$  dari pasir bangka komersial adalah 99,07%, dengan ukuran partikel 44 mikron (44.000 nm). Untuk mengetahui tingkat reaktivitas dari pasir bangka komersial tersebut, dilakukan uji XRD sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Berdasarkan hasil uji XRD pada Gambar 4.3, pola difraksi dari pasir dengan ukuran 44.000 mikron masih berbentuk kristalit dan belum bersifat *amorphous*. Artinya, bila ingin digunakan sebagai material nano, pasir tersebut harus melalui uji sintesis sehingga bentuk grafik dari hasil uji XRD dapat berupa *amorphous*. Campuran mortar pertama dibuat dengan komposisi sebagai berikut: jumlah semen OPC 475 gram; pasir silika eks bangsa 1392 gram; *silica fume* (5%) sebanyak 25 gram; dan air 399,8 gram. Pada saat proses pencampuran material tersebut, kondisi mortar segar tidak mencapai nilai *flow* yang ditetapkan meskipun sudah ditambah dengan *superplasticizer* sampai dengan mencapai batas maksimal sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,7996. Dengan nilai fas tersebut, campuran mortar segar mencapai kondisi *flow* sebesar 110 mm. Akan tetapi, penambahan silika nano pada campuran mortar menyebabkan campuran tersebut menjadi kering sehingga perlu penambahan *superplasticizer*. Semakin banyak jumlah silika nano yang ditambahkan pada campuran mortar, semakin sulit kondisi campuran tersebut untuk mencapai *flow*. Tabel 4.1 menunjukkan nilai fas dengan jumlah komposisi silika nano sebesar 5%, 10%, dan 15%.

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai fas maksimum yang dapat dicapai untuk mortar dengan pasir bangsa komersil *mesh* 325 adalah 0,800. Nilai fas tersebut menghasilkan kuat tekan mortar untuk mutu normal. Penambahan silika nano berfungsi sebagai bahan substitusi semen. Hasil uji tekan mortar untuk umur 3, 7, 14, dan 28 hari ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Komposisi Material Campuran Mortar dengan Berbagai Variasi Silika Nano untuk Nilai Fas 0,8

Tanggal	Jumlah	Komposisi mortar (gram)									
		pasir	semen	air	SF	flow	fas	SP		NS	
		(gram)	(gram)	(gram)	(gram)			(gram)	%	(gram)	%
5/1/2016	8	1.392	475	399,8	25	110	0,800	0	0	0	0
6/1/2016	8	1.392	475	400,0	25	115	0,800	0	0	0	0
7/1/2016	8	1.392	475	399,8	25	110	0,800	0	0	0	0
7/1/2016	8	1.392	450	399,8	25	0	0,800	0	0	25	5
11/1/2016	9	1.392	400	399,8	25	105	0,800	7,5	1,5	75	15
11/1/2016	9	1.392	400	399,8	25	105	0,800	7,5	1,5	75	15
12/1/2016	9	1.392	425	399,8	25	105	0,800	7,5	1,5	50	10
12/1/2016	9	1.392	425	399,8	25	105	0,800	7,5	1,5	50	10
12/1/2016	8	1.392	450	399,8	25	164.5	0,800	7,5	1,5	25	5
<b>Jumlah</b>	<b>76</b>										

Sumber: Pusjatan (2016)

**Tabel 4.2** Kuat Tekan Mortar dengan Berbagai Variasi Silika Nano (MPa)

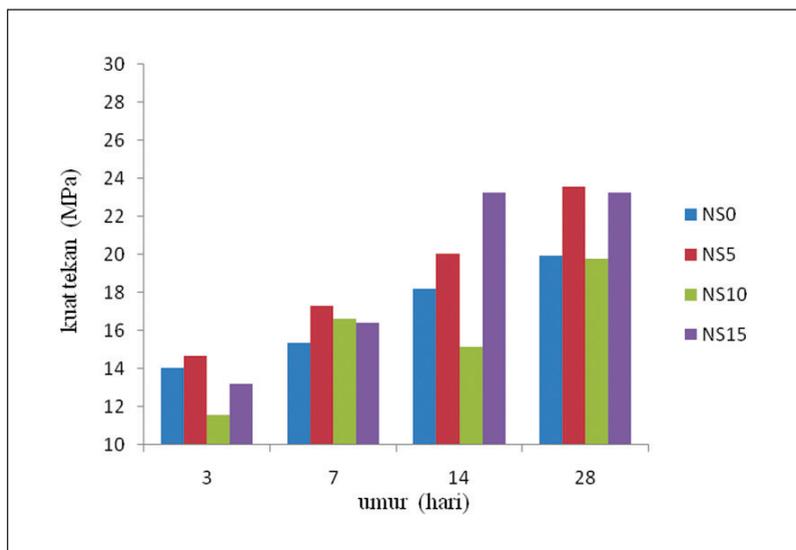
No.	Identifikasi benda uji	Umur (hari)			
		3	7	14	28
1	NS0 (1)	13,2978	16,4871	18,6381	20,6306
2	NS0 (2)	14,4238	14,5218	16,5298	19,7134
3	NS0 (3)	14,3710	15,0898	19,4220	19,4145
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>14,0309</b>	<b>15,3662</b>	<b>18,1966</b>	<b>19,9195</b>
1	NS5 (1)	14,6324	17,4168	19,5929	22,9720
2	NS5 (2)	15,4919	17,9722	20,6858	24,1854
3	NS5 (3)	13,9187	16,5248	19,7688	23,5373
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>14,6810</b>	<b>17,3046</b>	<b>20,0158</b>	<b>23,5649</b>
1	NS10 (1)	11,7697	17,6304	15,7583	20,8592
2	NS10 (2)	11,3952	17,3867	14,0594	19,9421
3	NS10 (3)	11,4832	14,7907	15,5447	18,4974
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>11,5494</b>	<b>16,6026</b>	<b>15,1208</b>	<b>19,7662</b>
1	NS15 (1)	15,2582	15,7583	23,4569	26,5467
2	NS15 (2)	13,2652	16,6428	24,9390	25,5620
3	NS15 (3)	10,9930	16,8162	21,3466	17,5400
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>13,1721</b>	<b>16,4058</b>	<b>23,2475</b>	<b>23,2162</b>

Keterangan: NS0 adalah mortar tanpa silika nano; NS5 adalah mortar dengan penambahan 5% silika nano; NS10 adalah mortar dengan penambahan 10% silika nano; NS15 adalah mortar dengan penambahan 15% silika nano.

Sumber: Pusjatan (2016)

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai kuat tekan rata-rata mortar NS0, NS5, NS10, dan NS15 pada umur 28 hari berturut-turut adalah 19,9195 MPa, 23,5649 MPa, 19,7662 MPa dan 23,2162 MPa. Sementara itu, Gambar 4.4 menunjukkan perkembangan kuat tekan mortar berdasarkan umurnya.

Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat bahwa semua komposisi mortar mempunyai perilaku perkembangan kuat tekan yang berbeda pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Kuat tekan mortar NS10 pada umur 3 hari adalah yang paling rendah, yaitu 11,5494 MPa dan yang paling tinggi adalah NS5, sebesar 14,6810 MPa. Pada umur 3 hari, mortar dengan penambahan 5% silika nano (NS5 kuat tekan 14,6810 MPa) hampir sama kuat tekannya dengan mortar tanpa silika nano, yaitu 14,0309 MPa.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.4** Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Mortar

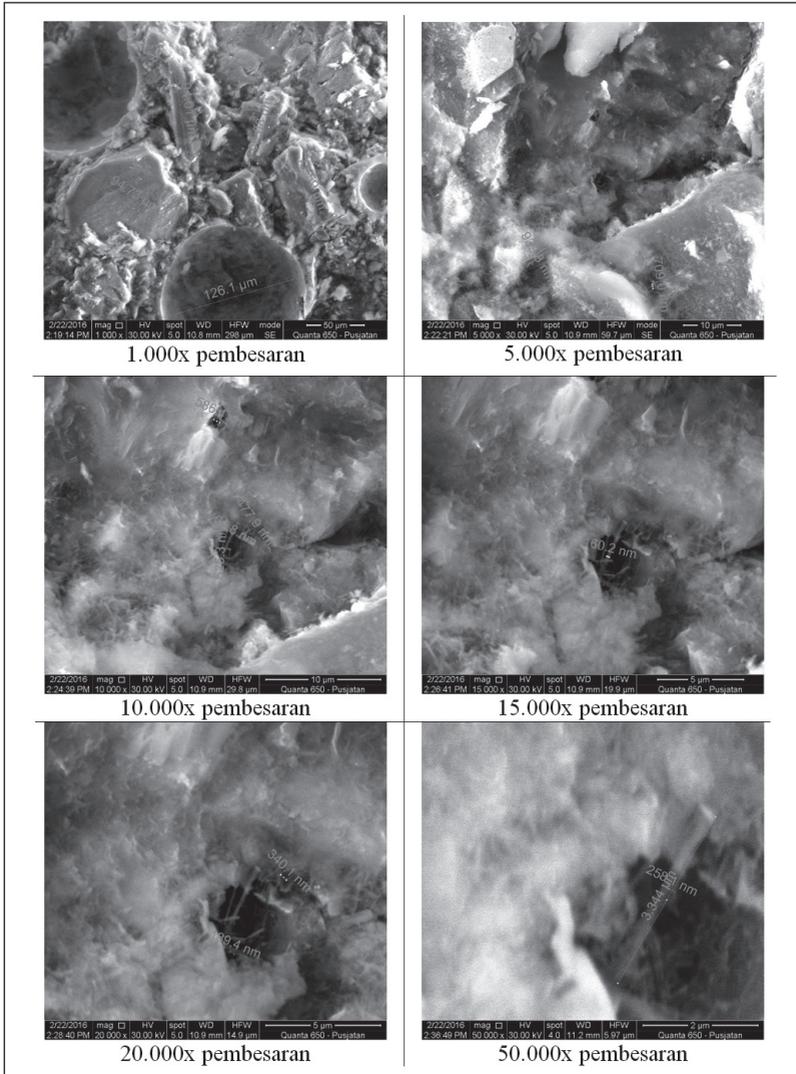
Selanjutnya, pada umur 7 sampai dengan 28 hari, mortar yang mengandung silika nano mengalami perkembangan kuat tekan yang lebih cepat dibandingkan perkembangan kuat tekan mortar tanpa silika nano. Hal ini disebabkan karena silika nano merupakan material halus dan reaktif sehingga apabila bercampur dengan kalsium oksida (CaOH) bebas akan menghasilkan reaksi sekunder yang membentuk pasta semen baru. Perkembangan kuat tekan mortar dengan 10% silika nano pada umur 3 hari sampai dengan 28 hari mempunyai kekuatan yang berbeda dibandingkan mortar lainnya. Pada umur 3 hari, kuat tekannya sebesar 11,5494 MPa. Angka tersebut merupakan angka yang paling rendah dibandingkan mortar lain. Setelah mencapai umur 7 hari, kuat tekan mortar (NS10) mengalami peningkatan sebesar 16,6026 MPa. Akan tetapi, pada umur 14 hari, kuat tekannya menurun sebesar 15,1208 MPa dan pada umur 28 hari menjadi 19,7662 MPa. Hal ini dapat terjadi apabila proses pencampuran tidak homogen.

Peningkatan kuat tekan mortar dengan penambahan 15% silika nano (NS15) terjadi pada umur 7 hari sampai dengan 28 hari. Pada umur 3 hari, kuat tekan mortar NS15 adalah lebih kecil (13,1721 MPa) dibandingkan tanpa silika nano (14,0309 MPa). Hal ini dikarenakan reaksi hidrasi yang bekerja pada umur awal masih dikuasai oleh reaksi hidrasi semen dengan air. Pada umur 28 hari, kuat tekan mortar dengan penambahan 15% silika nano (NS15) adalah sebesar 23,2126 MPa, yakni lebih kecil daripada kuat tekan mortar dengan 5% silika nano (NS5), yaitu 23,5649 MPa. Akan tetapi, pada umur 14 hari, kuat tekan mortar NS15 lebih besar (23,2475 MPa) dibandingkan mortar dengan 5% silika nano (NS5) dengan kuat tekan 20,0158 MPa. Peningkatan kuat tekan mortar dengan penambahan 5% silika nano adalah yang paling optimum karena peningkatannya bersifat kontinu mulai dari umur 3, 7, 14 sampai dengan 28 hari.

Sementara itu, mortar dengan penambahan 10% silika nano mengalami diskontinuitas peningkatan kuat tekan pada umur 14 hari. Hal ini dapat disebabkan oleh terjadinya penggumpalan (aglomerasi) silika nano pada saat proses pencampuran mortar sehingga reaksi yang dihasilkan tidak maksimal. Di sisi lain, dengan persentase penambahan silika nano sebanyak 15% terhadap campuran mortar, kuat tekan tidak mengalami peningkatan yang signifikan pada umur 28 hari.

Untuk mengetahui struktur mikroskopik dari mortar, dilakukan uji SEM/EDS. Pengujian SEM/EDS dilakukan untuk mengetahui susunan struktur dan kandungan senyawa kimia mortar secara mikro. Pengujian dilakukan, baik terhadap mortar tanpa penambahan silika nano maupun dengan penambahan silika nano, sebesar 5%, 10%, dan 15%. Perbesaran struktur mortar dalam uji tersebut dilakukan sampai dengan 1.000, 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, dan 50.000 kali.

Hasil uji SEM dan EDS terhadap mortar tanpa penambahan silika nano ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan 4.6. Hasil uji SEM dan EDS terhadap mortar dengan penambahan 5% silika nano ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.8. Hasil uji SEM dan EDS terhadap mortar dengan penambahan 10% silika nano ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan 4.10. Sementara itu, hasil uji SEM dan EDS terhadap mortar dengan penambahan 15% silika nano ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12.

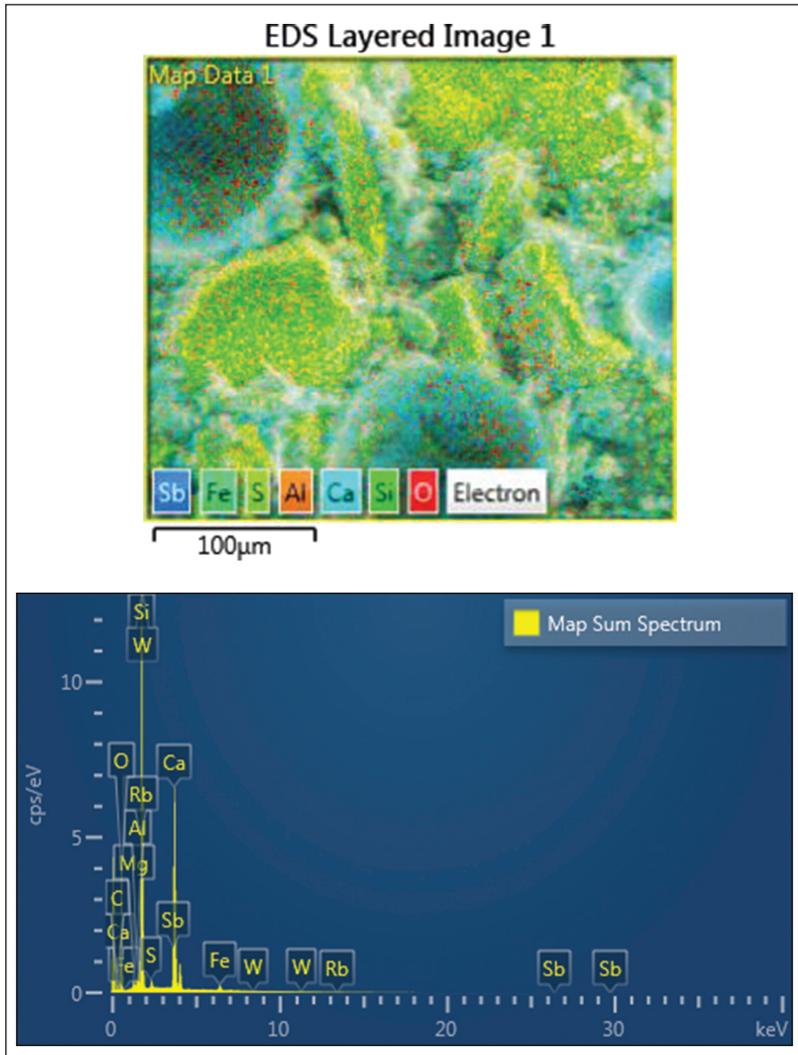


Keterangan: Dapat dilihat bahwa di dalam mortar masih terdapat pori/rongga.

Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.5** Hasil Uji SEM Mortar Tanpa Silika Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Keterangan: Unsur oksigen (O) yang terdapat dalam senyawa  $\text{SiO}_2$  dalam mortar adalah yang paling tinggi, yakni 55,07% dan kandungan unsur silika (Si) dalam senyawa tersebut adalah 18,04%.

Sumber: Pusjatan (2016)

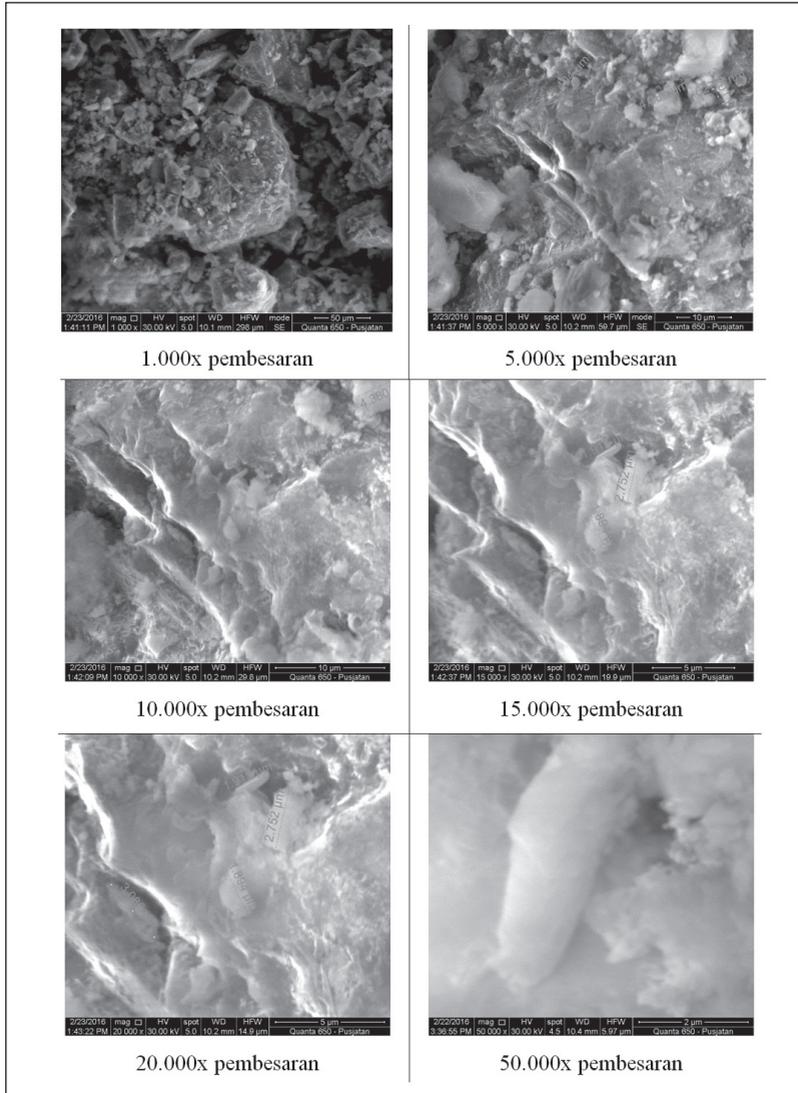
**Gambar 4.6** Komposisi Kandungan Unsur Kimia dalam Mortar Tanpa Silika Nano Berdasarkan Uji EDS

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**Tabel 4.3** Kandungan Unsur/Senyawa di dalam Mortar Tanpa Silika Nano Berdasarkan Uji EDS

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
C	<i>K series</i>	4,75	0,04746	10,54	0,43	C Vit
O	<i>K series</i>	76,77	0,25833	55,07	0,34	SiO <sub>2</sub>
Mg	<i>K series</i>	0,96	0,00636	0,67	0,03	MgO
Al	<i>K series</i>	1,65	0,01186	0,91	0,03	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si	<i>K series</i>	38,85	0,30783	18,04	0,15	SiO <sub>2</sub>
S	<i>K series</i>	0,96	0,00829	0,47	0,02	FeS <sub>2</sub>
Ca	<i>K series</i>	34,74	0,31037	12,34	0,09	<i>Wollastonite</i>
Fe	<i>K series</i>	1,59	0,01591	0,66	0,02	Fe
Rb	<i>K series</i>	0,03	0,00025	0,01	0,07	Rb (v)
Sb	<i>L series</i>	3,26	0,03259	1,30	0,07	Sb
W	<i>L series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	W
<b>Total:</b>				<b>100,00</b>		

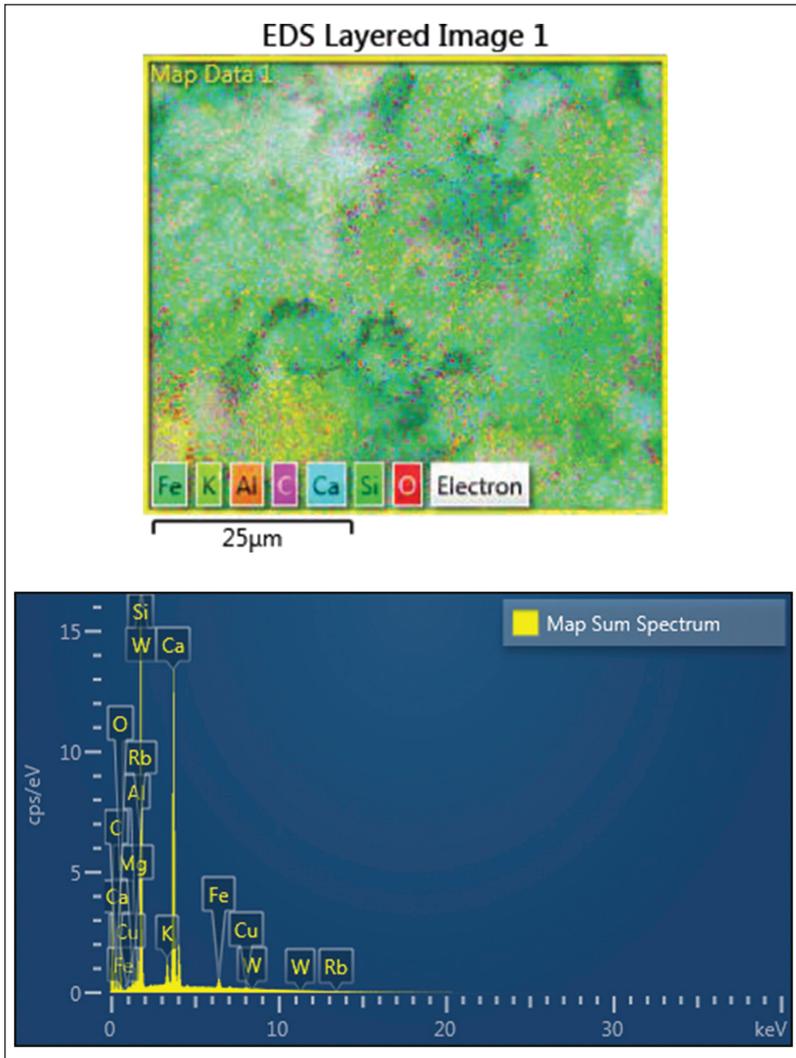
Sumber: Pusjatan (2016)



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.7** Hasil Uji SEM Mortar dengan Penambahan 5% Silika Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.8** Hasil Uji EDS Mortar dengan Penambahan 5% Silika Nano

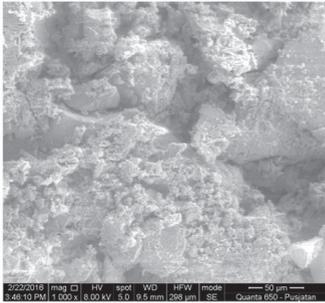
Buku ini tidak diperjualbelikan.

**Tabel 4.4.** Kandungan Unsur/Senyawa dalam Mortar dengan 5% Silika Nano Berdasarkan Uji EDS

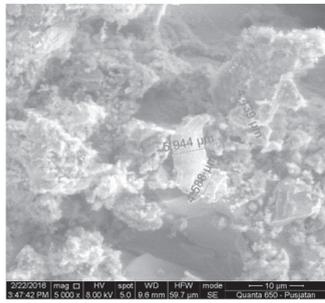
<i>Element</i>	<i>Line Type</i>	<i>Apparent Concentration</i>	<i>k Ratio</i>	<i>Wt%</i>	<i>Wt% Sigma</i>	<i>Standard Label</i>
C	<i>K series</i>	9,18	0,09181	18,13	1,09	C Vit
O	<i>K series</i>	52,36	0,17621	48,56	0,70	SiO <sub>2</sub>
Mg	<i>K series</i>	0,76	0,00507	0,54	0,03	MgO
Al	<i>K series</i>	2,95	0,02122	1,66	0,04	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si	<i>K series</i>	29,10	0,23057	14,03	0,22	SiO <sub>2</sub>
K	<i>K series</i>	3,26	0,02761	1,16	0,03	KBr
Ca	<i>K series</i>	40,37	0,36070	14,75	0,22	<i>Wollastonite</i>
Fe	<i>K series</i>	2,28	0,02283	0,99	0,04	Fe
Cu	<i>K series</i>	0,41	0,00408	0,18	0,04	Cu
Rb	<i>K series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	Rb (v)
W	<i>L series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	W
<b>Total:</b>				<b>100,00</b>		

Keterangan: unsur oksigen (O) yang terdapat dalam senyawa SiO<sub>2</sub> dalam mortar adalah 48,56% dan kandungan unsur silika (Si) dalam senyawa tersebut adalah 14,03%.

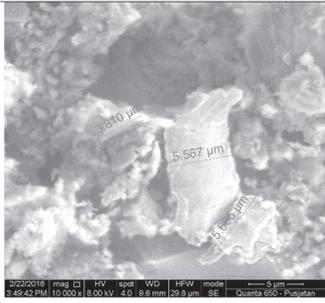
Sumber: Pusjatan (2016)



1.000x pembesaran



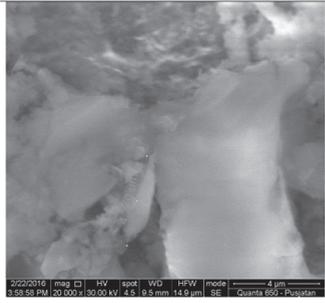
5.000x pembesaran



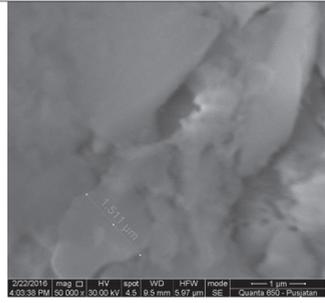
10.000x pembesaran



15.000x pembesaran



20.000x pembesaran



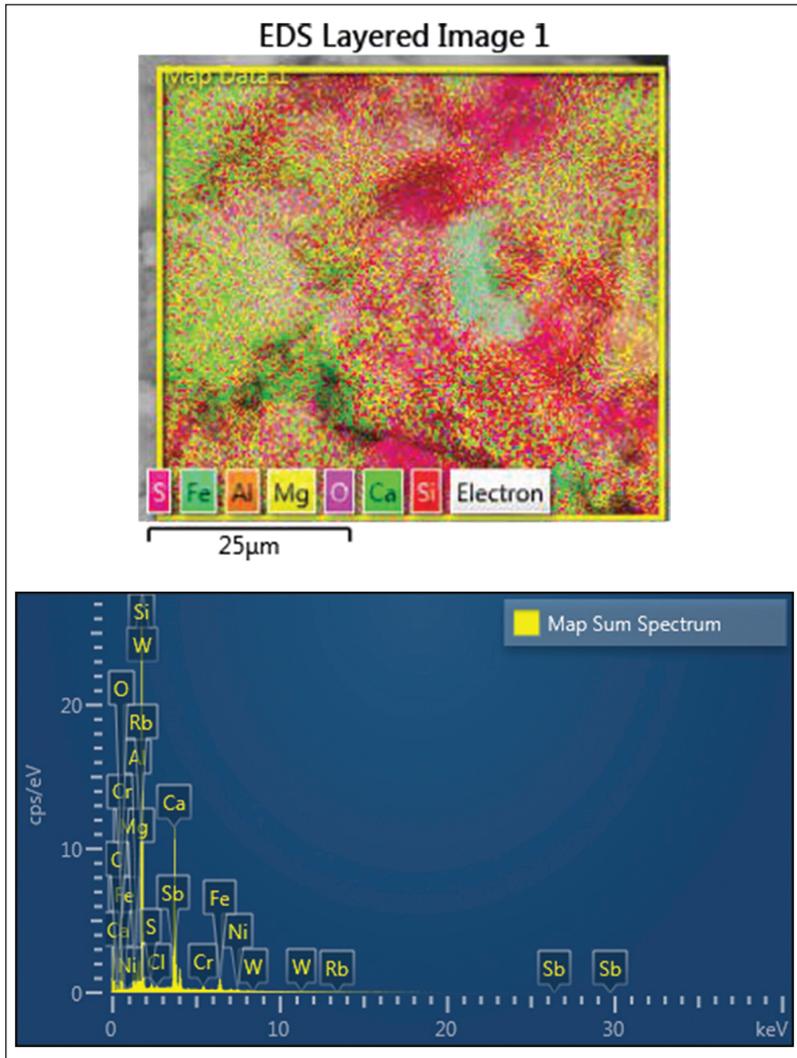
50.000x pembesaran

Keterangan: Tampak bahwa gumpalan-gumpalan unsur silika (Si) belum tersebar secara homogen.

Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.9** Hasil Uji SEM Mortar dengan Penambahan 10% Silika Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Keterangan: Unsur silika belum sepenuhnya tersebar secara homogen; besarnya kandungan oksigen dan silika dalam senyawa  $\text{SiO}_2$  berturut-turut adalah 51,90% dan 20,29%.

Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.10** Hasil Uji EDS Mortar dengan Penambahan 10% Silika Nano

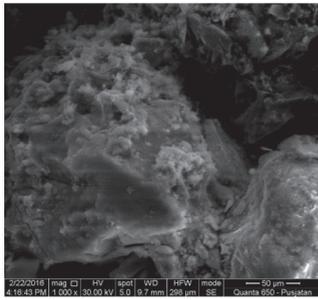
Buku ini tidak diperjualbelikan.

**Tabel 4.5** Kandungan Unsur/Senyawa dalam Mortar dengan 10% Silika Nano

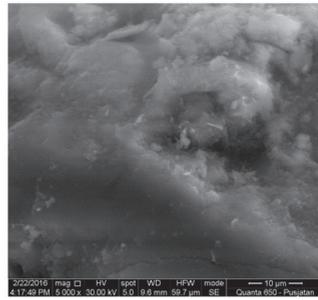
<i>Element</i>	<i>Line Type</i>	<i>Apparent Concentration</i>	<i>k Ratio</i>	<i>Wt%</i>	<i>Wt% Sigma</i>	<i>Standard Label</i>
C	<i>K series</i>	3,81	0,03811	9,66	0,91	C Vit
O	<i>K series</i>	72,54	0,24412	51,90	0,65	SiO <sub>2</sub>
Mg	<i>K series</i>	2,04	0,01351	1,43	0,05	MgO
Al	<i>K series</i>	3,64	0,02613	2,06	0,05	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si	<i>K series</i>	41,37	0,32782	20,29	0,29	SiO <sub>2</sub>
S	<i>K series</i>	0,59	0,00509	0,31	0,02	FeS <sub>2</sub>
Cl	<i>K series</i>	0,28	0,00243	0,13	0,02	NaCl
Ca	<i>K series</i>	29,42	0,26282	10,86	0,15	<i>Wollastonite</i>
Cr	<i>K series</i>	0,92	0,00922	0,40	0,03	Cr
Fe	<i>K series</i>	3,94	0,03936	1,67	0,04	Fe
Ni	<i>K series</i>	0,50	0,00499	0,21	0,03	Ni
Rb	<i>K series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	Rb (v)
Sb	<i>L series</i>	2,60	0,02605	1,08	0,10	Sb
W	<i>L series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	W
<b>Total:</b>				<b>100,00</b>		

Keterangan: Jumlah unsur oksigen adalah yang paling maksimum di antara unsur-unsur lain dan jumlah yang paling minimum adalah khlor (Cl), yakni 0,13%.

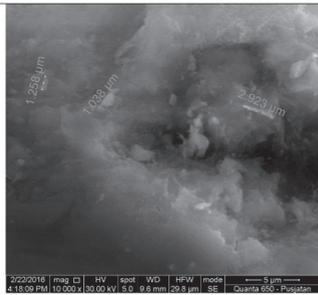
Sumber: Pusjatan (2016)



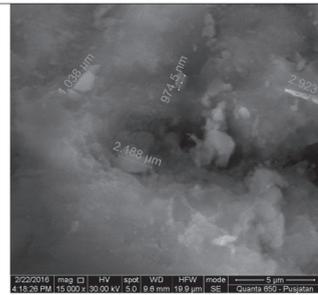
1.000x pembesaran



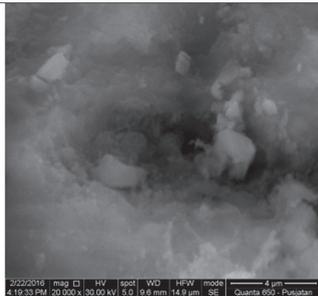
5.000x pembesaran



10.000x pembesaran



15.000x pembesaran



20.000x pembesaran

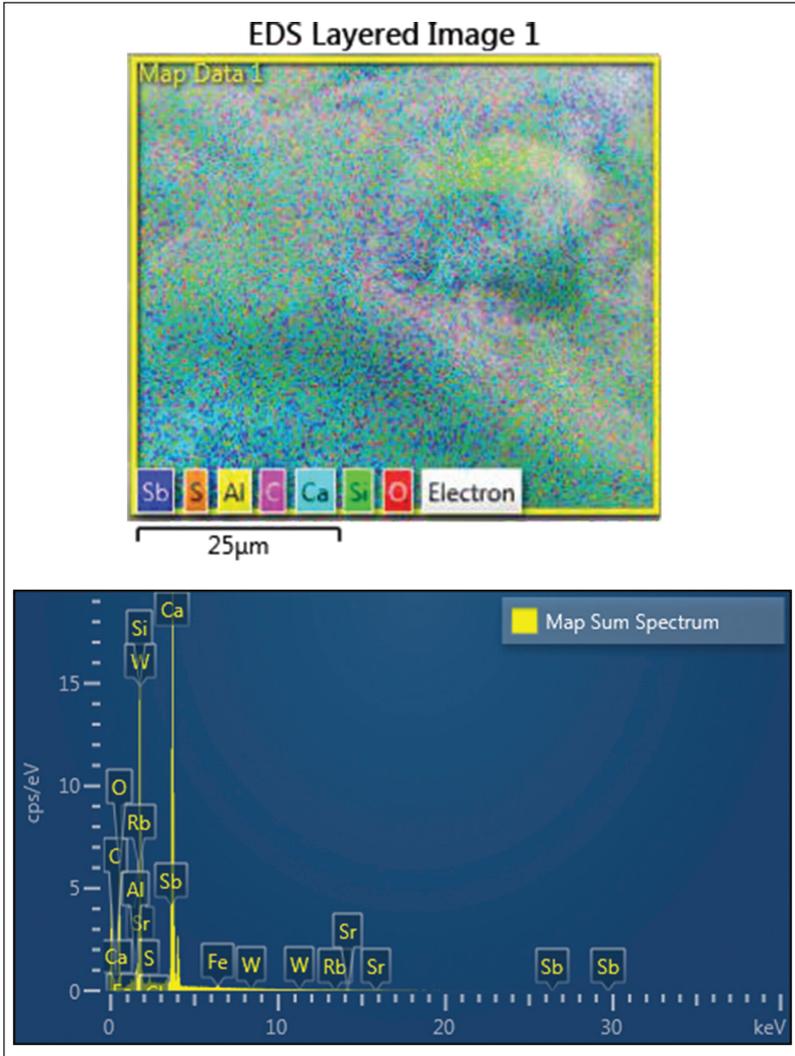


50.000x pembesaran

Keterangan: Masih tampak adanya rongga yang berukuran skala micron; unsur kalsium (Ca) sebanyak 18,93% lebih besar dibandingkan unsur silika dalam  $\text{SiO}_2$  (yaitu 11,27%).

Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.11** Hasil Uji SEM Mortar dengan Penambahan 15% Silika Nano



Keterangan: Tampak bahwa unsur kalsium (Ca) yang berasal dari semen sudah bercampur dengan unsur silika.

Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.12** Hasil Uji EDS Mortar dengan Penambahan 15% Silika Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**Tabel 4.6** Kandungan Unsur/Senyawa dalam Mortar dengan 15% Silika Nano

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Si,ma	Standard Label
C	<i>K series</i>	7,62	0,07624	12,40	0,58	C Vit
O	<i>K series</i>	65,95	0,22191	53,49	0,46	SiO <sub>2</sub>
Al	<i>K series</i>	1,46	0,01050	0,78	0,03	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si	<i>K series</i>	25,30	0,20050	11,27	0,15	SiO <sub>2</sub>
S	<i>K series</i>	0,87	0,00747	0,36	0,02	FeS <sub>2</sub>
Cl	<i>K series</i>	0,18	0,00156	0,07	0,01	NaCl
Ca	<i>K series</i>	58,40	0,52183	18,93	0,18	<i>Wollastonite</i>
Fe	<i>K series</i>	0,69	0,00687	0,27	0,02	Fe
Rb	<i>K series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	Rb (v)
Sr	<i>K series</i>	0,97	0,00861	0,38	0,09	SrF <sub>2</sub>
Sb	<i>L series</i>	5,60	0,05600	2,04	0,10	Sb
W	<i>L series</i>	0,00	0,00000	0,00	0,00	W
<b>Total:</b>				<b>100,00</b>		

Keterangan: Tampak bahwa unsur oksigen, kalsium (Ca), dan silika (Si) adalah unsur kimia yang paling dominan dibandingkan unsur lainnya.

Sumber: Pusjatan (2016)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## 2. Perbandingan Kuat Tekan Mortar antara Pasir Silika dan Pasir Non-Silika dengan Silika Nano Komersil

Dari beberapa hasil pembuatan benda uji mortar, akan dikaji dampak dari penggunaan jenis pasir yang berbeda terhadap kuat tekan mortar. Pasir yang digunakan dalam uji ini adalah jenis pasir silika eks Bangka dan pasir gunung (pasir nonsilika) eks muntlan. Pembuatan mortar dalam buku ini menggunakan silika nano sebagai bahan substitusi semen. Komposisi unsur yang terdapat dalam pasir silika eks Bangka dan eks muntlan ditunjukkan dalam Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

**Tabel 4.7** Komposisi Kimia Hasil Uji XRF Pasir Silika Eks Bangka

No.	Unsur	Konsentrasi (ppm)	Defiasi (+/-)
1	Fe	967	25,35
2	Cu	15	3,76
3	LE	56,73%	0,1562%
4	Ti	281	68,87
5	Zn	8	1,67
6	Zr	14	1,06
7	Al	1,81%	0,0542%
8	Bi	23	5,18
9	Mg	1,16%	0,1386%
10	S	1.771	49,16
11	Si	40,00%	0,1371%

Sumber: Olympus (2016)

Berdasarkan Tabel 4.7, komposisi unsur Si (silika) dalam pasir eks Bangka adalah sebesar 40%. Nilai  $\text{SiO}_2$  diperoleh dari perbandingan komposisi Si dalam  $\text{SiO}_2$ , yakni sebesar 40%, dikali dengan faktor 2,1392 sebesar 85,568%.

**Tabel 4.8** Komposisi Kimia Hasil Uji XRF Pasir Eks Muntilan

No.	Unsur	Konsentrasi (ppm)	Defiasi (+/-)
1	Fe	6,64%	0,0359%
2	Cu	38	6,84
3	LE	55,08%	0,2216%
4	Mn	1.437	38,16
5	Pb	16	2,53
6	Ti	5.487	138,04
7	Zn	80	4,19
8	Zr	95	2,45
9	As	6	1,86
10	Rb	38	1,46
11	Sr	586	4,93
12	Al	9,18%	0,1065%
13	Ca	4,53%	0,0233%
14	K	8.638	73,98
15	Mg	2,28%	0,2239%
16	Pb	607	75,83
17	S	731	44,36
18	Si	20,46%	0,1085%
19	Ta	58	7,23

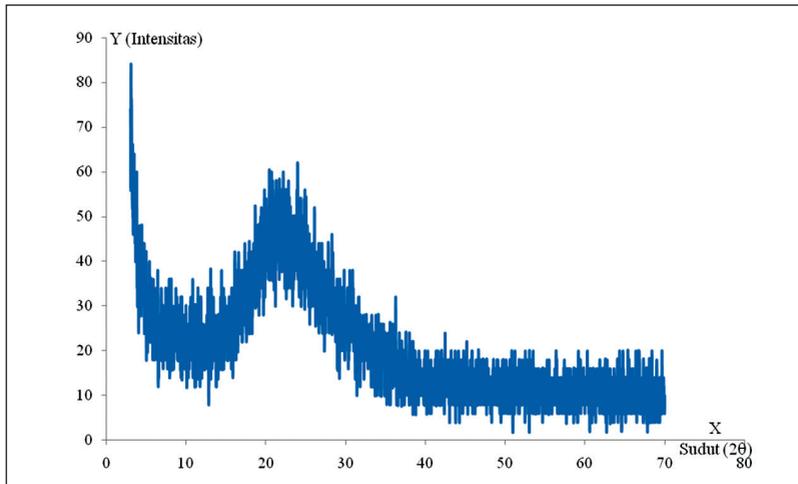
Sumber: Olympus (2016)

Seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8, jumlah unsur Si (silika) dalam pasir eks muntilan adalah sebesar 20,46% sehingga diperoleh kandungan SiO<sub>2</sub> sebesar 43,7680%. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposisi senyawa SiO<sub>2</sub> yang terdapat dalam pasir eks bangka lebih besar 50% dibandingkan pasir eks muntilan. Pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan untuk mengetahui gradasi dari tiap-tiap

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pasir eks bangka dan eks muntlan. Penggunaan silika nano sebagai bahan substitusi semen dalam mortar dimaksudkan agar mortar yang dihasilkan lebih permeabel. Dengan adanya silika nano, pori ataupun rongga yang terdapat dalam mortar dapat terisi sehingga mortar menjadi lebih padat dan kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi. Dalam pembuatan benda uji, jumlah silika nano yang ditambah ke dalam campuran mortar sebesar 5% dari berat *binder*. Jenis silika nano yang digunakan adalah silika nano komersil HDKN20 yang telah diperdagangkan secara komersil dengan ukuran partikel 20-40 nm dalam bentuk serbuk putih.

Untuk mengetahui mineral, tingkat *amorphous* dan fasa mineral silika nano HDKN20 tersebut, dilakukan uji XRD. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD adalah berupa intensitas difraksi sinar-X dan sudut-sudut  $2\theta$ . Tiap pola yang muncul pada XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu. Hasil uji XRD silika nano komersil jenis HDKN20 ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Sumber: Tekmira (2016)

**Gambar 4.13** Pola Difraksi XRD Silika Nano Komersil HDKN20

Pada Gambar 4.13 tampak bahwa silika nano HDKN20 memiliki kandungan partikel yang bersifat *amorphous* sehingga akan bersifat reaktif jika bereaksi dengan semen dan air. Menurut Jonbi (2013), kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam silika nano tersebut adalah 99,60%. Setelah beberapa pengujian material dilakukan, dibuat rancangan campuran mortar dan pembuatan benda uji. Benda uji mortar yang sudah dibuat kemudian direndam dalam air sampai mortar mencapai umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari. Penambahan silika nano dengan rentang ukuran 20–40 nm pada campuran mortar dimaksudkan agar mortar menjadi lebih padat sehingga kuat tekannya lebih tinggi dari mortar tanpa penambahan silika nano.

Proses pencampuran silika nano ke dalam mortar sangat tergantung pada nilai *workability* (kemudahan dalam pengerjaan). Nilai *workability* akan sangat memengaruhi *slump*. Semakin banyak jumlah silika nano yang ditambahkan ke dalam campuran mortar, semakin kecil *slump* yang akan dihasilkan. Penambahan silika nano sebanyak 5% dari berat *binder* akan menghasilkan *slump* sebesar 105 mm. Nilai *slump* ini lebih kecil daripada mortar tanpa silika nano, yakni 180 mm. Peningkatan kuat tekan mortar dengan penambahan silika nano juga sangat tergantung pada jenis pasir yang digunakan. Hasil pengujian kuat tekan mortar untuk pasir eks muntilan dengan dan tanpa penambahan silika nano ditunjukkan dalam Tabel 4.9.

Berdasarkan Tabel 4.9, nilai kuat tekan rata-rata pada umur 3, 7, dan 14 hari dari tiga benda uji mortar tanpa penambahan silika nano berturut-turut adalah 76,81 Mpa, 87,01 MPa, dan 94,94 MPa. Pada umur 28 dan 56 hari, kuat tekan rata-rata mortar mencapai 100,41 MPa dan 103,00 MPa. Perbandingan nilai kuat tekan mortar untuk umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada diagram di dalam Gambar 4.14.

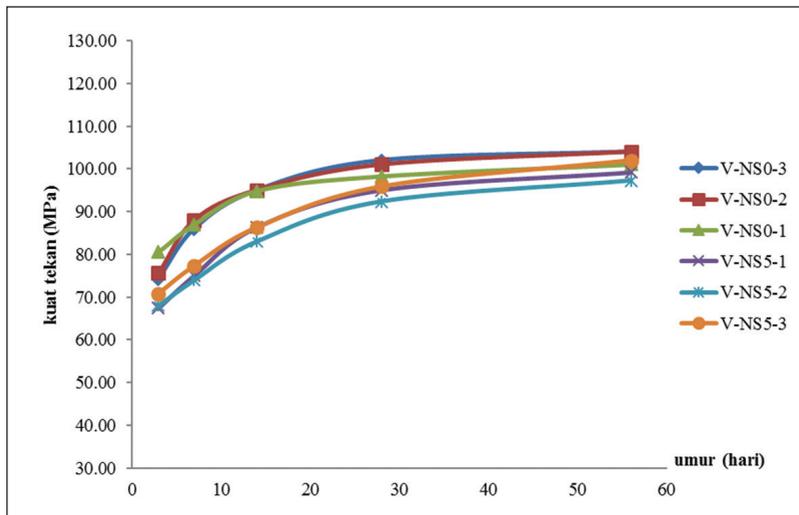
**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan Pasir Eks Muntilan

No.	Benda uji	Kuat tekan mortar (MPa)									
		3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari					
1	Muntilan-NS0-1	80,57	87,00	94,81	98,24	101,00					
2	Muntilan-NS0-2	75,57	76,81	88,00	87,01	95,00	94,94	101,00	100,41	104,00	103,00
3	Muntilan-NS0-3	74,29	86,02	95,00	102,00	104,00					
4	Muntilan-NS5-1	67,43	75,00	86,28	95,00	99,15					
5	Muntilan-NS5-2	68,07	68,78	74,00	75,44	83,01	85,19	92,37	94,41	97,24	99,46
6	Muntilan-NS5-3	70,83	77,32	86,28	95,87	102,00					

Keterangan:

- Muntilan-NS0-1,...,3 adalah benda uji mortar ke-1,...,3 tanpa silika nano yang menggunakan pasir eks Muntilan.
- Muntilan-NS5-1,...,3 adalah benda uji mortar ke-1,...,3 dengan penambahan 5% silika nano yang menggunakan pasir eks Muntilan.

Sumber: Pusjatan (2016)



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.14** Diagram Hasil Uji Kuat Tekan Mortar yang Menggunakan Pasir Gunung Api Eks Muntilan dengan dan Tanpa Silika Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berdasarkan Gambar 4.14, nilai kuat tekan rata-rata mortar pada umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari tanpa penambahan silika nano berturut-turut adalah sebesar 11,68%, 15,33%, 11,44%, 6,36%, dan 3,56%. Nilai tersebut lebih tinggi dibanding dengan penambahan 5% silika nano ke dalam campuran mortar. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan pasir muntilan yang digunakan dalam campuran mortar dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 20,46% dan ditambah dengan silika nano tidak mengalami peningkatan terhadap kuat tekan rencana umur 28 hari (100 MPa). Kuat tekan rencana mortar  $f_c'$  100 MPa diperoleh dari komposisi  $f_{as} = 0,25-0,30$ . Ternyata berdasarkan hasil uji tersebut, komposisi mortar dan  $f_{as}$  dengan menggunakan pasir muntilan tidak memengaruhi peningkatan kuat tekan meskipun ditambah dengan silika nano.

Berbeda dengan yang sudah dilakukan Byung dkk. (2007), pembuatan mortar dengan  $f_{as} 0,48$  dengan penambahan silika nano dapat meningkatkan kuat tekan. Perbedaan faktor  $f_{as}$  dan jenis agregat yang digunakan dari hasil uji dan penelitian Byung dkk. tadi ternyata memengaruhi sifat mekanik mortar.

Sifat dan karakteristik tersebut berbeda dengan mortar yang dibuat dengan menggunakan pasir silika eks bangka. Hasil pengujian kuat tekan mortar untuk pasir silika eks bangka dengan dan tanpa penambahan silika nano ditunjukkan dalam Tabel 4.10.

Dari Tabel 4.10, nilai kuat tekan rata-rata pada umur 3, 7, dan 14 hari dari tiga benda uji mortar tanpa penambahan silika nano berturut-turut adalah sebesar 42,38 MPa, 64,19 MPa, dan 87,58 MPa. Pada umur 28 dan 56 hari, kuat tekan rata-rata mortar mencapai 101,78 MPa dan 111,00 MPa. Perbandingan nilai kuat tekan mortar untuk umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 4.15.

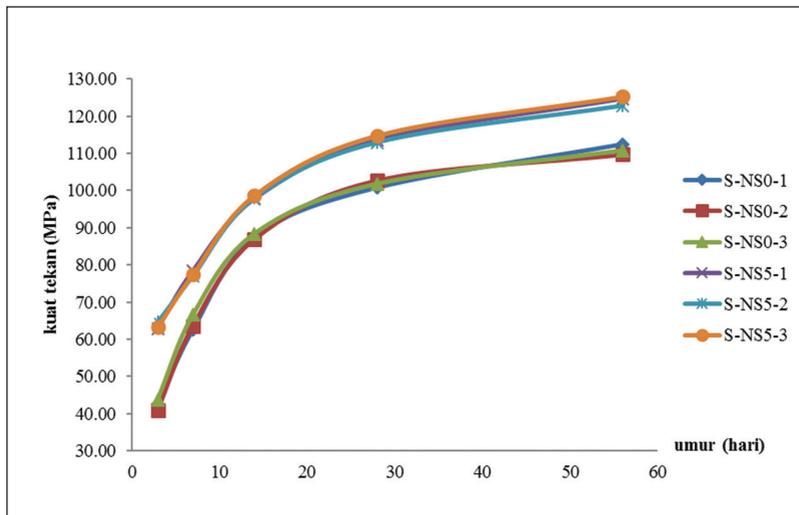
**Tabel 4.10** Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan Pasir Silika Eks Bangka

No.	Benda uji	Kuat tekan mortar (MPa)									
		3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari					
1	Bangka-NS0-1	42,50	62,57	87,45	100,75	112,40					
2	Bangka-NS0-2	40,90	42,38	63,50	64,19	86,90	87,58	102,75	101,78	109,75	111,00
3	Bangka-NS0-3	43,75	66,50	88,40	101,85	110,85					
4	Bangka-NS5-1	62,85	78,30	97,69	113,50	124,70					
5	Bangka-NS5-2	64,60	63,57	76,97	77,56	97,90	98,08	112,97	113,76	122,85	124,28
6	Bangka-NS5-3	63,25	77,40	98,64	114,80	125,30					

Keterangan:

- Bangka-NS0-1,...,3 adalah benda uji mortar ke-1,...,3 tanpa silika nano yang menggunakan pasir silika eks Bangka.
- Bangka-NS5-1,...,3 adalah benda uji mortar ke-1,...,3 dengan penambahan 5% silika nano yang menggunakan pasir silika eks Bangka.

Sumber: Pusjatan (2016)

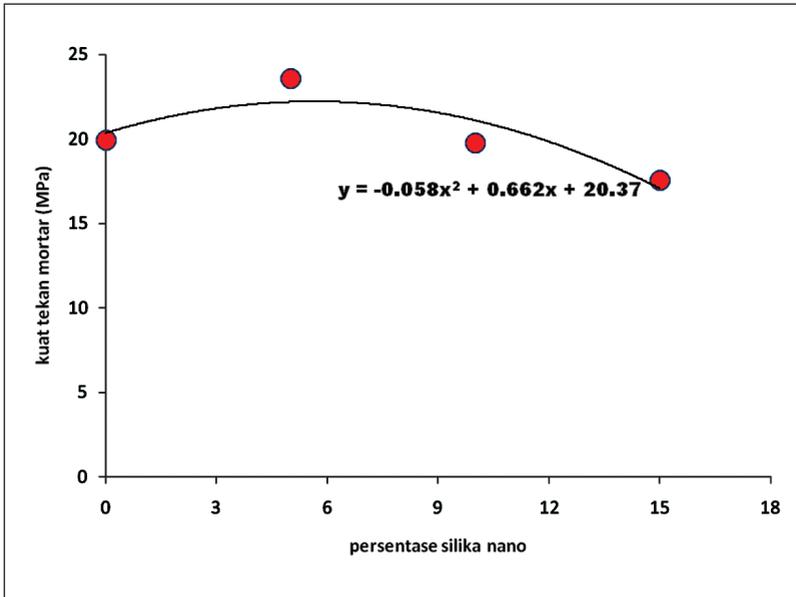


Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.15** Diagram Hasil Uji Kuat Tekan Mortar yang Menggunakan Pasir Silika Eks Bangka dengan dan Tanpa Penambahan Silika Nano

Dari Gambar 4.15, nilai kuat tekan rata-rata mortar pada umur 3, 7, 14, 28, dan 56 hari dengan penambahan silika nano berturut-turut adalah sebesar 49,98%, 20,82%, 11,98%, 11,76%, dan 11,97%, lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan silika nano ke dalam campuran mortar. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan pasir eks bangka yang digunakan dalam campuran mortar dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 85,568% dan ditambah dengan silika nano mengalami peningkatan terhadap kuat tekan rencana sebesar 11,76%. Mortar yang telah ditambah silika nano berukuran partikel 20–40 nm memiliki kuat tekan yang lebih signifikan apabila menggunakan pasir silika eks bangka ketimbang pasir silika eks muntlan. Berdasarkan hasil uji tersebut, pasir dengan kandungan senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) lebih besar >50%; dalam hal ini pasir eks bangka, akan meningkatkan kuat tekan mortar sebanyak 11,76% lebih besar dibandingkan tanpa silika nano. Sementara itu, mortar yang menggunakan pasir muntlan tidak terjadi peningkatan kuat tekan bila campuran tersebut ditambah dengan 5% silika nano.

Hasil uji dalam Gambar 4.14. dan Gambar 4.15. menunjukkan bahwa jenis agregat halus yang digunakan (dalam hal ini pasir) sangat memengaruhi sifat mekanik dari mortar. Penambahan silika nano sebesar 5% dari berat *binder* adalah komposisi yang paling optimum karena dapat meningkatkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan komposisi 10% ataupun 15%. Hal ini dapat ditentukan dari hasil uji yang sudah dilakukan apabila diplot dalam suatu grafik. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh hubungan antara kuat tekan mortar dengan persentase silika nano sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.16.



Sumber: Setiati (2015)

**Gambar 4.16** Grafik Hubungan Peningkatan Kuat Tekan dan Jumlah Persentase Silika Nano yang Ditambahkan ke dalam Campuran Mortar

Gambar 4.16 memperlihatkan pengaruh penggunaan silika nano pada berbagai persentase terhadap kuat tekan mortar. Dari grafik pada Gambar 4.16, diperoleh nilai persamaan antara kuat tekan terhadap persentase jumlah silika nano (rumus 4.1).

$$y = -0,058x^2 + 0,662x + 20,37 \quad (4.1)$$

Dengan menurunkan persamaan (1) terhadap fungsi  $x$  maka diperoleh nilai komposisi optimum untuk jumlah silika nano, yaitu sebesar 5%. Penambahan 5% silika nano ke dalam campuran beton dapat mengurangi penggunaan semen sebesar 5% dari berat *binder*. Penambahan silika nano sebesar 5% dari berat *binder* ke dalam campuran beton juga dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas dari beton tersebut.

## B. PENGUJIAN BETON

### 1. Pengaruh Silika Nano Terhadap Sifat Mekanik dan Durabilitas Beton

#### a. Pengujian kuat tekan beton

Sebagaimana dijelaskan dalam Bab III, di dalam penulisan buku ini akan dibuat silinder beton berdiameter (D) 100 mm dan tinggi (H) 200 mm. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f_c'$  sebesar 70 MPa dan 100 MPa. Benda uji silinder dibuat dalam dua variasi, yaitu tanpa dan dengan penambahan 5% silika nano. Penggunaan semen berkurang 5% setelah campuran ditambah dengan silika nano. Untuk mengetahui sifat mekanik beton, dilakukan uji tekan. Pembuatan balok beton dilakukan untuk mengetahui kuat lentur langsung dari tiap-tiap benda uji. Pengujian kuat tekan beton silinder dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari dengan jumlah tiap-tiap benda uji sebanyak tiga buah. Hasil uji kuat tekan beton mutu 70 MPa ditunjukkan dalam Tabel 4.11.

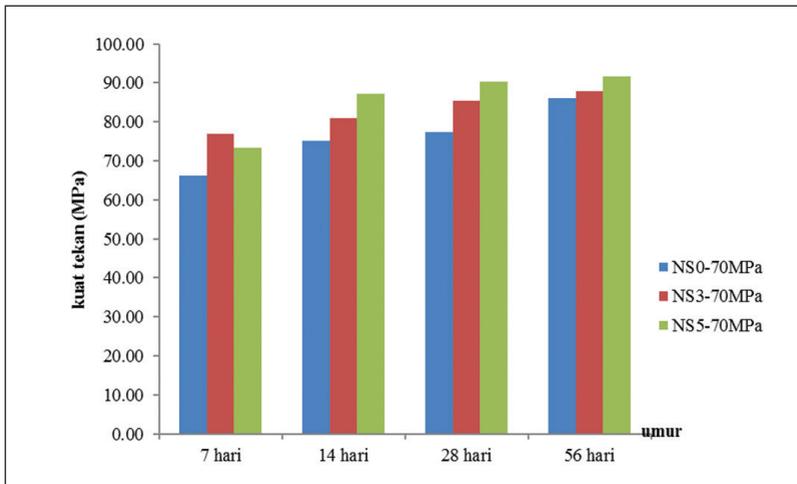
**Tabel 4.11** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 70 MPa

No.	Benda uji	Kuat tekan (MPa)			
		7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
NS0					
1	NS0-1	68,27	74,01	73,83	84,58
2	NS0-2	59,65	76,59	79,08	88,79
3	NS0-3	70,79	75,13	79,23	85,10
<b>Kuat tekan rata-rata</b>		<b>66,24</b>	<b>75,24</b>	<b>77,38</b>	<b>86,16</b>
NS3					
1	NS3-1	76,94	74,73	93,50	89,56
2	NS3-2	77,10	82,89	91,58	87,58
3	NS3-3	76,70	85,56	71,38	86,81
<b>Kuat tekan rata-rata</b>		<b>76,91</b>	<b>81,06</b>	<b>85,49</b>	<b>87,98</b>
NS5					
1	NS5-1	77,40	89,60	88,21	92,23
2	NS5-2	73,29	87,96	94,78	90,81
3	NS5-3	69,67	84,22	87,90	91,82
<b>Kuat tekan rata-rata</b>		<b>73,45</b>	<b>87,26</b>	<b>90,30</b>	<b>91,62</b>

Sumber: Setiati (2016)

Dari Tabel 4.11 diketahui bahwa nilai kuat tekan beton tanpa silika nano pada umur 28 hari adalah 77,38 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton dengan penambahan 3% silika nano mencapai 85,49 MPa (lebih besar 10,48% dari NS0). Kuat tekan beton dengan penambahan 5% silika nano mencapai 90,30 MPa (lebih besar 16,70% dari NS0).

Pada umur 56 hari, nilai kuat tekan beton tanpa penambahan silika nano adalah sebesar 86,16 MPa; kuat tekan beton dengan 3% silika nano mencapai 87,98 MPa (lebih besar 2,11% dari NS0). Sementara itu, nilai kuat beton dengan penambahan 5% silika nano mencapai 91,62 MPa (lebih besar 6,34% dari NS0). Perbandingan nilai kuat tekan beton normal (NS0), beton dengan penambahan 3% dan 5% silika nano ditunjukkan dalam Gambar 4.17. Sementara itu, hasil uji kuat tekan beton mutu 100 MPa ditunjukkan dalam Tabel 4.12.



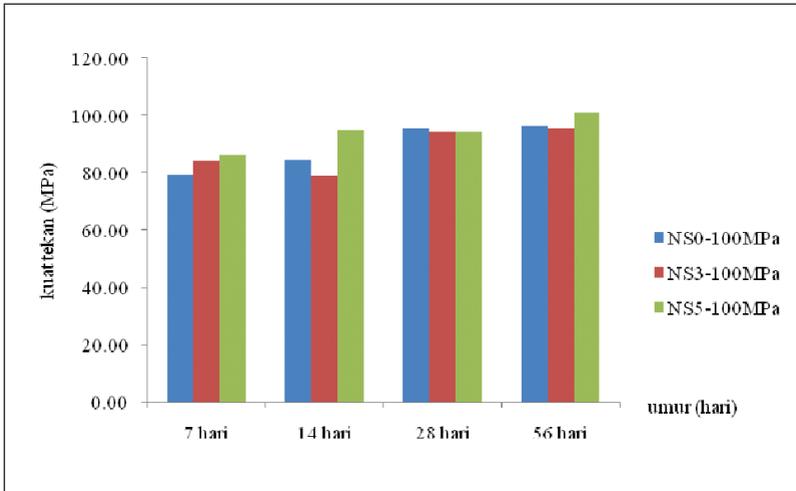
Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.17** Perbandingan Kuat Tekan Beton 70 MPa Tanpa dan dengan Silika Nano (3% dan 5%)

**Tabel 4.12** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 100 MPa

No.	Benda uji	Kuat tekan			
		7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
NS0					
1	NS0-1	78,66	75,72	95,60	96,49
2	NS0-2	76,94	89,68	93,40	97,68
3	NS0-3	82,68	88,29	97,29	94,28
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>79,43</b>	<b>84,56</b>	<b>95,43</b>	<b>96,15</b>
NS3					
1	NS3-1	78,58	84,96	91,44	91,19
2	NS3-2	85,76	73,68	97,19	94,01
3	NS3-3	88,15	77,89	95,21	101,58
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>84,16</b>	<b>78,84</b>	<b>94,61</b>	<b>95,59</b>
NS5					
1	NS5-1	84,58	95,96	89,91	98,07
2	NS5-2	88,79	95,86	98,25	104,24
3	NS5-3	85,10	92,74	95,20	100,48
<b>kuat tekan rata-rata</b>		<b>86,16</b>	<b>94,85</b>	<b>94,45</b>	<b>100,93</b>

Berdasarkan Tabel 4.12, nilai kuat tekan rata-rata beton tanpa silika nano pada umur 28 hari adalah 95,43 MPa, sedangkan rata-rata kuat tekan pada beton dengan penambahan 3% silika nano mencapai 94,61 MPa. Untuk beton dengan penambahan 5% silika nano, rata-rata kuat tekannya mencapai 94,45 MPa. Pada umur 56 hari nilai, kuat tekan rata-rata beton tanpa penambahan silika nano adalah sebesar 96,15 MPa dan kuat tekan rata-rata beton dengan 3% silika nano mencapai 95,59 MPa. Untuk beton dengan penambahan 5% silika nano, kuat tekannya mencapai 100,93 MPa (lebih besar 4,97% dari NS0). Diagram perbandingan nilai kuat tekan beton normal (NS0), beton dengan penambahan 3% dan 5% silika nano ditunjukkan dalam Gambar 4.18.



Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.18** Perbandingan Kuat Tekan Beton 100 MPa Tanpa dan dengan Silika Nano (3% dan 5%)

Dari hasil uji tekan tersebut, ditemukan bahwa komposisi 5% penambahan silika nano ke dalam campuran beton merupakan komposisi optimum. Dalam penulisan buku ini, pengujian sifat mekanik dan durabilitas beton dibatasi untuk beton HPC yang mempunyai kuat tekan rencana 50–100 MPa sebagaimana dijelaskan dalam Bab I, subbab B, dan Tabel 1.1. Dari beberapa hasil uji, peningkatan kuat tekan beton HPC dengan penambahan silika nano tidak lebih dari 17%. Hal ini berbeda dengan yang sudah dilakukan Flores dkk. (2006), yakni klasifikasi beton yang dibuat termasuk dalam kelas UHPC dengan kuat tekan rencana 100–150 MPa. Pada beton UHPC, peningkatan kuat tekan mencapai 15–20% bila ditambah dengan silika nano.

#### b. Pengujian kuat lentur beton

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, benda uji berupa balok dibuat dengan ukuran sesuai dengan standar, yaitu 150 mm × 150 mm × 600 mm. Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari. Kuat tekan

karakteristik balok adalah 70 MPa. Jumlah benda uji masing-masing adalah 3 buah balok untuk setiap campuran beton tanpa dan dengan penambahan silika nano. Jumlah persentase yang ditambahkan dari silika nano adalah 3%. Hasil uji lentur balok ditunjukkan dalam Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Mutu 70 MPa

No.	Beban maks.	b mm	h mm	L mm	$\sigma$ lentur	Keterangan
	Newton					
1	59.417,90	150	150	450	7,92	NS0
2	58.052,00	150	150	450	7,74	NS0
3	57.087,90	150	150	450	7,61	NS0
4	48.495,30	150	150	450	6,47	NS3
5	48.090,10	150	150	450	6,41	NS3
6	52.779,20	150	150	450	7,04	NS3

Tegangan lentur dalam Tabel 4.13 menggunakan rumus (2) dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_{\text{lentur}} = \frac{PL}{bh^2} \quad (4.2)$$

$\sigma_{\text{lentur}}$  adalah kuat lentur (MPa);

P adalah beban maksimum (N);

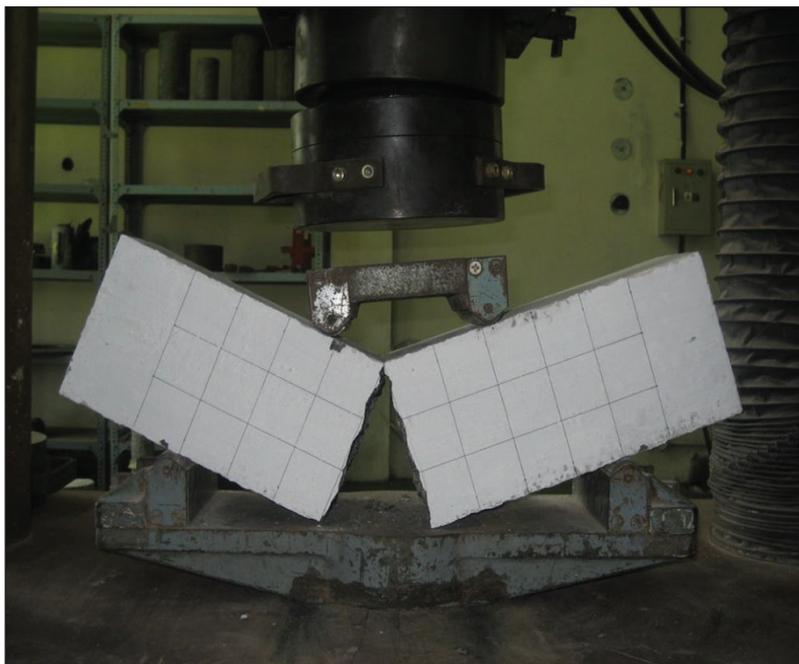
L adalah panjang balok (mm);

b adalah lebar penampang balok (mm);

h adalah tinggi penampang balok (mm).

Dari Tabel 4.13, tampak bahwa kuat lentur rata-rata balok beton tanpa silika nano adalah sebesar 7,76 MPa, sedangkan kuat lentur beton dengan penambahan 3% silika nano adalah sebesar 6,64 MPa.

Penambahan silika nano pada beton dengan komposisi 3% kuat lenturnya lebih kecil 14,43% dari beton tanpa silika nano (tidak memberikan kuat lentur yang optimum). Besarnya kuat lentur untuk beton tanpa silika nano adalah 11% dari kuat tekan beton dan besarnya kuat lentur untuk beton dengan penambahan silika nano 3% adalah 9% dari nilai kuat tekan beton. Pola runtuh yang terjadi dari pengujian kuat lentur balok ditunjukkan dalam Gambar 4.19.



Keterangan: Pola runtuh balok terjadi pada bidang patah yang terletak di daerah pusat ( $1/3$  jarak titik perletakan bagian tengah).

Sumber: Pusjatan (2016)

**Gambar 4.19** Pola Runtuh Pengujian Kuat Lentur Balok dengan Penambahan 3% Silika Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.

### c. Pengujian permeabilitas beton

Hasil uji permeabilitas beton ditunjukkan dalam Tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Hasil Uji Permeabilitas Beton

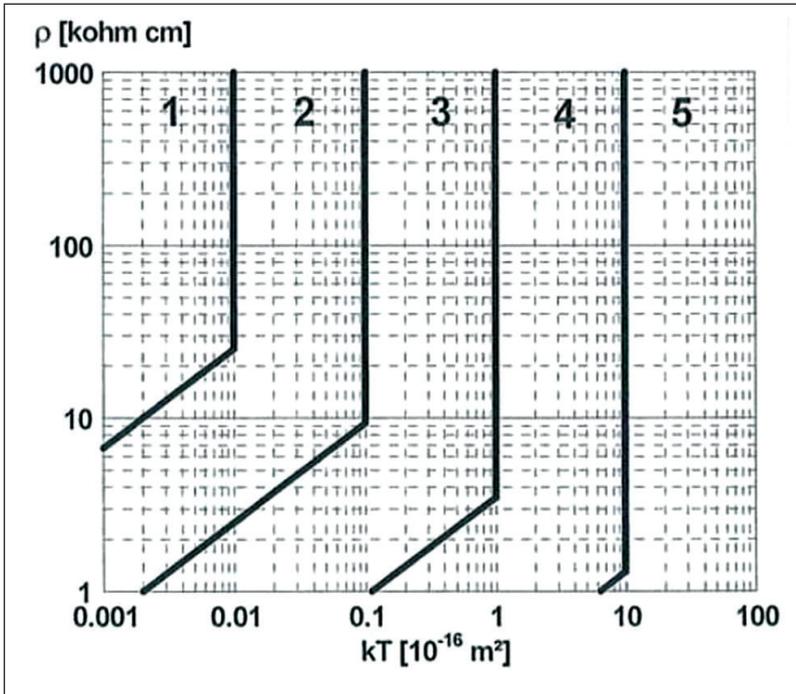
No.	Benda uji	KT ( $10^{-16} \text{ m}^2$ )	Kualitas
1	NS0-1	0,040	baik
2	NS0-2	0,020	baik
3	NS0-3	0,012	baik
4	NS3-1	0,009	sangat baik
5	NS3-2	0,008	sangat baik
6	NS3-3	0,006	sangat baik
7	NS5-1	0,004	sangat baik
8	NS5-2	0,003	sangat baik
9	NS5-3	0,002	sangat baik

Hasil luaran dari alat uji permeabilitas adalah kelas kualitas permukaan beton sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Kriteria Hasil Uji Permeabilitas

Kelas kualitas	Indeks	KT ( $10^{-16} \text{ m}^2$ )
Sangat buruk	5	> 10
Buruk	4	1,0–10
Normal	3	0,1–1,0
Baik	2	0,01–0,1
Sangat baik	1	< 0,01

Untuk mengetahui kriteria indeks dalam menentukan kelas kualitas beton dapat dilihat dalam nomogram pada Gambar 4.20.



**Gambar 4.20** Nomogram untuk Penentuan Kelas Kualitas Beton dalam Kondisi Lempab

Nilai koefisien permeabilitas (KT) untuk beton konvensional (NS0-1, NS0-2, dan NS0-3) berturut-turut adalah sebesar 0,04, 0,02, dan 0,012, dikalikan  $10^{-16}$  dalam setiap luas permukaan beton. Nilai koefisien tersebut berada dalam rentang  $(0,01-0,1) \times 10^{-16} \text{ m}^2$  sehingga mempunyai nilai indeks 2 (lihat Tabel 4.15) dengan kelas kualitas baik. Beton dengan penambahan silika nano 3% (NS3-1, NS3-2, dan NS3-3) mempunyai koefisien permeabilitas (KT) lebih kecil dibandingkan beton konvensional dengan nilai 0,009, 0,008, dan 0,006 dikalikan  $10^{-16}$  dalam setiap luas permukaan beton. Nilai tersebut masuk dalam indeks 1 (lihat Tabel 4.15) dengan kelas kualitas sangat baik ( $KT < 0,01 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ ). Koefisien permeabilitas untuk beton dengan penambahan 5%

Buku ini tidak diperjualbelikan.

silika nano (NS5-1; NS5-2; dan NS5-3) mempunyai nilai 0,004, 0,003, dan 0,002 dikalikan  $10^{-16}$  dalam setiap luas permukaan beton. Nilai tersebut berada dalam rentang  $KT < 0,01 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  dan mempunyai nilai indeks 1 sehingga tergolong kelas kualitas sangat baik. Berdasarkan hasil dan analisis tersebut diperoleh bahwa beton dengan penambahan silika nano 3% dan 5% memiliki tingkat kededapan yang sangat baik dibandingkan beton konvensional.

#### d. Pengujian ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida (*Rapid Chloride Penetration Test/RCPT*)

Hasil uji ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida ditunjukkan dalam Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Hasil Uji Ketahanan Beton terhadap Penetrasi Ion Klorida

Benda uji	Awal	30'	60'	90'	120'	150'	180'	210'	240'	270'	300'	330'	360'
NS0 - 1	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
NS0 - 2	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
NS3 - 1	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
NS3 - 2	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
NS5 - 1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NS5 - 2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tabel 4.16 menunjukkan hasil uji RCPT untuk beton normal (NS0), beton dengan 3% silika nano (NS3), dan beton dengan 5% silika nano (NS5). Nilai *charge passed* Q (Coulombs) untuk tiap-tiap benda uji ditentukan dengan menggunakan rumus (4.3).

$$Q = 900 \{I_0 + 2I_{30} + \dots + I_{360}\} \quad (4.3)$$

Q adalah aliran muatan listrik (*charge passed*) (Coulombs);

$I_0$  adalah pembacaan arus listrik pada menit ke-0;

$I_t$  adalah pembacaan arus listrik pada menit ke-t.

Berdasarkan rumus (3), diperoleh nilai Q rata-rata untuk NS0 sebesar 855 Coulombs, untuk NS3 sebesar 868,5 Coulombs, dan NS5 sebesar 432 Coulombs (Tabel 4.17).

**Tabel 4.17** Nilai *Charge Passed* Q Hasil Uji RCPT

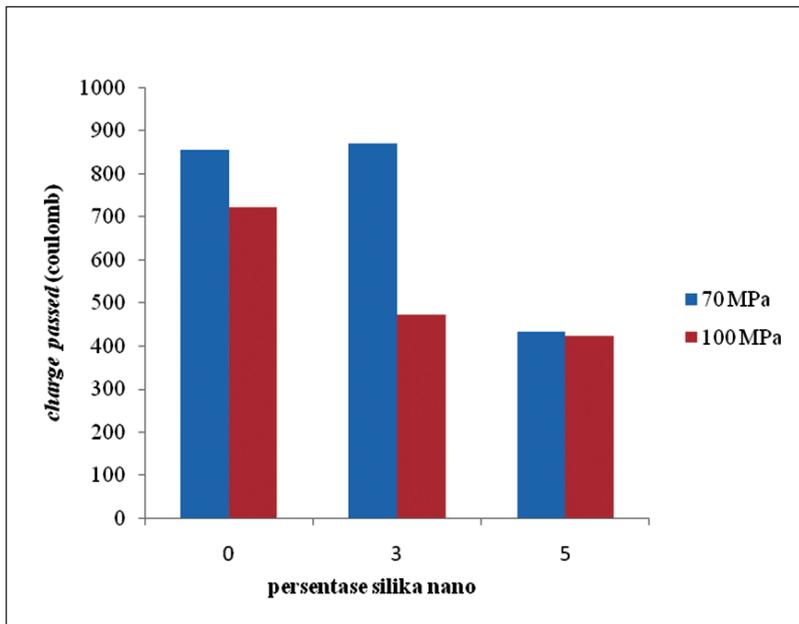
No.	Benda uji	Q (Coulomb)	$Q_{\text{rata-rata}}$ (Coulomb)	Keterangan
1	NS0 - 1	855	855	sangat rendah
2	NS0 - 2	855		
3	NS3 - 1	846	868,5	sangat rendah
4	NS3 - 2	891		
5	NS5 - 1	432	432	sangat rendah
6	NS5 - 2	432		

Kemudian, nilai *charge passed* Q dikomparasikan dengan RCPT *ratings* berdasarkan ASTM C 1202 sehingga diperoleh sifat penetrasi ion klorida dari beton tersebut (Tabel 4.18).

**Tabel 4.18** Kriteria Hasil RCPT (ASTM 2012)

No.	<i>Ratings</i>	Q (Columbs)
1	Tinggi	> 4.000
2	Sedang	2.000–4.000
3	Rendah	1.000–2.000
4	Sangat rendah	100–1.000
5	Diabaikan	< 100

Tabel 4.18 menunjukkan nilai-nilai hasil uji RCPT yang dikelompokkan dalam beberapa golongan dengan kriteria diabaikan sampai dengan tinggi. Nilai Q untuk beton tanpa silika nano adalah 855 Coulombs, sifat penetrasi ion klorida dari beton ini adalah sangat rendah. Sementara itu, beton dengan penambahan 3% silika nano tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Akan tetapi, beton dengan penambahan 5% silika nano mempunyai nilai *charge passed* Q lebih kecil daripada beton konvensional (49,47% lebih kecil). Artinya, beton dengan penambahan 5% silika nano lebih tahan dua kali lipat terhadap serangan ion klorida dibandingkan beton konvensional. Hubungan nilai Q (*charge passed*) dalam satuan Coulomb dengan persentase jumlah silika nano ditunjukkan dalam Gambar 4.21.



**Gambar 4.21** Diagram Hubungan Nilai Q (*Charge Passed*) dengan Persentasi Silika Nano

Berdasarkan Gambar 4.21, diketahui bahwa penambahan silika nano 5% dapat memperkecil nilai Q (*charge passed*) sehingga beton tersebut dapat lebih tahan terhadap penetrasi ion klorida.

## 2. Analisis Dampak Lingkungan dan Ekonomi dari Pemanfaatan Silika Nano untuk Konstruksi Beton

Pembuatan rancangan beton menggunakan silika nano pada prinsipnya sama dengan beton konvensional, yang berbeda adalah perlakuan khusus dalam menangani silika nano yang memiliki ukuran 20–40 nm. Silika nano dengan ukuran diameter  $10^{-9}$  meter dan luas permukaan spesifik  $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  berpotensi menembus pori-pori kulit manusia dan masuk ke dalam aliran darah. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya sistem pernafasan dan menyebabkan radang paru-paru. Salah satu cara untuk mengantisipasi terjadinya hal itu adalah dengan mengutamakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

Ditinjau dari aspek ekonomi, harga material silika nano komersil (pada tahun 2016) adalah Rp200.000,- per kg. Semakin banyak jumlah silika nano yang digunakan sebagai bahan substitusi semen, harga perkubikasi beton cenderung semakin mahal. Tabel 4.19 menunjukkan perbandingan harga pembuatan beton dengan dan tanpa penambahan silika nano untuk setiap meter kubik.

Berdasarkan Tabel 4.19 harga pembuatan beton dengan penambahan 3% silika nano adalah lebih tinggi dibandingkan beton konvensional (5 kali lebih mahal dibandingkan beton konvensional). Sementara itu, beton dengan penambahan 5% silika nano lebih mahal 7 kali dibandingkan beton konvensional. Tingginya harga pembuatan beton disebabkan mahalnya harga silika nano yang merupakan produk impor. Akan tetapi, biaya tersebut tidak menunjukkan nilai *life cycle cost* (LCC) dari beton dengan teknologi nano karena jika ditinjau dari segi keawetan, beton dengan teknologi nano mempunyai nilai durabili-

tas yang sangat tinggi dibandingkan beton konvensional. Durabilitas beton yang tinggi, misalnya pada struktur jembatan, akan mengurangi biaya akibat kerusakan struktur sehingga umur layan jembatan akan lebih panjang.

**Tabel 4.19** Perbandingan Pembuatan Beton dengan dan Tanpa Penambahan Silika Nano

No.	Material	NS0		NS3		NS5	
		per m <sup>3</sup>	Harga (Rp)	per m <sup>3</sup>	Harga (Rp)	per m <sup>3</sup>	Harga (Rp)
1	Air	178,72	0	178,72	0	178,72	0
2	Semen	600,00	720.000	582,00	698,400	570,00	684.000
3	Pasir	823,20	132.301	820,00	131.786	822,47	132.182
4	Kerikil	727,20	80.800	72,20	80.800	727,20	80.800
5	<i>Superplasticizer</i>	1,74	2.610	9.894	14.841	13,2	19.800
6	Silika nano	0	0	18	3.600.000	30	6.000.000
<b>Total biaya</b>			<b>935.711</b>		<b>4.525.827</b>		<b>6.916.783</b>

Sumber: Pusjatan (2016)



## BAB V

# Ulasan Penutup: Optimalisasi Pemanfaatan Material Nano untuk Konstruksi Beton

Aplikasi material nano di bidang konstruksi, khususnya jembatan, dapat digunakan untuk membuat beton yang lebih kuat dan lebih awet. Pembuatan beton berbasis material nano tidak semudah membuat beton konvensional. Banyak aspek yang harus diperhatikan, di antaranya material penyusun beton (agregat kasar, agregat halus, semen, air, silika nano, dan bahan tambah lainnya), proses pelaksanaan pencampuran, dan keselamatan serta kesehatan lingkungan.

Beton dengan teknologi nano dinilai lebih kuat dibandingkan beton konvensional. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil kegiatan yang sudah dilakukan di laboratorium, terbukti bahwa partikel-partikel nano dapat mengisi pori atau rongga di dalam beton sehingga menjadikan beton lebih kedap dan memiliki kuat tekan lebih tinggi. Peningkatan sifat mekanik beton berupa kuat tekan dan kuat lentur sangat bergantung dari jumlah persentase silika nano yang ditambahkan ke dalam mortar atau beton. Komposisi optimum yang dapat dicapai agar beton lebih kuat dan lebih awet adalah dengan menambahkan 5% silika nano ke dalam campuran beton.

Penambahan jumlah silika nano lebih dari 10% tidak dapat meningkatkan sifat mekanik dari beton. Hal ini disebabkan oleh karakteristik silika nano yang mudah beraglomerasi pada saat proses pencampuran mortar atau beton. Sifat mudah beraglomerasi ini menyebabkan tidak meratanya distribusi silika nano di dalam beton. Selain mudah beraglomerasi, silika nano juga cenderung menyerap air lebih banyak saat terjadi proses hidrasi. Hal ini dapat menurunkan tingkat kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) pada saat pencampuran, khususnya terjadi untuk penambahan silika nano di atas 10%. Sementara itu, penambahan silika nano dengan persentase di bawah 5% terbukti terlalu sedikit untuk dapat memengaruhi perubahan sifat mekanik dan durabilitas beton.

Selain lebih kuat, beton dengan teknologi nano juga dapat menjadi lebih awet dibandingkan beton konvensional; terutama tahan terhadap pengaruh lingkungan yang korosif. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diperoleh bahwa penambahan silika nano dengan rentang ukuran 20–40 nm pada campuran mortar menyebabkan mortar menjadi lebih padat sehingga kuat tekannya lebih tinggi dibandingkan mortar tanpa penambahan silika nano.

Patut diperhatikan juga bahwa proses pencampuran silika nano ke dalam mortar sangat tergantung pada nilai *workability*. Nilai *workability* akan sangat memengaruhi *slump*. Semakin banyak jumlah silika nano yang ditambahkan ke dalam campuran mortar, *slump* yang dihasilkan akan semakin kecil. Jumlah silika nano sebanyak 5% dari berat *binder* menghasilkan nilai *slump* sebesar 105 mm. Nilai *slump* ini lebih kecil dari mortar tanpa silika nano, yakni 180 mm. Peningkatan kuat tekan mortar dengan penambahan silika nano juga sangat tergantung pada jenis pasir yang digunakan. Pasir dengan kandungan senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) lebih besar >50%, dalam hal ini adalah pasir eksangka yang akan meningkatkan kuat tekan mortar sebanyak 11,76% lebih besar dibandingkan tanpa silika nano. Sementara itu, mortar

yang menggunakan pasir gunung berapi tidak mengalami peningkatan kuat tekan apabila campuran mortar ditambah dengan 5% silika nano.

Penambahan silika nano dengan rentang ukuran 20–40 nm pada campuran beton dapat menjadikan beton lebih padat sehingga kuat tekannya lebih tinggi daripada beton tanpa penambahan silika nano. Penambahan silika nano sebanyak 5% ke dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat tekannya sebesar 16,70% dibandingkan beton tanpa silika nano. Dari aspek durabilitas melalui uji permeabilitas dan RCPT, diperoleh bahwa beton dengan penambahan 5% silika nano menghasilkan nilai permeabilitas yang sangat baik dan lebih tahan terhadap serangan ion klorida.

Partikel-partikel nano dapat mengisi pori atau rongga dalam beton sehingga beton tidak mudah dimasuki ion-ion klorida yang dapat menyebabkan terjadinya korosi. Dengan sifatnya yang lebih kuat dan lebih awet, selain diaplikasikan untuk konstruksi jalan, jembatan, gedung, atau bangunan lainnya, beton dengan teknologi nano juga dapat diaplikasikan untuk bangunan tahan air seperti bangunan pantai, *offshore*, bendungan, dermaga, dan sebagainya.

Namun, pembuatan konstruksi beton berbasis nanoteknologi di Indonesia masih merupakan sesuatu yang sangat mahal. Kendala utama ialah tidak mencukupinya ketersediaan material nano sebagai bahan campuran untuk beton. Keterbatasan stok material nano menyebabkan Indonesia harus mengimpor bahan dari luar negeri. Padahal, Indonesia berlimpah akan deposit pasir silika, yang merupakan salah satu bahan mentah penghasil material nano.

Oleh karena itu, Indonesia perlu mengakselerasi penguasaan teknologi nano agar bahan mentah yang melimpah tersebut dapat diolah menjadi material nano siap pakai, yang pada akhirnya akan mengurangi ketergantungan impor. Tentunya penguasaan teknologi tersebut hanya dapat tercapai melalui penyediaan SDM yang berkualitas, ditunjang dengan sarana dan prasarana yang memadai.



# DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, R. (2009). Influence of nano-silica addition on properties of conventional and ultrahigh performance concretes. *HBRC Journal*, 5(1), 18–30.
- ACI. (2008). ACI Committee 211. ACI 211.4R-08 R, Guide for Selecting for High Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials.
- Aitcin, C. & Mindness, S. (2011). *Sustainability of concrete*. London: Spon Press. Diakses pada 22 November 2016 dari <https://www.scribd.com/document/314298993/Sustainability-of-Concrete-Pierre-Claude-Aitcin-and-Sidney-Mindess>.
- Astuti, A. W., Purwanto, E. F., & Lie, H. A. (2013). Studi eksperimental aplikasi nanomaterial flyash terhadap kuat tekan mortar beton. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(3), 78–84. Diakses pada 13 Maret 2015 dari <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/3963/3862>.
- Balaguru, P., & Chong, K. (2006). Nanotechnology and concrete: Research opportunities. Dalam K. Sobolev & S. P. Shah (Ed.), *Proceedings of ACI Session on nanotechnology of concrete: Recent developments and future perspectives* (15–28). Michigan: ACI International.

- Cullity, B. D. (1956). *Element of x-ray diffraction*. Boston: Addison-Wesley.
- DIN 1045-1 (2008-08). Plain, reinforced, and prestressed concrete structures. Part 1: Design and construction. German Institute for standardisation.
- Dirjen Bina Marga. (1993). *Sistem manajemen jembatan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Doaa, M. B. & Nilly, A. H. A. F. (2015). Entomotoxic effect of Aerosil 200 nano particles against three main stored grain insects. *International Journal of Advanced Research*, 3(8), 1371–1376.
- Drexler, K. E. (1986). *Engines of creation: The coming era of nanotechnology*. New York: Doubleday.
- Fansuri. (2010). Modul pelatihan operasional XRF. Surabaya: Laboratorium Energi dan Rekayasa, LPPM ITS.
- Firmansyah. (2007). Pengaruh silika halus terhadap ketahanan mortar. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 3(2), 1–4.
- Flores, L. L., Garza, T. L. M., Torres, M., & Sobolev, K. (2006). Effect of Nano SiO<sub>2</sub> on Properties of Cement Based Materials. *1<sup>st</sup> International Conference on Advanced Construction Materials*, Mexico.
- Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. A., & Salleh, M. A. M. (2010). Experimental investigation of the size effects of SiO<sub>2</sub> nano-particles on the mechanical properties of binary blended concrete. *Composites Part B: Engineering*, 41(8), 583–692.
- Green, B. H. (2012). Development of a high-density, high-strength, cementitious grout using colloidal silica nano-particles (ASCE). *In Grouting and Deep Mixing*, 1850–1858.
- Ilangovana, Mahendranal, N., & Nagamanib, K. (2008). Strength and durability properties of concrete containing quarry rock dust as fine aggregate. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(5), 20–26.

- Jo, B. W., Kim, C. H., & Lim, J. H. (2007). Investigations on the development of powder concrete with nanosilica particles. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 11, 37–42.
- Jonbi. (2013). *Penggunaan nanosilika dari pasir alam untuk meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton*. (Disertasi). Program Studi Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Khanzadi M., Tadayon, M., Sepehri H., & Sepehri, M. (2010). Influence of nano-silica particles on mechanical properties and permeability of concrete. Dalam J. Zachar, P. Claisse, T.R. Naik, & E. Ganjian (Ed.), *Second international conference on sustainable construction material and technologies. Volume 1*. (457–465). Milwaukee: Coventry University and The University of Wisconsin Milwaukee Centre for By-products Utilization.
- Khedr, S. A. & Abou-Zeid, M. N. (1994). Characteristic of silica fume concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 6(3), 357–375.
- Kotten. (2014). Nano Technology, *Stikom Artha Buana Kupang*. Diakses pada Maret 30, 2016 dari <http://asrykotten.blogspot.co.id/2014/03/v-behaviorurldefaultvml.html>.
- Krisnamurti, Aswatama, K., & Yunarni, W. (2014). Pengaruh komposisi material UHPC terhadap perilaku kuat tekan mortar beton. *Prosiding seminar nasional teknik sipil X-2014* (877–883). Surabaya: Program Pascasarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Surabaya.
- Li, G. (2004). Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO<sub>2</sub>. *Cement and Concrete Research*, 34, 1043–1049.
- Luciano, S., Wellington, L. R., Phillipe, G., Marilena, V., & Dachamir, H. (2009). Effect of Addition of Nano-SiO<sub>2</sub> on the Setting Time of Cement Hydration. *3rd International Conference on Concrete and Development*, Teheran, (27–29) April 2009, Iran.
- Marlina, L. (2007). Sintesis nanopartikel zinc oxide (ZnO) untuk aplikasi sebagai tinta pengaman. (Tugas Akhir). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

- Maulana, A. (2017). *Peta persebaran SDA di Indonesia*. Diakses pada 24 November 2017 dari <http://www.majalahbatu.com/2017/04/peta-persebaran-sda-di-indonesia.html>.
- Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. 3rd edition. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Murdock, L. J., Brock, K. M., & Hendarkho, S. (1991). *Bahan dan praktek beton*. Jakarta: Erlangga.
- Nanotech Herbal Indonesia. (2015). *Report of analysis silica sand*. Tangerang Selatan: Nanotech Herbal Indonesia.
- Nazari, A., Riahi, S., & Shamekhi, S. F. (2010). Benefits of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in concrete mixing matrix. *Journal of American Science*, 8, 550–554.
- Nili, M., Ihsani, A., & Shabani, K. (2010). Dalam J. Zachar, P. Claisse, T.R. Naik, & E. Ganjian (Ed.), Influence of nano SiO<sub>2</sub> and microsilica on concrete performance. *Proceedings of Special Technical Sessions (457–465)*. Second international conference on sustainable construction material and technologies. Milwaukee: Coventry University and The University of Wisconsin Milwaukee Centre for By-products Utilization.
- Ozyildirim, C. (2010). *Laboratory investigation of nanomaterials to improve the permeability and strength of concrete*. Virginia: Virginia Transportation Research Council.
- Pusjatan. (2016). *Laporan penelitian teknologi nano beton untuk konstruksi jembatan*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Sabdonno, P., Sustiawan, F., & Fadlilah, D. A. (2014). The effect of nano-cement content to the compressive strength of mortar. Dalam T.C. Tim, T. Ueda, & H.S. Mueller (Ed.), *Procedia Engineering at 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials 2014* (386–395). London: Elsevier.
- Sadrmomtazi, A., Fasihi, A., Balalaei, F., & Hagh, A. K. (2009). Investigation of mechanical and physical properties of mortars containing silica

- fume and nano SiO<sub>2</sub>. Dalam A.A. Tasnimi (Ed.), *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Concrete and Development* (1153–1161). Tehran: Building and Housing Research Center.
- Saloma. (2014). *Sifat fisik dan mekanik beton nanomaterial* (Disertasi, Program Studi Teknik Sipil ITB). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Saurav. (2012). Application of nanotechnology in building materials. *Journal of Engineering Research and Applications*, 2(5), 1077–1082.
- Schmidt, M., & Fehling, E. (2007). Ultra high performance composite bridge across the River Fulda in Kassel. *Proceedings of the International Symposium on Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany, September, 13–15 2004.
- Sertifikat Analisis Laboratorium Pengujian Tekmira “Nano silika”, Terakreditasi No. LP-641-IDN, No: 0509/LFM/V/2016.
- Setiati, N. R. (2015). *Sifat dan proses dalam beton dilihat dari skala struktur nano*. Jakarta: Puslitbang Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan rakyat.
- Setiati, N. R. (2016). *Sifat dan proses dalam beton dilihat dari skala struktur nano*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Shi, C. & Mo, Y. L. (2008). *Construction materials, science and applications, high performance*. New Jersey: World Scientific.
- Sobolev, K., Flores, I., Hermosillo, R., & Torres-Martínez, L. M. (2006). Nanomaterials and nanotechnology for high performance cement composites. Dalam K. Sobolev & S.P Shah (Ed.), *Proceedings of ACI Session on nanotechnology of concrete: Recent developments and future perspectives* (91–118). Michigan: ACI International.
- Sugiharto, H., Kusuma, G. H., Himawan, A., & Darma, D. S. (2001). Penggunaan fly ash dan viscocrete pada self compacting concrete. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, 3(1), 30–35.

Taniguchi, N. 1974. On the basic concept of “nano-technology”. Dalam *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo. Part II*. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering.

The Constructor-Civil Engineering Home. (2012). *High strength and high performance concrete*. Diakses pada 22 November 2016, dari <http://theconstructor.org/concrete/high-strength-vs-high-performance-concrete/8617/>.

Thuadaj, N., & Nuntiya, A. (2008). Synthesis and characterization of nano-silica from rice husk ash prepared by precipitation method. *CMU, J. Nat. Sci. Special Issue on Nanotechnology*, 7(1), 59–65.

# GLOSARIUM

**Agregat halus** adalah pasir alam hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

**Agregat** adalah material granular—misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi—yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan.

**Agregat kasar** adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5–40 mm.

**Beton** adalah sebuah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu pecah), semen, air, dan bahan tambahan lain/*admixtures* (bila diperlukan) dan telah mengeras.

**Beton kinerja tinggi** adalah beton berkarakteristik khusus, yang tidak selalu bisa dicapai secara rutin dengan hanya menggunakan bahan konvensional melalui praktik pencampuran, pengerjaan, dan perawatan normal. Persyaratan khusus yang harus dipenuhi agar beton dapat dikategorikan kinerja tinggi adalah peningkatan *workability*; mudah dikerjakan; mudah dalam pemadatan tanpa terjadinya segregasi; meningkatkan sifat mekanik; mempunyai kekuatan awal tinggi, keras, dan stabil; serta tahan terhadap serangan lingkungan yang ekstrem.

**Beton mutu tinggi** adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40–80 MPa.

**Beton yang dapat memadat sendiri (*self compacting concrete*/SCC)** adalah campuran beton yang mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat atau mesin penggetar (*vibrator*).

**Binder** adalah bahan pengikat dalam campuran beton.

**Bliding** adalah beton yang kelebihan air sehingga air semen naik ke permukaan.

**Durabilitas** adalah adalah suatu kemampuan untuk bertahan dalam waktu yang sangat lama tanpa adanya kerusakan yang sangat berarti (*significant deterioration*).

**Kuat lentur** adalah adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diterima sampai balok beton patah, dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa). Kuat tarik dalam lentur dikenal sebagai modulus runtuh (*Modulus of Rupture*).

**Kuat tekan** adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

**Material nano** adalah material yang berukuran sangat kecil yakni berkisar antara 1–100) nm; dapat disebut juga material berskala nano.

**Mortar** adalah campuran plastis yang dibuat dengan campuran semen, air, dan pasir yang digunakan sebagai material pengikat dan material pengisi dalam konstruksi beton.

**Nanoteknologi** dapat berarti (1) pembuatan/penggunaan materi pada ukuran sangat kecil, yakni 1–100 nm; dan (2) teknologi untuk memahami dan mengontrol sesuatu pada dimensi 1–100 nm, di mana dapat ditemukan fenomena-fenomena unik untuk menghasilkan aplikasi baru. Teknologi nano meliputi pencitraan, pemodelaan, pengukuran, fabrikasi, dan manipulasi sesuatu pada skala nanometer.

**Pasir gunung berapi** adalah pasir yang berasal dari letusan gunung berapi.

**Pasir silika** adalah bahan galian yang terdiri atas kristal-kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Dikenal juga dengan nama pasir putih, pasir silika merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan feldspar. Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang terendapkan di tepi-tepi sungai, danau, atau laut.

**Segregasi** adalah pengelompokan agregat yang homogen pada adukan beton, yaitu agregat kasar terpisah dengan agregat halus.

**Semen** adalah bahan perekat hidrolis-anorganik berbentuk bubuk halus yang mempunyai sifat pengikatan kimia (adhesif dan kohesif), dan dapat membentuk senyawa baru (pasta hingga padatan) bila direaksikan dengan air dalam waktu tertentu.

**Semen portland** adalah semen yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *clinker* yang mengandung senyawa kalsium, silikat, aluminat, dan ferit. Biasanya dicampurkan dengan bahan tambahan seperti gypsum.

**Sifat mekanik** adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima atau menahan gaya (beban), atom, atau struktur molekul yang berada dalam kesetimbangan.

**Silika nano** adalah material berukuran kurang dari 100 nm dan berasal dari hasil sintesis pasir silika.

**Superplasticizer** adalah bahan selain semen, agregat, dan air yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum atau selama pengadukan beton, untuk mengubah sifat beton sesuai dengan keinginan perencana.

**Ultra High Performance Concrete (UHPC)** adalah beton generasi baru berkarakteristik sebagai material yang sangat padat dengan kuat tekan yang mampu mencapai antara 150 MPa sampai dengan 250 MPa.

**Workability** adalah cara menentukan bahan-bahan yang memenuhi syarat dengan perbandingan yang baik; cara mencampur sampai *homogeny*; cara mengangkat adukan dan molen ke acuan tanpa mengubah susunan campuran beton segar; cara memadatkan yang baik pada acuan tanpa terjadi *segregasi/blooding* (pemisah air dari beton); cara memelihara/*curing* selama terjadi proses hidrasi atau pengerasan beton, yakni dengan melindungi beton melalui pembasahan dengan acuan selama 28 hari.



# DAFTAR SINGKATAN

- ASTM : *American Society for Testing and Materials*  
ACI : American Concrete Institute  
ARN : Agenda Riset Nasional  
CNT : *carbon nano-tube*  
EDS : *electron dispersion spectrometry*  
HPC : *high performance concrete*  
ITZ : *interfacial transition zone*  
KT : koefisien permeabilitas  
K3 : keselamatan dan kesehatan kerja  
LCC : *life cycle cost*  
MPa : Mega Pascal  
NS : nano silika  
OPC : *ordinary portland cement*  
PCE : *polycarboxylatehter*  
PCA : Portland Cement Association  
PTT : *permeability tester torrent*  
RCPT : *rapid chloride penetration testing*

SCC : *self compacting concrete*  
SP : *superplasticizer*  
SEM : *scanning electron microscope*  
SF : *silica fume*  
SSD : *saturated surface dry*  
UTM : *universal testing machine*  
UHPC : *ultra high performance concrete*  
XRF : *x-ray fluorescence*  
XRD : *x-ray diffraction*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Hasil Pengujian Agregat untuk Beton



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
 Jl. A. H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7802251/Fax : (022)7802726 BANDUNG 40294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN AGREGAT UNTUK BETON**  
**REPORT OF TESTING OF CONCRETE AGGREGATE**

BJBJ      Ag.K, Ag.H      02      050416

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A. H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Bandung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : 3 contoh uji  
 Diterima tanggal /Received date : 28 Juli 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 21 Oktober 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA	
Nomor Benda Uji/Sample Number	Agregat Halus
Sumber/Source	Bangka      Bangka (Adhi Karya)      Songgom (Ex.Sumedang)      Rumpin

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST								
Parameter yang diuji Parameter to be tested	Metoda Uji Test Method	Notasi Notation	Hasil Result				Spesifikasi Specification	
			Ag. Halus Fine Agg.	Ag. Kasar Coarse Agg.	Ag. Kasar Coarse Agg.	Ag. Kasar Coarse Agg.	Ag. Halus Fine Agg.	Ag. Kasar Coarse Agg.
<b>Analisis Saringan (Kumulatif lolos saringan)/ Sieve Analysis (Cumulative passing)</b>	<b>SNI ASTM C136:2012</b>		Bangka	Bangka (Adhi Karya)	Songgom (Ex. Sumedang)	Rumpin		
2 1/2" (63.5 mm)		%					-	-
2" (50.8 mm)		%					-	-
1 1/2" (38.1 mm)		%					-	-
1" (25.4 mm)		%					-	-
3/4" (19.1 mm)		%			100		-	-
5/8" (12.7 mm)		%			99.43	100	-	-
3/8" (9.5 mm)		%	100	100	54.50	81.32	-	-
No. 4 (4.75 mm)		%	99.37	99.72	1.28	4.42	-	-
No. 8 (2.36 mm)		%	94.53	95.43			-	-
No. 16 (1.18 mm)		%	81.18	76.70			-	-
No. 30 (0.60 mm)		%	57.88	44.80			-	-
No. 50 (0.425 mm)		%	22.56	20.84			-	-
No. 100 (0.15 mm)		%	5.79	5.81			-	-
No. 200 (0.075 mm)		%	0.48	0.91			-	-
Modulus Kehalusan/Finesness Modulus			2.39	2.57	6.38	5.92	-	-
Berat Jenis dan Penyerapan Air/ Specific Gravity and Water Absorption	"SNI 1969:2006 dan SNI 1970:2006							
BJ Kering/Dry SG			2.62	2.61	2.63		-	-
BJ Apparent/Apparent SG			2.66	2.64	2.77		-	-
BJ Jenuh Kering Permukaan/VSSD SG			2.64	2.62	2.68		-	-
Penyerapan Air/Water Absorption		%	0.48	0.54	2.01		-	-
Bobot Isi/Unit Weight	SNI 03-4804-1998							
Bobot Isi Lepas/Loose Unit Weight		kg/dm <sup>3</sup>					-	-
Bobot Isi Padat/Roaded Unit Weight		kg/dm <sup>3</sup>					-	-
Ketahanan Agregat Kasar Terhadap Keausan dengan Mesin Los Angeles/ Los Angeles Abrasion Test	SNI 2417:2008	%			18.39	24.37	-	-
Ketahanan Agregat Kasar Terhadap Tekanan/ Coarse Aggregate Crushing Test	BS-812	%					-	-
Gumpalan Lemping dan Butiran Mudah Pecah/ Clay Lumps and Friable Particles	SNI 03-4141-1996	%					-	-
Jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200/ Material passing no. 200 sieves	SNI 03-4142-1996	%					-	-
Kokohkan Bentuk agregat terhadap Larutan Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> / Soundness of Aggregate by Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Solution	SNI 3407:2008	%					-	-
Kotoran Organik/Organic Impurities	SNI 03-2816-1992	%					-	-
Butiran Pipih dan Panjang dalam Agregat Kasar/ Flaky and Elongated Particles in Coarse Aggregate	SNI 03-1765-1990	%			6.58	15.34	-	-
Kadar Air Agregat/Water Contents of Aggregate	SNI 1971-2011	%					-	-

**HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAKAN**

**Wakil Manajemen Puncak  
Balai Litbang Struktur Jembatan**

PUSAT PENELITIAN DAN  
PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

**Setyo Hardono, ST, MT**  
NIP. 19890901 199703 1 001

Catatan/Notes :

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan asuri yang diterima
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima
- Ditaring memberikan kembali atau menggendakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Balai Penelitian dan Pengembangan Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Lampiran 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7802251 Fax : (022)7802726 BANDUNG 40294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BATU**  
**REPORT OF COMPRESSIVE STRENGTH TESTING OF STONE**

BJBU
BL
07
050416

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A. H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Bandung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Kubus Batu 50 x 50 x 50 mm  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : 3 (Tiga) buah  
 Diterima tanggal /Received date : 05 April 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 20 Oktober 2016

No.Contoh Uji / Sample Number	DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA					HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST				Spesifikasi / Specification
	Kode Benda Uji / Specimen Code	Umur / Age, days	Dimensi/Dimension, mm			Luas Bidang / Area	Gaya Tekan / Load	Hasil / Result	Bentuk Kehancuran / Form of Destruction	
			Panjang/ Length, P	Lebar/ Width, L	Tinggi/ Depth, T	mm <sup>2</sup>	kN	MPa		
004/MTR/05/16	Batu Ex.Sumedang	-	50	50	50	2500	514.93	205.97	Kerucut	-
004/MTR/05/16	Batu Ex.Sumedang	-	50	50	50	2500	601.60	240.64	Kerucut	-
004/MTR/05/16	Batu Ex.Sumedang	-	50	50	50	2500	563.754	225.50	Kerucut	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

HANYA BERLAKU UNTUK  
 CONTOH YANG DIUJI  
 TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

**Wakil Manajemen Puncak**  
 Balai Litbang Struktur Jembatan



**Setyo Hartono, ST, MT**  
 NIP. 19690901 196703 1 001

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya.
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima.
- Persyaratan pengujian kuat tekan beton berdasarkan Pendekatan SNI 03-6825-2002.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menerbitkan kembali atau menggandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



# Lampiran 4. Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NSO)



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
 Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7802251 Fax : (022)7802726 BANDUNG 40294 e-mail : info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON**  
**REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS**

BJBJ	RCB	04-A	010916
------	-----	------	--------

Pengguna Jasa/Request from : Balai Lintang Struktur Jembatan  
 Ji. A.H. Nasution No. 264 Kolak Pos 2 Ujung Berung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : -  
 Diterima tanggal /Received date : 1 September 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 27 Oktober 2016

---

**DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA**

Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg	Ag. Kasar/Coarse Agg
Sumber/Source	0 %	OPC	Ex Bangka ( Adhi Karya)	Ex Sumedang (Songgom)

---

**HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST**

Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value
Kuat Tekan yang disyaratkan/Specified Strength	70	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	Silinder/Cylinder	Slump tercapai
Deviasi Standar / Standard Deviation	-	-
Faktor pengali Standar Deviasi	-	Flow
Nilai Tambah Margan	-	Bobot isi Beton/Unit Weight
Kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	70	Kadar Udara/Air Content
Jenis semen/Type of Cement	OPC	-
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Kasar/Coarse	Batu pecah/Crushed Rock	Waktu Pengikatan Beton
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Halus/Fine	Pasir Alam/Natural Sand	- Awal
Faktor Air-Semen bebas/W/C.F	0,3	- Akhir
Slump	75-100	-
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size	10	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:
Kadar Air bebas/Free Water Content	178	-Umur 1 hari
Jumlah Semen/Bonus/Amount of Cement/Bonus	600	-Umur 3 hari
Susunan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph	No. 2	-Umur 7 hari
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Fineness Modulus of Fine Aggregate	2,57	-Umur 14 hari
Persentase agregat halus/Percentage of Fine Aggregate	53	-Umur 28 hari
Berat Jenis Agregat Kasar $\rho_{sk}$ /Specific gravity of Coarse Aggregate $\rho_{sk}$	2,68	-Umur 56 hari
Berat Jenis Agregat Halus $\rho_{sk}$ /Specific gravity of Fine Aggregate $\rho_{sk}$	2,62	Indeks Permeabilitas / Permeability index
Berat jenis relatif agregat gabungannya/Aggregate Relative Density	-	-
Berat isi beton / Wet Density of Concrete	2351	-
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate	1550	-
Kadar agregat halus $\rho_{sk}$ / Contents of Fine Aggregate $\rho_{sk}$	823	-
Kadar agregat kasar $\rho_{sk}$ / Contents of Coarse Aggregate $\rho_{sk}$	727	-
Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( l m <sup>3</sup> )		
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>
- Semen/Portland Cement (PC)	600 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder)
- Air / Water	178 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer)
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	823 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator)
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	727 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu terbang/Flyash
		- Mikrosilika/Silicafumas
		- Nanosilika

Wakil Manajemen Puncak  
 Balai Lintang Struktur Jembatan



**Setyo Hardono, ST, MT**  
 NIP. 19690901 199703 1 001

HANYA BERLAKU UNTUK  
 CONTOH YANG DIUJI  
 TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.
- Proporsi campuran yang ditunjukkan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran disesuaikan sampai kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Ditangr menerbilkan kembali atau mengandikan laporan ini sebagai satu seluruhnya tanpa persetujuan dan Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Petirang Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Lampiran 5. Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS3)

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN				
Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7802251 Fax : (022)7802278 BANDUNG 40294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id				
<b>LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS</b>				
B.J.B.J		RCB	04-B	010916
Pengguna Jasa/Request from	: Balai Litbang Struktur Jembatan Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016			
Jenis Contoh Uji/Type of Sample	: Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen			
Jumlah Contoh/Amount of Samples	: -			
Diterima tanggal/Received date	: 1 September 2016			
Selesai tanggal/Finished date	: 27 Oktober 2016			
<b>DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA</b>				
Nomor Benda Uji/Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg.	Ag. Kasar/Coarse Agg.
Sumber/Source	3 %	OPC	Ex Bangka (Adhi Karya)	Ex Sumedang (Songgom)
<b>HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST</b>				
<b>Parameter/Parameters</b>		<b>Nilai Perencanaan / Designed Value</b>	<b>Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value</b>	
Kuat Tekan yang disyaratkan/Specified Strength		70 MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/ter (Silinder/Cylinder)		Silinder/Cylinder	Slump tercapai	
Deviasi Standar / Standard Deviation		-	-	
Faktor pengali Standar Deviasi		-	Flow	
Nilai Tambah/ Margin		-	600 mm	
Kekuatan rata-rata yang disyaratkan/Target Strength		70 MPa	Bobot isi Beton/Unit Weight	
Jenis semen/Type of cement		OPC	2,39 kg/m <sup>3</sup>	
Jenis Agregat / Type of Aggregates: Kasar/Coarse		Batu pecah/Crushed Rock	Kadar Udara/Air Content	
Halus/Fine		Pasir Alam/Natural Sand	-	
Faktor Air-Semen bebas/W.C.F		0,3	Waktu Pengikatan Beton	
Slump		75-100 mm	- Awal	
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size		10 mm	-	
Kadar Air bebas/Free Water Content		17% Kg/m <sup>3</sup>	- Akhir	
Jumlah Semenitious/Amount of Cementitious		800 Kg/m <sup>3</sup>	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:	
Sisuan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph		No. 2	-Umur 1 hari	
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate		2,57	-	
Persen agregat halus/Percentage of Fine Aggregate		53 %	-Umur 3 hari	
Berat Jenis Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )/Specific gravity of Coarse Aggregate (ssd)		2,68	-	
Berat Jenis Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )/Specific gravity of Fine Aggregate (ssd)		2,62	-Umur 7 hari	
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density		-	78,91 MPa	
Berat isi beton / Wet Density of Concrete		2331 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 14 hari	
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate		1547 Kg/m <sup>3</sup>	-	
Kadar agregat halus (kg/m <sup>3</sup> ) / Contents of Fine Aggregate (ssd)		820 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 28 hari	
Kadar agregat kasar (kg/m <sup>3</sup> ) / Contents of Coarse Aggregate (ssd)		727 Kg/m <sup>3</sup>	-	
Proporsi campuran / Proportion of mixture: ( l m <sup>3</sup> )			-Umur 56 hari	
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>			Indeks Permeabilitas / Permeability Index	
- Semen/Portland Cement (PC)	582 Kg/m <sup>3</sup>		-	
- Air / Water	179 Kg/m <sup>3</sup>		-	
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	820 Kg/m <sup>3</sup>		-	
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	727 Kg/m <sup>3</sup>		-	
<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>			-	
- Admixture 1 (retarder)	-		-	
- Admixture 2 (superplastisizer)	9,9 Kg/m <sup>3</sup>		-	
- Admixture 3 (accelerator)	-		-	
- Abu terbang/Flyash	-		-	
- Mikrosilika/Silicafumes	-		-	
- Nanosilika	18 Kg/m <sup>3</sup>		-	
 <p>Wakil Manajemen Puncak Balai Litbang Struktur Jembatan</p> <p>Setyo Hardono, ST.MT NIP. 19890901 199703 1 001</p>				
<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>HANYA BERLAKU UNTUK CONTOH YANG DIUJI TIDAK BOLEH DIGANDAKAN</p> </div>				
<b>Catatan/Notes :</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya</li> <li>- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima</li> <li>- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.</li> <li>- Proporsi campuran yang diujikan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran disesuaikan terhadap hasil uji (mixture control) agregat.</li> <li>- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.</li> <li>- Dilarang menyalin kembali atau menggunakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.</li> </ul>				

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Lampiran 6. Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS5)

	<b>KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT</b>			
	<b>BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN</b>			
<b>PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN</b>				
<small>Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Barung Tlp(022) 7802251 Fax : (022)7802726 BANDUNG 40294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id</small>				
<b>LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON</b>				
<b>REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS</b>				
BJB		RCB		
04-C		010916		
Pengguna Jasa/Request from :	Balai Litbang Struktur Jembatan			
Jenis Contoh Uji/Type of Sample :	Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Barung			
Jumlah Contoh/Amount of Samples :	Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016			
Diterima tanggal /Received date :	Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen			
Selesai tanggal/Finished date :	1 September 2016			
	27 Oktober 2016			
<b>DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA</b>				
Nomor Benda Uji/ Sample Number :	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg.	Ag. Kasar/Coarse Agg.
Sumber/Source :	5 %	OPC	Ex Bangka ( Adhi Karya)	Ex Sumedang (Songgom)
<b>HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST</b>				
<b>Parameter/Parameters</b>		<b>Nilai Perencanaan / Designed Value</b>	<b>Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value</b>	
Kuat Tekan yang dinyatakan/Specified Strength		70 MPa/28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/ (Silinder/Cylinder)		Silinder/Cylinder	Slump tercapai	
Deviasi Standar / Standard Deviation		-	220 mm	
Faktor pengali Standar Deviasi		-	Flow	
Nilai Tambah/ Margin		-	Bobot isi Beton/Unit Weight	
Kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength		70 MPa	Kadar Udara/Air Content	
Jenis semen/Type of Cement		OPC	-	
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Kasar/Coarse		Batu pecah/Crushed Rock	Waktu Pengikatan Beton	
Halus/Fine		Pasir Alam/Natural Sand	- Awal	
Faktor Air-Semen bebas/W.C.F		0.3	- Akhir	
Slump		75-100 mm	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:	
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size		10 mm	- Umur 1 hari	
Kadar Air bebas/Free Water Content		17% Kg/m <sup>3</sup>	- Umur 3 hari	
Jumlah Semen/Amount of Cementitious		600 Kg/m <sup>3</sup>	- Umur 7 hari	
Sisuan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph		No. 2	- Umur 14 hari	
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate		2.57	- Umur 28 hari	
Persen agregat halus/Percentage of Fine Aggregate		53 %	- Umur 56 hari	
Berat Jenis Agregat Kasar (w <sub>ca</sub> )/Specific gravity of Coarse Aggregate (s <sub>ca</sub> )		2.68	Indeks Permeabilitas / Permeability Index	
Berat Jenis Agregat Halus (w <sub>ca</sub> )/Specific gravity of Fine Aggregate (s <sub>ca</sub> )		2.62	-	
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density		-	-	
Berat isi beton / Wet Density of Concrete		2341 Kg/m <sup>3</sup>	-	
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate		1549 Kg/m <sup>3</sup>	-	
Kadar agregat halus (w <sub>ca</sub> ) / Contents of Fine Aggregate (s <sub>ca</sub> )		522 Kg/m <sup>3</sup>	-	
Kadar agregat kasar (w <sub>ca</sub> ) / Contents of Coarse Aggregate (s <sub>ca</sub> )		727 Kg/m <sup>3</sup>	-	
Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( l / m <sup>3</sup> )			-	
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>			<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>	
- Semen/Portland Cement (PC)		570 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder)	
- Air / Water		179 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer)	
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)		822 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator)	
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)		727 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu terbang/Flyash	
			- Mikrosilika/Silicafumes	
			- Nanosilika	
			30 Kg/m <sup>3</sup>	

Wakil Manajemen Puncak  
Balai Litbang Struktur Jembatan



**Setyo Hartono, ST, MT**  
NIP. 16690601 198703 1 001

HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.
- Proporsi campuran yang ditunjukkan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran dikoreksi terhadap kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menyalin kembali atau mengandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Lampiran 7. Hasil Perancangan Campuran Beton 100 MPa (NSO)



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
 Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tip(022) 780235 | Fax : (022)7802728 BANDUNG 40294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON**  
**REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS**

B.J.B.J
RCB
04-D
010916

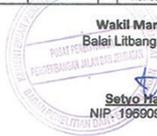
Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : -  
 Diterima tanggal /Received date : 1 September 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 27 Oktober 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA			
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg.
Sumber/Source	0 %	OPC	Ex Bengka ( Adhi Karya) Ex Sumedang (Songgom)

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST		
Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value
Kuat Tekan yang disyaratkan/Specified Strength	100 MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	Silinder/Cylinder	Slump tercapai
Deviasi Standar / Standard Deviation	- MPa	Flow
Faktor pengali Standar Deviasi	-	Bobot Isi Beton/Unit Weight
Nilai Tambah/ Margin	- MPa	Bobot Isi Beton/Air Content
kekakuan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	100 MPa	Waktu Pengikatan Beton
Jenis semen/ Type of Cement	OPC	- Awal
Jenis Agregat / Type of Aggregate : Kasar/Coarse	Batu pecah/Crushed Rock	- Akhir
Jenis Agregat / Type of Aggregate : Halus/Fine	Pasir Alam/Natural Sand	Kuat Tekan Rata-rata/ Average Compressive Strength:
Faktor Air-Semen bebas/W.C.F	0,23	-Umur 1 hari
Slump	75-100 mm	-Umur 3 hari
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size	10 mm	-Umur 7 hari
Kadar Air bebas/Free Water Content	161 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 14 hari
Jumlah Semantituous/Amount of Cementitious	700 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 28 hari
Susunan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph	No. 2	-Umur 56 hari
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate	2,57	Indeks Permeabilitas / Permeability index:
Persentase agregat halus/Percentage of Fine Aggregate	49 %	-
Berat Agregat Kasar (w <sub>sk</sub> )/Specific gravity of Coarse Aggregate (ess)	2,68	-
Berat Jenis Agregat Halus (w <sub>sk</sub> )/Specific gravity of Fine Aggregate (ess)	2,82	-
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density	-	-
Berat isi beton / Wet Density of Concrete	2357 Kg/m <sup>3</sup>	-
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate	1494 Kg/m <sup>3</sup>	-
Kadar agregat halus / Contents of Fine Aggregate (ess)	736 Kg/m <sup>3</sup>	-
Kadar agregat kasar (w <sub>sk</sub> ) / Contents of Coarse Aggregate (ess)	758 Kg/m <sup>3</sup>	-
<b>Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( l / m<sup>3</sup> )</b>		
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>
- Semen/Portland Cement (PC)	700 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder)
- Air / Water	161 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer)
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	736 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator)
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	758 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu terbang/Flyash
		- Mikrosilika/Silicalumes
		- Nanosilika

Wakil Manajemen Puncak  
Balai Litbang Struktur Jembatan



**Setyo Hardono, ST.MT**  
NIP. 19690901 199703 1 001

HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima
- Perencanaan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2634-2000.
- Proporsi campuran yang ditunjukkan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan, campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran dikoreksi terhadap kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menyalin kembali atau mengandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Lampiran 8. Hasil Perancangan Campuran Beton 100 MPa (NS3)



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
 Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7902251Fax : (022)7902726 BANDUNG 40204 e-mail info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON**  
**REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS**

**BJBJ      RCB      04-E      010916**

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples :  
 Diterima tanggal /Received date : 1 September 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 27 Oktober 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA				
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg.	Ag. Kasar/Coarse Agg.
Sumber/Source	3 %	OPC	Ex Bangka ( Adhi Karya)	Ex Sumedang (Gonggong)

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST			
Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value	
Kuat Tekan yang diwajibkan/Specified Strength	100 MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	Silinder/Cylinder	Slump tercapai	200 mm
Deviiasi Standar / Standard Deviation	-	Flow	- mm
Faktor pensial Standar Deviasi	-	Bobot isi Beton/Unit Weight	2.39 kg/m <sup>3</sup>
Nilai Tambah Margin	-	Kadar Udara/Air Content	- %
kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	100 MPa	Waktu Pengikatan Beton	- awal - Akhir
Jenis semen/Type of Cement	OPC	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:	- Umur 1 hari - Umur 3 hari - Umur 7 hari - Umur 14 hari - Umur 28 hari - Umur 56 hari
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Kasar/Coarse Halus/Fine	Batu pecah/Crushed Rock Pasir Alam/Natural Sand	Indeks Permeabilitas / Permeability Index	-
Faktor Air-Semen bebas/W/C.F	0.23		
Slump	75-100 mm		
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size	10 mm		
Kadar Air bebas/Free Water Content	161 Kg/m <sup>3</sup>		
Jumlah Semenitious/Amount of Cementitious	700 Kg/m <sup>3</sup>		
Susunan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph	No. 2		
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate	2.57		
Persentase agregat halus/Percentage of Fine Aggregate	49 %		
Berat Jenis Agregat Kasar $\rho_{s1}$ /Specific gravity of Coarse Aggregate $\rho_{s1}$	2.68		
Berat Jenis Agregat Halus $\rho_{s2}$ /Specific gravity of Fine Aggregate $\rho_{s2}$	2.62		
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density	-		
Berat isi beton / Wet Density of Concrete	2368 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate	1501 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat halus $\rho_{ca}$ / Contents of Fine Aggregate $\rho_{ca}$	743 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat kasar $\rho_{cs}$ / Contents of Coarse Aggregate $\rho_{cs}$	758 Kg/m <sup>3</sup>		
Proporsal campuran /Proportion of mixture: ( l / m <sup>3</sup> )			
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>	
- Semen/Portland Cement (PC)	679 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder)	- Kg/m <sup>3</sup>
- Air / Water	181 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer)	5.6 Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	743 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator)	- Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	758 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu terdamp/Flyash	- Kg/m <sup>3</sup>
		- Mikrosilika/Silicalumes	- Kg/m <sup>3</sup>
		- Nanosilika	21 Kg/m <sup>3</sup>

Wakil Manajemen Puncak  
Balai Litbang Struktur Jembatan



**Setyo Hardono, ST, MT**  
NIP. 19930901 199703 1 001

HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

**Catatan/Notes :**

- Perencanaan benda uji mengikut perancangan pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2634-2000.
- Proporsal campuran yang diujikan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsal campuran dikoreksi terhadap kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menyalin kembali atau menggunakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Lampiran 9. Hasil Perancangan Campuran Beton 100 MPa (NS5)



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
 Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7802251Fax : (022)7802726 BANDUNG 46294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON**  
**REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS**

B.J.B.J	RCB	04-F	010916
---------	-----	------	--------

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : -  
 Diterima tanggal/Received date : 1 September 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 27 Oktober 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA			
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg.
Sumber/Source	5 %	OPC	Ex Bangka ( Adhi Karya) Ex Sumedang (Songgom)

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST			
Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value	
Kuat Tekan yang disyaratkan/Specified Strength	100 MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	Slinder/Cylinder	Slump tercapai	20 mm
Deviasi Standar / Standard Deviation	- MPa	Flow	- mm
Faktor pengali Standar Deviasi	-	Bobot isi Beton/Unit Weight	2,37 kg/m <sup>3</sup>
Nilai Tambah Margin	- MPa	Kadar Udara/Air Content	- %
kekakuan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	100 MPa	Waktu Pengikatan Beton	
Jenis semen/Type of Cement	OPC	- Awal	- menit
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Kasar/Coarse Halus/Fine	Batu pecah/Crushed Rock Pasir Alam/Natural Sand	- Akhir	- menit
Faktor Air-Semen bebas/W/C.F	0,23	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:	
Slump	75-100 mm	-Umur 1 hari	- MPa
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size	10 mm	-Umur 3 hari	- MPa
Kadar Air bebas/Free Water Content	161 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 7 hari	85,16 MPa
Jumlah Semenitious/Amount of Cementitious	700 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 14 hari	94,85 MPa
Susunan besar butir agregat halus/fine aggregate composition graph	No. 2	-Umur 28 hari	94,46 MPa
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate	2,57	-Umur 56 hari	100,93 MPa
Persentase halus/Percentage of Fine Aggregate	49 %	Indeks Permeabilitas / Permeability Index:	-
Berat Jenis Agregat Kasar $\rho_{sp}$ /Specific gravity of Coarse Aggregate $\rho_{so}$	2,68		
Berat Jenis Agregat Halus $\rho_{sp}$ /Specific gravity of Fine Aggregate $\rho_{so}$	2,82		
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density	-		
Berat isi beton / Wet Density of Concrete	2371 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate	1496 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat halus $\rho_{ca}$ / Contents of Fine Aggregate $\rho_{so}$	738 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat kasar $\rho_{ca}$ / Contents of Coarse Aggregate $\rho_{so}$	758 Kg/m <sup>3</sup>		
Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( l / m <sup>3</sup> )			
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>	
- Semen/Portland Cement (PC)	679 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder)	- Kg/m <sup>3</sup>
- Air / Water	161 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer)	14,7 Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	743 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator)	- Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	758 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu terbang/flyash	- Kg/m <sup>3</sup>
		- Mikrosilika/Silicafumes	- Kg/m <sup>3</sup>
		- Nanosilika	35 Kg/m <sup>3</sup>

Wakil Manajemen Puncak  
Balai Litbang Struktur Jembatan



**Setyo Hartono, ST, MT**  
NIP. 19690901 199703 1 001

HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAkan

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Date benda uji berdasarkan surat yang diterima
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 05-2834-2000.
- Proporsi campuran yang dilakukan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran dikoreksi terhadap kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menyalin kembali atau menggunakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Lampiran 10. Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NS5 komersil)



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
Jl. A.H. Nasution No.264 Ujung Berung Tlp(022) 7602251/Fax : (022)7802726 BANDUNG 40294 e-mail info@puj.jatim.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON**  
**REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS**

BUBJ
RCB
04-G
010916

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : :  
 Diterima tanggal /Received date : 1 September 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 27 Oktober 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA			
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg.
Sumber/Source	5 %	OPC	Ex Bangka ( Adhi Karya), Ex Sumedang (Songgom)

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST			
Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value	
Kuat Tekan yang diyaratkan/Specified Strength	70 MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	Silinder/Cylinder	Sumo tercapai	0 mm
Deviasi Standar / Standard Deviation	- - MPa	Flow	- mm
Faktor pengali Standar Deviasi	- - MPa	Bobot isi Beton/Unit Weight	- kg/m <sup>3</sup>
Nilai Tambah/ Margin	- - MPa	Kadar Udara/Air Content	- %
kekuatan rata-rata yang diargetkan/Target Strength	70 MPa	Waktu Pengikatan Beton	
Jenis semen/Type of Cement	OPC	- Awal	- menit
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Kasar/Coarse Halus/Fine	Batu pecah/Crushed Rock Pasir Alam/Natural Sand	- Akhir	- menit
Faktor Air-Semen bebas/W.C.F	0,3	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:	
Slump	75-100 mm	-Umur 1 hari	- MPa
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size	10 mm	-Umur 3 hari	- MPa
Kadar Air bebas/Free Water Content	180 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 7 hari	74,98 MPa
Jumlah Semenitious/Amount of Cementitious	600 Kg/m <sup>3</sup>	-Umur 14 hari	73,48 MPa
Susunan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph	No. 2	-Umur 28 hari	77,34 MPa
Modulus Kekakuan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate	2,57	-Umur 56 hari	83,62 MPa
Persentase agregat halus/Percentage of Fine Aggregate	35 %	Indeks Permeabilitas / Permeability Index	-
Berat Jenis Agregat Kasar $\rho_{sp}$ /Specific gravity of Coarse Aggregate (aso)	2,68		
Berat Jenis Agregat Halus $\rho_{sp}$ /Specific gravity of Fine Aggregate (aso)	2,62		
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density	-		
Berat isi beton / Wet Density of Concrete	2514 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate	1722 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat halus $\rho_{ca}$ / Contents of Fine Aggregate (aso)	603 Kg/m <sup>3</sup>		
Kadar agregat kasar $\rho_{ca}$ / Contents of Coarse Aggregate (aso)	1119 Kg/m <sup>3</sup>		
Proporsal campuran /Proportion of mixture: ( l / m <sup>3</sup> )			
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>	
- Semen/Portland Cement (PC)	570 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder)	- Kg/m <sup>3</sup>
- Air / Water	180 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer)	12 Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	603 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator)	- Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	1119 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu Terbang/Flyash	- Kg/m <sup>3</sup>
		- Mikrosilika/Silica fumes	- Kg/m <sup>3</sup>
		- Nanosilika	30 Kg/m <sup>3</sup>

HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

Wakil Manajemen Puncak  
Balai Litbang Struktur Jembatan



**Setyo Hartono, ST, MT**  
NIP. 19690901 199703 1 001

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.
- Proporsi campuran yang ditunjukkan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan, campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran dikoreksi terhadap kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menyalin kembali atau menggunakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelelang Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Lampiran 11. Hasil Perancangan Campuran Beton 70 MPa (NSO)



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
Jl. A.H. Nasution No.204 Ujung Berung Tlp(022) 7602291 Fax : (022)7802726 BANDUNG 40294 e-mail info@pusjatan.pu.go.id



**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN BETON**  
**REPORT OF CALCULATION OF CONCRETE PROPORTIONS**

BJJB
RCB
05-A
051016

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung 40294  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Ag. Halus, Ag. Kasar, Semen, Nanosilika  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : -  
 Diterima tanggal/Received date : 05 Oktober 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 06 Desember 2016

**DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA**

Nanosilika	Semen/Cement	Ag. Halus/Fine Agg	Ag. Kasar/Coarse Agg
Nomor Benda Uji/ Sample Number			
Sumber/Source	0 %	OPC	Ex Bangka ( Adhi Karya) / Ex Sumedang (Songgom)

**HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST**

Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value
Kuat Tekan yang diisyaratkan/Specified Strength	70 MPa@28 days	<p><b>Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete</b></p> <p>Slump tercapai - mm</p> <p>Flow 700 mm</p> <p>Bobot isi Beton/Unit Weight 2.41 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Kadar Udara/Air Content - %</p> <p><b>Waktu Pengikatan Beton</b></p> <p>- Awal - menit</p> <p>- Akhir - menit</p> <p><b>Kuat Lentur Rata-rata / Average Flexural Strength:</b></p> <p>-Umur 3 hari - MPa</p> <p>-Umur 7 hari - MPa</p> <p>-Umur 14 hari - MPa</p> <p>-Umur 34 hari 7.76 MPa</p> <p>-Umur 56 hari - MPa</p> <p><b>Indeks Permeabilitas / Permeability Index</b></p> <p>-</p>
Kuat Lentur yang diisyaratkan/Specified Flexural Strength	7 MPa@28 days	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen	Balok/Beam	
Deviasi Standar / Standard Deviation	- MPa	
Faktor pengali Standar Deviasi	-	
Nilai Tambah/ Margin	-	
kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	70 MPa	
Jenis semen/Type of Cement	OPC	
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Kasar/Coarse	Batu pecah/Crushed Rock	
Jenis Agregat / Type of Aggregates : Halus/Fine	Pasir Alam/Natural Sand	
Faktor Air-Semen bebas/W.C.F	0.3	
Slump	75-100 mm	
Ukuran Agregat maksimum/Max. Aggregate size	10 mm	
Kadar Air bebas/Free Water Content	179 Kg/m <sup>3</sup>	
Jumlah Semenitious/Amount of Cementitious	600 Kg/m <sup>3</sup>	
Susunan besar butir agregat halus/Fine aggregate composition graph	No. 2	
Modulus Kehalusan Agregat Halus/Finesness Modulus of Fine Aggregate	2.57	
Persen agregat halus/Percentage of Fine Aggregate	-	
Berat Jenis Agregat Kasar (ρ <sub>sk</sub> )/Specific gravity of Coarse Aggregate (SSD)	2.68	
Berat Jenis Agregat Halus (ρ <sub>sk</sub> )/Specific gravity of Fine Aggregate (SSD)	2.62	
Berat jenis relatif agregat gabungan/Aggregate Relative Density	-	
Berat isi beton / Wet Density of Concrete	2331 Kg/m <sup>3</sup>	
Kadar agregat gabungan / Contents of Combined Aggregate	1650 Kg/m <sup>3</sup>	
Kadar agregat halus (ρ <sub>sk</sub> )/ Contents of Fine Aggregate (SSD)	823 Kg/m <sup>3</sup>	
Kadar agregat kasar (ρ <sub>sk</sub> )/ Contents of Coarse Aggregate (SSD)	727 Kg/m <sup>3</sup>	
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>	<b>Proporsi campuran (Proportion of mixture: ( / m<sup>3</sup> )</b>	<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>
- Semen/Portland Cement (PC)	600 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 1 (retarder) - Kg/m <sup>3</sup>
- Air / Water	179 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 2 (superplasticizer) 1.7 Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat halus (JKP) / Fine Aggregate (SSD)	823 Kg/m <sup>3</sup>	- Admixture 3 (accelerator) - Kg/m <sup>3</sup>
- Agregat kasar (JKP) / Coarse Aggregate (SSD)	727 Kg/m <sup>3</sup>	- Abu terbang/Flyash - Kg/m <sup>3</sup>
		- Mikrosilika/Silicafumes - Kg/m <sup>3</sup>
		- Nanosilika - Kg/m <sup>3</sup>

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya
- Data benda uji berdasarkan surti yang diterima
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.
- Proporsi campuran yang ditunjukkan berdasarkan kondisi di laboratorium, untuk penggunaan di lapangan campuran percobaan lapangan (field trial mix) harus dibuat dan proporsi campuran disesuaikan terhadap kadar air (moisture content) agregat.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Ditangr menribkan kembali atau mengandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Petengkap Jalan.

**HANYA BERLAKU UNTUK CONTOH YANG DIUJI**

**TIDAK BOLEH DIGANDAKAN**



**Wakil Manajemen Puncak**  
**Balai Litbang Struktur Jembatan**  
**Setyo Hardono, ST, MT**  
 NP. 19690901 199703 1 001

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Lampiran 12. Hasil Perancangan Campuran Mortar -1



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
 J.L.A.H. Nasution No.264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Tlp.(022) 7822251 Fax : (022)7802729 Bdg. 40294 e-mail: info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN MORTAR**  
**REPORT OF CALCULATION OF MORTAR PROPORTIONS**

BJBJ
RCM
01-B
010316

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Bandung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Nanosilika, Semen dan Agregat Halus  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : -  
 Diterima tanggal /Received date : 29 Februari 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 08 November 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA			
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement (PC)	Ag. Halus/Fine Agg.
Sumber/Source	Ex. BBK	OPC	Ex. Muntlari

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST			
Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value	
Kuat Tekan yang disyaratkan/Specified Strength	-	MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	-	Kubus/Cube	Slump tercapai
Deviasi Standar / Standard Deviation	-	MPa	Flow
Faktor pengali Standar Deviasi	-	MPa	Bobot isi /Unit Weight
Nilai Tambah Margin	-	MPa	Kadar Udara/Air Content
kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	-	MPa	Waktu Pengikatan
Jenis semen/Type of Cement	-	OPC	- Awal
Faktor Air-Semen W/C.F	-	0.25	- Akhir
Peresapan agregat halus	-	1.37	-
Perbandingan antara sementibus dan pasir	-	1 : 1.2	-
Kadar sementibus / Contents of cementitious	2100	g	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:
Kadar agregat halus (berat oven) / Contents of Fine Aggregate (oven dry)			- Umur 1 hari
- Tertahan No. 8	113.1	g	- Umur 3 hari
- Tertahan No. 16	334.4	g	- Umur 7 hari
- Tertahan No. 30	892.8	g	- Umur 14 hari
- Tertahan No. 50	904.7	g	- Umur 28 hari
- Tertahan No. 100	249.7	g	- Umur 56 hari
- Tertahan No. 200	24.2	g	- Umur 90 hari
- Tertahan Pan	1.0	g	
Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( per 1 sak semen )			
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>	
- Semen/Portland Cement (PC)	50	kg	- Admixture 1 (retarder)
- Agregat halus (berat oven) / Fine Aggregate (oven dry)			- Admixture 2 (superplasticizer)
- Tertahan No. 8	2.693	kg	- Admixture 3 (accelerator)
- Tertahan No. 16	7.982	kg	- Abu terbang/Flyash
- Tertahan No. 30	21.268	kg	- Mikrosilika/SilicaFumes
- Tertahan No. 50	21.541	kg	- Nanosilika
- Tertahan No. 100	5.046	kg	
- Tertahan No. 200	0.576	kg	
- Tertahan Pan	0.024	kg	

**Wakil Manajemen Puncak**  
**Balai Litbang Struktur Jembatan**  
 PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
 JALAN DAN JEMBATAN



**Setyo Hardono, ST, MT**  
 NIP. 19690901 199703 1 001

HANYA BERLAKU UNTUK  
 CONTOH YANG DIUJI  
 TIDAK BOLEH DIGANDAKAN

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya.
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima.
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan permintaan dari Pelanggan.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menerbitkan kembali atau menggandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## Lampiran 13. Hasil Perancangan Campuran Mortar - 2

	<b>KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT</b> <b>BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN</b> <b>PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN</b> <small>J.L.A.H. Nasution No.264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Tlp.(022) 7802251 Fax: (022)7802728 Bdg. 40294 e-mail: info@pusjajtan.pu.go.id</small>		
	<b>LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN MORTAR</b> <b>REPORT OF CALCULATION OF MORTAR PROPORTIONS</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>BJBJ</span> <span>RCM</span> <span>01-C</span> <span>010316</span> </div>			
Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan J.L.A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Bandung		Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016 Jumlah Contoh/Amount of Samples : Nanosilika, Semen dan Agregat Halus Diterima tanggal /Received date : 29 Februari 2016 Selesai tanggal/Finished date : 08 November 2016	
<b>DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA</b>			
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement (PC)	Ag. Halus/Fine Agg.
Sumber/Source	Ex. BBK	OPC	Ex. Muntian
<b>HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST</b>			
<b>Parameter/Parameters</b>		<b>Nilai Perencanaan / Designed Value</b>	<b>Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value</b>
Kuat Tekan yang diwajibkan/Specified Strength		- MPa@28 days	Sifat Beton Segar/Fresh properties of Concrete
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/ or (Silinder/Cylinder)		- Kubus/Cube	Slump tercapai
Deviiasi Standar / Standard Deviation		-	Flow
Faktor pengali Standar Deviasi		-	Bobot isi /Unit Weight
Nilai Tambah Margin		- MPa	Kadar Udara/Air Content
kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength		- MPa	Waktu Pengikatan
jenis semen/Type of Cement		- OPC	- Awal
Faktor Air-Semen /W.C.F		0.3	- Akhir
Peresapan agregat halus		1.37	-
Perbandingan antara semen/beton dan pasir		1 : 1.2	-
Kadar agregat halus (testing oven) / Contents of Fine Aggregate (oven dry)		2100 g	Kuat Tekan Rata-rata / Average Compressive Strength:
- Tertahan No. 8	113.1 g		- Umur 1 hari
- Tertahan No. 16	334.4 g		- Umur 3 hari
- Tertahan No. 30	892.8 g		- Umur 7 hari
- Tertahan No. 50	504.7 g		- Umur 14 hari
- Tertahan No. 100	249.7 g		- Umur 28 hari
- Tertahan No. 200	24.2 g		- Umur 56 hari
- Tertahan Pan	1.0 g		- Umur 90 hari
<b>Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( per 1 sak semen )</b>			
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>		<b>Bahan Tambah/Admixture :</b>	
- Semen/Portland Cement (PC)	50 kg	- Admixture 1 (retarder)	- kg/m <sup>3</sup>
- Agregat halus (testing oven) / Fine Aggregate (oven dry)		- Admixture 2 (superplasticizer)	2 %
- Tertahan No. 8	2.693 kg	- Admixture 3 (coccolerator)	- kg/m <sup>3</sup>
- Tertahan No. 16	7.962 kg	- Abu terbang/Flyash	- kg/m <sup>3</sup>
- Tertahan No. 30	21.258 kg	- Mikrosilika/Silicafumes	- kg/m <sup>3</sup>
- Tertahan No. 50	21.541 kg	- Nanosilika	5 %
- Tertahan No. 100	5.546 kg	-	-
- Tertahan No. 200	0.576 kg	-	-
- Tertahan Pan	0.024 kg	-	-




**Wakil Manajemen Puncak**  
**Balai Litbang Struktur Jembatan**  
**Setyo Hardono, ST, MT**  
 NIP. 19690901 199703 1 001

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya.
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima.
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan permintaan dari Pelanggan.
- Metode pengujian dengan menggunakan bor.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diterima.
- Dilarang menerbitkan kembali atau menggandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Lampiran 14. Hasil Perancangan Campuran Mortar - 3



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN**  
**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**  
Jl. A.H. Nasution No.264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Tlp.(022) 7802251 Fax : (022)7802726 Bldg. 40294 e-mail: info@pusjatan.pu.go.id

---

**LAPORAN HASIL PERANCANGAN CAMPURAN MORTAR**  
**REPORT OF CALCULATION OF MORTAR PROPORTIONS**

BJBJ
RCM
01-D
010316

Pengguna Jasa/Request from : Balai Litbang Struktur Jembatan  
 Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujung Berung Bandung  
 Paket Kerja Teknologi Nano untuk Konstruksi Beton 2016

Jenis Contoh Uji/Type of Sample : Nanosilika, Semen dan Agregat Halus  
 Jumlah Contoh/Amount of Samples : -  
 Diterima tanggal /Received date : 29 Februari 2016  
 Selesai tanggal/Finished date : 08 November 2016

DATA CONTOH UJI/SAMPLE DATA			
Nomor Benda Uji/ Sample Number	Nanosilika	Semen/Cement (PC)	Ag. Halus/Fine Agg.
Sumber/Source	Ex. HDKN	OPC	Ex. Muntitan

HASIL PENGUJIAN/RESULT OF TEST			
Parameter/Parameters	Nilai Perencanaan / Designed Value	Nilai Lainnya yang diamati / Other Observed Value	
Kuat Tekan yang diwajibkan/Specified Strength	-	MPa/28 days	
Jenis Benda Uji/Type of Specimen (Kubus/Cube) atau/or (Silinder/Cylinder)	-	Kubus/Cube	
Deviasi Standar / Standard Deviation	-	MPa	
Faktor pengali Standar Deviasi	-	-	
Nilai Tambah Margin	-	MPa	
kekuatan rata-rata yang ditargetkan/Target Strength	-	MPa	
Jenis semen/Type of Cement	-	OPC	
Faktor Air-Semen /W.C.F	-	0.3	
Perbandingan agregat halus	-	1.37	
Perbandingan antara semen/mentis dan pasir	-	1 : 1.2	
Kadar semen/mentis / Contents of cementitious	-	2100 g	
Kadar agregat halus (sempurna) / Contents of Fine Aggregate (oven dry)	-		
- Tahanan No. 8	113.1	g	
- Tahanan No. 16	334.6	g	
- Tahanan No. 30	892.8	g	
- Tahanan No. 50	904.7	g	
- Tahanan No. 100	249.7	g	
- Tahanan No. 200	24.2	g	
- Tahanan Pan	1.0	g	
Proporsi campuran /Proportion of mixture: ( per 1 sak semen )			
<b>Bahan Utama/Basic Composition :</b>			
- Semen/Portland Cement (PC)	50	kg	
- Agregat halus (sempurna) / Fine Aggregate (oven dry)	-		
- Tahanan No. 8	2.693	kg	
- Tahanan No. 16	7.962	kg	
- Tahanan No. 30	21.258	kg	
- Tahanan No. 50	21.541	kg	
- Tahanan No. 100	5.946	kg	
- Tahanan No. 200	0.578	kg	
- Tahanan Pan	0.024	kg	
<b>Bahan Tambah/Adminixture :</b>			
- Admixture 1 (retarder)	-	kg/m <sup>3</sup>	
- Admixture 2 (superplasticizer)	2	%	
- Admixture 3 (accelerator)	-	kg/m <sup>3</sup>	
- Abu terbang/Flyash	-	kg/m <sup>3</sup>	
- Mikrosilika/Silicahumex	-	kg/m <sup>3</sup>	
- Nanosilika	5	%	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	

HANYA BERLAKU UNTUK  
CONTOH YANG DIUJI  
TIDAK BOLEH DIGANDAKAN



**Wakil Manajemen Puncak**  
**Balai Litbang Struktur Jembatan**  
**Setyo Hardono, ST, MT**  
 NIP. 19690901 199703 1 001

**Catatan/Notes :**

- Penomoran benda uji mengikuti penomoran pada pengujian sebelumnya.
- Data benda uji berdasarkan surat yang diterima.
- Rancangan Campuran Beton dilakukan berdasarkan permintaan dari Pelanggan.
- Hasil pengujian hanya berlaku untuk benda uji yang diamati.
- Dilarang menerbitkan kembali atau menggandakan laporan ini sebagian atau seluruhnya tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Jembatan dan Bangunan Pelekap Jalan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# INDEKS

- Agregat, 6, 7, 8, 18, 20, 21, 22, 27, 34, 31, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 52, 70, 93, 97, 99, 115, 125, 127, 131, 145
- Air, 2, 6, 7, 8, 15, 16, 17, 20, 21, 25, 31, 35, 42, 46, 48, 50, 51, 52, 57, 62, 66, 70, 74, 75, 78, 95, 115, 116
- Awet, 115, 116, 117
- Bangka, 15, 31, 32, 34, 35, 42, 71, 72, 73, 92, 98, 99, 145
- Beton, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39
- Beton kinerja tinggi, 2, 5, 6, 7, 27
- Beton memadat sendiri, 7
- Durabilitas, 25, 66, 69, 101, 113, 126, 145
- Ekonomis, 2, 22, 112
- Fisika, 4, 11, 19
- Hidrasi, 3, 9, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 31, 56, 78, 116, 127
- Jalan, 120, 123, 145, 147
- Jembatan, 1, 2, 113, 115, 117, 119, 120
- Kimia, 4, 14, 18, 19, 20, 79, 91, 93, 127
- Konstruksi, 1, 2, 3, 4, 15, 24, 37, 54, 115, 117, 120, 126
- Kuat lentur, 65, 105, 106, 133, 145
- Kuat tekan, 5, 6, 63, 64, 76, 77, 92, 96, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 132
- Kubus, 51, 52, 56, 66
- Material, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 42, 44, 46, 48, 59, 60, 72
- Material nano, 3, 9, 12, 13, 19, 23, 24, 27, 44, 74, 115, 117

- Mekanik, 2, 4, 6, 15, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 48, 69, 97, 99, 100, 101, 104, 115, 116, 121, 123, 125
- Mortar, 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 33, 34, 42, 43, 44, 49, 50, 51, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79
- Papua, 15, 69, 146
- Pasir silika, 4, 15, 16, 18, 31, 33, 34, 35, 36, 42, 46, 48, 50, 52, 74, 92, 97, 98, 99, 117, 126, 127
- Permeabilitas, 8, 18, 56, 66, 107, 108, 117, 129
- Pori-pori, 3, 17, 19, 20, 23, 66, 112
- Rancangan campuran, 2, 27, 28, 29, 44, 95
- Reaktivitas, 18, 73
- Semen, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 27, 28, 31, 35, 42, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 70, 74, 75, 78
- Silika, 4, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 31, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 64, 69, 70, 72, 74, 76, 77
- Silika nano, 4, 8, 9, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 64, 69, 70, 72, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 86
- Silika nano alam, 16, 70
- Silika nano komersil, 39, 40, 69, 94, 112
- Silinder, 45, 49, 54, 56, 64, 101
- Sintesis, 69, 72, 74, 127
- Stabil, 7, 17, 18, 125
- Superplasticizer*, 7, 8, 20, 22, 42, 46, 48, 52, 70, 74, 130
- Umur layan, 1, 2, 25, 113

# BIOGRAFI PENULIS



## **N. Retno Setiati, S.T., M.T.**

Lahir di Sumedang pada 11 Desember 1972. Lulus S1 di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 1997. Lulus S2 di Program Magister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 2002. Saat ini sebagai Peneliti Madya Bidang Konstruksi di Balai Litbang

Struktur Jembatan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Aktif menulis artikel di beberapa jurnal, baik nasional maupun internasional dan menjadi narasumber dalam beberapa seminar serta pelatihan tentang Teknologi Beton ataupun Struktur Jembatan. Pernah bekerja di Konsultan *Engineering* selama satu tahun.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# Pemanfaatan SILIKA NANO

## untuk Konstruksi Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang umum digunakan untuk jalan, jembatan, ataupun bangunan lainnya. Akan tetapi, beton yang umum digunakan memiliki beberapa kelemahan, seperti kuat tarik lemah, sifat getas, *impermeable*, tidak homogen, butuh waktu pengerasan, dan sifat rayapan (*creep*).

Dalam perkembangan, penggunaan material beton untuk bahan konstruksi modern dituntut yang bermutu dan berkinerja tinggi, seperti mudah dalam pengerjaan pengecoran (*workable*), panas hidrat rendah (*low heat of hydration*), susut relatif rendah pada saat pengeringan, memiliki tingkat waktu ikat awal (*acceleration*) atau penundaan (*retardation*) yang baik, dan mudah dipompakan ke tempat yang lebih tinggi. Selain itu, ketika beton sudah mengeras, tuntutannya adalah harus memiliki kekuatan tekan yang tinggi, kuat tarik yang baik, kuat tekan awal yang tinggi, perilaku yang daktail (*liat*), kedap udara dan air, tahan terhadap abrasi dan korosi sulfat, penetrasi klorida yang rendah, muai susut yang rendah, dan awet.

Berdasarkan persoalan tersebut, buku yang ditulis dari hasil penelitian ini menyajikan pembahasan mengenai pembuatan konstruksi beton dengan memanfaatkan material silika nano sehingga dapat diaplikasikan untuk meningkatkan mutu dan kinerja beton. Selain itu, buku ini juga mengulas sejauh mana perkembangan dan peluang nanoteknologi untuk pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan.



**Diterbitkan oleh:**

LIPI Press, anggota Ikapi  
Jln. R.P. Suroso No. 39, Menteng,  
Jakarta 10350  
Telp. (+62 21) 314 0228, 314 6942  
Faks.: (+62 21) 314 4591  
E-mail: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
Website: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)

LIPI Press



ini tidak diperbolehkan