

**PENGARUH PENAMBAHAN NANO MATERIAL TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN DURABILITAS BETON
(THE EFFECT OF NANO MATERIAL ADDITION ON MECHANICAL
PROPERTIES AND DURABILITY OF CONCRETE)**

N. Retno Setiati

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung, Bandung
e-mail: retno.setiati@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 31 Oktober 2016; direvisi: 21 November 2016; disetujui: 8 Desember 2016

ABSTRAK

Perkembangan teknologi beton di bidang konstruksi jembatan mengalami peningkatan yang cukup pesat. Salah satu upaya untuk membuat beton dengan kekuatan dan durabilitas tinggi adalah dengan penambahan material berukuran nanometer. Tujuan dari tulisan ini ialah untuk mendapatkan sifat mekanik dan durabilitas beton yang ditambah dengan nanomaterial. Material untuk beton yang digunakan terdiri dari pasir silika, semen, nanosilika, superplasticizer, dan air. Benda uji beton berupa silinder dengan diameter 100mm dan tinggi 200mm. Metodologi yang digunakan ialah experimental di laboratorarium dengan membandingkan sifat mekanik dan durabilitas beton yang tanpa dan ditambah nano material. Dari hasil analisis dan pembahasan diperoleh bahwa komposisi optimum dari nanosilika yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton adalah 5% dari berat binder, sehingga mengurangi penggunaan semen 30 kg. Komposisi optimum beton dengan penambahan nanosilika (beton nano) meningkatkan kuat tekan 16,70 %. Berdasarkan hasil uji durabilitas–beton nano memiliki tingkat permeabilitas sangat baik dibandingkan beton konvensional dengan nilai rata rata kurang dari $0,01 \times 10^{-16}$, sedangkan beton konvensional nilai rata-rata nya adalah $0,023 \times 10^{-16}$, dan termasuk dalam kelas kualitas baik. Hasil uji RCPT memberikan nilai charge passed (Q) untuk beton nano 49,47 % lebih kecil dibandingkan beton konvensional, yang berarti ketahanan terhadap klorida beton nano lebih baik dari beton konvensional. Harga beton nano ini 5 sampai 7 kali lebih mahal dari beton konvensional, akan tetapi dengan durabilitas yang sangat baik beton nano tersebut dapat mengurangi biaya perawatan dan perbaikan selama umur layan.

Kata kunci: beton, nanosilika, kuat tekan, durabilitas, permeabilitas, ketahanan klorida.

ABSTRACT

Development of concrete technology in bridge construction is rapidly increasing. The addition of material in nanometer size is an effort to make high strength and durability concrete. This study aims to obtain the mechanical properties and durability of concrete added by nanomaterial. The materials used for concrete consisted of silica sand, cement, nanosilica, superplasticizer, and water. The test specimens of concrete are in the form of cylinders with a diameter of 100 mm and a height of 200 mm. The methodology used for testing is laboratory experiment by comparing concrete mechanical properties and durability with and without nano materials. Based on the analysis and discussion indicated that the optimum composition of nanosilica that can be added into concrete mix is 5% of binder weight so that it can reduce the use of cement to 30 kg. The optimum composition of concrete added by nonsilica (nano concrete) increases the compressive strength by 16,70%. based on concrete durability test showed that nano concrete has excellent permeability rate compared to conventional concrete with the average value of less than $0,01 \times 10^{-16}$, while the average value of conventional concrete is $0,023 \times 10^{-16}$ and classified as good quality. Based on RCPT tests give value passed charge (Q) of 49,47% for nano concrete smaller than the conventional one, it means that the resistance to chloride attack is better than conventional concrete. The price of nano concrete is 5-7 times more expensive than conventional concrete, however, with high excellent durability of nano concrete can reduce the cost of maintenance and repair over the service life.

Keywords: concrete, nanosilica, compressive strength, durability, permeability, chloride resistance

PENDAHULUAN

High Performance Concrete (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 ketahanan struktural. Dalam perkembangan teknologi beton selanjutnya dikenal istilah *Self Compacting Concrete (SCC)*. Teknologi *SCC* memiliki keunggulan dibandingkan beton konvensional, diantaranya mengurangi pemakaian vibrator, meningkatkan kapasitas pengisian yang tinggi, mengurangi waktu pekerjaan, dan upah kerja (Aggarwal et al. 2008). Untuk menghadapi perkembangan teknologi beton yang demikian pesat maka perlu dilakukan upaya penguasaan teknologi beton, salah satunya adalah dengan memanfaatkan nano teknologi yang dapat diaplikasikan dan disesuaikan dengan perkembangan teknologi beton di Indonesia. Nano teknologi adalah teknologi yang memanfaatkan sifat kimiawi dan/atau fisika material dalam orde nanometer. Satu nanometer disingkat nm adalah 10^{-9} meter. Jadi apabila molekul atau struktur atom dibuat dalam ukuran 1 hingga 100 nm, maka beton yang dihasilkan akan memiliki sifat mekanik dan kimia yang sangat berbeda dibandingkan beton yang menggunakan material berukuran mikro (Saurav 2012).

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 dan berperan sebagai campuran material lain.

Dengan nanoteknologi diharapkan susunan material pada suatu volume beton tertentu dapat menjadi lebih padat sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas daripada beton. Tujuan penulisan ini untuk membahas pengaruh penambahan nanosilika terhadap sifat mekanik dan durabilitas daripada beton. Lingkup penelitian ini dibatasi untuk mutu beton 70 MPa dengan penambahan nanosilika sebanyak 5 % dari berat *binder*.

KAJIAN PUSTAKA

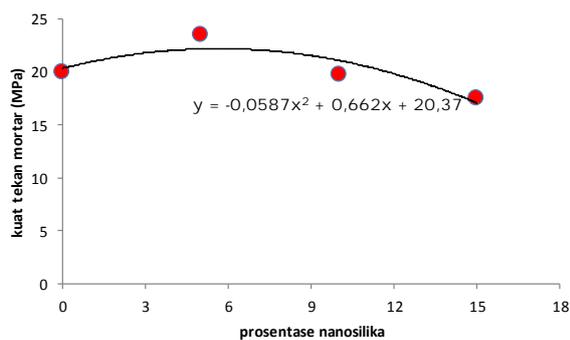
Perkembangan nanoteknologi memungkinkan nanomaterial digunakan sebagai bahan pembentuk beton. Namun sebelum digunakan dalam campuran beton, nanomaterial tersebut perlu diketahui karakteristiknya agar kinerja beton yang dibentuk sesuai dengan kekuatan rencana dan tidak mempunyai dampak negatif terhadap material beton yang dibentuknya. Qzyildirim (2010) melakukan studi eksperimental dengan menambahkan nanomaterial berukuran kurang dari 100 nm pada campuran beton. Penelitian ini mengevaluasi penggunaan berbagai nanomaterial dalam beton, kemudian dibandingkan dengan beton konvensional. Beton yang mengandung nanosilika dan nanoclay dibandingkan dengan beton yang mengandung *silica fume*, *fly ash*, dan *slag*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrostruktur beton nanosilika 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 kg/m^3 . Khanzadi et al. (2010) melakukan uji *Scanning Electron Microscopy (SEM)* pada beton dengan dan tanpa penambahan nanosilika. Hasil uji *SEM* menunjukkan bahwa kristal *ettringite* yang telah disusupi oleh kristal *Calcium Silicate Hydrate (C-S-H)* membentuk lempengan-lempengan yang lebih padat, sehingga beton dengan nanosilika lebih homogen daripada beton polos. Nili, Ihsani and Shabani. (2010) mengkaji bahwa penggunaan nanosilika 1,5 % dan mikrosilika 6 % sebagai pengganti parsial semen pada campuran beton dengan faktor air semen (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 umur layan yang direncanakan. Durabilitas beton didefinisikan sebagai ketahanan beton terhadap serangan yang bersifat merusak dan menurunkan kinerja beton (Ilangovana, Mahendranal and Nagamanib 2008). Durabilitas suatu beton dapat berkurang antara lain disebabkan akibat serangan air laut, serangan sulfat, erosi

gerakan air, atau terbentuknya retak rambut. Berkurangnya durabilitas beton, menyebabkan serviceability beton menurun dalam fungsinya sebagai struktur bangunan yang berdampak umur layan beton tidak dapat mencapai umur sesuai yang direncanakan. Peningkatan sifat mekanik dan durabilitas beton sangat tergantung dari jumlah komposisi nanosilika yang ditambahkan ke dalam beton.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya (Setiati 2015) diperoleh hubungan antara kuat tekan mortar dengan prosentasi nanosilika sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Nanosilika komersial HDKN20 dalam bentuk serbuk putih (Setiati 2015)

Gambar 1 memperlihatkan pengaruh penggunaan nanosilika pada berbagai prosentasi terhadap kuat tekan. Dari diagram pada Gambar 1, diperoleh nilai persamaan antara kuat tekan terhadap prosentasi jumlah nanosilika (persamaan 1).

$$y = -0,058x^2 + 0,662x + 20,37 \dots\dots\dots(1)$$

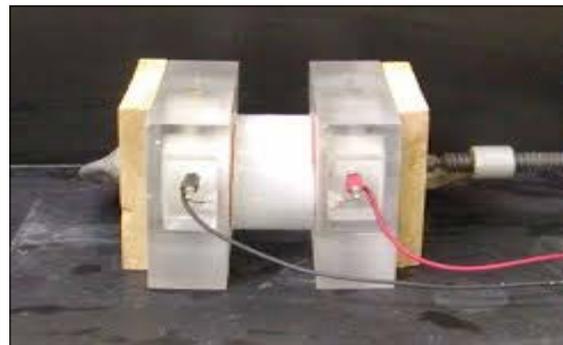
Dengan menurunkan persamaan (1) terhadap fungsi x maka diperoleh nilai komposisi optimum untuk jumlah nanosilika, yaitu sebesar 5 %. Dengan penambahan 5 % nanosilika ke dalam campuran beton otomatis dapat mengurangi penggunaan semen sebesar 5 % dari berat binder.

HIPOTESA

Dengan penambahan nanosilika sebesar 5% dari berat binder ke dalam campuran beton dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas dari beton tersebut.

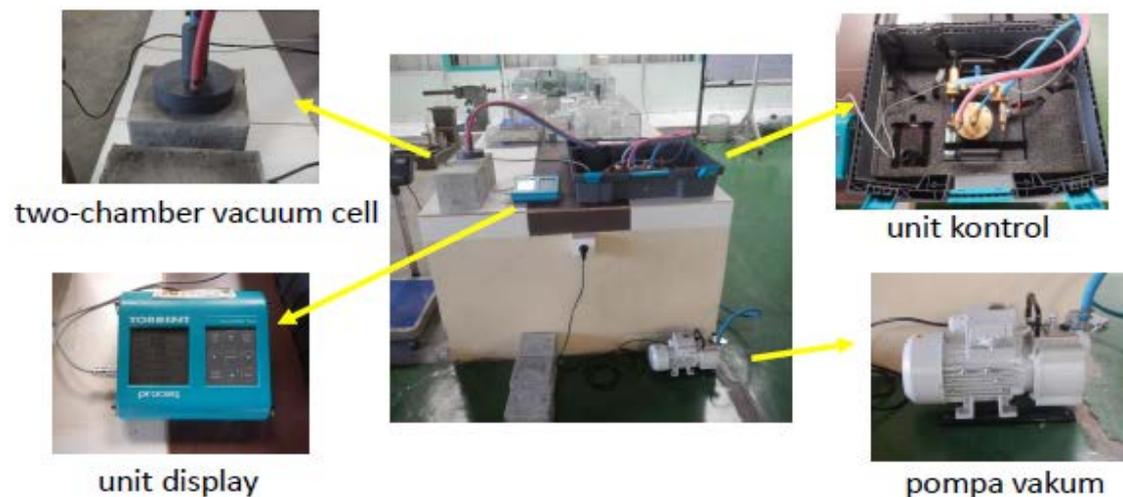
METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pembuatan silinder beton ukuran diameter (D) 100 mm dan tinggi (H) 200 mm. Mutu beton yang direncanakan f_c' sebesar 70 MPa. Benda uji silinder dibuat dalam dua variasi yaitu tanpa nanosilika dan 5 % nanosilika. Untuk mengetahui sifat mekanik daripada beton dilakukan uji tekan. Sedangkan untuk mengetahui durabilitas dilakukan uji *Rapid Chloride Penetration Test (RCPT)*. Pengujian *RCPT* dilakukan pada benda uji ukuran diameter 10 mm dengan tebal 50 mm. Metode uji *RCPT* mengacu pada standar ASTM C 1202 (ASTM 2014). 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 60 Volt D.C. Pembacaan dilakukan setiap interval 30 menit selama 6 jam. Skema pengujian *RCPT* ditunjukkan dalam Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema uji *RCPT*. Sumber: ASTM C 1202 (ASTM 2014)

Selain uji *RCPT*, untuk mengetahui durabilitas beton dilakukan pula uji permeabilitas. Skema pengujian permeabilitas ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Skema uji permeabilitas

Pengujian permeabilitas beton menggunakan alat *Permeability Tester Torrent (PTT)* sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3. Pengujian permeabilitas beton dilakukan sesuai standar DIN 1045 (DIN 2008). Benda uji yang digunakan berupa kubus ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm. Tekanan yang diberikan pada benda uji sebesar 0,5 MPa selama 3 kali 24 jam. Beton dianggap kedap air bila penetrasi air kurang dari 50 mm.

Dalam proses pembuatan beton dengan nanosilika sebagai *binder* perlu diperhatikan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Karena sifat dari partikel nanosilika yang bersifat reaktif dan mudah menembus kulit serta masuk ke dalam aliran darah. Pengerjaan yang tidak sesuai dan tidak dilengkapi Alat Pelindung Diri (APD) dikhawatirkan dapat

menyebabkan radang paru-paru. Proses pencampuran nanosilika ke dalam beton dilakukan secara bertahap:

- 1) Masukkan kerikil dan pasir silika ke dalam *mixer*, aduk selama 5 menit;
- 2) Tambahkan semen dan nanosilika, aduk selama 5 menit;
- 3) Masukkan 80% air sedikit demi sedikit, aduk selama 15 menit;
- 4) Masukkan 20% air dan *superplasticizer*, aduk selama 10 menit;
- 5) Lakukan uji *slump flow* dengan diameter berkisar antara (50 - 75) mm;
- 6) Masukkan beton ke dalam cetakan silinder.

Komposisi campuran beton mutu 70 MPa dengan dan tanpa penambahan nanosilika ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi campuran beton mutu 70 MPa

No.	Material	Berat (kg/m ³)	Volume absolut (m ³)	Penimbangan (kg)		Koreksi		
				SSD*	Aktual	Terkoreksi	Volume (m ³)	perm ³ (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	Superplasticizer	1,48	0,001	0,052	0,052	0,052	0,000	1,7
6	Nanosilika	0	0	0	0	0	0	0
Total		2214	1	70	70	70	0,030	2331

SSD*: *Saturated Surface Dry*

Tabel 2. Komposisi campuran beton mutu 70 MPa dengan penambahan 5% nanosilika

No.	Material	Berat (kg/m ³)	Volume absolut (m ³)	Penimbangan (kg)			Koreksi	
				SSD*	Aktual	Terkoreksi	Volume (m ³)	perm ³
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	Superplasticizer	11,26	0,010	0,399	0,399	0,399	0,000	13,2
6	Nanosilika	0	0	0	0	0	0	30
Total		2201	0,940	70	70	70	0,030	2342

SSD*: Saturated Surface Dry

Berdasarkan Tabel 1, 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% nanosilika maka diperoleh komposisi material perkubikasi beton menjadi 179 kg air; 570 kg semen; 822 kg pasir silika; 727 kg kerikil; 13,2 kg *superplasticizer*; dan 30 kg nanosilika (Tabel 2). Semakin banyak jumlah nanosilika yang dimasukkan dalam campuran beton, maka kebutuhan semen menjadi

berkurang dan *superplasticizer* akan semakin banyak. Penambahan nanosilika 5% menjadikan kebutuhan akan material semen menjadi berkurang sejumlah 30 kg.

HASIL DAN ANALISIS

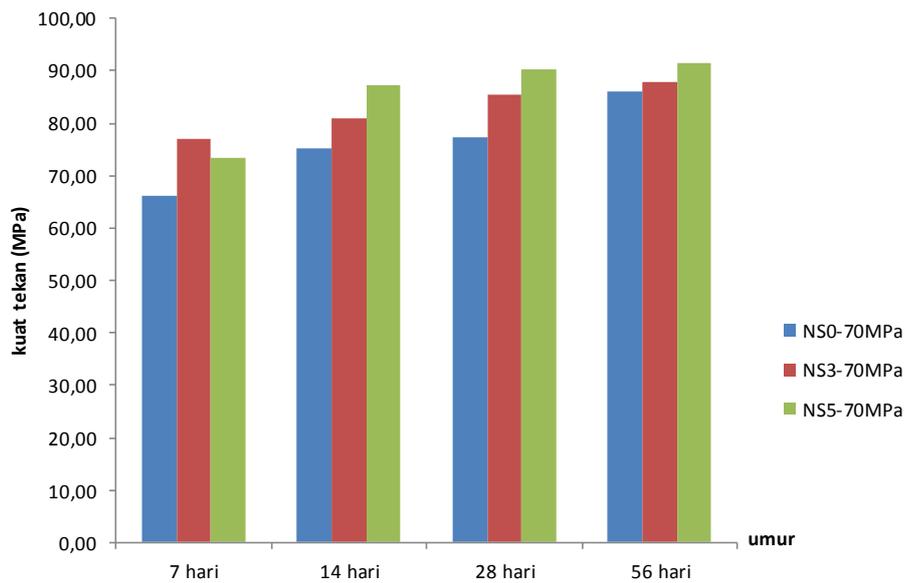
Pengujian kuat tekan beton silinder dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari dengan jumlah masing-masing benda uji sebanyak 3 (tiga) buah. Hasil uji kuat tekan beton ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji tekan beton mutu 70 MPa

No	Benda Uji	Kuat tekan			
		7hari	14hari	28 hari	56hari
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
	Rata-rata	66.24	75.24	77.38	86.16
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
	Rata-rata	76.91	81.06	85.49	87.98
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
	Rata-rata	73.45	87.26	90.30	91.62

Untuk beton dengan penambahan 5 % nanosilika kuat tekannya mencapai 90,30 MPa (lebih besar 16,70 % dari NS0). Pada umur 56 hari nilai kuat tekan beton tanpa penambahan nanosilika sebesar 86,16 MPa, kuat tekan beton dengan 3 % nanosilika mencapai 87,98 MPa

(lebih besar 2,11 % dari NS0). Untuk beton dengan penambahan 5 % nanosilika kuat tekannya mencapai 91,62 MPa (lebih besar 6,34% dari NS0). Perbandingan nilai kuat tekan beton normal (NS0), beton dengan penambahan 3 % dan 5 % nanosilika ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan kuat tekan beton tanpa dan dengan penambahan nanosilika (3% dan 5%)

Pengujian durabilitas beton bertujuan untuk mengetahui ketahanan beton terhadap

serangan klorida. Hasil uji *RCPT* ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji *RCPT*

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 3 menunjukkan hasil uji *RCPT* untuk beton normal (NS0), beton dengan 3% nanosilika (NS3), dan beton dengan 5% nanosilika (NS5). Nilai *charge passed* *Q* (Coulombs) untuk masing-masing benda uji ditentukan dengan menggunakan rumus 2.

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

Keterangan:

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 (2) diperoleh nilai *Q* rata-rata untuk NS0 sebesar 855 Coulombs, untuk NS3 sebesar 868,5 Coulombs, dan NS5 sebesar 432 Coulombs. Nilai *charge passed* *Q* kemudian kita bandingkan dengan *RCPT ratings* berdasarkan ASTM C 1202 sehingga diperoleh sifat penetrasi ion klorida dari beton tersebut (Tabel 4).

Tabel 4. Kriteria hasil *RCPT* (ASTM 2012)

No.	Ratings	Q (Columns)
1	Tinggi	> 4000
2	Sedang	2000 - 4000
3	Rendah	1000 - 2000
4	Sangat rendah	100 - 1000
5	Diabaikan	< 100

Tabel 4 menunjukkan nilai-nilai hasil uji *RCPT* yang dikelompokkan dalam beberapa golongan dengan kriteria diabaikan sampai dengan tinggi.

Hasil uji permeabilitas beton ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji permeabilitas

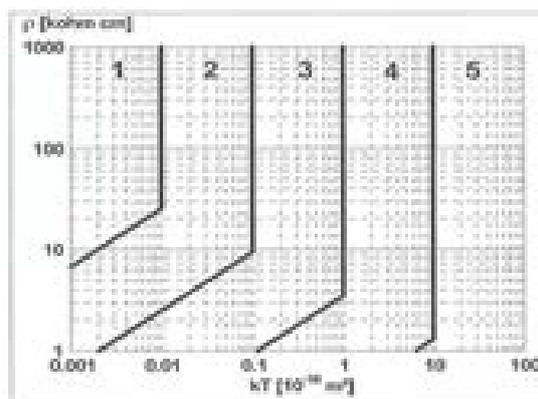
No.	Benda uji	KT (10^{-16} m^2)	Kualitas
1	NS0-1	0.040	baik
2	NS0-2	0.020	baik
3	NS0-3	0.012	baik
4	NS3-1	0.009	sangat baik
5	NS3-2	0.008	sangat baik
6	NS3-3	0.006	sangat baik
7	NS5-1	0.004	sangat baik
8	NS5-2	0.003	sangat baik
9	NS5-3	0,002	sangat baik

Hasil luaran dari alat uji permeabilitas adalah kelas kualitas permukaan beton sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Kriteria hasil uji permeabilitas

Kelas kualitas	Indeks	KT (10^{-16} 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 sesuai Gambar 5.



Gambar 5. Nomogram untuk penentuan kelas kualitas beton dalam kondisi lembab

Nilai koefisien permeabilitas (KT) untuk beton konvensional (NS0-1, NS0-2, dan NS0-3) berturut-turut sebesar 0,04; 0,02; dan 0,012 dikalikan dengan 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 6) dengan kelas kualitas baik.

Untuk beton dengan penambahan nanosilika 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 dengan 10^{-16} dalam setiap luas permukaan beton. Nilai tersebut masuk dalam indeks 1 (lihat Tabel 6) dengan kelas kualitas sangat baik ($KT < 0,01 \times 10^{-16} \text{ m}^2$). Koefisien permeabilitas untuk beton dengan penambahan 5% nanosilika (NS5-1; NS5-2; dan NS5-3) mempunyai nilai 0,004; 0,003; dan 0,002 dikalikan dengan 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 nanosilika 3 % dan 5 % memiliki tingkat kekedapan yang sangat baik dibandingkan beton konvensional.

PEMBAHASAN

Pembuatan rancangan beton dengan menggunakan nanomaterial pada prinsipnya sama dengan beton konvensional, yang berbeda adalah perlakuan khusus dalam menangani nanosilika yang memiliki ukuran (20-40) nm. Nanosilika dengan ukuran diameter 10^{-9} meter dan luas permukaan spesifik $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ berpotensi dapat

menembus ke dalam pori-pori kulit manusia dan masuk ke dalam aliran darah. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya sistem pernafasan dan menyebabkan radang paru-paru (Doaa 2010). Salah satu cara untuk mengantisipasi terjadinya hal itu adalah dengan mengutamakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium.

Ditinjau dari aspek mekanik, terdapat peningkatan kuat tekan beton dengan penambahan nanosilika sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 3. Dari beberapa variasi jumlah nanosilika yang ditambahkan ke dalam campuran beton, diperoleh komposisi optimum 5 % terhadap jumlah *binder*. Komposisi ini sesuai dengan hasil pengujian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk campuran mortar (rumus (2)). Dengan komposisi nanosilika 5 % terjadi peningkatan kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 16,70% dibandingkan beton tanpa nanosilika. Peningkatan kuat tekan ini terjadi karena struktur beton dengan penambahan

nanosilika menjadi lebih padat karena pori-pori beton telah diisi oleh nanomaterial yang memiliki ukuran lebih kecil dari atom. Dari Gambar 1 dan rumus (1) terlihat bahwa penggunaan nanosilika lebih dari 5% tidak memberikan hasil yang signifikan untuk meningkatkan kuat tekan beton, bahkan dapat dikatakan bahwa pada prosentasi yang berlebih (10 % dan 15 %) terjadi penurunan kuat tekan dibandingkan tanpa penambahan nanosilika. Penambahan nanosilika pada prosentasi 5 % memberikan hasil yang cukup signifikan untuk meningkatkan kuat tekan beton. Penggunaan nanosilika pada campuran beton lebih efektif karena terjadi penggabungan sebagai filler dan reaktifitas pozolan dengan semen. Pengujian *RCPT* dilakukan untuk mengetahui tingkat penetrasi ion klorida terhadap beton. Dari hasil pembacaan uji *RCPT* pada Tabel 3 dapat ditentukan nilai *charge passed Q* untuk setiap benda uji sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Nilai *charge passed Q* hasil uji *RCPT*

No.	Benda uji	Q (Coulomb)	Q _{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		

Berdasarkan Tabel 7, nilai *Q* untuk beton tanpa nanosilika adalah 855 Columbs, sifat penetrasi ion klorida dari beton ini adalah sangat rendah. Sedangkan untuk beton dengan penambahan 3% nanosilika tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Akan tetapi untuk beton dengan penambahan 5 % nanosilika mempunyai nilai *charge passed Q* lebih kecil dari pada beton konvensional (49,47 % lebih kecil). Artinya bahwa beton dengan penambahan 5 % nanosilika lebih tahan dua kali lipat terhadap serangan ion klorida dibandingkan beton konvensional. Berdasarkan hasil uji permeabilitas beton dalam Tabel 5, terlihat bahwa nilai *KT* (koefisien permeabilitas) beton dengan penambahan nanosilika berada dalam rentang kurang dari 0,01 (sangat baik). Sedangkan beton konvensional

hanya mempunyai nilai koefisien permeabilitas (*KT*) yang berada dalam rentang $(0,01 - 0,1) \times 10^{-16}$ untuk setiap luas permukaan beton. Dengan indeks 2 beton tersebut tergolong dalam kelas kualitas baik.

Dari beberapa hasil analisis dan pembahasan terbukti bahwa dengan penambahan nanosilika dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas daripada beton. Akan tetapi bila ditinjau dari aspek ekonomis, pembuatan beton dengan nanomaterial dipandang sebagai sesuatu yang sangat mahal. Hal ini dapat dilihat pada saat proses pembuatan beton untuk skala laboratorium harganya dapat mencapai (5-7) kali lipat dibandingkan beton konvensional sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan pembuatan beton dengan dan tanpa penambahan nanosilika

No.	Material	NS0		NS3		NS5	
		per m ³	Harga (Rp.)	per m ³	Harga (Rp.)	per m ³	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	727.20	80,800	727.20	80,800
5	Sp	1.74	2,610	9.894	14,841	13.2	19,800
6	Nanosilika	0	0	18	3,600,000	30	6,000,000
Total biaya			935,711		4,525,827		6,916,783

Keterangan:

NS0 adalah beton mutu 70 MPa tanpa penambahan nanosilika;

NS3 adalah beton mutu 70 MPa dengan penambahan 3 % nanosilika; dan

NS5 adalah beton mutu 70 MPa dengan penambahan 5 % nanosilika

Berdasarkan Tabel 8, dipandang dari aspek ekonomis, harga pembuatan beton dengan penambahan 3 % nanosilika lebih tinggi dibandingkan beton konvensional (5 kali lebih mahal dibandingkan beton konvensional). Sedangkan beton dengan penambahan 5 % nanosilika lebih mahal 7 kali dibandingkan beton konvensional. Tingginya harga pembuatan beton disebabkan mahalnya harga nanosilika yang merupakan produk impor. Akan tetapi biaya tersebut tidak menunjukkan nilai *life cycle cost* (LCC) suatu beton dengan teknologi nano karena baru sebatas perhitungan harga awal (*initial cost*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan nanosilika dengan rentang ukuran (20-40) nm pada campuran beton dapat menjadikan beton lebih padat sehingga kuat tekannya lebih tinggi dari beton tanpa penambahan nanosilika.

Penambahan nanosilika sebanyak 5 % ke dalam campuran beton merupakan komposisi yang optimum. Beton dengan penambahan nanosilika tersebut dapat menyebabkan terjadinya peningkatan sifat mekanik dan durabilitas daripada beton. Penambahan nanosilika yang lebih kecil dari 5 % tidak mempengaruhi perubahan sifat mekanik dan durabilitas.

Penambahan 5 % nanosilika dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 16,70 % dibandingkan beton tanpa nanosilika. Dari aspek durabilitas melalui uji permeabilitas dan *RCPT* diperoleh bahwa beton dengan penambahan 5 %

nanosilika menghasilkan nilai permeabilitas yang sangat baik dan lebih tahan terhadap serangan ion klorida.

Beton dengan teknologi nano lebih mahal dibandingkan beton konvensional. Hal ini disebabkan karena nanomaterial tersebut masih menggunakan produk impor.

Saran

Potensi sumber pasir silika di Indonesia perlu dimanfaatkan sebagai produk lokal untuk menghasilkan nanomaterial. Dengan demikian Indonesia tidak akan tertinggal jauh dalam membuat beton kinerja tinggi atau beton mutu tinggi dengan menggunakan nanomaterial. Proses pembuatan pasir silika alam menjadi nanomaterial perlu didukung oleh kalangan industri sehingga produk tersebut dapat bersaing dengan harga pasar dunia.

Perlu dilakukan penelitian teknologi beton berbasis nanomaterial untuk konstruksi di dalam laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Bapak Setyo Hardono dan Bapak Imam Murtosidi yang telah memberikan dukungan terhadap kegiatan penelitian ini. Selanjutnya penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak M. Ikhlasul Amal, Bapak Jonbi, Ibu Lanneke Tristanso dan Ibu Saloma, sebagai narasumber yang telah memberikan masukan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2012. "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ASTM C1202 – 12". *2014 Annual book of ASTM Standards. Section four: Construction VOLUME 04.02 Concrete and aggregates*. West Conshohocken: ASTM
- Aggarwal, Paratibha, Rafat Siddique, Yogesh Aggarwal and Surinder, M. gupta 2008. "Self-Compacting Concrete - Procedure for Mix Design". *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 7 (12): p. 15-24.
- Deutches Institut für Normung. 2008. *Concrete reinforced and prestressed concrete structures – Part 2: Concrete – Spesification, properties, production and conformity*. DIN 1045-2:2008. Berlin: DIN
- Doaa. 2015. "Entomotoxic effect of Aerosil 200 Nano Particles against three main stored grain insects". *International Journal of Advanced Research (2015)*, 3 (8). 1371-1376.
- Green, B.H. 2012. "Development of a High-Density, High-Strength, Cementitious Grout Using Nano-Particles". *1st International Conference on Advanced Construction Materials*, Mexico: ICACM.
- Ilangovana, N. Mahendranal and K.Nagamanib. 2008. "Strength and Durability Properties of Concrete Containing Quarry Rock Dust as Fine Aggregate". *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 3(5): 20-26.
- Khanzadi, Mostafa, Tadayon Mohsen, Hamed Sepehri and Mohammad Sepeheri. 2010. "Influence of Nano-Silica Particles on Mechanical Properties and Permeability of Concrete". *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Ancona: Universita Politenica delle Marche.
- Nili, M., A. Ihsani and K. Shabani. 2010. "Influence of Nano-Silica and Microsilica on Concrete Performance". *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Ancona: Universita Politenica delle Marche.
- Ozyildirim, C. 2010. *Laboratory Investigation of Nanomaterials to Improve The Permeability and Strength of Concrete*. Virginia: Virginia Transportation Research Council.
- Saurav. 2012. "Application of Nanotechnology in Building Material", *International Journal of Engineering Research and Application (IJERA)*. 2(5):1077-1082.
- Setiati, NR. 2015. *Sifat dan Proses dalam Beton Dilihat dari Skala Struktur Nano*. Bandung: Pusjatan.