

# SIFAT MEKANIS DAN REMBESAN BETON MUTU TINGGI MENGUNAKAN AGREGAT HALUS PASIR LAUT DAN BAHAN TAMBAH SILICA FUME

Monita Olivia, Budi Indrawan dan Iskandar R Sitompul

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Simpang Baru, Pekanbaru,  
28293

E-mail: [monita1306@yahoo.com](mailto:monita1306@yahoo.com)

## ABSTRAK

Penggunaan pasir laut merupakan salah satu alternatif agregat halus yang sering digunakan di daerah pesisir pantai dan di daerah kepulauan. Pasir laut yang mengandung ion klorida tidak dianjurkan karena dapat memicu terjadinya korosi besi bertulang sehingga beton mengalami kerusakan dalam jangka panjang. Bahan tambah kimia seperti silica fume sering digunakan dalam campuran beton untuk menambah kepadatan, kekuatan, dan kedapannya beton yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat-sifat mekanis seperti kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton mutu tinggi yang menggunakan agregat pasir laut dengan kuat tekan rencana 55 MPa. Silica fume ditambahkan ke dalam campuran sebanyak 0%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Untuk meningkatkan workability campuran digunakan superplasticizer sebanyak 1,5% dari berat campuran. Pasir laut untuk penelitian berasal dari Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat pasir laut dapat digunakan untuk membuat beton mutu tinggi dengan kekuatan rencana 55 MPa. Penambahan silica fume sebanyak 4-10% dalam campuran meningkatkan kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan disamping mengurangi rembesan air ke dalam beton sebesar 9,67 mm. Pengujian kadar Ca sisa menggunakan AAS memperlihatkan bahwa peningkatan persentase silica fume dapat menurunkan jumlah Ca sisa dalam beton.

Kata kunci: beton mutu tinggi, klorida, pasir laut, silica fume, sifat mekanis

## ABSTRACT

*The use of marine sand is one alternative fine aggregates that are often used in coastal areas and in island regions. Marine sand containing chloride ions is not recommended due to lead corrosion of steel reinforced concrete that were damaged in the long term. Materials such as silica fume added chemicals often used in the concrete mix to increase the density, strength, and permeability concrete produced. This study aims to measure the mechanical properties such as compressive strength, tensile strength and modulus elasticity of high strength concrete using marine sand aggregate with a compressive strength of 55 MPa. Silica fume added to the mix as much as 0%, 4%, 6%, 8% and 10%. To improve the workability of the mixture used superplasticizer as much as 1.5% of the weight of the mixture. Marine sand for the research from Tanjung Balai Karimun, Riau Islands. The results revealed that marine sand aggregate can be used to make high strength concrete with a strength of 55 MPa. The addition of silica fume as much as 4-10% in the mixture increases the compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity of concrete produced while reducing water seepage into the concrete of 9.67 mm. Ca residual tested using AAS showed that the increase in the percentage of silica fume can reduce the amount of residual Ca in concrete.*

Keywords: high strength concrete, chloride, marine sand, silica fume, mechanical properties

## PENDAHULUAN

Pasir laut yang terdapat di tepi pantai atau dikeruk dari dasar laut telah banyak digunakan sebagai salah satu bahan konstruksi di daerah pesisir pantai maupun daerah kepulauan. Selain digunakan sebagai bahan untuk penimbun, pasir juga sering

dimanfaatkan sebagai agregat halus untuk campuran beton. Pasir laut memiliki butiran halus dan bulat karena gesekan air laut. Pasir tersebut mengandung zat organik dan garam-garaman terutama natrium klorida. Penggunaan pasir laut pada campuran dapat menyebabkan timbulnya

*efflorescences* dalam pori beton (Murdock & Brook 1990).

Garam-garaman sebenarnya hanya terdapat pada lapisan permukaan butiran pasir. Pasir laut perlu dicuci untuk menghilangkan garam yang dikandungnya. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa untuk mendapatkan 1 m<sup>3</sup> pasir laut dengan kandungan garam sesuai standar, diperlukan 0,5 m<sup>3</sup> air pencuci (Chen, 2003). Meski demikian, pencucian tidak menjamin bahwa garam yang masih terdapat pada pasir laut tidak memiliki dampak jangka panjang terhadap korosi pada beton dan besi bertulang.

Kandungan garam pada pasir laut perlu dibatasi. Batasan kadar natrium klorida agregat halus dan kasar yang dikeruk dari laut menurut Greater London Council untuk keperluan konstruksi tidak boleh melebihi 0,1% dan 0,03% dari berat agregat kering (Murdock & Brock, 1968). Sedangkan SK-SNI S-38-1990-03 (Anonim, 1991) mensyaratkan jumlah konsentrasi maksimum ion klorida yang larut dalam air pada beton tidak boleh melebihi batas 0,06% untuk beton prategang, 0,15% untuk beton bertulang dan 0,3% untuk beton tanpa besi tulangan.

Untuk mendapatkan konstruksi yang tahan terhadap lingkungan agresif seperti air laut, selain menggunakan bahan tambah mineral dan kimia maka beton mutu tinggi dengan kuat tekan di atas 40 MPa merupakan salah satu solusi. Beton mutu tinggi banyak digunakan pada konstruksi yang dibangun di laut karena memiliki sifat mekanis tinggi (kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas), pori lebih kecil serta ketahanan jangka panjang yang lebih baik. Selain menggunakan beton mutu tinggi, bahan tambah mineral seperti abu terbang, slag, dan silica fume juga banyak dicampurkan ke dalam beton (Supartono, 2001). Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kedapannya beton, menurunkan permeabilitas, mengurangi akses zat cair sehingga air dan ion-ion agresif seperti klorida tidak dapat masuk ke dalam beton dengan mudah. Hingga saat ini penggunaan pasir laut pada beton mutu tinggi belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti sifat mekanis dan rembesan beton mutu tinggi yang menggunakan pasir laut dan bahan tambah *silica fume*. Sifat mekanis yang dikaji adalah kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas untuk beton dengan mutu 55 MPa umur 14 dan 28 hari.

## BAHAN DAN METODE

Pasir laut diperoleh dari Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau. Semen OPC tipe V (semen tahan sulfat) diproduksi oleh PT Semen Padang dengan berat jenis 3,15 g/cm<sup>3</sup>. Agregat kasar berupa batu pecah berasal dari Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau. *Silicafume* dengan merk pasaran *Sikafume* berbentuk bubuk halus warna abu-abu dengan kepadatan 0,5g/l digunakan dengan dosis 4-10% dari berat kering semen. Campuran tanpa silica fume digunakan sebagai campuran kontrol. Untuk memperbaiki tingkat kemudahan pengerjaan digunakan *superplasticizer* (Sikament NN) sebanyak 1,5% dari berat semen. Beton dirancang menggunakan metode Shahlock dengan komposisi akhir campuran beton pada Tabel 1.

**Tabel 1. Komposisi bahan penyusun beton mutu tinggi per m<sup>3</sup>**

Bahan penyusun (kg)	0%	4%	6%	8%	10%
Semen	560	537,6	526,4	515,2	504
Agregat kasar	892,51	892,51	892,51	892,51	892,51
Agregat halus	648,1	648,1	648,1	648,1	648,1
Air	156,8	156,8	156,8	156,8	156,8
Silica fume	0	22,4	33,6	44,8	56
Superplasticizer	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
Faktor air semen	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Agregat halus pasir laut memiliki kadar lumpur, berat jenis, berat volume, dan modulus kehalusan yang memenuhi spesifikasi agregat halus untuk campuran beton menurut SNI 03-1970-1990, 03-1968-1990 dan 03-4804-1998. Kadar garam pasir laut setelah diperiksa adalah sebesar 0,06% di bawah batas yang diizinkan untuk kadar garam maksimum agregat (Murdock, 1996). Berdasarkan hasil analisis saringan, pasir laut memiliki gradasi seragam dan memenuhi batas-batas garis kurva no 1 menurut McIntosh & Shahlock (Anonim, 1991) untuk pembuatan beton mutu tinggi. Hasil pemeriksaan agregat halus dan kasar dapat dilihat pada Tabel 2.

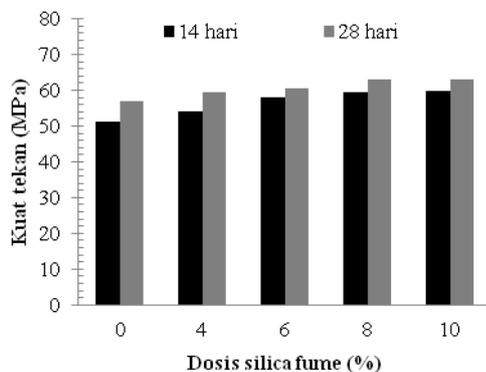
Kuat tekan beton didapat dari rata-rata tiga buah benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk umur beton 14 hari dan 28 hari. Hasil uji kuat tekan dari rancangan campuran beton dengan variasi pemakaian *sikafume* dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini. Beton dengan variasi pemakaian *sikafume* 0% dari berat semen pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan beton sebesar 56,84 MPa. Campuran beton mutu tinggi yang ditambahkan *sikafume* dengan variasi masing-masing 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat

semen kuat tekannya akan terus naik hingga mencapai 63,10 MPa.

**Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat**

Jenis pemeriksaan	Standar spesifikasi	Agregat	
		halus	kasar
Kadar lumpur (%)	<5	2,04	-
Berat jenis			
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,58 – 2,83	2,56	2,78
b. <i>Bulk specific gravity (kering)</i>	2,58 – 2,83	2,52	2,64
c. <i>Bulk specific gravity (SSD)</i>	2,58 – 2,83	2,53	2,69
d. <i>Water absorption (%)</i>	2 - 7	0,65	1,96
Berat volume (gr/cm <sup>3</sup> )			
a. Kondisi padat	1,4 – 1,9	1,46	1,53
b. Kondisi lepas	1,4 – 1,9	1,27	1,18
Kadar air (%)	3 – 5	0,74	0,4
Kadar garam (%)	0,10*	0,06	-
Modulus kehalusan	1,5 – 3,8	2,67	-
Ketahanan aus (%)	<10	-	6,04

\*Murdock (1996)



**Gambar 1. Pengaruh variasi dosis silika fume terhadap kuat tekan**

Dari gambar 1 menunjukkan bahwa pada umur 14 dan 28 hari dengan pemakaian *sikafume* sebesar 10% terhadap berat semen menghasilkan kuat tekan beton tertinggi, yaitu sebesar 63,10 MPa. Pemakaian *sikafume* dengan dosis maksimal 10% dari dosis yang dianjurkan yaitu 3%-10% dari berat semen masih menunjukkan peningkatan kuat tekan, sehingga belum diketahui pada dosis berapa akan dihasilkan kuat tekan maksimum.

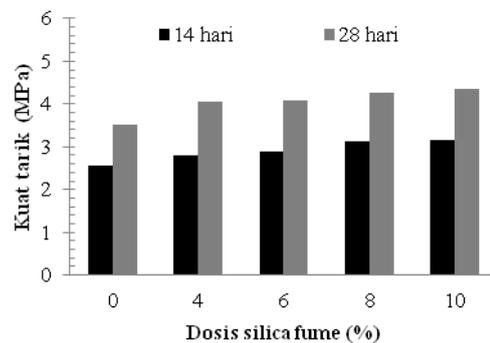
Pemakaian *sikafume* pada beton mutu tinggi menyebabkan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan lebih tinggi, karena unsur SiO<sub>2</sub> pada *sikafume* bereaksi dengan kapur mati Ca(OH)<sub>2</sub> hasil hidrasi antara semen dan air. Dengan demikian terbentuk kapur hidrolisis sebagai perekat yang menambah kekuatan dari kepadatan beton, meskipun reaksi ini cenderung berlangsung lambat.

Kuat tekan beton mutu tinggi pada penelitian ini masih sedikit lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *sikafume* sebagai bahan tambah. Kuat tekan beton

yang dihasilkan pada umur 28 hari untuk penggunaan *sikafume* 9% dari berat semen adalah 68,38 MPa (Muhardi & Piliang, 1996). Perbedaan hasil kuat tekan tersebut disebabkan penggunaan tipe semen yang berbeda, semen tipe I memiliki unsur C<sub>3</sub>S yang lebih besar dibandingkan semen tipe V, unsur tersebut sangat mempengaruhi kuat tekan awal beton yang dihasilkan sehingga perlu penelitian lebih lanjut untuk semen tipe I yang sering dipakai di lapangan dan pengujian dilaksanakan sampai umur beton 90 hari.

Kuat tarik beton sangat dipengaruhi oleh lekatan antara pasta semen dengan agregatnya. Kuat tarik beton sangat rendah bila dibandingkan dengan kuat tekannya. Hal ini merupakan kekurangan dari sifat beton sebagai bahan konstruksi. Kekuatan tarik langsung beton susah diperoleh di laboratorium. Oleh karena itu nilai kekuatan tarik beton umumnya didapat melalui pengujian tarik tidak langsung berupa uji tarik belah. Secara teori penerapan beban garis yang tegak lurus terhadap sumbu silinder benda uji akan menghasilkan tegangan tarik yang seragam. Meskipun demikian banyak hal yang menyimpang pada pengujian kuat tarik belah beton, sehingga teori tersebut tidak sepenuhnya berlaku.

Hasil uji kuat tarik belah dari rancangan campuran beton dengan variasi pemakaian *sikafume* 10% dari berat semen pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat tarik belah beton sebesar 3,53 Mpa. Campuran beton mutu tinggi yang ditambahkan *sikafume* dengan variasi masing-masing 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat semen kuat tariknya akan terus naik hingga mencapai 4,34 MPa.



**Gambar 2. Pengaruh variasi dosis silika fume terhadap kuat tarik**

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada umur beton 14 hari dan 28 hari kuat tariknya terus bertambah sebanding dengan penambahan variasi *sikafume*. Kenaikan tersebut dikarenakan penambahan

*sikafume* pada campuran beton akan meningkatkan kadar  $\text{SiO}_2$  untuk membentuk senyawa CSH setelah bereaksi dengan kapur bebas  $\text{CaO}$  dan kapur mati  $\text{Ca(OH)}_2$ , sehingga daya lekat antara pasta semen dengan agregat semakin kuat. Daya lekat antara pasta semen dengan agregat semakin kuat karena *sikafume* memiliki sifat *pozzolan* yang akan bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang merupakan produk sampingan hidrasi semen yang terkumpul di daerah *interface* yang kemudian membentuk senyawa CSH.

Pengujian terhadap kuat tekan beton didapat nilai defleksi beton pada pembacaan *dial* alat *compressometer* silinder beton dan diperoleh nilai regangan-tegangan beton tersebut. Mikrostruktur beton pada umumnya mengandung retak-retak halus meskipun belum dibebani. Retak-retak tersebut terjadi karena adanya perbedaan perubahan volume dari pasta semen dan agregat akibat perubahan suhu dan kelembaban. Retak-retak tetap stabil dan tidak berubah selama tegangan tekan yang bekerja masih di bawah 30% kekuatan batas beton.

Nilai modulus elastisitas pada pemakaian *sikafume* 10% dari berat semen memiliki nilai modulus elastisitas yang tertinggi yaitu 29,37 Gpa (Tabel 3). Nilai tersebut lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas beton K-600 hasil penelitian (Tachibana et al., 1994) yaitu 33,19 Gpa s/d 34,69 Gpa. Perbedaan nilai modulus elastisitas terjadi disebabkan pembacaan *dial* tidak teliti sehingga data yang dihasilkan tidak akurat. Akan tetapi nilai modulus elastisitasnya masih menunjukkan kenaikan pada benda uji yang nilai kuat tekannya lebih tinggi. Nilai modulus elastisitas beton akan bertambah seiring dengan bertambahnya kuat tekan beton.

**Tabel 3. Hasil pengujian modulus elastisitas dan rembesan**

Variasi silica fume (%)	Modulus elastisitas (GPa)	Rembesan (mm)
0	26.04	15
4	28.67	12.7
6	29.03	13
8	29.11	10.33
10	29.37	9.67

Nilai rembesan (Tabel 3) sebesar 15 mm diperoleh dari hasil uji rembesan beton dengan variasi pemakaian *sikafume* 0% dari berat semen pada umur 28 hari. Nilai rembesan beton mutu tinggi pada umur beton 28 hari yang ditambahkan *sikafume* dengan variasi 4%, 6%, 8% dan 10% dari

berat semen rembesan akan cenderung turun hingga mencapai 9,67 mm.

Pemakaian *sikafume* pada beton mutu tinggi menyebabkan nilai rembesan beton yang dihasilkan lebih kecil, karena *sikafume* dapat berfungsi sebagai *filler*. *Sikafume* mudah menyebar di sekeliling butiran semen pada waktu campuran beton baru dibuat, untuk menggantikan air yang terdapat pada ruang-ruang kosong tersebut terisi air yang terjebak oleh partikel-partikel semen dan akhirnya menguap membentuk rongga-rongga yang berakibat pada meningkatnya nilai permeabilitas beton (Sudarmoko, 1990).

Selain itu penggunaan pasir laut dapat meningkatkan kekedapan beton karena pasir ini memiliki gradasi seragam, lebih halus dan cenderung bulat dibandingkan dengan pasir sungai sehingga akan memperkecil rongga-rongga yang terjadi antara agregat. Dengan demikian beton yang dihasilkan lebih pada dan memiliki kekedapan yang tinggi.

Berdasarkan hasil rembesan yang diperoleh, beton mutu tinggi dengan agregat pasir laut ditambah *sikafume* hingga 10% dapat dikategorikan ke dalam beton kedap air agresif kuat karena rembesan yang diperoleh yaitu 9,67 mm lebih kecil dari 30 mm.

Nilai rembesan pada penelitian ini tidak semua mengalami penurunan pada setiap variasi pemakaian *sikafume*. Hal ini terjadi pada pemakaian *sikafume* 6%, salah satu penyebabnya adalah kurangnya pemadatan sehingga masih banyak terdapat rongga-rongga dan air yang terperangkap yang akan mengurangi impermeabilitas beton. Selain itu kurangnya pengontrolan tekanan alat uji rembesan tidak stabil sehingga harus dikontrol tiap jam.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap beton normal dengan bahan tambah serat karet, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Beton menggunakan pasir laut dengan pemakaian *sikafume* sebesar 10% dari berat semen menaikkan nilai kuat tekan beton hingga 63,10 MPa pada umur 28 hari. Hal ini karena unsur  $\text{SiO}_2$  pada *sikafume* beraksi dengan kapur mati  $\text{Ca(OH)}$  sehingga terbentuk kapur hidrolis sebagai perekat yang menambah kekuatan dan kepadatan beton.
2. Pengujian kuat tarik dilakukan dengan metode tarik belah. Pemakaian *sikafume* sebesar 10%

dari berat semen meningkat nilai kuat tarik belah beton hingga sebesar 4,34 MPa pada umur 28 hari. Senyawa kalsium-silikat-hidrat (CSH) yang terbentuk memberikan kekuatan tambahan daya lekat pasta semen dan agregat.

3. Kenaikan kuat tekan beton pada pemakaian *sikafume* sebesar 10% dari berat semen diiringi kenaikan nilai modulus elastisitas, yaitu 29,37 GPa sehingga beton menjadi lebih kaku.
4. Beton bermutu tinggi pasir laut dengan bahan *sikafume* sebesar 10% menghasilkan nilai rembesan 9,67 mm, sehingga dikategorikan ke dalam beton kedap air agresif kuat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1991. *Tata Cara Perhatian Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1991. *Concrete Mix Design*. Bandung: Politeknik ITB Jurusan Teknik Sipil.
- Chen, C. 2003. Marine Sand For Sustainable Agregate Supply. *Energi Resources Laboratories Industrial Technology Research Institute*. Juli 2003:1-4.
- Collins, M.P., Mitchell, D & Macgregor, J.G.. 1993. Structural Design Considerations For High Strenght Concrete. *Concrete International*. May 1993:27-34.
- Muhardi & Pilliang, Z. 1996. *Pengaruh Penambahan Silikafume Pada Beton Kinerja Tinggi*. Skripsi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Padang: Universitas Andalas.
- Murdock, L.J. & Brook, K.M., (Diterjemahan Oleh Hendarko, S). 1990. *Bahan Dan Praktek Beton*. Jakarta: Airlangga.
- Sudarmoko. 1995. Pengaruh Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) Pada Kuat Tekan Beton. *Media Komunikasi Tenik Sipil*. 6:8-11.
- Supartono, F.X. 2001. Beton Bahan Dasar dan Unsur Kekuatannya. Di dalam: Anonim. *Trend Teknik Sipil Era Milenium Baru*. Bandung: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Tachibana, D., Kumagai, H., Yamazaki, N. & Suzuki, T. 1994. High Strenght Concrete ( $f'_c = 600\text{kgf/cm}$ ) For Building Construction. *ACI Materials Journal*. 91:390-400.