

KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN PENAMBAHAN STYROFOAM (STYROCON)

Ida Bagus Dharma Giri¹, I Ketut Sudarsana¹, dan Ni Made Tutarani²

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan butiran *styrofoam* serta hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan persentase penambahan butiran *styrofoam*. Butiran *styrofoam* ini digunakan dengan pertimbangan dapat menjadikan beton lebih ringan namun memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang bekerja.

Komposisi campuran yang digunakan adalah 1:2:3 (semen : pasir : batu pecah) dalam perbandingan berat dengan fas sebesar 0,50, dan ukuran agregat maksimum 25 mm. Variasi persentase penambahan butiran *styrofoam* sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, 40% terhadap volume campuran. Butiran *styrofoam* yang dipakai memiliki diameter antara 3-10 mm dengan berat satuan 22,89 kg/m³. Untuk mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan butiran *styrofoam*, maka dibuat benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 7 buah untuk masing-masing persentase penambahan butiran *styrofoam* dimana 5 buah benda uji dilakukan pembacaan perpindahan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitasnya. Pengujian dilakukan pada umur benda uji 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton dan modulus elastisitas yang dihasilkan mengalami penurunan dengan bertambahnya persentase butiran *styrofoam* yang ditambahkan pada campuran beton. Nilai kuat tekan dengan variasi persentase butiran *styrofoam* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% berturut-turut sebesar 32,395 MPa, 24,144 MPa, 17,994 MPa, 13,411 MPa, 9,995 MPa. Penurunan nilai modulus elastisitas dengan penambahan 10%, 20%, 30%, dan 40% berdasarkan ASTM C 469 berturut-turut 0,278%, 5,797%, 16,555%, dan 32,553%, dan berdasarkan kemiringan kurva tegangan-regangan 0,587%, 6,256%, 17,006%, dan 32,838%.

Kata kunci: kuat tekan, modulus elastisitas, styrofoam.

COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC MODULUS OF CONCRETE BY ADDING STYROFOAM (STYROCON)

Abstract: This experiment is aimed to know the value of compressive strength and elastic modulus of concrete by adding granular styrofoam and also relationship between compressive strength and elastic modulus of concrete by percentage increased granular styrofoam. Granular styrofoam is used by consideration it can reduce the weight of concrete but still has enough strength to arrest loads.

The comparison of mixture is 1 : 2 : 3 (cement : sand : crush stone) by comparison of weight with water cement ratio is 0,50 and maximum size of aggregates are 25 mm. Variation of percentage increased granular styrofoam are 0%, 10%, 20%, 30%, 40% to volume of mixture. The range of diameter granular styrofoam are 3-10 mm, with volume of weight 22,89 kg/m³. The specimen for compression and elastic modulus test in cylindrical form by size 150 mm of diameter and 300 mm of height with amount 7 specimens for each percentage increased granular styrofoam where 5 specimens are read the change of length to get modulus of elasticity. The tests are done when specimens age 28 days.

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

² Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

Experiment results show that compressive strength and elastic modulus decrease with increased percentage granular styrofoam which add to concrete mixture. The value of compressive strength by adding granular styrofoam 0%, 10%, 20%, 30%, 40% are 32,395 MPa, 24,144 MPa, 17,994 MPa, 13,411 MPa, 9,995 MPa. Decreased of elastic modulus by adding granular styrofoam 10%, 20%, 30%, 40% based on ASTM C 469 are 0,278%, 5,797%, 16,555%, and 32,553%, and based on slope of the stress-strain curve are 0,587%, 6,256%, 17,006%, and 32,838%.

Keywords: compressive strength, elastic modulus, styrofoam.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton merupakan material struktur yang umum digunakan. Sebagian besar bangunan komponen utamanya terbuat dari beton. Ada berbagai jenis beton yang biasanya digunakan dalam konstruksi antara lain beton normal, beton mutu tinggi, dan beton ringan. Beton ringan adalah salah satu jenis beton yang mempunyai berat satuan di bawah 1900 kg/m³ dan biasanya digunakan sebagai dinding pemisah atau dinding isolasi. Penggunaan beton ringan untuk komponen struktur harus memenuhi persyaratan kekuatan material struktur. Pertimbangan penggunaan beton ringan untuk komponen struktur adalah membuat struktur menjadi lebih ringan sehingga beban konstruksinya lebih kecil.

Kuat tekan dan modulus elastisitas merupakan kinerja beton yang dapat menggambarkan kekuatan beton itu sendiri. Karena beton lemah terhadap tarikan maka pada perencanaan struktur lebih didasarkan pada kuat tekannya. Pada umumnya beton ringan memiliki nilai kuat tekan dan modulus elastisitas lebih kecil daripada beton normal.

Salah satu bahan alternatif yang digunakan dalam pembuatan beton ringan adalah butiran *styrofoam*. *Styrofoam* ini akan ditambahkan ke dalam campuran beton. Beton yang dibuat dengan penambahan *styrofoam* dapat disebut beton-*styrofoam* (*Styrofoam concrete*) yang disingkat Styrocon. Penggunaan *styrofoam* dalam beton ringan dapat dianggap sebagai rongga udara. Secara umum kandungan udara mempengaruhi

kekuatan dari beton. Kekuatan beton berkurang 5.5% dari kuat desak setiap pemasukan udara 1% dari volume campuran. Beton dengan bahan pengisi udara mempunyai kekuatan 10% lebih kecil daripada beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama (Murdock & Brook, 1999). Pada beton dengan kekuatan menengah dan tinggi tiap 1% peningkatan kandungan udara akan mengurangi kekuatan tekan beton sekitar 5%, tanpa perubahan air semen (Mehta, 1986).

Penelitian tentang penggunaan *styrofoam* dalam pembuatan beton ringan sudah pernah dilakukan oleh Satyarno, dkk. Bahan-bahan yang digunakan adalah semen putih, pasir, dan *styrofoam*. Pada penelitian ini digunakan variasi jumlah semen setiap 1m³ beton yaitu 250 kg, 300 kg, 350 kg, dan 400 kg. Fas awal ditentukan sebesar 0,45 dan dinaikkan dengan penambahan nilai fas 2,5%. Perbandingan pasir dan *styrofoam* dalam volume campuran adalah 1,0:0,0 ; 0,8:0,2; 0,6:0,4 ; 0,4:0,6 ; 0,2:0,8 ; dan 0,0:1,0. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah semakin besar persentase *styrofoam* yang digunakan pada jumlah semen yang sama dihasilkan kuat tekan dan lentur semakin kecil. Untuk mendapatkan kuat tekan antara 0,35 MPa sampai 7 MPa jumlah persentase *styrofoam* yang dipakai adalah antara 60% sampai 100%, kuat tekan antara 7 MPa sampai 17 MPa jumlah persentase *styrofoam* yang dipakai adalah antara 0% sampai 60% untuk kandungan semen 250 kg/m³ sampai 300 kg/m³ dan antara 20% sampai 60% untuk kandungan semen 350 kg/m³ sampai 400 kg/m³, dan kuat tekan lebih besar dari 17

MPa jumlah persentase *styrofoam* yang dipakai adalah antara 0% sampai 20% untuk kandungan semen 350 kg/m³ sampai 400 kg/m³.

Sebagai bahan struktur, beton yang dibuat dengan penambahan butiran *styrofoam* pada campuran beton harus memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban-beban yang bekerja. Kuat tekan dan modulus elastisitas merupakan kinerja beton yang dapat menggambarkan kekuatan beton itu sendiri. Untuk mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan penambahan butiran *styrofoam* dan memberikan informasi tentang penggunaan *styrofoam* dalam pembuatan beton maka perlu dilakukan penelitian di laboratorium beton.

Permasalahan

Permasalahan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hubungan antara persentase penambahan butiran *styrofoam* dalam campuran beton terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hubungan antara nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan persentase penambahan butiran *styrofoam* yang bervariasi dan manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai penggunaan butiran *styrofoam* dalam pembuatan beton ringan yang memenuhi persyaratan material struktur.

Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas dan mengingat luasnya cakupan penelitian beton, maka perlu adanya pembatasan masalah agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai. Adapun batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Bahan tambahan yang digunakan pada campuran beton adalah butiran *styrofoam* dengan variasi persentase

0%, 10%, 20%, 30%, 40% terhadap volume campuran.

2. Diameter butiran *styrofoam* yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 3-10 mm dengan berat satuan 22,89 kg/m³.
3. Campuran beton menggunakan semen 400 kg tiap 1 m³ campuran dengan komposisi berat campuran 1 : 2 : 3 (semen : pasir : batu pecah), diambil faktor air semen (fas) sebesar 0,50 dan ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 2,5 cm.

MATERI DAN METODE

Beton

Beton adalah bahan gabungan yang terdiri dari agregat kasar dan halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan halus, seringkali ditambahkan *admixture* atau *additive* bila diperlukan (Subakti, 1994). Beton digunakan sebagai material struktur karena memiliki beberapa keuntungan, antara lain mudah untuk dicetak, tahan api, kuat terhadap tekan, dan dapat dicor di tempat. Disamping keuntungan, beton juga memiliki kelemahan, yaitu beton merupakan bahan yang getas dan mempunyai tegangan tarik yang rendah.

Styrofoam

Styrofoam atau *expanded polystyrene* dikenal sebagai gabus putih biasa yang digunakan sebagai pembungkus barang-barang elektronik. *Polystyrene* ini dihasilkan dari *styrene* (C₆H₅CH₂) yang mempunyai gugus *phenyl* (enam cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Penggabungan acak benzena mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus sebagai hasilnya *polyester* yang mempunyai bentuk tidak tetap, transparan dan dalam berbagai bentuk plastik. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu namun bersifat agak rapuh

dan lunak pada suhu di bawah 100°C (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* ini memiliki berat jenis sampai 1050 kg/m³, kuat tarik sampai 40 MN/m², modulus lentur sampai 3 GN/m², modulus geser sampai 0,99 GN/m², angka poisson 0,33 (Crawford, 1998).

Jika dibentuk granular *styrofoam* atau *expanded polystyrene* maka berat satuannya menjadi sangat kecil yaitu hanya berkisar antara 13-16 kg/m³. Penggunaan *styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Namun keuntungan menggunakan *styrofoam* dibandingkan dengan rongga udara dalam beton berongga adalah *styrofoam* mempunyai kekuatan tarik. Dengan demikian selain akan membuat beton menjadi ringan, dapat juga bekerja sebagai serat yang meningkatkan kekuatan beton. Kerapatan atau berat jenis beton dengan campuran *styrofoam* dapat diatur dengan mengontrol jumlah campuran *styrofoam* dalam beton.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian kuat tekan dan modulus elastisitas adalah benda uji silinder (150 x 300) mm. Proporsi campuran menggunakan perbandingan berat 1 : 2 : 3 (semen : pasir : batu pecah) dan faktor air semen tetap sebesar 0,50. Penambahan *styrofoam* dilakukan dengan variasi persentase 0%, 10%, 20%, 30%, 40% terhadap volume campuran. Masing-masing perlakuan dibuat benda uji sebanyak 7 buah dan 5 buah dilakukan pembacaan perpendekan.

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut: alat-alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian bahan-bahan yang akan digunakan dipersiapkan sesuai dengan ketentuan dan ditimbang sesuai dengan proporsi yang sudah direncanakan. Selanjutnya siapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan dan pencampuran siap dimulai. Mula-mula tuangkan batu pecah, pasir, semen, dan *styrofoam*. Apabila keempat bahan

tersebut sudah tercampur merata kemudian dilanjutkan dengan penambahan air. Setelah tercampur merata, adukan beton dituangkan ke dalam tamal dan dilakukan pengukuran nilai slump. Jika nilai slump lebih kecil dari 25 mm maka pemadatan dilakukan dengan penggetaran, jika di atas 75 mm pemadatan dilakukan dengan cara dirojok. Apabila nilai slump diantara 25-75 mm pemadatan dapat dilakukan dengan cara dirojok ataupun digetarkan. Adukan yang telah diuji slumpnya akan dimasukkan ke dalam cetakan sebanyak tiga lapis. Setelah 24 jam cetakan dibuka, kemudian dilakukan perawatan beton selama 7 hari dengan menggunakan karung goni basah dan plastik. Selanjutnya beton ditempatkan pada ruangan terbuka sampai dengan umur uji (28 hari).

Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilaksanakan pada umur 28 hari. Pengujian ini dilakukan bersamaan. Alat yang digunakan adalah mesin desak merk Controls dengan kapasitas 2000 KN dan *compressometer* merk Controls. Langkah-langkah pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton adalah sebagai berikut: buatlah catatan pada benda uji, baik nomor benda uji, nilai slump, tanggal pembuatan benda uji dan tanggal pengujian. Kemudian *compressometer* dipasang pada silinder beton yang telah siap untuk diuji. Jarak titik penjepit yang melekat pada beton dari *dial gauge* diukur. Setelah itu letakkan silinder beton yang telah dipasangi *compressometer* pada mesin tekan. Pembacaan pada *dial gauge* dilakukan setiap penambahan beban 10 KN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Material

Data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, dihitung dan dianalisis kemudian dibandingkan sesuai

dengan syarat-syarat material yang dipakai dalam campuran beton. Pemeriksaan material dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana.

Semen

Pengujian terhadap semen Portland Type I merk Gresik yang digunakan pada penelitian ini hanya terhadap berat satuan semen. Dari hasil pemeriksaan didapat berat satuan semen sebesar 1312 kg/m³.

Styrofoam

Pemeriksaan butiran *styrofoam* hanya meliputi berat satuan. Dari hasil pemeriksaan didapat berat satuan butiran *styrofoam* sebesar 22,89 kg/m³.

Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berupa pasir dari Karangasem. Hasil pemeriksaan yang telah dilakukan didapat sifat-sifat fisik agregat halus sebagai berikut:

1. Berat satuan sebesar 1508 kg/m³.
2. Kadar air sebesar 10,132% .
3. Berat jenis dan penyerapan air:
 - a. Berat Jenis Bulk = 2,419 gr/cm³
 - b. Berat Jenis SSD = 2,439 gr/cm³
 - c. Berat Jenis Tampak = 2,468 gr/cm³
 - d. Penyerapan = 0,806 %
4. Kadar lumpur sebesar 1,111% artinya bahwa pasir tersebut telah memenuhi syarat yang ada dalam SII.0052-80 pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering.
5. Gradasi pasir dirancang memenuhi zone 2 berdasarkan SK. SNI. T-15-1990-03 dengan modulus kehalusan pasir (FM) sebesar 2,74. Umumnya modulus kehalusan pasir untuk beton berkisar antara 1,5 sampai 3,8 (SII.0052-80).

Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang berasal dari Karangasem. Dari hasil pemeriksaan diperoleh data sebagai berikut:

1. Berat satuan sebesar 1434 kg/m³.
2. Kadar air sebesar 1,626 %.
3. Berat jenis dan penyerapan air :
 - Berat Jenis Bulk = 1,963 gr/cm³
 - Berat Jenis SSD = 1,993 gr/cm³
 - Berat Jenis Tampak = 2,024 gr/cm³
 - Penyerapan = 1,540 %
4. Kadar lumpur sebesar 0,2 % artinya bahwa batu pecah tersebut telah memenuhi syarat yang ada dalam SII.0052-80 yaitu agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% berat kering.
5. Gradasi batu pecah yang digunakan dirancang sedemikian rupa agar masuk dalam batas gradasi untuk ukuran butir maksimum 25 mm berdasarkan ASTM C 33 dengan modulus kehalusan (FM) batu pecah yang dirancang sebesar 6,525. Umumnya modulus kehalusan agregat kasar untuk beton berkisar antara 6,0 sampai 7,1 (SII 0052-80). Untuk lebih jelasnya grafik gradasi agregat kasar yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.2.
6. Daya tahan terhadap pembubukan sebesar 16,878%. Hal ini berarti batu pecah telah memenuhi syarat kekerasan yang mana tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50%.

Slump

Pengujian nilai slump dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton, yang dapat menggambarkan kemudahan pengerjaan (*workability*) dari beton. Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai slump

| Penambahan styrofoam (%) | Rata-rata Nilai Slump |
|--------------------------|-----------------------|
| 0 | 1,00 cm |
| 10 | 1,00 cm |
| 20 | 1,22 cm |
| 30 | 1,53 cm |
| 40 | 1,73 cm |

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai slump rata-rata yang didapat mengalami peningkatan. Semakin besar persentase penambahan butiran *styrofoam*, nilai slump yang didapat semakin bertambah tanpa adanya penambahan air. Hal ini disebabkan karena sifat butiran *styrofoam* yang memiliki permukaan yang licin menyebabkan sulitnya pasta semen untuk mengikat butiran *styrofoam* bersama-sama dengan agregat.

rata-rata dari setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

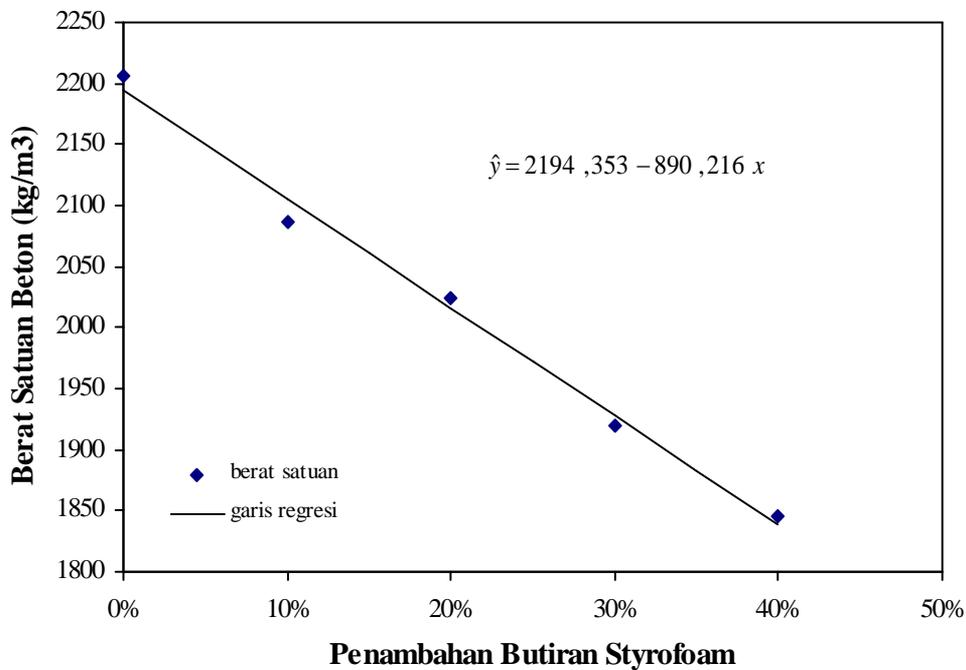
Tabel 2. Berat satuan beton

| Penambahan styrofoam (%) | Berat Satuan Beton (kg/m ³) |
|--------------------------|---|
| 0 | 2207,002 |
| 10 | 2085,903 |
| 20 | 2023,925 |
| 30 | 1919,749 |
| 40 | 1844,971 |

Berat Satuan

Pemeriksaan berat satuan beton dilakukan dengan cara menimbang masing-masing benda uji pada umur 28 hari. Hasil pengujian berat satuan beton

Selanjutnya dari data pada Tabel 2 dilakukan analisis regresi sehingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram pencar dan garis regresi persentase penambahan butiran styrofoam dan berat satuan beton

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa berat satuan beton dengan penambahan butiran *styrofoam* mengalami penurunan secara linier. Dari persamaan regresi didapat berat satuan beton tanpa penambahan butiran *styrofoam* sebesar 2194,353 kg/m³. Setiap penambahan 10% butiran *styrofoam* berat satuan beton berkurang 89,022 kg/m³. Butiran *styrofoam* memiliki berat yang sangat

ringan dan dapat dianggap sebagai rongga udara di dalam beton. Secara umum beton dengan rongga udara memiliki berat satuan yang lebih kecil daripada beton normal. Semakin banyak jumlah butiran *styrofoam* di dalam beton, semakin banyak rongga udara yang dihasilkan, sehingga berat beton menjadi berkurang. Berat satuan beton di bawah 1900 kg/m³ diperoleh pada penambahan 40% butiran

styrofoam, dimana dengan berat satuan ini beton dapat digolongkan ke dalam beton ringan berdasarkan SNI 03-2874-2002. Persentase penurunan berat satuan beton dengan penambahan butiran *styrofoam* 10%, 20%, 30%, dan 40% dibandingkan dengan berat satuan beton tanpa penambahan butiran *styrofoam* berturut-turut 4,057%, 8,114%, 12,171%, dan 16,227%.

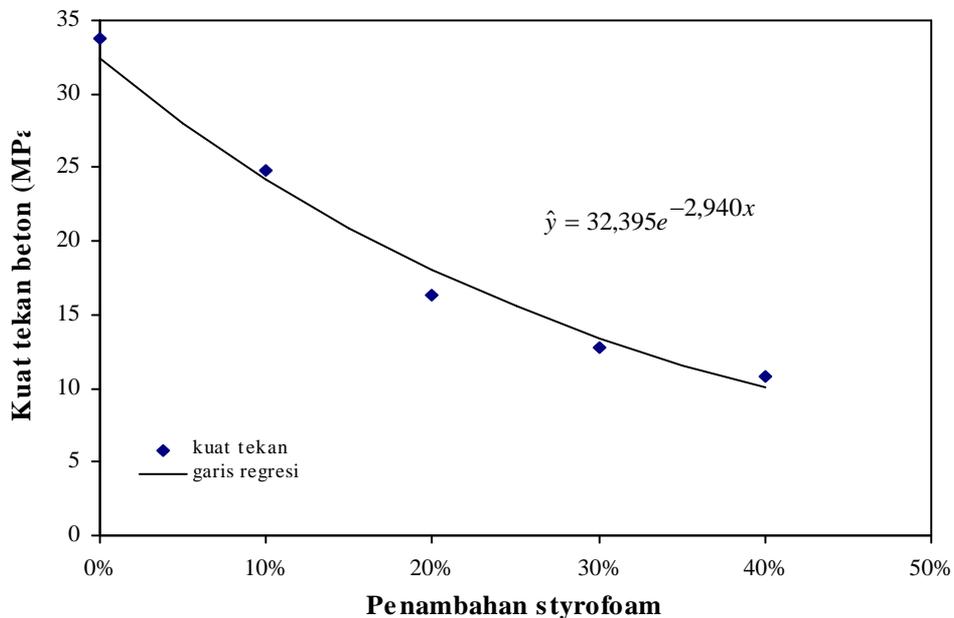
Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata untuk setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kuat tekan beton

| Penambahan Styrofoam (%) | Kuat Tekan Beton (MPa) |
|--------------------------|------------------------|
| 0 | 33,784 |
| 10 | 24,781 |
| 20 | 16,367 |
| 30 | 12,697 |
| 40 | 10,850 |

Selanjutnya data pada Tabel 3. dilakukan analisis regresi sehingga diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram pencar dan garis regresi persentase penambahan butiran styrofoam dan kuat tekan beton

Gambar 2 dapat dilihat bahwa kuat tekan beton dengan penambahan butiran styrofoam mengalami penurunan secara eksponensial. Kuat tekan beton tanpa penambahan butiran *styrofoam* yang diperoleh dari persamaan regresi sebesar 32,395 MPa. Setiap penambahan 10% butiran *styrofoam* kuat tekan berkurang sebesar $e^{-0,294}$ MPa. Persentase penurunan kuat tekan beton dengan penambahan *styrofoam* 10%, 20%, 30%, dan 40% dibandingkan dengan kuat tekan tanpa penambahan *styrofoam* berturut-turut

25,470%, 44,453%, 58,601%, dan 69,145%. Penurunan kuat tekan ini disebabkan karena butiran *styrofoam* dapat dianggap sebagai rongga udara, dimana beton dengan rongga udara memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan tanpa rongga udara.

Modulus Elastisitas Beton

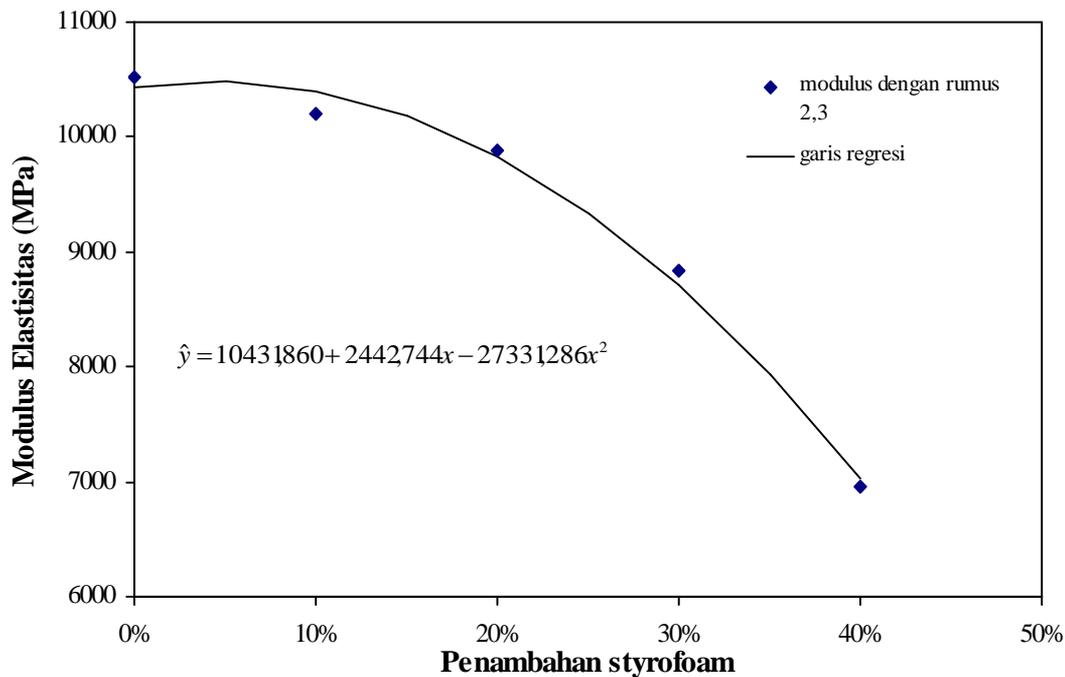
Dari *dial gauge* pada *compressometer* didapatkan nilai perpindahan beton, sehingga besarnya nilai tegangan dan regangan beton dapat dihitung. Untuk menghitung modulus elastisitas digunakan

persamaan berdasarkan ASTM C 469 dan kemiringan kurva tegangan-regangan beton yang didapat. Nilai modulus elastisitas masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.

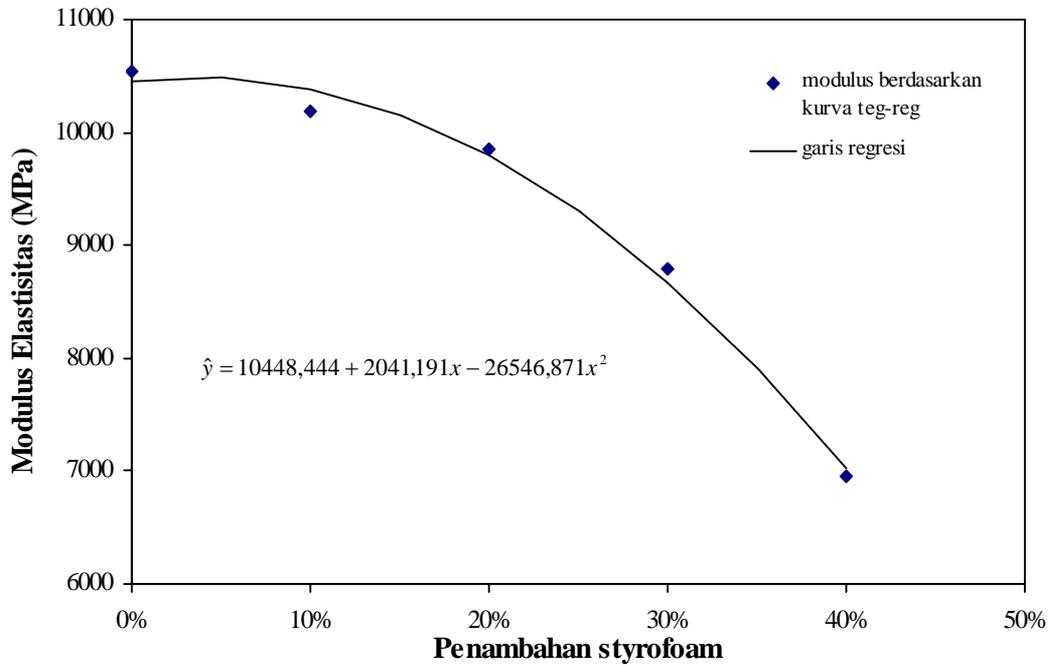
Tabel 4. Modulus elastisitas beton

| Penambahan Styrofoam (%) | Modulus Elastisitas (MPa) Berdasarkan ASTM C 469 $E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_2 - 0.00005}$ | Modulus Elastisitas (MPa) Berdasarkan Kemiringan Kurva Tegangan-Regangan Beton $E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ |
|--------------------------|---|--|
| 0 | 10523,670 | 10538,434 |
| 10 | 10202,393 | 10188,858 |
| 20 | 9877,593 | 9849,548 |
| 30 | 8838,043 | 8796,849 |
| 40 | 6960,961 | 6945,660 |

Selanjutnya data pada Tabel 4 diperoleh hasil yang dapat dilihat pada dilakukan analisis regresi sehingga Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Diagram pencar dan garis regresi persentase penambahan butiran styrofoam dan modulus elastisitas berdasarkan ASTM C 469



Gambar 4. Diagram pencar dan garis regresi persentase penambahan butiran styrofoam dan modulus elastisitas berdasarkan kemiringan kurva tegangan-regangan beton

Nilai modulus elastisitas beton mengalami penurunan dengan bertambahnya persentase butiran styrofoam pada campuran beton. Hal ini disebabkan karena butiran styrofoam dalam beton memiliki ikatan yang lemah dengan pasta semen. Saat pasta semen mengeras akan terjadi penyusutan pada beton, proses ini akan membentuk *microcrack* pada daerah lemah di sekitar butiran styrofoam.

Semakin banyak butiran styrofoam pada campuran beton, maka semakin banyak *microcrack* pada daerah lemah yang terbentuk. Persentase penurunan nilai modulus elastisitas beton dengan penambahan butiran styrofoam dibandingkan dengan modulus elastisitas beton tanpa penambahan butiran styrofoam dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase penurunan modulus elastisitas

| Penambahan Styrofoam (%) | Penurunan Modulus Elastisitas Berdasarkan ASTM C 469 | Penurunan Modulus Elastisitas Berdasarkan Kemiringan Kurva Tegangan-Regangan Beton |
|--------------------------|--|--|
| 0% | 0% | 0% |
| 10% | 0,278% | 0,587% |
| 20% | 5,797% | 6,256% |
| 30% | 16,555% | 17,006% |
| 40% | 32,553% | 32,838% |

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan butiran *styrofoam* pada campuran beton dapat menambah kelecakan (*workability*).
2. Penambahan butiran *styrofoam* pada campuran beton membuat beton menjadi lebih ringan dibandingkan dengan beton tanpa penambahan butiran *styrofoam* dan didapat berat satuan beton kurang dari 1900 kg/m³ pada penambahan 40% butiran *styrofoam*, yaitu sebesar 1838,267 kg/m³ dan dapat digolongkan ke dalam beton ringan.
3. Kuat tekan beton berkurang secara eksponensial dengan rumus $\hat{y} = 32,395e^{-2,940x}$, dengan bertambahnya persentase penambahan butiran *styrofoam*. Persentase penurunan kuat tekan beton dengan penambahan butiran *styrofoam* 10%, 20%, 30%, dan 40% dibandingkan dengan kuat tekan tanpa penambahan butiran *styrofoam* berturut-turut adalah 25,470%, 44,453%, 58,601%, dan 69,145%.
4. Modulus elastisitas beton yang dihitung berdasarkan persamaan dan kemiringan kurva tegangan-regangan mengalami penurunan secara kuadratik. Penurunan nilai modulus elastisitas dengan penambahan 10%, 20%, 30%, dan 40% berdasarkan Persamaan 2.3 berturut-turut 0,278%, 5,797%, 16,555%, dan 32,553%, dan berdasarkan kemiringan kurva tegangan-regangan 0,587%, 6,256%, 17,006%, dan 32,838%.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan berat satuan yang

ringan namun memiliki kuat tekan yang tinggi.

2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan butiran *styrofoam* yang memiliki berat satuan yang bervariasi.
3. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan komposisi campuran yang berbeda.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan campuran dengan nilai slump yang bagus yaitu antara 5-7,5 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 1980. *Standar Industri Indonesia: Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonimus. 1991. *SK Standar Nasional Indonesia: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonimus. 2002. *Standar Nasional Indonesia: Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Mehta, P.K. 1986. *Structure, Properties, and Material*, Prentice Hall, New Jersey.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*, ANDI, Yogyakarta.
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M. 1999. *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Neville, A.M. dan Brooks, J.J. 1998. *Concrete Technology*, Longman, Singapore.
- Pandeyati. 2003. *Penelitian Tentang Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Kuat Tarik Lentur, Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Menggunakan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.

- Ritonga M.D. 2004. *Pengaruh Kandungan Udara Dalam Adukan Beton Terhadap Nilai Slump, Faktor Pemadatan, dan Kuat Tekan Beton*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Salmon, C.G. dan Wang, C.K. 1993. *Disain Beton Bertulang*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Samekto, W., Rahmadiyanto, C. 2001. *Teknologi Beton*, Kanisius, Yogyakarta.
- Satyarno, I. 2004. *Penggunaan Semen Putih Untuk Beton Styrofoam Ringan (Batafoam)*. Website: <http://ppkb.UGM.ac.id/pdf/Bussino/iman.pdf>
- Subakti, A. 1994. *Teknologi Beton Dalam Praktek*, Laboratorium Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.