

SIFAT MEKANIS BETON RINGAN DENGAN STYROFOAM SEBAGAI MEDIA PEMBENTUK UDARA

Jonathan Andryanto¹ dan Widodo Kushartomo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
jonathan.325190049@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
widodo@untar.ac.id

Masuk: 25-01-2023, revisi: 22-02-2023, diterima untuk diterbitkan: 02-05-2023

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in construction. Due to the weight of the concrete is quite heavy, lightweight concrete is invented. One method for making lightweight concrete is to fill or blow air in the mortar. One of the components that can be utilized in this method is by adding styrofoam to the concrete mixture. Because styrofoam doesn't interact with or react during the hydration process between cement and water, styrofoam can be utilized as a filler material and the concrete will be lighter if air is added to the mixture by using styrofoam as the medium. Compressive strength, elastic modulus, flexural strength, and split tensile strength tests were performed in this study. The number of samples made was 6 cylindrical pieces and 3 beam-shaped pieces for each concrete variation. Types of variations in the percentage of styrofoam in this study were 0%, 50%, 60%, and 70%. The treatment of the test object is done by immersion. The values of split tensile strength, compressive strength, modulus of elasticity, and flexural strength will decrease when the volume of styrofoam in the concrete mixture increases due to pore volume increase.

Keywords: Lightweight; Styrofoam; Strength; Flexural; Tensile, Elasticity

ABSTRAK

Beton adalah sebuah bahan atau material yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan. Karena massa beton yang cukup berat, maka teknologi beton ringan ditemukan. Pembuatan beton ringan dapat dibuat dengan metode pengisian atau peniupan udara ke dalam adukan atau mortar. Pembuatan beton ringan dengan metode ini dapat dilakukan dengan menambahkan material *styrofoam* ke dalam campuran beton. *Styrofoam* dapat digunakan sebagai material pengisi (*filler*), karena *styrofoam* tidak mengganggu atau tidak ikut bereaksi pada proses hidrasi antara semen dan air. Penggunaan *styrofoam* sebagai media untuk memasukkan udara ke dalam campuran beton akan menghasilkan beton yang lebih ringan. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kuat tarik belah, kuat lentur, kuat tekan, serta modulus elastisitas. Sampel dibuat sebanyak 6 buah berbentuk silinder dan 3 buah berbentuk balok untuk setiap variasi beton ringan *styrofoam*. Jenis variasi persentase *styrofoam* yang diuji pada penelitian ini adalah 0%, 50%, 60%, dan 70%. Proses *curing* benda uji dilakukan dengan metode perendaman. Nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur akan menurun pada saat persentase *styrofoam* dalam campuran beton bertambah yang diakibatkan oleh kenaikan volume pori dalam beton.

Kata kunci: Ringan; *Styrofoam*; Tekan; Lentur; Belah; Elastisitas

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton adalah sebuah bahan atau material yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan karena kekuatan dan daya dukungnya yang tinggi serta berfungsi sebagai bahan yang tahan terhadap suhu tinggi. Beton sendiri adalah sebuah campuran dari agregat halus dan kasar yang diikat oleh hasil reaksi hidrasi semen (Purnawirati, 2020).

Menurut SNI 2847:2019, berat jenis beton normal biasanya berada pada kisaran 2155 kg/m³ hingga 2560 kg/m³, dan normalnya berat jenis beton normal diambil sekitar 2320 kg/m³ hingga 2400 kg/m³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan beton sebagai material konstruksi akan mengakibatkan bangunan memiliki beban struktural (*self-weight*) yang tinggi.

Karena massa beton yang cukup berat para peneliti teknologi beton banyak melakukan inovasi untuk menghasilkan beton yang lebih ringan. Menurut SNI 2847:2019, beton ringan merupakan sebuah beton yang memiliki agregat yang ringan serta mempunyai densitas yang seimbang seperti yang telah diresmikan pada ASTM C567, yaitu berkisar antara 1140 hingga 1840 kg/m³. Sedangkan menurut SNI 03-3449-2002, beton ringan merupakan sebuah beton yang menggunakan agregat yang ringan atau campuran dari pasir alami dengan agregat kasar yang ringan dan memiliki persyaratan berat jenis beton yang dihasilkan lebih rendah dari 1850 kg/m³.

Menurut Short dan Kinniburgh (1978), beton ringan dapat dibuat melalui 3 metode. Metode pertama dalam pembuatan beton ringan adalah dengan membuat beton tanpa menggunakan agregat halus. Beton ringan yang dibuat melalui metode ini disebut *no-fines concrete*. Lalu metode kedua adalah dengan mensubstitusikan agregat yang memiliki berat jenis yang tinggi dengan agregat yang lebih ringan atau agregat berdensitas rendah, seperti batu apung (*pumice*), batu sabak (*slate*), batu serpih (*shale*), *scoria*, *tuff*, *perlite*, agregat sintetis, dan bahan-bahan lainnya (SNI 03-3449-2002). Beton ringan yang dibuat dengan metode ini disebut *lightweight aggregate concrete*. Sedangkan metode ketiga untuk membuat beton ringan adalah dengan memasukkan atau meniupkan udara ke dalam campuran beton, sehingga menghasilkan gelembung-gelembung udara halus pada adukan semen. Semakin banyak gelembung udara dalam campuran beton, semakin banyak rongga yang terbentuk, sehingga akan menambahkan jumlah volume campuran beton. Hasilnya, berat dari beton tersebut akan menjadi lebih ringan daripada beton normal yang memiliki ukuran yang sama (Tjokrodimuljo, 2007). Pembuatan beton ringan dengan metode ketiga dapat dilakukan dengan menambahkan material *styrofoam* ke dalam campuran beton. *Styrofoam* memiliki ruang diantara butiran yang berisi udara sehingga dapat dianggap seperti rongga udara.

Styrofoam atau *expanded polystyrene* (EPS) merupakan material yang banyak digunakan pada pembungkus makanan dan kemasan. *Styrofoam* didesain untuk menjadi barang sekali pakai, sehingga banyak sekali limbah yang terbentuk akibat penggunaan *styrofoam* secara berlebihan. *Styrofoam* juga memiliki sifat yang sulit untuk terurai sehingga dapat merusak ekosistem bumi. Oleh karena itu, dilakukan banyak inovasi untuk mengolah limbah *styrofoam*. Salah satunya adalah dengan menjadikan limbah *styrofoam* untuk keperluan konstruksi, yaitu pada pembuatan beton ringan.

Penggunaan beton ringan *styrofoam* dapat memberikan beberapa keuntungan, antara lain mengurangi beban mati bangunan, mengurangi besarnya biaya yang harus dikeluarkan, mendorong konsep pembangunan bertingkat, mengedepankan material yang ramah lingkungan, dan pada penggunaan metode *reuse* ini diharapkan untuk dapat mengatasi masalah limbah yang sulit terurai dan sekaligus menjadikannya memiliki nilai guna (Solikin et al., 2019). Penggunaan *styrofoam* pada pembuatan beton ringan akan lebih efektif daripada pembuatan *aerated concrete* pada umumnya, karena *styrofoam* memiliki kuat tarik dan volume rongga udara yang lebih mudah untuk dikendalikan jika dibandingkan dengan metode peniupan udara pada pembuatan *aerated concrete* (Karolina et al., 2018). Namun penggunaan *styrofoam* dalam pembuatan beton dapat mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan seiring bertambahnya persentase *styrofoam* pada campuran beton (Hadi, 2019).

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian eksperimental ini dilakukan terhadap beton ringan dengan *styrofoam* sebagai media pembentuk udara yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrofoam* terhadap berat jenis dan sifat mekanis beton serta kelayakan hasil desain untuk penggunaan struktural. Sifat mekanis yang dimaksud berupa kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, serta modulus elastisitas.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa penelitian eksperimental dimana dilakukan sejumlah pengujian pada beton untuk mengetahui pengaruh penambahan volume *styrofoam* terhadap sifat mekanis beton. Jenis variasi persentase *styrofoam* yang diteliti adalah 0%, 50%, 60%, dan 70% terhadap volume total campuran beton. Dilakukannya penelitian ini dengan persentase berikut didasarkan dari penelitian-penelitian serupa yang pernah dilakukan sebelumnya, yaitu beton pada persentase *styrofoam* dibawah 50% akan memiliki berat jenis yang cukup besar sehingga memiliki kemungkinan untuk memiliki berat jenis diatas 1850 kg/m³ yang membuat benda uji tidak dapat dikategorikan sebagai beton ringan, sementara pada persentase *styrofoam* diatas 70% akan menghasilkan beton dengan bobot yang ringan tetapi mutu yang dihasilkan akan rendah. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan pada persentase 50%, 60%, dan 70% dengan 0% sebagai variabel kontrol.

Langkah pertama dilakukannya penelitian ini adalah dengan melakukan pemeriksaan *properties* dari pasir alami yang digunakan pada penelitian ini. Pemeriksaan *properties* yang dilakukan pada pasir alami yang digunakan pada penelitian ini berupa kadar air, kadar organik, kadar lumpur, berat jenis spesifik, absorpsi, berat volume, modulus kehalusan, dan gradasi butiran. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji yang memiliki bentuk silinder yang memiliki tinggi 20 cm dan diameter 10 cm sebanyak 6 benda uji untuk setiap variasi, serta benda uji yang memiliki bentuk balok dengan dimensi 10 cm × 10 cm × 40 cm sebanyak 3 benda uji untuk setiap variasi. Selanjutnya dilakukan perawatan benda uji dengan teknik perendaman selama 28 hari. Seluruh benda uji akan di uji setelah dilakukannya

perawatan untuk mencari sifat mekanis beton ringan *styrofoam*. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini berupa modulus elastisitas, kuat lentur, kuat tarik belah, serta kuat tekan.

Mix Design

Proporsi campuran beton ringan didapat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kushartomo et al. (2013) mengenai Pengaruh Penambahan *Quartz Powder* Pada *Reactive Powder Concrete* terhadap Terbentuknya Kalsium-Silikat-Hidrat yang dibuat dengan proporsi semen dan agregat halus sebesar 1:1,5 dengan faktor air semen (w/c ratio) sebesar 0,2. Dan digunakan bahan tambah berupa *silica fume* yang didapat dari 20% berat semen dan *superplasticizer* yang didapat dari 3% berat semen. Perbedaan dari *mix design* penelitian ini dengan *mix design* dari penelitian yang telah dilakukan oleh Kushartomo et al. (2013) adalah *quartz powder* tidak digunakan pada campuran beton serta terdapat penambahan *styrofoam* pada campuran beton. Volume *styrofoam* yang ditambahkan pada mortar didapat berdasarkan dari total volume campuran beton.

Tabel 1. *Mix Design*

Penambahan	0%	50%	60%	70%
Semen (kg)	17,2	8,6	8,2	8,0
Pasir (kg)	25,8	12,9	12	12
Air (kg)	3,44	1,7	1,64	1,6
Silica Fume (kg)	3,44	1,72	1,64	1,6
Superplasticizer (kg)	0,516	0,258	0,246	0,24
Styrofoam (L)	0	10,74	15,36	23,32

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan pada seluruh benda uji, diperoleh beberapa data yang dapat dilihat pada grafik-grafik berikut.

Berat Jenis

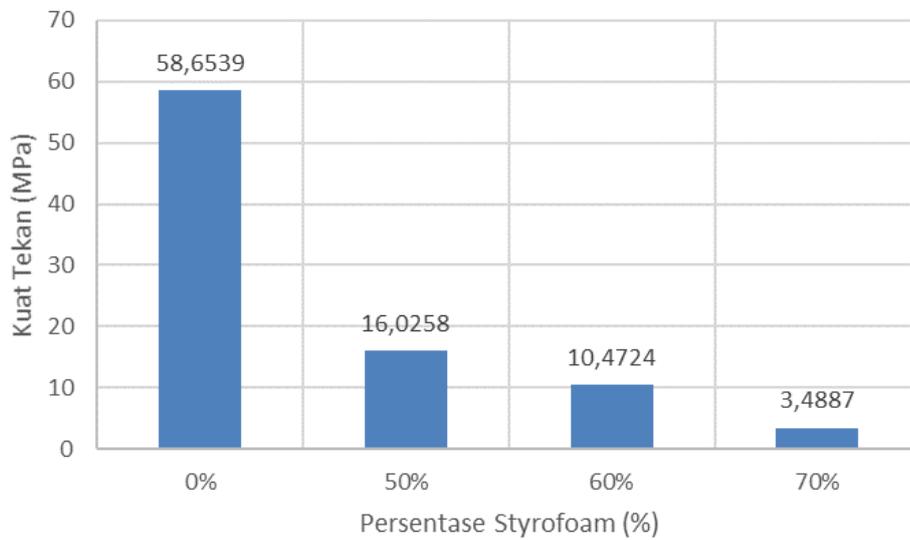
Perhitungan berat jenis beton didapat melalui pembagian antara massa benda uji dengan volume benda uji. Hasil perhitungan berat jenis dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut.

Tabel 2. *Summary* Berat Jenis Beton Ringan *Styrofoam*

No	Persentase <i>Styrofoam</i> (%)	BJ Rata-Rata (kg/cm ³)
1	0%	2217,4907
2	50%	1472,8733
3	60%	1387,9677
4	70%	792,7465

Data pada Tabel 2. diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase *styrofoam*, berat jenis beton yang dihasilkan akan menjadi lebih ringan. Berdasarkan SNI 03-3449-2002, ketiga benda uji dapat disimpulkan sebagai beton ringan karena berat jenis yang dihasilkan memenuhi standar, yaitu kurang dari 1850 kg/m³. Dobrowolski (1998) menyatakan bahwa beton ringan yang memiliki berat jenis yang berkisar antara 1440 – 1900 kg/m³ tergolong dalam jenis *Structural Lightweight Concrete* dan 800 – 1440 kg/m³ tergolong dalam jenis *Moderates-Strength Lightweight Concrete*. Sehingga sampel 50% disimpulkan dapat digunakan dalam keperluan struktural jika kekuatan tekannya mencapai 17,3 MPa, sedangkan pada sampel 60% dan 70% disimpulkan dapat digunakan untuk keperluan struktur ringan jika mutu beton ringan tersebut mencapai 6,9 – 17,3 MPa.

Kuat Tekan



Gambar 1. Grafik kuat tekan beton (MPa) vs. persentase *styrofoam* (%)

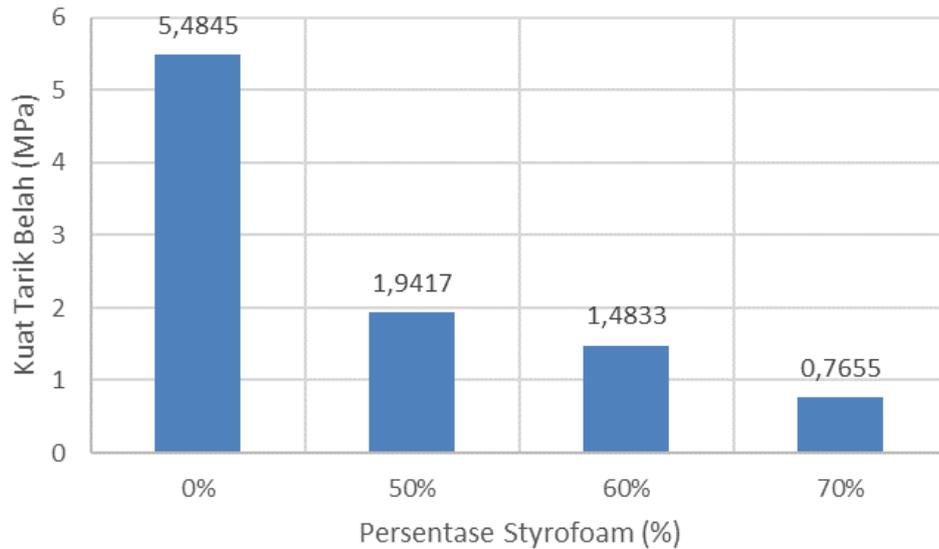
Dari Gambar 1. diatas menunjukkan bahwa kekuatan beton menurun seiring bertambahnya persentase *styrofoam* dalam campuran beton. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sampel 0% memiliki kekuatan tekan sebesar 58,6539 MPa, sampel 50% sebesar 16,0258 MPa, sampel 60% sebesar 10,4724 MPa, dan pada sampel 70% sebesar 3,4887 MPa. Hal ini disebabkan oleh banyaknya rongga-rongga udara yang terbentuk akibat ditambahkannya *styrofoam* pada campuran beton yang dapat dilihat pada persamaan Mindess & Young (1981) yang mengkorelasikan kekuatan dan porositas pada material getas.

$$S = S_0 e^{-kP} \quad (1)$$

dengan S = kekuatan, S_0 = kekuatan pori-pori, k = konstanta, P = volume pori-pori

Sutandi dan Kushartomo (2019) menyatakan bahwa persamaan diatas dapat menjelaskan kenaikan volume pori dalam beton dapat mengurangi kekuatan beton. Sehingga semakin banyak pori-pori yang terbentuk, maka semakin kecil pula kekuatan pada beton.

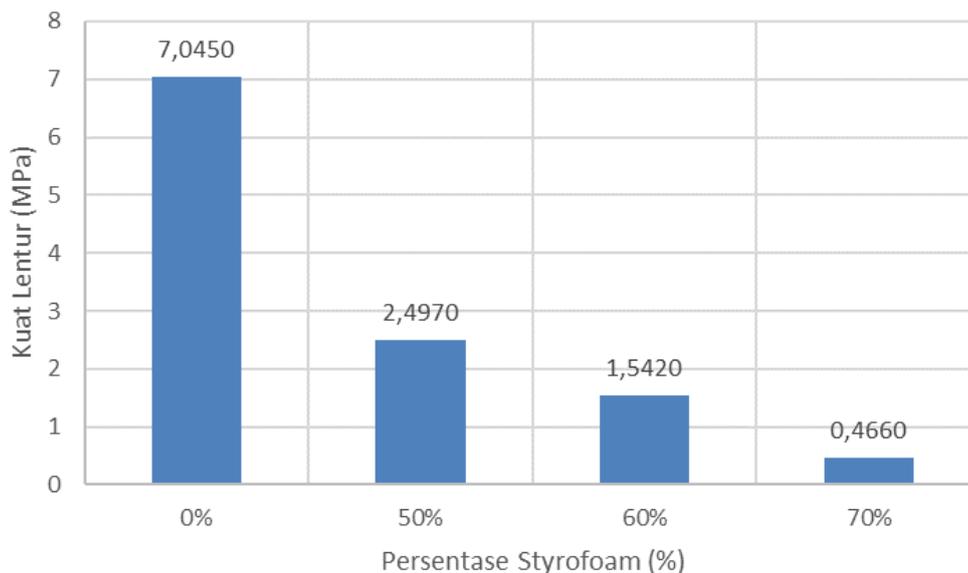
Kuat Tarik Belah



Gambar 2. Grafik kuat tarik belah beton (MPa) vs. persentase *styrofoam* (%)

Gambar 2. menunjukkan bahwa penambahan *styrofoam* cenderung mengurangi nilai kuat tarik belah beton. Masing-masing kuat tarik belah beton secara berurutan adalah 5,4845 MPa pada sampel 0%, 1,9417 MPa pada sampel 50%, 1,4833 MPa pada sampel 60%, dan 0,7655 MPa pada sampel 70%. Penurunan kekuatan tarik belah beton konsisten dengan penurunan kekuatan tekan beton yang disebabkan oleh peningkatan rongga udara yang dijelaskan pada Persamaan (1). Selain dari peningkatan rongga udara, hal lain yang mungkin menyebabkan penurunan pada kekuatan tarik belah yaitu pada *styrofoam* yang memiliki permukaan yang licin sehingga sulit untuk melekat dengan sempurna dengan semen (Wulandari, dkk., 2020).

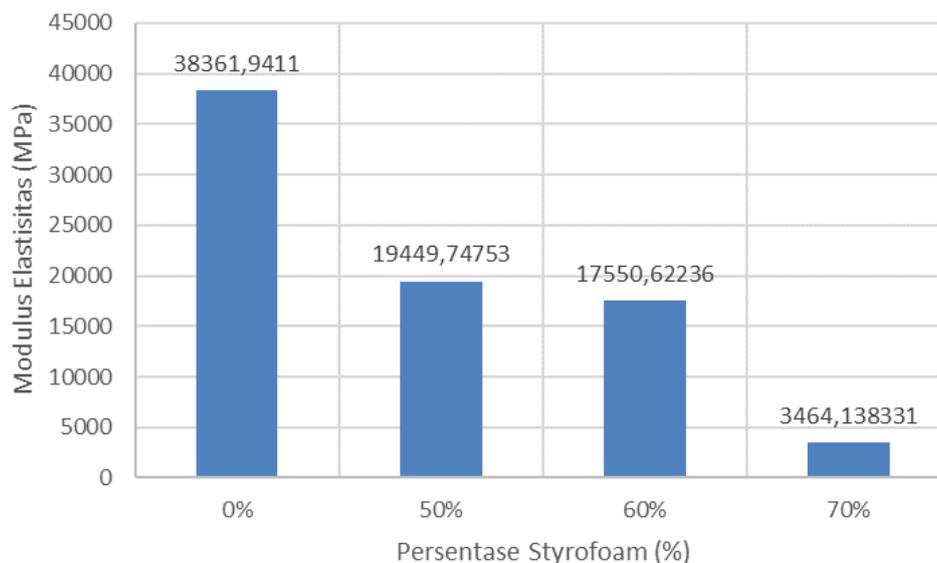
Kuat Lentur



Gambar 3. Grafik kuat lentur beton (MPa) vs. persentase *styrofoam* (%)

Gambar 3. diatas menunjukkan bahwa kuat lentur beton menurun bersamaan dengan penambahan persentase *styrofoam* dalam campuran beton. Masing-masing kuat lentur beton secara berurutan adalah 7,0450 MPa pada benda uji 0%, 2,4970 MPa pada benda uji 50%, 1,5420 MPa pada benda uji 60%, dan 0,4660 MPa pada benda uji 70%. Dari data diatas, dapat dilihat bahwa penurunan kuat lentur berbanding lurus dengan penurunan kekuatan tekan dan kuat tarik belah beton. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan dari rongga udara yang terbentuk akibat penambahan *styrofoam* ke dalam campuran beton. Sadrmomtazi et al. (2012) juga berpendapat bahwa penggunaan *styrofoam* dalam campuran beton dapat mengurangi *toughness* (keuletan) pada beton serta penurunan pada kekuatan lentur. Hal ini disebabkan oleh *styrofoam* yang bersifat lunak.

Modulus Elastisitas



Gambar 4. Grafik modulus elastisitas beton (MPa) vs. persentase *styrofoam* (%)

Dari data yang dapat dilihat pada Gambar 4. diatas, dapat disimpulkan bahwa penurunan modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh seberapa banyak volume *styrofoam* yang terdapat dalam campuran beton. Dari Gambar 4. Di atas, dapat juga disimpulkan bahwa penurunan modulus elastisitas sangat mirip dengan penurunan kekuatan beton terhadap persentase *styrofoam*. Secara berurutan, pengaruh penambahan *styrofoam* sebesar 0%, 50%, 60%, dan 70% terhadap volume total campuran beton adalah 38361,9411 MPa, 19449,7475 MPa, 17550,6224 MPa, dan 3464,1383 MPa.

Yunanto, dkk. (2014) melakukan penelitian yang menjelaskan bahwa modulus elastisitas beton yang diuji sangat dipengaruhi oleh modulus elastisitas serat campurannya, sehingga dapat disimpulkan bahwa modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan yang terkandung dalam campurannya. Apabila bahan yang dicampurkan memiliki modulus elastisitas yang rendah, maka modulus elastisitas beton akan menurun. Butiran *styrofoam* atau EPS umumnya memiliki modulus elastisitas diantara 0,00650 – 2,65 GPa atau 6,5 – 2650 MPa, sedangkan modulus elastisitas beton tanpa *styrofoam* adalah 38361,9411 MPa. Oleh karena itu, semakin banyak *styrofoam* yang ditambahkan, maka semakin kecil juga modulus elastisitas beton yang terbentuk.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini, yaitu:

1. Semakin besar persentase *styrofoam* pada campuran beton, semakin ringan pula beton yang dihasilkan.
2. Kuat tekan beton *styrofoam* dipengaruhi oleh seberapa besar kandungan *styrofoam* yang terdapat dalam campuran beton. Sehingga jika kandungan *styrofoam* dalam campuran beton semakin banyak, maka semakin kecil kekuatan tekan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya rongga-rongga udara yang terbentuk akibat ditamhkannya *styrofoam* dalam mortar. Nilai kuat tekan beton dengan persentase *styrofoam* 0%, 50%,60%, dan 70% secara berurutan adalah 58,6539 MPa, 16,0258 MPa, 10,4724 MPa, dan 3,4887 MPa.

3. Dari hasil pengujian kekuatan tekan, dapat disimpulkan bahwa beton ringan *styrofoam* tidak dapat digunakan untuk keperluan struktural, karena seluruh benda uji tidak memenuhi persyaratan kuat tekan untuk beton struktural, yaitu minimal 17 MPa.
4. Besarnya kuat tarik belah beton dipengaruhi oleh seberapa besar persentase *styrofoam* dalam beton. Semakin besar kandungan *styrofoam* akan membuat kekuatan tarik belah pada beton menjadi menurun. Penurunan kekuatan tarik belah beton sangat mirip dengan penurunan kekuatan tekan beton yang disebabkan oleh peningkatan rongga udara pada beton. Nilai kekuatan tarik belah beton dengan persentase *styrofoam* 0%, 50%, 60%, dan 70% secara berurutan adalah 5,4845 MPa, 1,9417 MPa, 1,4833 MPa, dan 0,7655 MPa.
5. Semakin besar persentase *styrofoam* dalam campuran beton, semakin menurun pula kuat lentur beton. Sehingga penurunan dari kuat lentur berbanding lurus dengan penurunan kuat tekan dan kekuatan tarik belah beton. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan dari rongga udara yang terbentuk akibat penambahan *styrofoam* yang dianggap sebagai rongga udara ke dalam campuran beton. Nilai dari kekuatan lentur beton dengan persentase *styrofoam* 0%, 50%, 60%, dan 70% secara berurutan adalah 7,0450 MPa, 2,4970 MPa, 1,5420 MPa, dan 0,4660 MPa.
6. Kenaikan dan penurunan modulus elastisitas juga berbanding lurus dengan kenaikan dan penurunan persentase *styrofoam* dalam campuran beton. Nilai modulus elastisitas beton dengan persentase *styrofoam* 0%, 50%, 60%, dan 70% secara berurutan adalah 38361,94 MPa, 19449,75 MPa, 17550,62 MPa, dan 3464,138 MPa.

Saran yang bisa diberikan dari hasil penelitian, yaitu

1. Diperlukan dilakukannya sebuah penelitian lebih lanjut pada beton ringan dengan *styrofoam* sebagai media pengisi udara untuk meningkatkan sifat mekanik beton sehingga dapat digunakan untuk keperluan struktural.
2. Diperlukan dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pembuatan balok dan kolom dengan menggunakan beton ringan *styrofoam*.
3. Diperlukan dilakukannya penelitian lebih lanjut pada beton ringan *styrofoam* dengan variasi 10% hingga 40% dari volume total beton untuk menghasilkan grafik penurunan kekuatan yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *SNI 03-3449-2002 Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Dobrowolski, J. A. (1998). *Concrete Construction Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Hadi, S. (2019). Analisis Kuat Tekan Beton Ringan dengan Bahan Tambah Styrofoam. *Media Bina Ilmiah*, 14(5), 2533-2540.
- Karolina, R., Simanjuntak, R., Syahrizal, & Handana, A. P. (2018). The Effect of Polystyrene on Concrete Mechanical Properties. *ACEIVE 2018: Proceedings of the 2nd Annual Conference of Engineering and Implementation on Vocational Education (ACEIVE 2018)* (p. 356). North Sumatra: European Alliance for Innovation.
- Kushartomo, W., Makarim, C. A., Supartono, F. X., & Sumawiganda, S. (2013). Pengaruh Penambahan Quartz Powder pada Reactive Powder Concrete terhadap Terbentuknya Kalsium-Silikat-Hidrat. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 20(3), 187-194.
- Purnawirati, I. N. (2020). Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Sifat Mekanis Beton Ringan Styrofoam. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(2), 59-70.
- Sadromtazi, A., Sobhani, J., Mirgozar, M. A., & Najimi, M. (2012). Properties of Multi-strength Grade EPS Concrete Containing Silica Fume and Rice Husk Ash. *Construction and Building Materials*, 35, 211-219.
- Short, A., & Kinniburgh, W. (1978). *Lightweight Concrete*. London: Applied Science Publishers.
- Solikin, M., Widiyanto, R., Asroni, A., Setiawan, B., & Asnan, M. N. (2019). High Content Styrofoam as Partial Substitution for Fine Aggregate in SCC Lightweight Concrete Brick. *AIP Conference Proceedings* (p. 030022). AIP Publishing LLC.
- Sutandi, A., & Kushartomo, W. (2019). Pengaruh Ukuran Butiran Maksimum Terhadap Kuat Tekan Reactive Powder Concrete. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 161-170.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Wulandari, M., Sofianto, M. F., & Tavio. (2020). Split Tensile and Flexural Strength of Concrete with Artificial Lightweight Aggregate (ALWA) and Steel-fiber. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569(4), 042025.
- Yunanto, A. D., Gunawan, P., & Sunarmasto, S. (2014). Studi Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton Ringan Teknologi Foam dengan Bahan Tambah Serat Polyester. *Matriks Teknik Sipil*, 2(4), 619-627.

