

TEGANGAN DAN REGANGAN PADA *SELF COMPACTING CONCRETE* DENGAN MENGGUNAKAN ALWA SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR

Dhiafah Hera Darayani¹, Fedya Diajeng Aryani²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Al-Azhar

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Gunung Rinjani

dhiafah.hera@gmail.com, fedyadiajeng@gmail.com

Abstrak

Beton yang menggunakan agregat ringan merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi berat sendiri struktur karena dapat meminimalisir kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi. Penggunaan styrofoam pada beton ringan sudah mulai merambah pada penggunaan yang bersifat struktural. Beton memadat sendiri adalah beton yang mampu mengalir dengan beratnya sendiri tanpa mengalami segregasi. Kombinasi antara beton beragregat ringan dan beton memadat sendiri memberikan keuntungan dari segi biaya dan waktu pengerjaan konstruksi, sehingga biaya menjadi lebih efisien dan dapat mereduksi waktu pengerjaan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat daktilitas beton yang dapat dilihat dari besarnya nilai tegangan dan regangan pada masing-masing variasi komposisi ALWA sebagai pengganti agregat kasar pada beton normal dan beton memadat sendiri. Hubungan antara tegangan dan regangan beton ditentukan dari pembebanan suatu silinder beton. Proporsi ALWA yang disubstitusi ke dalam beton yaitu 0%, 15%, 50% dan 100%. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 200 mm dan diameter 100 mm untuk pengujian kuat tekan.

Hasil dari pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa semakin banyak ALWA yang digunakan dalam campuran beton maka semakin besar nilai regangannya, ini menunjukkan penggunaan ALWA pada beton akan menjadikan beton lebih daktil. Selain itu, semakin tinggi jumlah ALWA yang digunakan pada beton memadat sendiri maka tingkat *workability* semakin rendah.

Kata kunci: Beton Memadat Sendiri, *Styrofoam*, Agregat Ringan Buatan, Tegangan, Regangan

Abstract

Concrete that uses light aggregates is an alternative to reduce the weight of the structure because it can minimize damage caused by earthquakes. The use of styrofoam in lightweight concrete has begun to penetrate into structural uses. Self-compacting concrete is concrete that is able to flow with its own weight without undergoing segregation. The combination of lightweight aggregated concrete and self-compacting concrete provides advantages in terms of cost and construction work time, so that costs become more efficient and can reduce processing time.

This study was conducted to determine the level of ductility of concrete which can be seen from the magnitude of the stress and strain values in each variation of the ALWA composition as a substitute for coarse aggregates in normal concrete and self-compacting concrete. The relationship between the stress and strain of concrete is determined from the loading of a concrete cylinder. The proportion of ALWA substituted into concrete is 0%, 15%, 50% and 100%. The test piece used is cylindrical in shape with a height of 200 mm and a diameter of 100 mm for compressive strength testing.

The results of the compressive strength test show that the more ALWA used in the concrete mixture, the greater strain value, this shows that the use of ALWA in concrete will makes concrete more ductile. In addition, the higher the amount of ALWA used in self-compacting concrete, the lower the workability level.

Keywords: *Self-compacting Concrete, Styrofoam, Artificial Lightweight Aggregate, Stress, Strain*

Tegangan dan Regangan pada *Self Compacting Concrete* dengan Menggunakan ALWA Sebagai Substitusi Agregat Kasar

Pendahuluan

Penggunaan *styrofoam* pada beton ringan sudah mulai merambah pada penggunaan yang bersifat struktural, misalnya untuk kolom, balok maupun pelat (Ernawati Sri S dan Taufiq Lilo Adi S., 2014). Dimana syarat untuk beton ringan struktural tidak boleh melampaui berat maksimum beton 1840 kg/m³ dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural. Kuat tekan minimum struktur bangunan tahan gempa tidak boleh kurang dari 20 MPa (SNI 2847:2013).

Beton dengan agregat ringan adalah solusi yang sangat baik untuk mengurangi beban mati struktur, sedangkan beton memadat sendiri mampu mengalir dengan sendirinya. Kombinasi antara beton beragregat ringan dan beton memadat sendiri memberikan keuntungan dari segi biaya dan waktu pengerjaan konstruksi, karena biaya menjadi lebih efisien dan dapat mereduksi waktu pengerjaan (Behnam Vakhshouri dan Shami Nejadi, 2016).

Salah satu kelemahan campuran beton ringan dari material *styrofoam* adalah susahnya penyebaran matriks, dalam hal ini adalah penyebaran agregat halus dan semen untuk mengisi ruang-ruang yang kosong diantara butiran material ringan atau *styrofoam* sehingga matriks yang berfungsi sebagai pengikat material jumlahnya juga berkurang. Penambahan superplastisizer mampu menambah kelecakan beton, dalam hal ini superplastisizer dapat menambah nilai slump sehingga matriks mampu menyebar dan membentuk ikatan yang lebih banyak sehingga kuat tekan beton meningkat.

Pada penelitian ini akan dimanfaatkan limbah *styrofoam* yang ada dilingkungan sekitar. *Styrofoam* akan dimanfaatkan sebagai agregat kasar dengan cara dilarutkan terlebih dahulu menggunakan aseton, kemudian akan dibentuk menjadi butiran sehingga menyerupai kerikil. Penggunaan *styrofoam* yang dilarutkan dan dibentuk menyerupai agregat kasar merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi kuat tekan pada beton, hal ini menjadi alasan untuk mengembangkan penelitian mengenai pengaruh penggunaan Artificial Light Weight Aggregate (ALWA) berbahan *styrofoam* terhadap tingkat daktilitas yang dilihat dari besarnya nilai tegangan dan regangan pada *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan pertimbangan dapat menjadikan beton lebih

ringan namun memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang bekerja.

Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

Malek Mohammad Ranjbar dan S. Yasin Mousavi (2015) meneliti tentang kekuatan tekan *Self Compacting Lightweight Concrete* (SCLC) dengan mensubstitusi Expanded Polystyrene Aggregate (EPS) sebesar 10%, 15%, 22.5% dan 30% dari volume beton. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar peningkatan EPS yang digunakan maka akan semakin kecil berat volume dan kekuatan tekan yang dihasilkan. Kekuatan tekan yang dihasilkan berturut-turut adalah 27 MPa, 22 MPa, 19 MPa, dan 17 MPa.

Attaullah Hajati Modarai, dkk (2015) pada penelitiannya menggunakan 3 ukuran butiran EPS yaitu lolos saringan no. 7, no. saringan antara 4 dan 7, serta saringan no. 4. Pada SCC terutama dengan agregat ringan EPS, jumlah air yang direkomendasikan yaitu 0.35 dari volume campuran. Hasil dari penelitiannya didapat semakin kecil ukuran EPS, sifat SCC akan semakin berkurang.

Styrofoam

Pada penggunaan *Expanded Polystyrene Aggregate* (EPS) sebesar 10%, 15%, 22.5%, dan 30% dari volume beton menghasilkan kekuatan tekan beton berturut-turut adalah 27 MPa, 22 MPa, 19 MPa, dan 17 Mpa (Malek Mohammad Ranjbar dan S. Yasin Mousavi, 2015).

Neni Simamora dan Mukti Hamza (2015) pada penelitiannya menggunakan variasi komposisi *styrofoam* sebesar 0%, 12%, 14%, 16%, 18% dan 20% dengan pelarut toluena dari berat kerikil yang digunakan dan dengan FAS 0.5. Hasil pengujian Kuat tekan beton maksimum terjadi pada penambahan *styrofoam* 12% dengan pelarut Toluena yaitu sebesar 23.1 MPa dan peningkatan maksimum nilai modulus elastisitas terjadi pada penambahan *styrofoam* 20% yaitu sebesar 4672 MPa atau meningkat sebesar 21.2309%.

Pembuatan ALWA (*Artificial Lightweight Aggregate*)

Pada proses pembuatan ALWA bahan yang perlu disiapkan yaitu *styrofoam* dan larutan Aseton. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan ALWA:

1. *Styrofoam* dipotong menjadi kecil, kemudian diberi larutan aseton, dengan perbandingan

Tegangan dan Regangan pada *Self Compacting Concrete* dengan Menggunakan ALWA Sebagai Substitusi Agregat Kasar

- campuran aseton dan *styrofoam* sebesar 1 : 1.9.
2. Pemberian aseton pada *styrofoam* dilakukan secara bertahap, kemudian dibentuk menjadi butiran.
3. Setelah berbentuk menjadi butiran, ALWA direndam didalam air selama \pm 3 hari agar ALWA cepat mengering dan teksturnya menjadi keras.
4. ALWA yang sudah direndam selama \pm 3 hari ditiriskan kemudian diangin-anginkan selama \pm 14 hari pada suhu 27° agar ALWA menjadi kering.
5. Persiapkan campuran mortar dengan perbandingan pasir : semen : air : perekat adalah 1 : 1 : 0.25 : 0.025.
6. Setelah itu ALWA dilapisi dengan campuran mortar dan didiamkan sampai kering. Berikut adalah gambar ALWA sebelum dan sesudah dilapisi dengan mortar (coating).



Gambar 1. ALWA sebelum dan sesudah dilapisi mortar

Pembuatan Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC)

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji berupa silinder beton adalah sebagai berikut:

1. Membuat agregat ringan buatan (ALWA),
2. Pengadaan material pasir, semen, kerikil (batu pecah) dan *superplasticizer* sebagai tambahan untuk SCC,
3. Menyiapkan cetakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 mm dan tinggi 20 mm,
4. Menyiapkan dan menimbang bahan yang digunakan dengan proporsi yang telah ditentukan,
5. Setelah ditimbang, bahan pasir, semen, batu pecah, dan ALWA diaduk hingga rata,
6. Kemudian ditambahkan air, untuk SCC jumlah air yang digunakan dicampurkan terlebih dahulu dengan *superplasticizer*,

7. Bahan yang telah dicampurkan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan,
8. Kemudian benda uji dikeringkan untuk proses pengerasan,
9. Setelah 24 jam, cetakan dibuka dan beton direndam selama 28 hari terhitung saat beton selesai dicetak.

Perawatan Benda Uji

Pada penelitian ini metode perawatan yang digunakan adalah dengan melakukan perendaman terhadap sampel beton dalam bak berisi air selama 28 hari. Hal ini bertujuan untuk menjaga kelembapan beton agar tidak mengalami keretakan karena proses kehilangan air yang begitu cepat.

Hasil Dan Pembahasan

Hubungan Tegangan dan Regangan pada Beton Normal

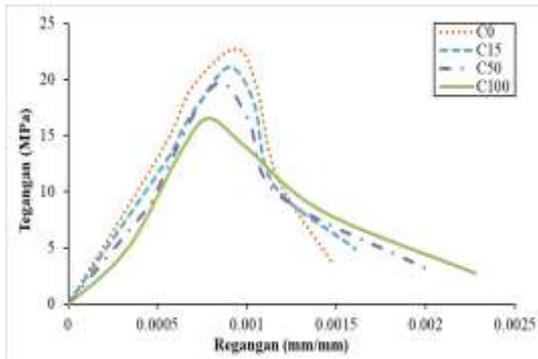
Untuk menilai tingkat daktilitas beton digunakan nilai regangan yang terjadi dari bagian kurva yang turun setelah puncak. Untuk menggambarkan kurva yang turun maka digunakan 2 titik yaitu 0.85f_c dan 0.5f_c. Menurut Kent and Park, kemiringan setelah titik puncak ditentukan oleh regangan ketika tegangannya telah jatuh di 0.5f_c. Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c pada beton normal

No.	Benda Uji	Tegangan			Regangan		
		0.50 f _c (MPa)	0.85 f _c (MPa)	f _c maks (MPa)	ε 0.50 f _c	ε 0.85 f _c	ε f _c maks
1	C0	11.356	19.306	22.713	0.00104	0.00099	0.00094
2	C15	10.567	17.964	21.134	0.00115	0.00104	0.00090
3	C50	9.697	16.486	19.395	0.00118	0.00101	0.00081
4	C100	8.279	14.074	16.558	0.00142	0.00099	0.00079

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai regangan 0.5f_c pada benda uji C0 yaitu 0.00104, dimana nilai regangan ini lebih kecil dibandingkan nilai regangan pada benda uji C100 yaitu sebesar 0.00142. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak ALWA yang digunakan maka nilai regangannya semakin besar, sehingga menunjukkan tingkat daktilitas yang lebih baik. Untuk lebih jelasnya nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c pada beton normal dapat dilihat pada Grafik 1.

Tegangan dan Regangan pada *Self Compacting Concrete* dengan Menggunakan ALWA Sebagai Substitusi Agregat Kasar



Gambar 2. Grafik nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c pada beton normal

Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa benda uji C100 memiliki gambar kurva yang lebih landai jika dibandingkan dengan C0, hal ini menunjukkan pada beton tanpa penambahan ALWA memiliki sifat getas sedangkan beton yang menggunakan penambahan ALWA bersifat lebih daktil.

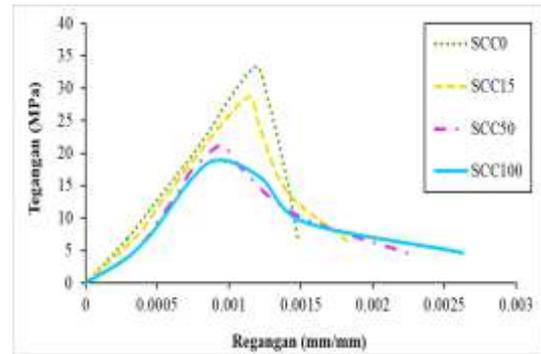
Hubungan Tegangan dan Regangan pada Beton Memadat sendiri (SCC)

Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c pada beton SCC dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c pada beton normal

No.	Benda Uji	Tegangan			Regangan		
		0.50 f _c (MPa)	0.85 f _c (MPa)	f _c maks (MPa)	ε 0.50 f _c	ε 0.85 f _c	ε f _c maks
1	SCC0	16.625	28.263	33.251	0.00140	0.00127	0.00119
2	SCC15	14.167	24.084	28.335	0.00140	0.00121	0.00111
3	SCC50	10.621	18.056	21.242	0.00146	0.00107	0.00095
4	SCC100	9.494	16.139	18.988	0.00151	0.00123	0.00093

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai regangan 0.5f_c pada SCC0, SCC15, SCC50 dan SCC100 berturut-turut adalah 0.00140, 0.00140, 0.00146 dan 0.00151, ini menunjukkan semakin banyak ALWA yang digunakan maka akan semakin tinggi tingkat daktilitasnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Grafik 3. berikut ini.



Gambar 3. Grafik nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f_c dan 0.5f_c pada beton SCC

Gambar 3. menunjukkan semakin banyak ALWA yang digunakan maka semakin landai kurva tegangan regangannya. Benda uji SCC0 memiliki tegangan yang lebih tinggi dengan regangan yang lebih rendah pada 0.5f_c jika dibandingkan dengan SCC100. Ini menunjukkan dengan adanya penambahan ALWA akan meningkatkan daktilitas pada beton.

Formula Tegangan Regangan

Untuk mendiskripsikan perilaku tegangan dan regangan beton *unconfined* digunakan formula yang didasarkan pada persamaan Popovics S. Persamaan yang digunakan berdasarkan pada hasil eksperimen sesuai dengan kondisi yang digunakan pada penelitian ini. Berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$f_c = f'_{ca} \times \frac{\epsilon_c}{\epsilon'_{ca}} \times \frac{n}{n-1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_{ca}}\right)^n} \dots\dots(1)$$

$$n = 0.8 + \frac{f'_{ca}}{17}$$

dengan:

- f_c = tegangan beton
- f'_{ca} = tegangan maksimum beton ALWA
- ε_c = regangan beton
- ε'_{ca} = regangan ketika tegangan maksimum beton ALWA
- n = curve fitting factor

Persamaan regangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu berdasarkan China National Standard (GB 50010-2010). Persamaannya dapat dilihat seperti berikut ini:

$$\epsilon'_{ca} = 0.002 + 0.5(f'_{ca} - 50) \times 10^{-5} \dots(2)$$

Tegangan dan Regangan pada *Self Compacting Concrete* dengan Menggunakan ALWA Sebagai Substitusi Agregat Kasar

Persamaan n yang digunakan sesuai dengan kondisi pada penelitian ini maka diperoleh persamaan n menjadi:

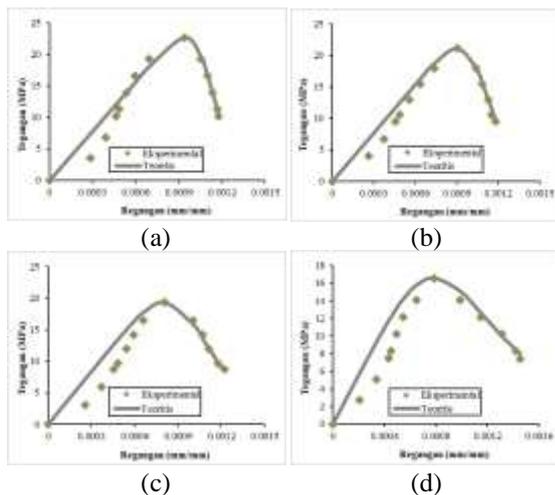
$$n = 0.8 + \frac{a}{f'_{ca}}$$

Dimana konstanta a didapat dari hasil *trial and error* sehingga kurva yang terbentuk secara teoritis mendekati dengan kurva hasil eksperimental. Semakin tinggi prosentase ALWA yang digunakan maka nilai konstanta a akan semakin kecil. Untuk rumus n yang digunakan pada masing-masing kadar ALWA dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai n pada beton normal dan SCC

Kadar ALWA	Beton Normal	Beton Memadat Sendiri (SCC)
0%	$n = 0.8 + \frac{300}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{700}{f'_{ca}}$
15%	$n = 0.8 + \frac{200}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{400}{f'_{ca}}$
50%	$n = 0.8 + \frac{100}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{150}{f'_{ca}}$
100%	$n = 0.8 + \frac{60}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{100}{f'_{ca}}$

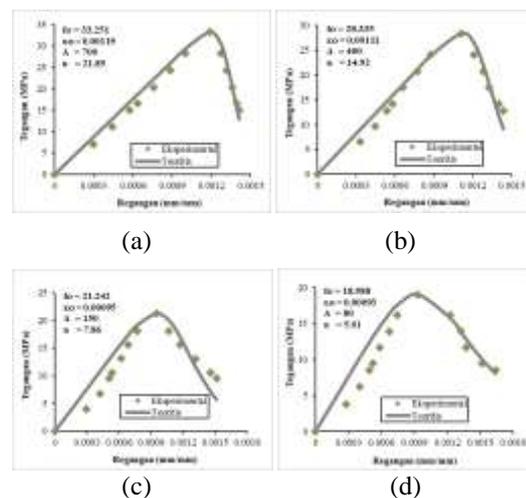
Bentuk kurva hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC dan beton normal dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut ini.



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal

Gambar 4. terdiri dari grafik (a) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 0%, (b) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 15%, (c) Hubungan tegangan dan

regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 50% dan (d) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 100%. Berdasarkan Gambar 4. dapat dilihat bahwa semakin kecil konstanta a maka nilai n semakin kecil tetapi jarak antara kurva teoritis dan kurva eksperimental semakin jauh. Untuk hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC dapat dilihat pada Gambar 5. berikut ini.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC

Gambar 5. terdiri dari grafik (a) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC0, (b) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC15, (c) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC50 dan (d) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC100. Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin kecil konstanta a maka nilai n semakin kecil dan dapat dilihat semakin banyak kadar ALWA yang digunakan pada beton maka grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis semakin jauh dari grafik hasil eksperimental.

Tegangan dan Regangan pada *Self Compacting Concrete* dengan Menggunakan ALWA Sebagai Substitusi Agregat Kasar

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin banyak ALWA yang digunakan dalam campuran beton maka semakin besar nilai regangannya. Ini menunjukkan penggunaan ALWA pada beton menjadikan beton lebih daktil.
2. Semakin tinggi jumlah ALWA yang digunakan pada beton memadat sendiri (SCC) maka tingkat *workability* semakin rendah.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran yang dapat diperoleh untuk peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Berat jenis ALWA untuk beton memadat sendiri (SCC) harus dipastikan lebih besar dari berat jenis pasta.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perilaku ALWA terhadap pengujian rangkai dan susut.
3. Perlu dilakukan pengujian resapan air terhadap ALWA *coating*.
4. Kadar ALWA yang digunakan pada beton SCC sebagai pengganti agregat kasar harus kurang dari 50% karena terjadi pemisahan antara agregat kasar dan halus ketika pengujian beton segar 50% dan 100% ALWA.

Daftar Rujukan

- ACI Committee (2014), *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14)*, Struct. Code.
- ASTM C33 (2018), *ASTM C33/C33M-18: Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM C330 (2017), *ASTM C330-17a. Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, vol. 552, no. 18.
- Attaullah Hajati Modarai, Rahmatmadandoust and Bijan Bijan Nesaz (2015), *Properties of Fresh Lightweight Self-Compacting Concrete Containing Eps Beads*, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, Vol. 5, hal. 2706-2713.
- Behnam Vakhshouri dan Shami Nejadi (2016), *Mix Design of Light-Weight Self-Compacting Concrete*, Centre for Built Infrastructure Research (CBIR).
- Ernawati Sri S. dan Taufiq Lilo Adi S. (2014), *Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam dan Fly Ash terhadap Berat Jenis, Kuat*

Tekan dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural, JIPTEK, Vol.7, No.2, hal. 9-16.

Malek Mohammad Ranjbar dan S. Yasin Mousavi (2015), *Strength and Durability Assessment of Self-compacted Lightweight Concrete Containing Expanded Polystyrene*, University of Guilan, Iran, hal. 1001-1011.

Neni Simamora dan Mukti Hamza Harahap (2015), *Pengaruh Penambahan Styrofoam dengan Pelarut Toluena terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan*, Jurnal Einstein, hal.15-22.

SNI 03-2461 (2014), *The Procedure for Making a Normal Concrete Mix Plan*.

SNI 2847 (2019), *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.