

KAJIAN EKSPERIMENTAL PERKUATAN AGREGAT KASAR STYROFOAM DENGAN LAPISAN COATING PADA PEMBUATAN BETON RINGAN

Dedi Enda

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis
Jl. Bathin Alam Bengkalis Email: dedi_enda85@yahoo.com

Abstrak

Material beton merupakan jenis material yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, baik sebagai material elemen struktural utama maupun elemen non-struktural. Untuk keperluan non-struktural, penggunaan beton normal menyebabkan beban mati akibat elemen beton non-struktural cukup besar, sehingga untuk mengurangi berat beton non-struktural tersebut digunakan beton ringan dengan agregat kasar dari bahan ALWA, salah satunya styrofoam. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya terhadap beton dengan agregat kasar styrofoam, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase agregat styrofoam didalam beton, hal ini diakibatkan styrofoam sebagai bahan penyusun beton terlalu lemah, sehingga di dalam penelitian ini agregat kasar styrofoam dilakukan perkuatan dengan coating dengan menggunakan pasta berupa semen, fly ash dan air (ALWA styrofoam). Eksperimen dilaksanakan dengan butiran styrofoam yang dilapisi coating dengan ukuran maksimum 2 cm direncanakan sebagai agregat kasar dengan rasio air semen 0.5, 0.6, 0.7 dan 0.8. Hasil uji menunjukkan berat isi beton ALWA styrofoam 25%-30% lebih rendah dari beton normal, dengan kuat tekan beton ALWA styrofoam meningkat seiring menurunnya faktor air semen.

Kata kunci : beton, ALWA styrofoam.

Abstract

The concrete material is a type of material that is widely used in building construction, both as the main structural elements of material and non-structural elements. For the purposes of the non-structural, the use of normal concrete causes dead load due to non-structural concrete elements are quite large, because of that to reduce the weight of the non-structural concrete lightweight concrete is used with coarse aggregate of ALWA material, one type of that is styrofoam. From the research that has been done by previous researchers with the concrete with coarse aggregate styrofoam, it is known that the quality of the concrete decrease with the addition of the percentage of the aggregate of Styrofoam in the concrete, this is due to styrofoam as the building blocks of concrete are too weak, so in this study coarse aggregate styrofoam do retrofitting of the coating by using a cement paste, fly ash and water (ALWA styrofoam). Experiment is carried out with Styrofoam granules coated with coating with maximum size of the coating is 2 centimeters is used as coarse aggregate with the ratio of cement water are 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8. The results of the test show that the weight of the concrete ALWA styrofoam 25% -30% lower than normal concrete, the concrete compressive strength increases with decreasing ALWA styrofoam cement water factor.

Keywords : concrete, styrofoam ALWA.

PENDAHULUAN

Material beton merupakan jenis material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, baik sebagai material elemen struktural utama pemikul beban maupun elemen non-struktural. Dikarenakan berat isi beton normal yang menggunakan agregat alam biasa cukup tinggi sehingga menyebabkan beban mati akibat elemen beton non-struktural (misalnya dinding pembatas ruangan bukan pemikul beban) cukup besar, maka untuk mengurangi beban yang

harus dipikul elemen struktur utama, diperlukan suatu upaya untuk mengembangkan berbagai jenis beton non-struktural yang lebih ringan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi berat isi beton adalah dengan menggunakan agregat ringan buatan yang disebut ALWA (*Artificial Light Weight Aggregates*), seperti ALWA *styrofoam*. Jika beton untuk elemen non-struktural (dinding pembatas) yang digunakan terbuat dari campuran agregat dari bahan ALWA ini, maka berat isi beton akan men-

jadi lebih ringan, sehingga akan berdampak pada bobot yang dipikul struktur utama bangunan akan lebih ringan sehingga dimensi elemen struktur utama bangunan seperti balok dan kolom dapat dibuat lebih kecil dan efisien. Hal ini dapat mengurangi anggaran biaya bangunan (Tanudjaja, H, 1997).

Dari hasil penelitian-penelitian terhadap beton beragregat kasar *styrofoam* yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase agregat *styrofoam* didalam beton, hal ini disebabkan *styrofoam* sebagai bahan penyusun beton terlalu lemah, sehingga di dalam penelitian ini agregat kasar *styrofoam* dilakukan perkuatan dengan pelapisan (*coating*) dengan menggunakan pasta berupa semen, *fly ash* dan air.

Pada penelitian yang bersifat eksperimental dengan kajian eksperimental perkuatan agregat kasar *styrofoam* dengan lapisan *coating* pada pembuatan beton ringan ini akan diketahui besarnya penurunan bobot beton yang menggunakan agregat kasar ALWA *styrofoam* serta perilaku mekanik beton beragregat kasar ALWA *styrofoam* dalam hal ini yaitu kuat tekan.

Material Pembentuk Beton

Ditinjau dari ilmu bahan, beton termasuk material komposit, yang terdiri dari pasta semen dan agregat. Pasta semen berfungsi sebagai bahan perekat sebagai wujud campuran semen dengan air, setelah mengalami reaksi hidrasi akan berperan sebagai bahan perekat untuk mengikat fragmen-fragmen agregat kasar dan halus sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan kuat. Sedangkan agregat berperan sebagai bahan pengisi yang terdiri dari agregat kasar dan halus.

Agregat merupakan bahan terbanyak dalam pembentukan beton, dari volume total beton sekitar 60% sampai 75% diisi oleh agregat. Oleh karena itu kualitas agregat sangat memegang peranan dalam hal kekuatan

beton dan durabilitasnya (Amir, P. 2003).

Agregat Kasar Ringan Buatan dari Styrofoam (Alwa Styrofoam)

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 yang dikategorikan agregat ringan (*light-weight aggregate*) adalah agregat yang mempunyai berat volume (*density*) gum-palan (*bulk*) lepas sebesar 1120 kg/m^3 atau kurang. Dengan menggunakan material dari agregat ringan maka diharapkan terjadi penurunan berat isi dari beton yang signifikan. Jika beton mempunyai berat isi antara 1140 dan 1840 kg/m^3 , maka beton tersebut termasuk beton ringan (*lightweight concrete*).

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar buatan *styrofoam* butiran yang dilapisi *coating* (ALWA *styrofoam*), dimana *styrofoam* dengan nama lain *polistirena foam* atau *expanded polistirena (EPS)* umumnya digunakan sebagai insulator pada bahan konstruksi bangunan. *Polistirena foam* merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi insulator panas yang sangat baik. *Polistirena foam* banyak dimanfaatkan dalam kehidupan, tetapi tidak dapat dengan mudah didaur ulang sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Pemanfaatan *polistirena* bekas untuk bahan agregat dalam pembuatan beton merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut.

Cecilia dan Buen (2013) melakukan penelitian tentang *styrofoam* sebagai agregat dalam beton non-struktural. Berat isi beton keras dengan substitusi *styrofoam* mengikuti kecenderungan logis untuk berkurang seiring dengan bertambahnya volume *styrofoam* di dalam beton, batas perubahan dari beton normal ke beton ringan terjadi pada 50%

volume *styrofoam* yang disubstitusi. Semakin tinggi persentase volume *styrofoam* yang disubstitusi, maka kuat tekan maupun kuat lentur beton menjadi semakin rendah. Penurunan kuat tekan untuk pemakaian *styrofoam* dari 40% sampai 80% dengan kecenderungan bersifat linier.

Tamut, dkk (2014) melakukan penelitian penggantian sebagian dari agregat kasar dengan *styrofoam* butiran pada beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah *styrofoam* yang dicampur dalam beton mempengaruhi sifat beton keras. Pada umur 28 hari, kuat tekan dari 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% EPS dimasukkan dalam campuran beton adalah 91%, 77%, 71%, 63%, 57%, dan 45 %, masing-masing jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS. Semakin tinggi jumlah *styrofoam* butiran dalam campuran beton, semakin rendah kekuatan tarik. Campuran dengan 15% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 80% dan 30% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 70% jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS.

Dari hasil penelitian-penelitian terhadap beton beragregat kasar *styrofoam* yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase agregat *styrofoam* didalam beton, terlihat bahwa memasukkan *styrofoam* sebagai bahan penyusun beton menyebabkan mutu beton semakin lemah, sehingga di dalam penelitian ini agregat kasar *styrofoam* dilakukan perkuatan dengan pelapisan (*coating*).

Coating merupakan pelapisan yang diterapkan pada permukaan suatu benda atau substrat. Tujuan *coating* adalah untuk dapat meningkatkan sifat permukaan dari benda yang dilapisi, seperti penampilan, tahan air, tahan korosi, tahan aus, dan tahan gores. Pelapisan bisa diterapkan pada substrat yang berbeda, seperti: besi, baja, kayu, aluminium, batu, dan bahan sintetis. *Coating* bisa diaplikasikan dalam bentuk cair, gas atau padat. Dengan tujuan tersebut, diharapkan

agregat dari *styrofoam* yang telah dilapisi *coating*, kualitasnya dapat meningkat, sehingga dapat meningkatkan mutu beton yang dihasilkan.

Styrofoam butiran yang digunakan dalam penelitian ini berukuran diameter 5 mm sampai 15 mm. Pada permukaan *styrofoam* butiran tersebut dilapisi *coating* (Alwa *styrofoam*) dengan menggunakan pasta berupa semen, *fly ash* dan air.

Penggunaan pasta semen dan air pada bahan lapisan *coating* butiran *styrofoam* dikarenakan semen memiliki senyawa C_3S (*tricalcium silicate*) dan C_2S (*dicalcium silicate*) yang jika bereaksi dengan air akan membentuk massa padat dengan tingkat kekerasan tertentu pada lapisan *coating*, disamping itu semen juga mempunyai sifat adhesi dan kohesi yang dapat mengikat butir-butir material menjadi satu kesatuan. Akan tetapi, dari hasil reaksi hidrasi antara semen dan air akan menghasilkan panas hidrasi yang berlebihan pada permukaan lapisan *coating* yang akan menyebabkan permukaan butiran agregat kasar yang dilapisi *coating* akan timbul retak-retak halus, untuk mengatasi hal tersebut digunakan *fly ash*. *Fly ash* type F selain untuk mereduksi penggunaan air dan semen, juga berfungsi untuk menurunkan panas hidrasi dari reaksi semen dan air, sehingga retak retak halus pada lapisan *coating* dapat dihindari.

Selain untuk menurunkan panas hidrasi, pencampuran *fly ash* di dalam campuran beton sebagai filler juga memberikan pengaruh pada sifat mekanik beton terutama pada perkembangan kuat tekan beton, penggunaan *fly ash* pada persentase 15% dari berat semen akan memberikan nilai kuat tekan yang optimum, akan tetapi pada persentase 17,5%, kuat tekan beton mengalami penurunan untuk desain campuran dengan kekuatan target yang sama, Gunaedi dan Irpan (2013), sehingga didalam penelitian ini, kadar *fly ash* yang digunakan sebagai substitusi semen untuk bahan *coating* yaitu 15% dari berat semen.

Material Pembentuk Beton yang Digunakan

Dalam penelitian ini material penyusun beton yang digunakan adalah :

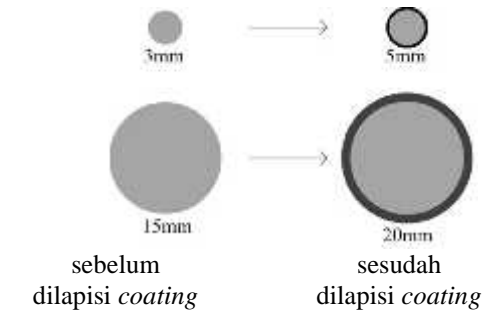
1. Semen tipe I
2. Agregat halus pasir dari ex. gunung galunggung
3. Agregat kasar *styrofoam* yang dilapisi *coating* (ALWA *styrofoam*).
4. Air bersih di Lab. Struktur Teknik Sipil ITB

Tahapan Persiapan

1. Pengadaan, pembuatan dan pengujian kekuatan bahan lapisan *coating* agregat kasar dari ALWA *styrofoam*. Material pembentuk lapisan *coating* pada agregat ringan buatan yang meliputi atas semen Portland tipe I, *fly ash* type F (Abu terbang sisa pembakaran batu bara) dan Air. Pengujian kekuatan *coating* dengan cara membuat benda uji kubus berukuran 50mm x 50mm x 50mm dari bahan semen, air, dengan atau tanpa *fly ash*, kemudian dilakukan uji tekan pada umur 3, 7 dan 28 hari.

Bahan *coating* yaitu (85% semen + 15% *fly ash*) + air dengan tiga type w/b yaitu 0.32, 0.35, 0.4, dan 0.5. Dari masing-masing kekuatan *coating* yang dihasilkan, maka w/b yang memiliki kuat tekan tinggi dan kelecakan tinggi yang akan digunakan untuk melapisi butiran agregat kasar dari *styrofoam*.

2. Pembuatan agregat kasar dari ALWA *styrofoam* dengan lapisan *coating* dimana dalam penelitian ini digunakan *styrofoam* butiran dengan diameter 3 mm sampai 15 mm. Butiran *styrofoam* tersebut akan dilapisi bahan *coating* dengan tebal lapisan *coating* bervariasi antara 1 mm sampai 3 mm, sehingga hasil akhir butiran ALWA *styrofoam* adalah diameter 3 mm akan menjadi agregat berukuran 5 mm sedangkan diameter 15 mm menjadi 20 mm, lihat gambar 1.



Gambar 1. Ukuran butiran agregat kasar *styrofoam*

Untuk agregat di bawah 5 mm pada beton akan diwakili oleh agregat halus dari pasir alam.

3. Pengadaan material pembentuk beton yang terdiri dari pasir, Alwa *styrofoam*, kerikil, semen Portland tipe I dan Air. Selain itu juga dipersiapkan larutan bahan kimia NaOH.
4. Pemeriksaan sifat fisik agregat yang mengacu pada standar ASTM yang meliputi berat jenis dan penyerapan air, berat isi, kadar air, gradasi butiran agregat, ukuran maksimum agregat kasar.

Tahap Pembuatan, Perawatan dan Pengujian Benda Uji

Tahap ini diawali dengan kegiatan perencanaan campuran beton, pencampuran bahan-bahan dasar beton, pencetakan benda uji silinder berukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm serta perawatan benda uji untuk uji kekuatan tekan. Jumlah untuk masing-masing benda uji silinder untuk masing-masing umur dan rasio air semen ada 3 buah silinder. Benda uji untuk uji kekuatan tekan hancur pada penelitian ini terdiri dari benda uji campuran beton yang terdiri dari:

1. Beton Tipe 1 dengan perencanaan campuran beton menggunakan metode *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete* (ACI 211.2-98) dengan material penyusun semen, air, pasir dan ALWA *styrofoam* yang dengan w/c 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, dan diberi kode S05, S06, S07, dan S08.

2. Beton Tipe 2 dengan perencanaan campuran beton menggunakan metode *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (ACI 211.1-91) dengan material penyusun semen, air, pasir dan kerikil yang dengan w/c 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, diberi kode A, B, C, D.
3. Beton Tipe 3 dengan perencanaan campuran beton menggunakan metode ACI 211.1-91, dimana agregat kasar yang digunakan Alwa *styrofoam* dengan perbandingan volume, dengan w/c 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, diberi kode SA, SB, SC, SD.

Selama proses pencampuran dan pengadukan dalam alat pengaduk diamati tingkat workabilitas beton segar dinyatakan dengan nilai slump yang juga digunakan sebagai alat kontrol kebutuhan air pada saat pengadukan. Setelah diperoleh nilai *slump* yang diharapkan maka selanjutnya adalah memasukkan beton segar ke dalam cetakan sebanyak tiga lapis sampai dengan penuh dimana setiap lapisan dipadatkan dengan cara dipukul bagian

luar cetakan menggunakan palu karet.

Perawatan benda uji dimulai sejak beberapa saat setelah beton segar dicetak. Dimana upaya perawatan yang dilakukan adalah dengan cara menutup permukaan beton segar yang berhubungan langsung dengan lingkungan dengan plastik agar mencegah penguapan yang berlebihan. Setelah 24 jam cetakan dibuka, upaya perawatan benda uji selanjutnya merendam benda uji.

Jika benda uji kekuatan tekan sudah berumur 3, 7, 14 dan 28 hari, maka dilakukan uji kekuatan tekan beton sesuai prosedur ASTM C39.

Hasil Pengujian dan Pembahasan

1. Kuat Tekan Pasta

Hasil pemeriksaan kekuatan tekan pasta dengan bahan campuran semen + *fly ash* 15 % + air untuk berbagai w/b dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 2. Dimana tingkat kelecakan yang tinggi pada campuran pasta dengan w/b 0.5, sehingga dalam penelitian ini digunakan pasta sebagai lapisan *coating* dengan w/b 0.5.



Gambar 2. Perawatan dan pengujian kekuatan pasta



Gambar 3. Kurva perkembangan pengujian kekuatan tekan pasta

Tabel 1. Kekuatan tekan pasta untuk berbagai w/b (kg/cm^2)

No.	Umur (Hari)	Pasta (w/b)			
		0.32	0.35	0.40	0.5
1	3	250.40	211.10	188.60	169.90
2	7	290.00	259.67	213.33	201.00
3	28	477.33	380.00	324.13	303.00



sebelum dilapisi coating

sesudah dilapisi coating

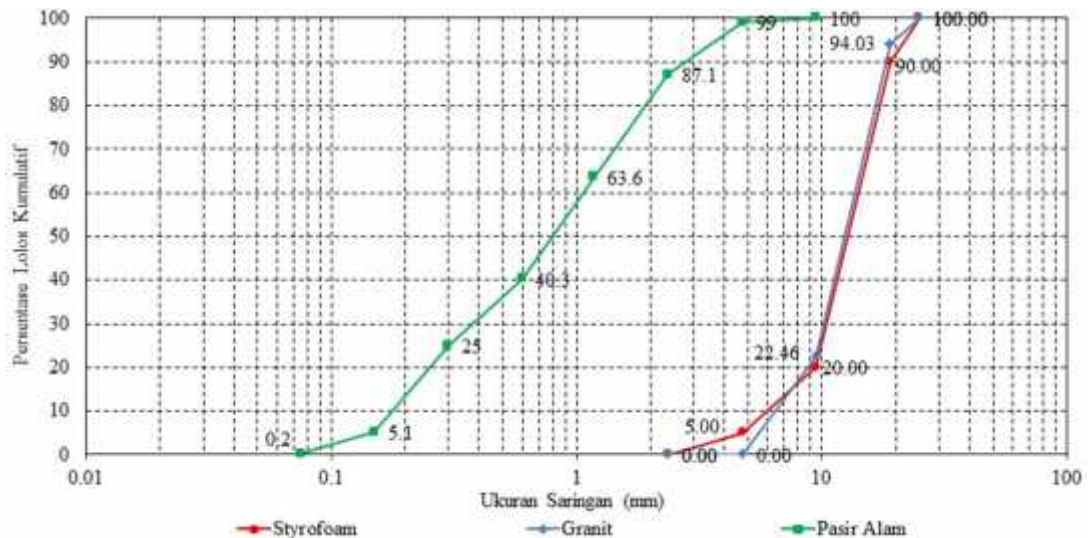
Gambar 4. Butiran agregat kasar styrofoam.

Sifat Fisik Agregat dan Perancangan Komposisi Campuran

Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat dan perancangan komposisi campuran yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2, 3 dan gambar 5.

Tabel 2. Sifat fisik agregat kasar

Karakteristik	Alwa styrofoam	Kerikil	Pasir Alam
Dry bulk SG	0,918	2,111	2,429
SSD bulk SG	1,064	2,334	2,551
Apparent SG	1,075	2,714	2,768
Penyerapan air	15,933 %	10,520 %	5,042 %
Berat isi	517 kg/m^3	1334 kg/m^3	1573 kg/m^3
Kadar air	1,728 %	8,310 %	6,762 %



Gambar 5. Kurva gradasi agregat

Tabel 3. Komposisi campuran beton tipe 1 per m³

Kode Campuran	w/c	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Agregat Kasar (kg)	Metode
S0,8	0,8	252,37	201,90	760,99	419,834	ACI 211.2-91 dengan Agregat Kasar Alwa Styrofoam
S0,7	0,7	288,43	201,90	731,79	419,834	
S0,6	0,6	336,50	201,90	692,86	419,834	
S0,5	0,5	403,80	201,90	638,36	419,834	
A	0,8	250,00	200,00	822,73	894,07	ACI 211.1-91 dengan Agregat Kasar Kerikil
B	0,7	285,71	200,00	793,81	894,07	
C	0,6	333,33	200,00	755,24	894,07	
D	0,5	400,00	200,00	701,25	894,07	

Untuk kode campuran SA, SB, SC dan SD menggunakan metode ACI 211.1-91 dengan Agregat Kasar Alwa styrofoam berdasarkan perbandingan volume absolut, dimana volume absolut dari Alwa styrofoam pada campuran SA, SB, SC dan SD sama dengan volume absolut kerikil pada campuran A, B, C dan D.



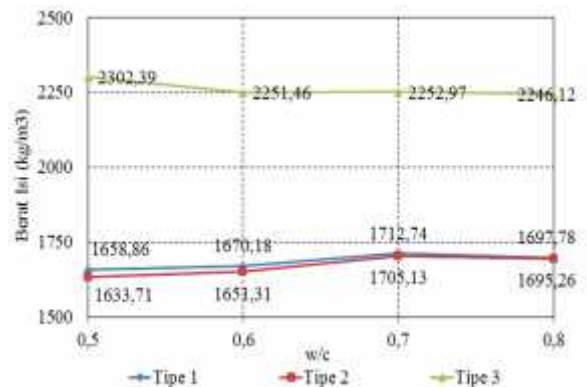
Gambar 6. Pelaksanaan pencampuran material penyusun beton, uji slump, berat isi dan uji tekan beton

Berat Isi Beton

Data hasil pengukuran berat isi untuk berbagai faktor air semen dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 7.

Tabel 4 Berat isi beton umur 28 hari

Kode Campuran	w/c	Berat Isi Beton (kg/m ³)
S0,5	0,5	1658.86
S0,6	0,6	1670.18
S0,7	0,7	1712.74
S0,8	0,8	1697.78
D	0,5	2302.39
C	0,6	2251.46
B	0,7	2252.97
A	0,8	2246.12
SD	0,5	1633.71
SC	0,6	1651.31
SB	0,7	1705.13
SA	0,8	1695.26



Gambar 7. Berat Isi Beton Terhadap w/c

Berdasarkan tabel 4 dan gambar 7, diketahui bahwa berat isi beton dengan agregat kasar styrofoam berada pada range 1633 – 1713 kg/m³, sehingga dikategorikan sebagai beton ringan, sedangkan berat isi untuk campuran beton normal dengan agregat kasar split

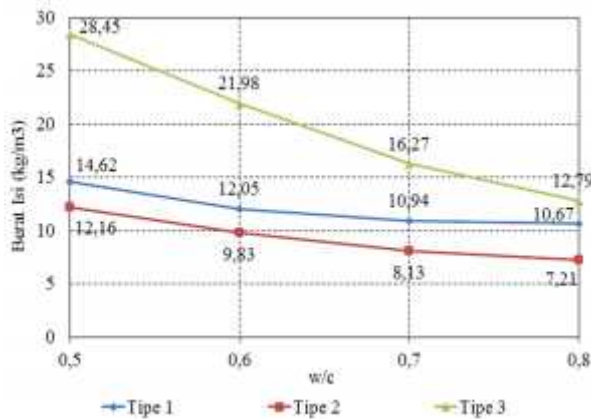
berada pada range 2246 – 2303 kg/m³. Jika campuran beton menggunakan agregat kasar alwa *styrofoam*, pada perbandingan w/c yang sama, maka akan terjadi penurunan berat isi beton 25% - 30% dari beton normal dengan agregat kasar kerikil.

Kekuatan Tekan Beton

Data hasil pengukuran kuat tekan han-cur beton untuk berbagai faktor air semen dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 8.

Tabel 5. Kuat tekan beton umur 28 hari

Kode Campuran	w/c	Kuat Tekan (Mpa)
S0,5	0.5	14.62
S0,6	0.6	12.05
S0,7	0.7	10.94
S0,8	0.8	10.67
D	0.5	28.45
C	0.6	21.98
B	0.7	16.27
A	0.8	12.79
SD	0.5	12.16
SC	0.6	9.83
SB	0.7	8.13
SA	0.8	7.21



Gambar 8. Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Terhadap w/c

Perkembangan kuat tekan beton diketahui bahwa kuat tekan beton dengan agregat alwa *styrofoam* mengalami kenaikan seiring dengan menurunnya perbandingan

w/c, namun kenaikannya tidak signifikan jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal, hal ini terlihat dari kemiringan atau gradient dari kurva perkembangan kuat tekan beton normal lebih besar dibandingkan kemiringan atau gradient dari kurva perkembangan kuat tekan beton yang mengandung alwa *styrofoam*.

Semakin kecil tingkat perbandingan w/c maka perbedaan antara kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton dengan agregat alwa *styrofoam* semakin besar. Perbedaan penurunan kuat tekan beton agregat alwa *styrofoam* pada rancangan campuran tipe 1 terhadap kuat tekan beton normal pada w/c 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 berturut turut adalah 48.6%, 45.16%, 32.73% dan 16.62% sedangkan perbedaan penurunan kuat tekan beton agregat alwa *styrofoam* pada rancangan campuran tipe 3 terhadap kuat tekan beton normal pada w/c 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 berturut turut adalah 57.24%, 55.26%, 50.00% dan 43.64%. Namun demikian dapat dilihat bahwa dengan menggunakan perkuatan pada agregat kasar *styrofoam* dengan lapisan *coating* dinilai mampu meningkatkan kuat tekan pada beton ringan jika dibandingkan dengan penggunaan agregat kasar *styrofoam* tanpa perkuatan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisa di atas, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berat isi beton alwa *styrofoam* 25%-30% lebih rendah dari beton normal.
2. Kuat tekan beton alwa *styrofoam* meningkat seiring dengan berkurangnya faktor air semen, akan tetapi peningkatan kekuatannya tidak signifikan seperti pada kuat tekan beton normal.
3. Dari perbandingannya terhadap penggunaan agregat kasar *styrofoam* tanpa perkuatan lapisan *coating*, penggunaa agregat kasar *styrofoam* yang dilapisi *coating* dapat meningkatkan kekuatan tekan pada beton ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI committe 211.1-91, 1995. Standard Practise for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, *ACI Manual of Concrete Practise Part 1*.
- ACI committe 211.1-91, 1995. Standard Practise for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, *ACI Manual of Concrete Practise Part 1*.
- Amir, P. 2003. Degradasi Kekuatan Beton Akibat Pengaruh Kebakaran, *Concrete Repair and Maintenance*, Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Annual Book of ASTM Standars, 1993. Concrete and Agregat, Section 4 Construction Volume 04.02.
- Cecilia LGS dan Buen S, 2013. Efek Styrofoam Bekas Kotak Makanan Sebagai Agregat Beton, *The 2nd Indonesian Structural Engineering and Materials Symposium Bandung*.
- Gere & Timoshenko, 1996. Mekanika Bahan, Edisi Keempat, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Gunaedi dan Hidayat I, 2013. Pengaruh Fly Ash pada Kuat Tekan Campuran Beton Menggunakan Expanded Polystyrene sebagai Substitusi Parsial Pasir, Binus University
- Mohd Hilton Ahmad, Lee Yee Loon, Nurazuwa Mohd Noor, Suraya Hani Adnan, Strength Development of Lightweight Styrofoam Concrete, *Department of Structural and Materials Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM)*.
- Muttaqin, 1998. Perilaku Mekanik Beton dengan Agregat Ringan Buatan Bergradasi tidak Kontinu, *Tesis Megister*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
- Neville A.M., 2002. Properties of Concrete, Fourth and Final Edition, Pearson Education Limited, Essex.
- Thomas Tamut, Rajendra Prabhu, Katta Venkataramana, Subhash C Yaragal, 2014. Partial Replacement of Coarse Aggregates by Expanded Polystyrene Beads In Concrete, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, ISSN: 2319-1163, Volume: 03.
- SNI 03 – 2847 - 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Badan Standardisasi Nasional
- Tanudjaja, H, 1997. Optimalisasi Kadar Abu Terbang pada Beton dengan Agregat Kasar Ringan dari Lempung Bekah, *Tesis Megister*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
- Ukago, Y, 2000. Pengaruh Karakteristik Agregat Kasar Ringan pada Sifat Mekanis Beton Ringan, *Tesis Megister*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia