

bottom ash untuk pasta beton ringan dalam Azhari, *et al* (2006). Jenis pengujian: uji kuat tekan dan modulus elastisitas, dilakukan pada benda uji yang sama yaitu berupa silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm yang dibuat 3 buah untuk tiap variasi. Selain itu diperiksa berat volume beton.

Campuran beton ringan direncanakan dengan cara coba-coba (trial mix) berdasarkan perbandingan volume yang selanjutnya dikonversikan menjadi perbandingan berat. Langkah perhitungannya secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut: komposisi semen dan bottom ash didapat dari hasil uji pasta; jumlah air didapat dari nilai faktor air semen (fas) yang telah ditentukan, yaitu 0,4 [fas = berat air per berat (semen + bottom ash)]; volume styrofoam berdasarkan variasi yang telah ditentukan di atas; akhirnya dari data nilai BJ atau berat volume material dapat dihitung perbandingan volume dan berat masing-masing material.

Pembuatan dan perawatan benda uji secara umum dilakukan sesuai standar untuk beton normal.

Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas (Persamaan 1) dan sifat elastis beton ringan dari setiap variasi komposisi styrofoam dilakukan pengujian modulus elastisitas pada benda uji silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm, umur 28 hari. Nilai kuat tekan beton ringan – yang dihitung dengan Persamaan 2 – didapat melalui uji tekan pada umur 28 hari pada benda uji yang dipakai untuk pengujian modulus elastisitas. Berat volume beton ringan didapat dari perbandingan berat terhadap volume benda uji silinder dalam kondisi kering udara.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (1)$$

$$f_c = \frac{P_c}{A} \quad (2)$$

\

dimana:

E_c = modulus elastisitas beton,

S_2 = tegangan pada saat 40% beban maksimum,

S_1 = tegangan pada nilai regangan longitudinal 0,000050,

ϵ_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2 ,

f_c = kuat tekan beton,

P_c = beban tekan maksimum,

A = luas penampang benda uji.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Material

Hasil penelitian bottom ash dan pasta untuk beton ringan (Azhari *et al*, 2006) menunjukkan bahwa komposisi kimia dan sifat fisika bottom ash memenuhi spesifikasi ASTM C 618-03, sehingga bottom ash (yang telah dihaluskan terlebih dahulu) dapat dipakai sebagai *cementitious material* pada beton. Komposisi optimum bottom ash untuk dipakai pada pembuatan beton ringan didapat sebesar **20%** dari berat binder (semen + bottom ash).

Hasil analisa saringan agregat ringan styrofoam untuk ukuran lubang ayakan yang besar, persentase kelulusannya memenuhi persyaratan SNI 03-2461-2002, sedangkan untuk lubang

ayakan yang $\leq 4,75$ mm tidak memenuhi. Hal ini disebabkan massa padat styrofoam lebih bersifat elastis dan lunak sehingga lebih sulit dihaluskan dibandingkan agregat batuan yang jauh lebih keras dan getas.

Berat volume styrofoam bekas dalam keadaan asli (padat) didapat sebesar $0,0216 \text{ g/cm}^3$. Ini jelas sangat ringan dibandingkan dengan agregat batuan biasa; juga memenuhi persyaratan berat dalam semua spesifikasi ASTM tentang pemakaian agregat ringan untuk beton. Jadi dari segi beratnya, styrofoam sangat cocok dipakai untuk pembuatan beton ringan.

Kadar air styrofoam diperoleh sebesar 0% yang menunjukkan bahwa styrofoam merupakan material yang kedap air atau dianggap tidak dapat menyerap air. Dengan ini tidak diperlukan penyesuaian proporsi air dalam perhitungan campuran beton. Selain itu berat normal beton lebih cepat tercapai karena tidak menunggu waktu penguapan air dari dalam agregat.

Hasil Pengujian Beton Ringan

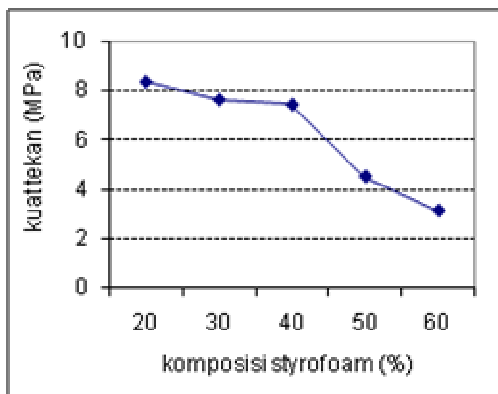
Rangkuman pengolahan data hasil pengujian beton ringan berupa nilai rata-ratanya ditampilkan pada Tabel 2, Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 2. Rangkuman hasil pengujian beton ringan

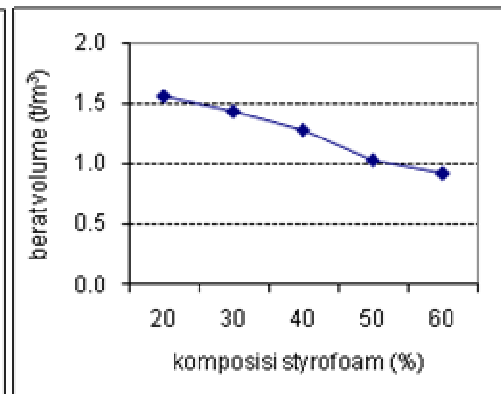
Kode campuran	berat vol. (t/m^3)	kuat tekan (MPa)	E (MPa)
S-20	1.554	8.389*	5107
S-30	1.436	7.658	3431
S-40	1.279	7.455	3267
S-50	1.031	4.521	2057
S-60	0.919	3.126	1493

Keterangan:

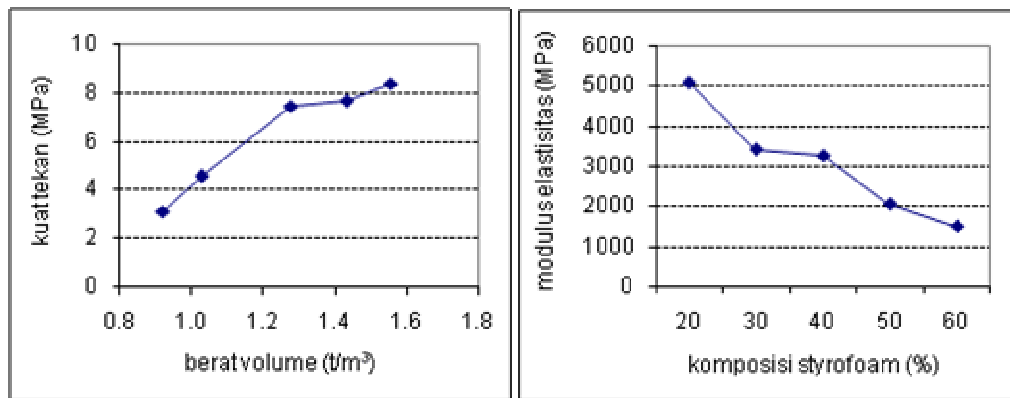
- S-20 – S-60: kode campuran beton ringan untuk komposisi styrofoam 20% - 60%
- E = Modulus elastisitas
- * ini nilai rata-rata dari 2 b.u. awal + 1 b.u. ulangan (12.18 MPa) yang menggantikan 1 b.u. awal (5.55 MPa) yang dianggap menyimpang nilainya.



(a) Hubungan kuat tekan – komposisi styrofoam



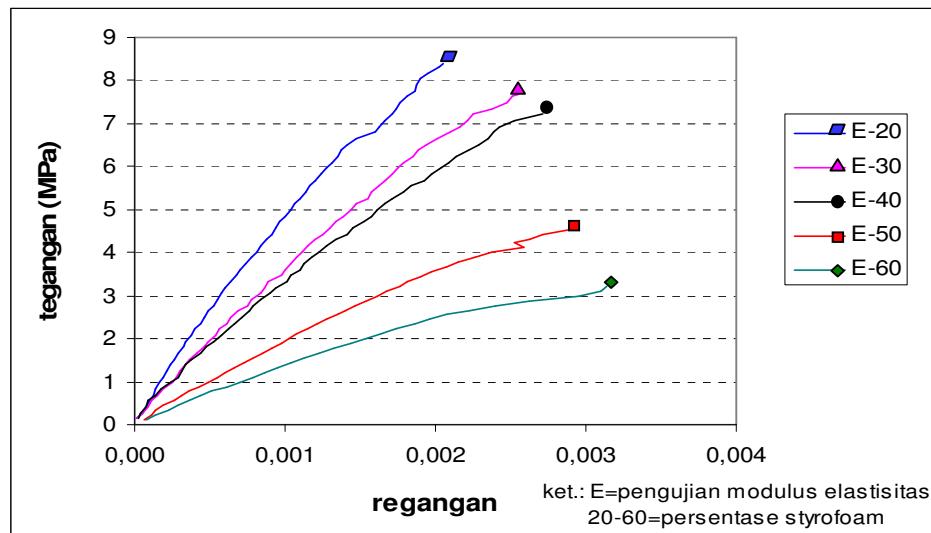
(b) Hubungan berat vol. – komposisi styrofoam



(c) Hubungan kuat tekan – berat volume

(d) Hubungan mod. elastisitas – komposisi styrofoam

Gambar 1. Hasil-hasil pengujian beton ringan ditinjau terhadap komposisi styrofoam


 Gambar 2. Hubungan *tegangan* – *regangan* sampai beban maksimum pada beton ringan dengan berbagai variasi komposisi styrofoam

Dari Gambar 1 (d) dapat disimpulkan bahwa nilai modulus elastisitas beton ringan semakin kecil dengan bertambahnya kandungan styrofoam, sebaliknya dari Gambar 2 regangan beton ringan semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pada dasarnya nilai modulus elastisitas (E) merupakan nilai tangensial dari kemiringan kurva *tegangan-regangannya* yang tergantung dari *properties* bahannya. Beton ringan styrofoam tersusun dari pasta *semen-bottom ash* yang tinggi nilai tegangannya tapi rendah regangannya; dan dari styrofoam yang elastis: kecil tegangannya tapi besar regangannya. Dari sini jelas semakin banyak styrofoam otomatis semakin sedikit pastinya sehingga semakin kecil tegangan yang dihasilkan, tapi semakin besar regangannya, yang menunjukkan juga semakin **daktail**.

Dari Gambar 1 (b) dan Gambar 1 (a) dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kandungan styrofoam jelas semakin ringan betonnya dan semakin kecil kuat tekannya; atau jika dihubungkan

antara kuat tekan dan berat beton (Gambar 1-c), semakin besar berat volume beton semakin besar pula kuat tekannya, sesuai dengan hasil penelitian Satyarno (2004).

Sesuai dengan permasalahan dan tujuan utama penelitian ini, maka dari hasil uji tekan dan berat volume beton ringan (lihat Tabel 3), dengan merujuk Tabel 1 dapat disimpulkan:

Tabel 3. *Check list beton ringan styrofoam* terhadap kategori penggunaannya

Kode campuran *)	berat volume (t/m ³)	kuat tekan f' _c (MPa)	check list: masuk (ya) atau tidak dalam kategori					
			nonstruktur		struktur ringan		struktur	
			BJ (t/m ³)	f' _c (MPa)	BJ (t/m ³)	f' _c (MPa)	BJ (t/m ³)	f' _c (MPa)
			0,24 - 0,8	0,35 - 7	0,8 - 1,4	7 - 17	1,4 - 1,8	>17
S-20	1.554	8.389	tidak	ya	tidak	ya	ya	tidak
S-30	1.436	7.658	tidak	ya	tidak	ya	ya	tidak
S-40	1.279	7.455	tidak	ya	ya	ya	ya	tidak
S-50	1.031	4.521	tidak	ya	ya	tidak	ya	tidak
S-60	0.919	3.126	tidak	ya	ya	tidak	ya	tidak

*) Lihat keterangan Tabel 2

- Beton ringan S-40 dengan komposisi styrofoam 40% dari volume beton pada penelitian ini, dengan kuat tekan 7,455 MPa dan berat volume 1,279 t/m³, dapat direkomendasikan untuk aplikasi beton struktur ringan dimana terpenuhi syarat berat volume maksimum (1,4 t/m³) dan kuat tekan minimum (7 MPa). Contoh aplikasi: untuk dinding yang juga memikul beban.
- Komposisi lainnya tidak ada yang memenuhi kedua persyaratan: berat maksimum dan kuat tekan minimum, untuk setiap kategori pemakaian beton ringan, melainkan hanya terpenuhi salah satu syarat saja.

4. Kesimpulan

- Peningkatan persentase styrofoam dalam beton ringan secara umum mengakibatkan *trend* penurunan pada semua parameter pengujian kecuali regangannya, yaitu terjadi penurunan berat volume, kuat tekan, dan modulus elastisitas (E) beton ringan. Dengan ini ada sisi yang merugikan yaitu penurunan kekakuan (karena E turun) dan kekuatan beton, dan ada sisi yang menguntungkan yaitu: beton semakin ringan dengan penurunan berat volumenya dan semakin daktail dengan kenaikan regangannya.
- Kuat tekan maksimum 8,39 MPa didapat pada kandungan styrofoam 20% dengan berat isi betonnya 1,55 t/m³, sedangkan kuat tekan minimum 3,13 MPa didapat pada kandungan styrofoam 60% dengan berat isi betonnya 0,92 t/m³.
- Komposisi styrofoam 40% dari volume beton dalam penelitian ini dengan kuat tekan 7,46 MPa dan berat isi 1,28 t/m³ dapat memenuhi spesifikasi beton ringan untuk struktur ringan.
- Akhirnya, aplikasi *beton ringan styrofoam* ini disesuaikan dengan kebutuhan dengan memperhitungkan juga sisi ekonomisnya.

Daftar Pustaka

Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia 2008

- ASTM. 1995. *Annual Book of ASTM Standards, section 4 vol. 04.02. Concrete and Agregates*. Philadelphia-USA: ASTM.
- Azhari, Muji Irmawan, & Aman Subakti. 2006. *Penelitian Pemanfaatan Bottom Ash untuk Pasta Beton Ringan*
- Balitbang Kimpraswil. 2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara. Bagian 2*, Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Sarana Utama Sukses, PT. *Weather Panel*. Jakarta.
- Satyarno, Iman. 2004. *Penggunaan Semen Putih untuk Beton Styrofoam Ringan (BATAFOAM)*. Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil FT UGM.
- The Dow Chemical Company. 2005. *Why STYROFOAM T-MASS Technology?*
<http://www.dow.com/styrofoam>