

KAJIAN SIFAT MEKANIK BETON RINGAN DENGAN PENGUNAAN *POLYSTYRENE* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS

Slamet Widodo

Staf Pengajar Fakultas Teknik UNY

ABSTRACT

Lightweight concrete offers some advantages in reinforced concrete construction. It can be produced by replacing the normal aggregate (sand and gravel) with lightweight aggregate, either partially or fully, depending upon the requirements of density and strength. The present study covers the use of expanded *polystyrene* as fine lightweight aggregate in order to produce structural lightweight aggregate.

These mixes were designed by using several variances of *polystyrene* volume percentage by total fine aggregate. The substitution was done with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% by total volume of fine aggregate, with 0,50 water cement ratio. The Properties of hardened concrete namely compressive strength, splitting tensile strength and flexural strength were tested in 28 days of curing period.

It is observed that *polystyrene* lightweight concrete has sufficient strength to be accepted as structural lightweight concrete in 25% substitution by total volume of fine aggregate, with 17,35 MPa of compressive strength, but the compressive strength will always decrease depending on the increasing of *polystyrene* percentage. The splitting tensile strength of *polystyrene* lightweight aggregate approximately 14%-18% of its compressive strength, for the normal concrete it is nearly 10% of 28 days compressive strength. The flexural strength was ranging between 20%-30% of its compressive strength, higher than normal concrete that nearly 15% of its compressive strength.

Keywords : lightweight concrete, mechanical properties, polystyrene

PENDAHULUAN

Kebutuhan beton ringan dalam berbagai aplikasi teknologi konstruksi modern meningkat dengan cepat. Hal ini disebabkan karena berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan teknologi beton ringan di antaranya, berat jenis beton yang lebih kecil sehingga dapat mengurangi berat sendiri elemen struktur yang mengakibatkan kebutuhan dimensi tampak melintang menjadi lebih kecil. Beban mati struk-

tural yang lebih kecil ini juga dapat memberikan keuntungan dalam pengurangan ukuran pondasi yang diperlukan.

Beton ringan dapat diproduksi dengan menggunakan agregat ringan yang secara umum dapat dibedakan menjadi dua yaitu; agregat ringan alami dan agregat ringan buatan. Menurut Al-Sanea (2002), butiran *polystyrene* tergolong dalam agregat buatan yang sangat ringan (*ultra-lightweight aggregate*) dengan berat jenis kurang dari 300 kg/m³, bersifat liat (*ductile*) dan tidak

menyerap air (*nonabsorbent aggregate*). Penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan, pada umumnya dilaksanakan dengan cara mencampurkan butiran-butiran *polystyrene* ke dalam mortar dengan bahan pengikat berupa *portland cement* dengan tujuan memperoleh beton non-struktural untuk keperluan dinding penyekat, genteng penutup atap, sistem lantai komposit maupun fender pada bangunan pelabuhan dan kilang minyak lepas pantai dengan berat jenis beton maksimal 1300 kg/m³ dan kuat tekan kurang dari 12 MPa (Babu, K.G. and Babu, D.S., 2003). Beton ringan dapat digunakan untuk keperluan struktural jika memenuhi syarat beton ringan dengan berat jenis kurang dari 1900 kg/m³ (RSNI, 2002) dan memiliki kuat tekan minimum 17 MPa (Neville and Brooks, 1987). Menurut Babu, K.G. dan Babu, D.S. (2003), penelitian yang dilakukan di *Indian Institute of Technology Madras* menunjukkan berat beton ringan yang menggunakan butiran *polystyrene* sebagai agregat kasarnya dengan bahan tambah silika fume akan berkisar antara 1400 kg/m³ sampai 1800 kg/m³ tergantung pada volume *polystyrene* yang digunakan. Sedangkan kuat tekan beton yang dihasilkan dapat mencapai 20 MPa sehingga dapat digolongkan sebagai beton struktural.

Dalam penelitian ini akan digunakan butiran *polystyrene* sebagai bahan substitusi agregat halus (pasir) karena merupakan bahan yang cukup murah dan mudah didapatkan di Indonesia, sifatnya yang sangat ringan diharapkan dapat mengurangi berat jenis beton yang dihasilkan, sedangkan sifat liat (*ductile*) diharapkan memberikan kontribusi terhadap kuat tarik belah dan kuat lentur beton. Berdasarkan uraian di atas, beton yang dihasilkan selain tergolong beton ringan struktural juga diharapkan memiliki

proporsi kuat tarik belah dan kuat lentur terhadap kuat tekan yang lebih baik jika dibandingkan dengan beton normal, sehingga jika digunakan dalam struktur beton akan menghasilkan elemen yang lebih daktail dan mampu berdeformasi lebih baik dengan fenomena *first crack* yang lebih menguntungkan. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa sifat fisik dan mekanik beton yang meliputi berat jenis, kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk melakukan kajian awal daktilitas beton ditinjau dari persentase kuat tarik belah dibandingkan dengan kuat tekannya dan persentase kuat lentur dibandingkan dengan kuat tekan beton. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui kecenderungan perilaku lentur (daktilitas), yang ditunjukkan oleh kemampuannya dalam berdeformasi dan fenomena *first-crack* apabila menerima beban struktural.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan berbagai pengujian dalam penelitian eksperimental ini, terdiri dari: (a) Semen portland type I dengan merk dagang Semen Nusantara, (b) Agregat kasar dan pasir yang tergolong agregat alami dengan diameter maksimum 20 mm yang berasal dari wilayah Kabupaten Sleman, (c) Air bersih yang diperoleh dari Laboratorium Bahan Bangunan FT UNY dan (d) *Polystyrene* yang digunakan berupa butiran halus yang lolos saringan berukuran 5 mm. Sedangkan instrumen yang diperlukan untuk melaksanakan berbagai pengujian dalam penelitian ini terdiri dari: (a) Timbangan, (b) Jangka sorong, (c) *Compression testing machine* dan (d) *Universal testing machine*.

Sesuai dengan tujuan penelitian yang dimaksudkan untuk mengetahui besarnya

persentase optimum substitusi pasir dengan *polystyrene* dalam proses produksi beton ringan, maka dilakukan beberapa variasi persentase volume substitusi pasir dengan *polystyrene* yaitu: 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% yang dihitung berdasarkan jumlah agregat halus yang diperlukan. Setiap varian dalam penelitian ini akan diuji kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat lenturnya pada umur 28 hari dengan 3 benda uji beton untuk 1 data pengujian.

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Peralatan yang digunakan meliputi cetakan silinder diameter 152 mm dan tinggi 305 mm, tongkat pemadat, dan mesin tekan. Prosedur pengujian dilaksanakan berdasarkan SNI: 03-1974-1990, benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris, dan mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm² perdetik. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji dicatat. Kuat tekan beton dihitung berdasarkan besarnya beban persatuan luas, menurut persamaan 1.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \text{ MPa} \quad (1)$$

di mana ; P = beban maksimum (kN)
A = luas penampang benda uji (mm²)

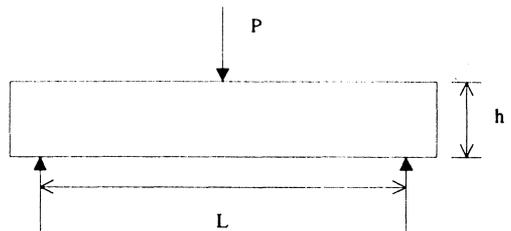
Metode uji tarik belah yang dilakukan mengacu pada ASTM C496-90, benda uji yang digunakan berupa silinder dengan

diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah benda uji untuk setiap data yang diperlukan. Besaran kuat tarik belah benda uji dihitung dengan Persamaan 2.

$$\text{Kuat tarik} = \frac{2.P}{\pi.l.d} \text{ MPa} \quad (2)$$

di mana; P = beban maksimum (kN)
l = panjang benda uji (mm)
d = diameter benda uji (mm)

Cara pengujian kuat lentur beton yang digunakan adalah pembebanan tiga titik (*three point bending*) mengacu pada standar ASTM C293-79, besaran tegangan tarik (*modulus of rupture*) yang terjadi pada benda uji dihitung dengan Persamaan 3.



Gambar 1 Metode Pengujian *Three Point Bending*

$$R = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \text{ MPa} \quad (3)$$

di mana; R = *modulus rupture*
P = beban maksimum (kN)
L = panjang benda uji (mm)
b = lebar penampang benda uji (mm)
h = tinggi penampang benda uji (mm)

Benda uji yang digunakan berupa balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 750 mm sebanyak 3 buah benda uji untuk setiap data yang diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

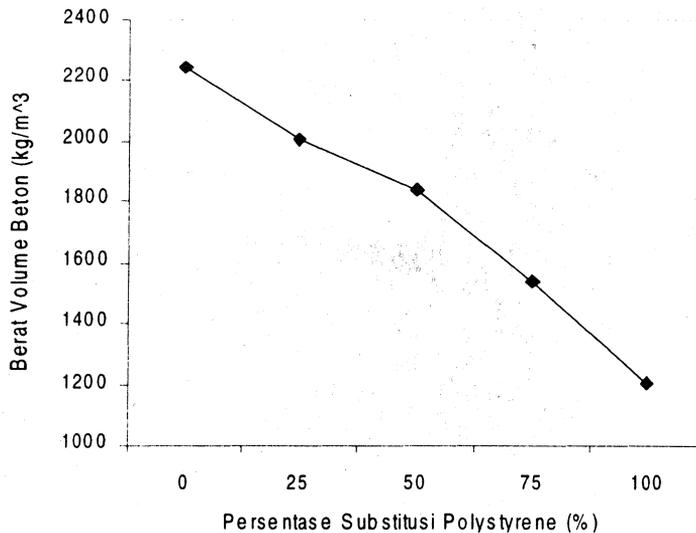
Kajian Sifat Fisik dan Mekanis Beton

Hasil pengujian eksperimental terhadap sifat fisik dan mekanik beton yang meliputi berat jenis, kuat tekan, kuat tarik belah dan *modulus rupture* selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa penggunaan *polystyrene* sebagai bahan substitusi parsial untuk agregat halus dapat mengurangi berat jenis beton yang dihasilkan, hal ini dapat terjadi mengingat berat jenis *polystyrene* yang nilainya sekitar 300 kg/m^3 jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan berat jenis pasir yang mencapai 1200 sampai 1600 kg/m^3 .

Tabel 1 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* Terhadap Sifat Mekanis Beton

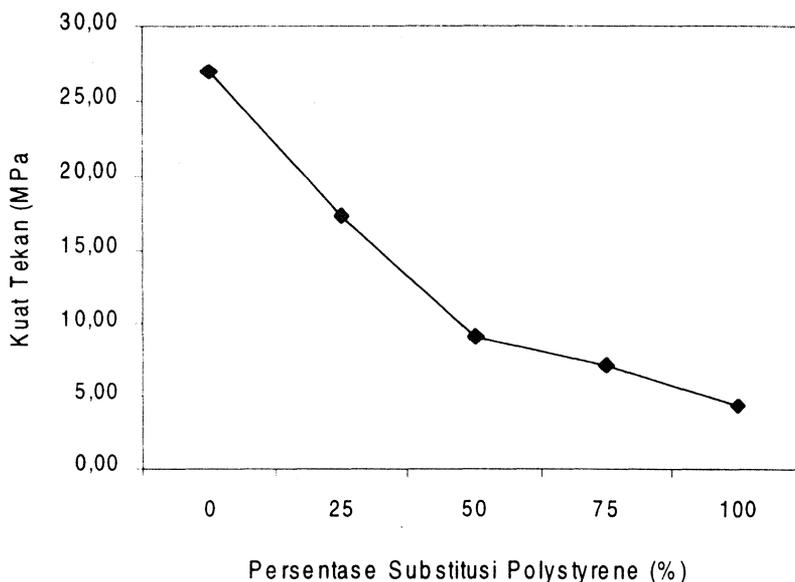
<i>Polystyrene</i> (%)	Berat jenis (kg/m^3)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Mod. Rupture (MPa)
0	2243,330	26,985	2,995	3,544
25	2002,670	17,350	2,500	3,290
50	1836,330	9,090	1,627	2,661
75	1539,000	7,070	1,250	1,833
100	1209,670	4,380	0,778	0,627



Gambar 2 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* terhadap Berat Jenis Beton

Menurut RSNI tahun 2002 beton normal memiliki berat jenis sekitar 2200 kg/m^3 sampai 2400 kg/m^3 , sehingga beton yang menggunakan *polystyrene* sebagai bahan substitusi pasir mulai dari 25% terhadap volume total agregat halus yang diperlukan, dapat digolongkan sebagai beton ringan.

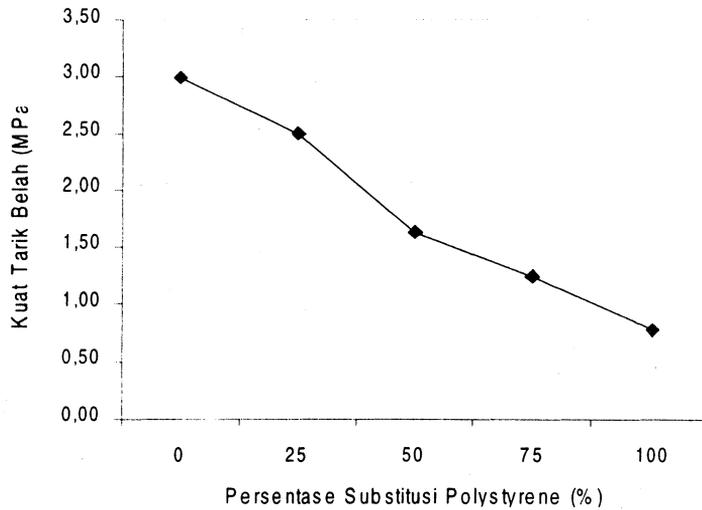
lekatan pada bagian permukaan (*interfacial zone*) antara *polystyrene* dengan pasta semen kurang sempurna. Penyebab lain yang mungkin berpengaruh adalah gradasi butiran *polystyrene* yang digunakan relatif seragam sehingga kurang sempurna dalam mengisi rongga-



Gambar 3 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* Terhadap Kuat Tekan Beton

Tabel 1 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa penggunaan *polystyrene* sebagai bahan substitusi parsial untuk agregat halus dapat menurunkan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan, hal ini dimungkinkan terjadi karena sifat *polystyrene* yang lebih lunak daripada pasir, selain itu *polystyrene* juga cenderung lebih licin permukaannya sehingga

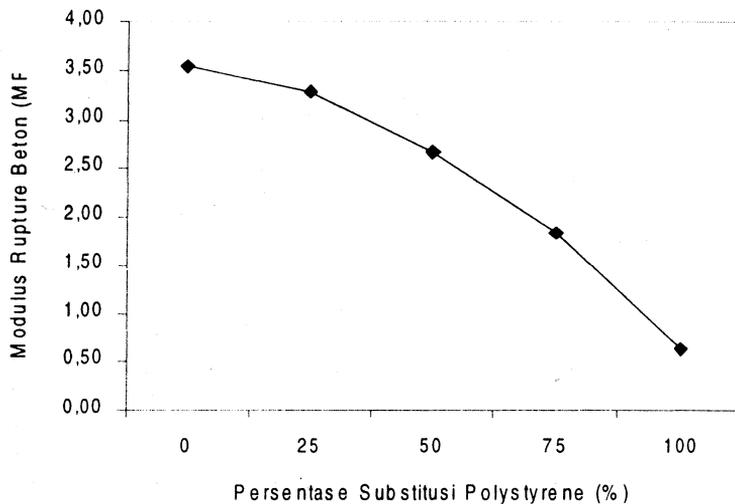
rongga di dalam beton. Beton ringan struktural disyaratkan memiliki nilai kuat tekan karakteristik minimal 17 MPa (ASTM C330-82a), sehingga penggunaan substitusi pasir dengan *polystyrene* sebesar 25% dari volume total agregat ringan dengan nilai faktor air semen 0,50 masih dapat menghasilkan beton struktural.



Gambar 4 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* terhadap kuat tarik beton

Tabel 1 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa penggunaan *polystyrene* sebagai bahan substitusi parsial untuk agregat halus dapat menurunkan nilai kuat tarik belah beton yang dihasilkan, hal ini dimungkinkan terjadi karena permukaan *polystyrene* cenderung lebih licin dibandingkan permukaan pasir sehingga

lekatan pada bagian permukaan (*interfacial zone*) antara *polystyrene* dengan pasta semen kurang sempurna. Penyebab lain yang mungkin berpengaruh adalah gradasi butiran *polystyrene* yang digunakan relatif seragam sehingga kurang sempurna dalam mengisi rongga-rongga di dalam beton.



Gambar 5 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* Terhadap Modulus ruptur Beton

Tabel 1 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan *polystyrene* sebagai bahan substitusi parsial untuk agregat halus dapat menurunkan nilai *modulus rupture* beton yang dihasilkan, hal ini dimungkinkan terjadi karena permukaan *polystyrene* cenderung lebih licin dibandingkan permukaan pasir sehingga lekatan pada bagian permukaan (*interfacial zone*) antara *polystyrene* dengan pasta semen kurang sempurna. Penyebab lain yang mungkin berpengaruh

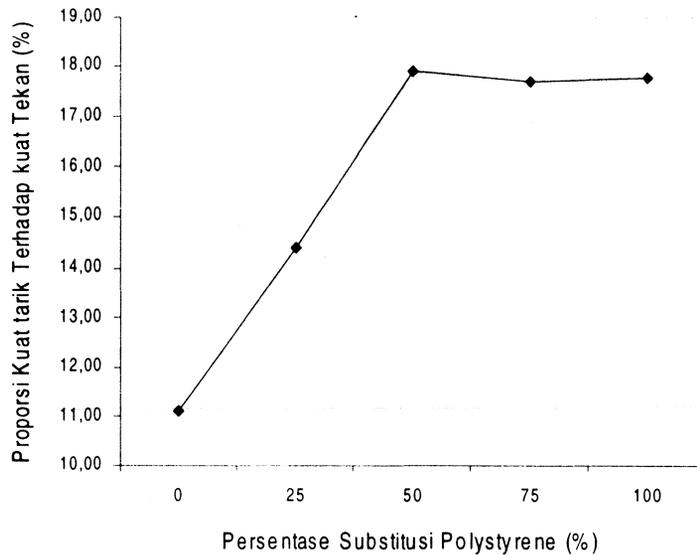
adalah gradasi butiran *polystyrene* yang digunakan relatif seragam sehingga kurang sempurna dalam mengisi rongga-rongga di dalam beton.

Kajian Indikator Awal Daktilitas Beton

Beberapa indikator awal yang dapat digunakan untuk memperkirakan daktilitas beton yang dihasilkan dalam penelitian ini, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* terhadap Indikator Awal Daktilitas Beton

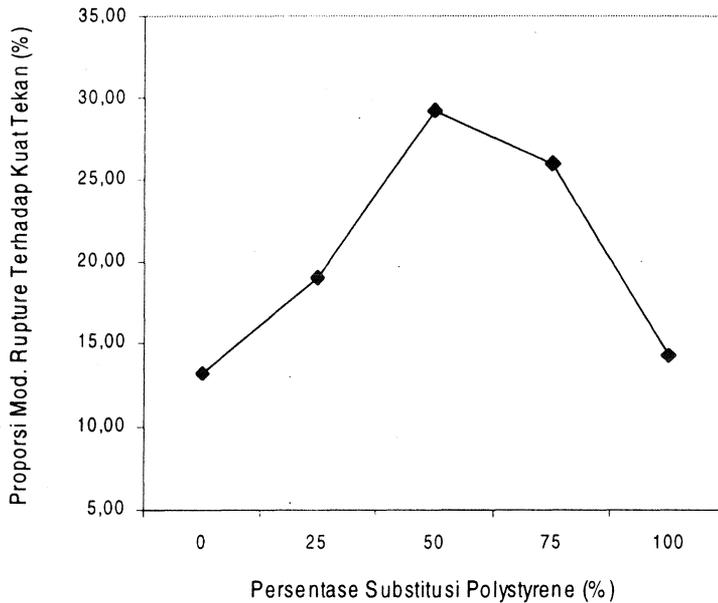
<i>Polystyrene</i> (%)	Proporsi Kuat Tarik pada Kuat Tekan (%)	Proporsi Mod. Rupture pada Kuat Tekan (%)
0	11,111	13,130
25	14,410	18,960
50	17,890	29,270
75	17,680	25,930
100	17,760	14,310



Gambar 6 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* Terhadap Proporsi Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton

Kajian awal terhadap indikator daktilitas beton yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 6 mengindikasikan bahwa beton yang memanfaatkan *polystyrene* sebagai bahan substitusi agregat halus dapat meningkatkan rasio/proporsi kuat tarik beton dibandingkan dengan kuat tekan beton, hal ini dimungkinkan karena *polystyrene* bersifat sangat liat sehingga dapat memberikan kontribusi pada kuat tarik beton dengan lebih baik. Pada umumnya proporsi kuat tarik belah beton dibandingkan dengan kuat tekannya hanya berkisar 10%, sedangkan pada Gambar 6 terlihat penggunaan *polysty-*

rene dapat meningkatkan nilai proporsi kuat tarik belah dan kuat tekan beton hingga mencapai nilai 17,89% pada substitusi sebesar 50%. Pada Gambar 7 juga terlihat proporsi *modulus rupture* dibandingkan dengan kuat tekannya dapat mencapai 29,27% pada penggunaan *polystyrene* sebesar 25%, sedangkan nilai proporsi *modulus rupture* dan kuat tekan pada beton normal hanya berkisar 15%. Berdasarkan kajian ini dapat diketahui indikasi bahwa penggunaan *polystyrene* untuk bahan substitusi pasir dapat meningkatkan daktilitas beton, setidaknya diharapkan dapat menghambat fenomena *first-crack* pada beton bertulang.



Gambar 7 Pengaruh Penggunaan *Polystyrene* Terhadap Proporsi *Modulus rupture* dan Kuat Tekan Beton

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian eksperimental yang telah dilaksanakan adalah:

1. Substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* dapat mengurangi berat jenis beton, jenis beton ringan mulai dapat dicapai pada penggunaan *polystyrene* sebesar 25% dari volume total agregat halus.
2. Substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* cenderung menurunkan kuat beton, jenis beton ringan-struktural hanya dapat dicapai pada penggunaan *polystyrene* sebesar 25% dari volume total agregat halus untuk nilai faktor air semen sebesar 0,50 dengan kuat tekan rata-rata 17,35 MPa.
3. Substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* cenderung mengurangi nilai kuat tarik belah beton.
4. Substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* cenderung mengurangi nilai *modulus rupture* beton.
5. Substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* dapat meningkatkan nilai proporsi kuat tarik belah dan kuat tekan beton, dengan nilai maksimum sebesar 17,89% pada penggunaan *polystyrene* sebesar 50%.
6. Substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* dapat meningkatkan nilai proporsi *modulus rupture* dan kuat tekan beton, dengan nilai maksimum sebesar 29,27% pada penggunaan *polystyrene* sebesar 25%.

Saran yang dapat disampaikan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Penelitian lanjutan tentang substitusi pasir dengan butiran *polystyrene* sebaiknya dilakukan pada kisaran 25% sampai dengan 50% dari volume total agregat halus yang diperlukan.
2. Untuk meningkatkan sifat mekanik beton yang dihasilkan, sebaiknya dalam penelitian selanjutnya dicoba penguangan nilai faktor air semen dan penggunaan superplasticizer pada beton jenis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Sanea, S.A. 2002. "Thermal Performance of Building Roof Element". *Building and Environment Vol. 37*. Elsevier.
- Babu, K.G. and Babu, D.S. 2003. "Behaviour of Expanded *Polystyrene* Concrete Containing Silica Fume". *Cement and Concrete Research Vol. 33*. Pergamon.
- Gani, M.S.J. 1997. *Cement and Concrete*. Melbourne: Chapman & Hall.
- Gambhir, M.L. 1986. *Concrete Technology*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Kardiyono Tjokrodimuljo. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Nafiri.
- Mannan, M.A. and Ganapathy, C. 2002. "Engineering Properties of Concrete with Oil Palm Shell as Coarse Aggregate". *Construction and Building Materials Vol. 16*. Elsevier.
- Neville, A.M. and Brooks. 1987. *Concrete Technology*. London: Longman Scientific & Technical.