**OPTMASI SIFAT MEKANIK BETON RINGAN DENGAN AGREGAT BREKSI BATU APUNG DENGAN BAHAN TAMBAH MINERAL DAN SERAT CAMPURAN**

**Agus Santosa**

**Slamet Widodo**

**ABSTRAK**

Kebutuhan beton ringan dalam berbagai aplikasi teknologi konstruksi modern meningkat dengan cepat. Breksi batu apung yang tersedia dengan melimpah di dunia khususnya di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku produksi beton ringan struktural. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui komposisi agregat untuk memproduksi beton ringan struktural dengan agregat kasar breksi baru apung dan agregat halus pasir alami. Selanjutnya juga dilakukan penelitian terkait dengan efek penggunaan bahan tambah mineral dan serat terhadap sifat fisik dan mekanik beton ringan yang dihasilkan.

Untuk memperoleh data yang diperlukan dilakukan pengujian berat jenis beton, kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton dengan ukuran benda uji yang sesuai dengan persyatan SNI dan ASTM. Setiap data diperoleh dari pengujian tiga buah spesimen standar pada umur 56 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahan penambahan fraksi agregat kasar breksi batu apung menyebabkan berkurangnya berat jenis dan kuat tekan beton yang dihasilkan. Beton ringan struktural dapat dicapai pada penggunaan fraksi agregat breksi batu apung sebesar 65% dari total volume agregat yang digunakan. Substitusi sebagian massa semen dengan silica fume dapat meningkatkan kuat tekan beton ringan dengan peningkatan kuat tekan yang optimum sebesar 13% yang dicapai pada substitusi parsial semen sebesar 6% berdasarkan berat semen yang digunakan. Penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton ringan dengan komposisi optimum 0.1% serat polypropylene dicampur dengan 1% serat baja.

Kata Kunci : Beton ringan, breksi batu apung, sifat fisik, sifat mekanik

**A. PENDAHULUAN**

**1. Latar Belakang**

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 tampang melintang menjadi lebih kecil. Beban mati struktural 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. Kriteria agregat ringan untuk beton ringan struktural telah dinyatakan secara jelas dalam ASTM 330 bahwa bobot isi kering gembur tidak boleh melampaui 880 kg/m3 dan berat jenis agregat tidak boleh melampaui 2000 kg/m3.

Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) menyimpan potensi yang sangat besar untuk pengembangan produk berbasis breksi batu apung (*natural pumice*). Cadangan *pumice* yang tersimpan di DIY tercatat lebih dari 350 juta m3, yang meliputi wilayah Kabupaten Bantul sebesar ± 57,3 juta m3, Kabupaten Gunung Kidul ± 122,9 juta m3, dan Kabupaten Sleman ± 214,8 juta m3, dimana masing lokasi terletak relatif saling berdekatan. Hasil uji awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa breksi batu apung yang berada pada formasi batuan Semilir di wilayah DIY memiliki bobot isi kering gembur 760 kg/m3 dan berat jenis 1600 kg/m3. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa breksi batu apung memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi beton ringan struktural.

Tersedianya deposit *pumice* yang melimpah ini menawarkan berbagai keuntungan yaitu; 1) *pumice* lebih ramah lingkungan (tidak banyak menimbulkan polusi udara berupa gas CO2 sehingga tidak memicu *global warming*) karena dapat dimanfaatkan tanpa melalui proses pembakaran, tidak seperti agregat ringan buatan yang membutuhkan proses pembakaran, 2) lebih murah karena tersebar secara luas di wilayah DIY bahkan Indonesia, 3) dapat menyerap tenaga kerja di sekitar lokasi penambangan.

Potensi sumber daya alam ini belum dimanfaatkan oleh pemerintah daerah maupun industri terkait. Oleh karenanya, perlu dilakukan penelitian untuk dapat menghasilkan beton ringan struktural yang memenuhi persyaratan ACI Committee 211 (2004), yang dipersyaratkan memiliki kuat tekan minimal 17,2 MPa dengan berat jenis maksimal 1842 kg/m3 (*ACI Manual of Concrete Practice*, 2006).

Kekuatan beton sangat ditentukan oleh kekuatan agregat dan kekuatan matrix pengikatnya. Dengan demikian, faktor yang dapat dioptimalkan untuk mendapatkan beton ringan struktural adalah kekuatan matrix pengikat. Dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi matrix pengikat beton ringan dengan memanfaatkan bahan tambah mineral sebagai bahan substitusi sebagian semen untuk meningkatkan kekuatan pasta semen, dan penambahan serat (polypropylene) untuk meningkatkan kekuatan beton dalam menahan laju perkembangan retak akibat bekerjanya beban.

**2. Permasalahan**

Sesuai dengan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui :

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi agregat kasar ringan breksi batu apung dan agregat halus pasir alami terhadap berat jenis dan kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh variasi substitusi semen dengan silica fume terhadap kuat tekan beton ringan?
3. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja terhadap kuat tekan beton?
4. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja terhadap kuat tarik belah beton?
5. Bagaimana pengaruh variasi penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja terhadap kuat lentur beton?

**3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mengetahui komposisi optimum agregat untuk menghasilkan beton ringan struktural dengan bahan dasar breksi batu apung.
2. Mengetahui komposisi optimum bahan pengikat (*binder*) yang menggunakan teknik *partial replacement* semen dengan bahan tambah mineral untuk meningkatkan kuat tekan beton ringan.
3. Mengetahui komposisi optimum campuran serat logam dan non-logam untuk meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur beton ringan.

**4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini meliputi :

1. Manfaat teoritis yaitu mengembangkan teknologi bahan bangunan khususnya beton ringan berbasis material lokal, tepatnya dalam penggunaan dan perancangan campuran material untuk menghasilkan beton ringan struktural dengan memanfaatkan breksi batu apung yang depositnya melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal di wilayah Indonesia, khususnya Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Manfaat praktis yang diharapkan adalah merumuskan campuran adukan beton ringan dengan agregat kasar breksi batu apung sebagai langkah awal dalam pengembangan prototype produk beton ringan pracetak struktural.

**B. TINJAUAN PUSTAKA**

Beton normal merupakan bahan yang cukup berat, dengan berat sendiri mencapai 2400 kg/cm3. Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton maka telah banyak dipakai jenis beton ringan. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847 tahun 2000, beton dapat digolongkan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1900 kg per meter kubik.

Menurut kegunaannya beton ringan dapat diklasifikasikan menjadi 3 golongan, yaitu :

1. Beton ringan struktural dengan kuat tekan karakteristik minimal 17 MPa (ASTM C330-82a).
2. Beton ringan untuk dinding dengan kuat tekan 7 MPa sampai 14 MPa (ASTM C 331-81)
3. Beton ringan sebagai insulator jika konduktivitas termalnya kurang dari 0,3 J/m2soC/m dengan kuat tekan berkisar 0,7 MPa sampai 7 MPa (Neville dan Brooks, 1987).

Menurut Balendran dan kawan-kawan (2002), penambahan serat baja jenis *shortcut* mampu meningkatkan kuat tarik belah beton ringan sampai 165% bahkan dapat melampaui kuat tarik belah beton normal dengan bahan tambah serat baja yang sama. Penambahan serat baja tersebut juga meningkatkan kuat tarik lentur beton ringan sampai dengan 91%.

Xiaopeng (2005), dalam penelitian *master thesis-*nya di *National University of Singapore*, telah berhasil mengembangkan beton ringan struktural dengan agregat kasar batu apung yang mencapai kuat tekan antara 18 MPa sampai dengan 28 MPa. Dalam penelitian tersebut, dapat ditengarai bahwa semakin banyak volume batu apung yang digunakan maka akan semakin kecil kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang dihasilkan.

Kabay dan Akoz (2011) telah melakukan penelitian untuk mengetahui teknik pengadukan beton ringan yang paling baik dengan agregat kasar batu apung. Peneliti dari Turki tersebut memperbandingkan 3 (tiga) metode pengadukan: 1) *pre-soaked*; dilakukan penambahan air berdasarkan nilai serapan air batu apung dalam 1 jam perendaman, 2) *pre-wetted*; di mana batu apung direndam selama 24 jam sebelum dilakukan pengadukan, 3) *vacuum-soaked*, di mana batu apung diletakkan dalam ruangan untuk kemudian dilakukan *vacuum* kemudian diisikan air ke dalam ruang *vacuum* selama 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik *vacuum-soaked* menghasilkan kuat tekan beton ringan yang paling baik, namun cara ini memiliki tingkat kesulitan dan kebutuhan alat yang rumit. Cara *pre-wetted* menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah ± 2,50% dibandingkan metode *vacuum-soaked*, namun jauh lebih mudah untuk dilaksanakan. Sedangkan metode *pre-soaked* menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah ± 2,50% dibandingkan metode *vacuum-soaked*. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan dilaksanakan dengan metode *pre-wetted aggregate*.

**C. METODOLOGI PENELITIAN**

**1. Material**

Bahan-bahan yang dibutuhkan (1) Agregat kasar yang digunakan berupa breksi batu apung dengan diameter maksimum 19 mm berasal dari formasi semilir Bantul, (2) semen portland pozolan, (3) Agregat halus dari Kabupaten Sleman, (4) Air bersih, Bahan tambah mineral yang digunakan adalah silica fume dan serbuk halus batu apung lolos ayakan nomor 200, (5) Serat yang ditambahkan berupa serat baja lokal dengan diameter ± 0,70 mm dan *aspect ratio* ±60 berjenis *end-hooked*, (6) Serat polypropylene monofilament dengan diameter 18 µm dan panjang 12 mm, (7) Superplasticizer diperoleh dari produk komersial berbasis naphtalene sulphonate.

**2. Peralatan**

Peralatan yang diperlukan : seperangkat ayakan, cetakan beton, *Compression Testing Machine, Universal Testing Machine, Concrete mixer* dan alat pendukung cetakan beton lainnya.

**3. Metode Pengujian**

**a. Pengujian Kuat Tekan Beton**

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 4.

Kuat Tekan =   (4)

di mana ; P = beban maksimum (kN)

A = luas penampang benda uji (mm2)

**b. Pengujian Kuat Tarik Belah**

Metode yang diguinakan adalah metode uji tarik belah yang mengacu pada ASTM C496-90, besaran kuat tarik belah benda uji dihitung dengan Persamaan 2.

Kuat tarik =   (5)

di mana; P = beban maksimum (kN)

*l* = panjang benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah benda uji untuk setiap data yang diperlukan.

**c. Pengujian Kuat Lentur Beton**

Cara pengujian 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 rumus seperti di bawah ini.

R =  

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.

**D. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian awal dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik beton ringan yang akan digunakan sebagai beton struktural. Hasil eksperimen menunjukan bahwa penggunaan breksi pumice sebagai agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm, pada fraksi volume 65% dari total volume agregat dapat menghasilkan beton ringan struktural yang memenuhi persyaratan SNI 03-2847 2000, yang mempersyaratkan berat jenis maksimum 1900 kg/m3 dengan kuat tekan lebih dari 17 MPa (ACI-213, 2003). Hasil ini ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hubungan antara Volume Fraction Agregat Kasar

(Breksi Pumice) dengan Berat Jenis dan Kuat Tekan Beton

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Volume Fraction Agregat Kasar (Breksi Pumice) terhadap Volume Agregat Keseluruhan (%) | Demoulde Density (Kg/m 3) | Kuat Tekan  (MPa) |
| 45 | 1995,146 | 29,514 |
| 65 | 1845,090 | 18,424 |
| 85 | 1738,850 | 16,476 |

Penurunan berat jenis dan kuat tekan beton sangat dimungkinkan terjadi sebagai akibat dari pemanfaatan breksi batu apung yang memiliki berat jenis dan kekuatan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan agregat kasar dari batuan alam yang biasa digunakan.

Selanjutnya, untuk meningkatkan kuat tekan beton juga telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen (berdasarkan berat) dengan silica fume terhadap kuat tekan beton. Hail penelitian berkaitan dengan efek penggunaan silica fume terhadap kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hubungan antara Persentase Substitusi Sebagian Semen dengan Silica Fume Terhadap Berat Jenis dan Kuat Tekan Beton

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Substitusi Sebagian Berat Semen dengan Silica Fume (%) | Demoulde Density  (Kg/m 3) | Kuat Tekan  (MPa) |
| 0 | 1845,090 | 18,424 |
| 6 | 1851,092 | 20,228 |
| 12 | 1854,093 | 18,701 |

Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa substitusi sebagian semen PPC dengan silica fume sebesar 6% dari berat semen akan memberikan peningkatan yang optimum terhadap kuat tekan beton ringan. Kuat tekan beton ringan berumur 56 hari dengan substitusi 6% berat semen PPC dengan silica fume dapat meningkat sebesar 13% dibandingkan dengan beton ringan yang tidak menggunakan silica fume.

Hal ini terjadi karena serbuk bata merah tergolong sebagai pozolan aktif yang merupakan *latent cementicious material*, sehingga jika semen portland, air, pozolan dan agregat bercampur di dalam beton, maka terjadi reaksi hidrasi dari senyawa-senyawa semen dan hidrasi dari komponen mineral pozolan dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh hidrasi semen portland. Pada penambahan serbuk bata merah kapur bebas dapat bereaksi dengan silica oksida (SiO2), Al2O3 dan Fe2O3 menghasilkan *tobermorite*, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton. Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan reaksi kimia sebagai berikut :

2(3CaO.SiO2) + 6H2O 3.CaO.2SiO2.3H2O + 3Ca(OH)2

2(2CaO.SiO2) + 4H2O 3.CaO.2SiO2.3H2O + Ca(OH)2

dengan adanya bahan tambahan berupa serbuk bata merah maka akan terjadi reaksi antara kapur bebas dengan butiran silika, alumina dan ferro-oksida yang menghasilkan tobermorite

3 Ca(OH)2 + 2SiO2 3.CaO.2SiO2.3H2O

3 Ca(OH)2 + 2Al2O3 3.CaO.2Al2O3.3H2O

3 Ca(OH)2 + 2Fe2O3 3.CaO.2Fe2O3.3H2O

Tampak bahwa bahan pozolan ini mengikat kapur bebas dalam beton dan membentuk kalsium silikat hidrat yang sama dengan hasil hidrasi semen portland.

Untuk memperbaiki salah satu kelemahan beton ringan yang lemah dalam menahan gaya tarik, maka dilakukan penambahan serat campuran antara serat polypropylene dan serat baja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat campuran dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton ringan sebagimana ditunjukkan pada Tabel 3 , Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Hubungan antara Penambahan Serat Terhadap Beberapa Sifat Fisik dan Mekanik Beton

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Volume Fraction  Serat Baja (%) | Kuat Tekan  (MPa) | Kuat Tarik Belah (MPa) | Kuat Lentur  (MPa) | Berat Satuan (Kg/m 3) |
| 0,0 | 16,445 | 1,239 | 2,782 | 1764,783 |
| 1,0 | 20,135 | 3,058 | 7,155 | 1874,057 |
| 2,0 | 18,560 | 3,763 | 7,979 | 1932,855 |



Gambar 1. Efek Penambahan Serat Terhadap Berat Jenis Beton



Gambar 2. Efek Penambahan Serat Terhadap Kuat Tekan Beton



Gambar 3. Efek Penambahan Serat Terhadap Kuat Tarik Belah Beton



Gambar 4. Efek Penambahan Serat Terhadap Kuat Lentur Beton

Hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas menunjukkan bahwa serat campuran dapat meningkatkan kuat tekan beton. Hal ini dapat terjadi mengingat pada kasus beton ringan, kekuatan agregat lebih kecil dari kekuatan beton yang dihasilkan sehingga keberadaan serat pada matrix beton akan meningkatkan ketahanan beton dalam menahan laju retak akibat beban yang bekerja sehingga kerusakan pada agregat kasar dapat ditunda.

Serat polypropylene merupakan serat jenis potongan pendek (*short-cut*) yang difungsikan untuk menahan *microcracks* pada beton. *Microcracks* merupakan retak-retak berukuran sangat kecil yang pasti akan terbentuk dalam proses pengeringan beton. Hal ini dapat dipahami bahwa ketika terjadi proses pengerasan beton maka akan timbul panas hidrasi yang disertai dengan perubahan volume beton yang menyusut selama masa pengeringan. Pada saat inilah terjadi *microcracks* yang dapat diatasi dengan serat mikro berjenis *short-cut*, yang dalam penelitian ini digunakan serat polypropylene.

Serat baja (*steel fiber*) merupakan salah satu jenis macro-fiber berjenis *long-cut*, yang diharapkan dapat menghambat laju retak ketika beban kerja mulai ditanggung oleh elemen struktur. Keberadaan steel fiber akan memberikan kontribusi dalam meningkatkan kuat tarik beton melalui mekanisme *bridging effect*.

Pada penambahan serat sebesar 2% berdasarkan volume beton terlihat mulai terjadi penurunan kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah maupun kuat lentur beton sebagai akibat menurunnya kelecakan dan homogenitas beton segar karena penggunaan serat baja yang terlalu banyak.

**E. KESIMPULAN DAN SARAN**

**1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan makan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan fraksi agregat kasar breksi batu apung menyebabkan berkurangnya berat jenis dan kuat tekan beton yang dihasilkan. Beton ringan struktural dapat dicapai pada penggunaan fraksi agregat breksi batu apung sebesar 65% dari total volume agregat yang digunakan.
2. Substitusi sebagian massa semen dengan silica fume dapat meningkatkan kuat tekan beton ringan dengan peningkatan kuat tekan yang optimum sebesar 13% yang dicapai pada substitusi parsial semen sebesar 6% berdasarkan berat semen yang digunakan.
3. Penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan komposisi optimum 0.1% serat polypropylene dicampur dengan 1% serat baja.
4. Penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja dapat meningkatkan kuat tarik belah beton dengan komposisi optimum 0.1% serat polypropylene dicampur dengan 1% serat baja.
5. Penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja dapat meningkatkan kuat lentur beton dengan komposisi optimum 0.1% serat polypropylene dicampur dengan 1% serat baja.

**2. Saran**

1. Agregat kasar breksi batu apung dapat dimanfaatkan untuk memproduksi beton ringan struktural.
2. Penambahan serat campuran polypropylene dan serat baja pada beton ringan dapat dicapai dengan komposisi optimum 0.1% serat polypropylene dicampur dengan 1% serat baja.

**DAFTAR PUSTAKA**

ACI 318-08. (2008). *Building code requirements for structural concrete*. American Concrete Institute.

Balendran, R.V., Zhou, F.P., and Leung, A.Y.T. (2002) “Infuence of Steel Fibres on Strength and Ductility of Normal and Lightweight High Strength Concrete”. Building and Environment 37. pp. 1361–1367.

Kabay, N., & Akoz, F., (2011). “Effect of prewetting methods on some fresh and hardened properties of concrete with pumice aggregate. Cement & Concrete Composites”. doi:10.1016/j.cemconcomp. 2011.11.022.

Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.

Xiaopeng, L. (2005). Structural Lightweight with Pumice Agregate. National University of Singapore: Master Thesis.