



Kuat lentur dan berat jenis beton ringan selular diperkuat serat kain pakaian bekas

The flexural strength and density of cellular lightweight concrete reinforced with used clothing fiber

A.D. Catur*, D.S. Paryanto, A.P. Yesung, I.M. Nuarsa, A.A.A. Triadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP081353663813

*E-mail: agus.dc@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 22 November 2021

Accepted 04 March 2022

Available online 01 April 2022

Keywords:

Cellular
Lightweight
Concrete
Fiber
Flexural

Cellular lightweight concrete has an advantage in its specific gravity, with the presence of foam making it lighter. However, the presence of foam reduces its strength. Utilization of used clothing fibers is carried out to increase the flexural strength of cellular lightweight concrete and is useful for reducing environmental loads. Used clothing fibers are added to the cellular lightweight concrete in the amount of 0%; 0.3%; 0.6%; 0.9% and 1.2% of weight. Cellular lightweight concrete is also reinforced with steel wire mesh with a wire diameter of 0.5 mm with a side length of $\frac{1}{4}$ inch \times $\frac{1}{4}$ inch. With the addition of used clothing fibers increase the flexural strength and reduce the density of cellular lightweight concrete. The addition of steel wire mesh increases the flexural strength but increases the density of cellular lightweight concrete.



1. PENDAHULUAN

Populasi manusia yang bertambah menyebabkan peningkatan kebutuhan pakaian dan bahan bangunan. Panel adalah salah satu bahan bangunan yang sangat luas pemanfaatannya terutama untuk bahan dinding penyekat pada bangunan rumah. Salah satu jenis panel yang banyak digunakan adalah panel beton ringan. Panel beton ringan menjadi pilihan karena berat jenis yang lebih kecil sehingga dapat mengurangi berat struktur dan struktur penyangganya. Beton mempunyai sifat getas yaitu ketidakmampuan untuk berdeformasi plastis dan hanya sebatas berdeformasi elastis saja, selanjutnya beton mengalami patah jika beban diperbesar. Sifat getas pada beton memungkinkan terjadinya patahan secara mendadak, ini menunjukkan perambatan retak yang cepat, serta

ketangguhan yang buruk. Dalam proses kegagalan panel beton akibat aksi beban memunculkan banyak retakan dengan skala ukuran berbeda yang sangat merugikan pada sifat mekanik dan ketahanan panel beton.

Guna mengatasi kekurangan itu telah banyak dilakukan usaha untuk memperbaiki sifat panel beton dan menunjukkan bahwa penggunaan serat dapat meningkatkan sifat mekanik panel beton. Fungsi serat pada panel beton yaitu anti retak, perkuatan, dan menambah ketangguhan. Tindakan anti retak mengacu pada kemampuan untuk membatasi dan mengurangi pembentukan dan perkembangan retakan susut pada beton. Tindakan perkuatan dapat diartikan sebagai penambahan serat mengurangi efek merugikan dari cacat di dalam beton dan meningkatkan sifat mekanik beton. Tindakan ketangguhan mengacu pada efek jembatan dari serat yang melintasi celah di dalam beton, yang meningkatkan ketangguhan beton setelah retak, Zhang dkk. (2018).

Beton ringan selular dikembangkan untuk maksud mengurangi kepadatan beton, meningkatkan ketahanan api, konduktivitas termal, dan penyerapan energinya. Namun kekuatan mekaniknya juga harus diperhatikan seperti yang dilakukan oleh Kim dkk. (2010), yang meneliti penguatan serat *polypropylene* dan serat karbon pada agregat ringan terbuat dari tanah liat yang mengembang. Kuat tekan dan modulus elastisitasnya sangat bergantung pada jumlah serat di dalam beton. Indeks ketangguhan sangat tergantung pada jumlah serat dalam beton selular. Solusi lain untuk meningkatkan kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitas dan mengurangi sifat getas yang dimiliki beton ringan yaitu dengan menambahkan serat aluminium pada beton seperti yang dilakukan Gunawan dkk. (2013). Dengan penambahan serat aluminium variasi 0,5% , beton ringan foam berserat mengalami peningkatan baik kuat tekan, kuat tarik belah maupun modulus elastisitasnya. Potensi meningkatkan sifat beton juga diperoleh dari pemanfaatan serat poliolefin ke dalam beton dengan mengubah sifat antarmuka serat-matriks, Sedaghatdoost (2017). Penguatan dengan serat alami pada beton ringan juga telah banyak dilakukan oleh para peneliti diantaranya serat ijuk oleh Perdana dkk.(2015) dan Rohmah (2017); serat bambu oleh Zulfiar (2011); serat sabut kelapa oleh Marfranklin (2019).

Sementara itu, permasalahan sampah adalah permasalahan yang membutuhkan penanganan yang serius terutama sampah organik, karena sampah ini tidak dapat hancur oleh alam dalam waktu singkat. Untuk saat ini Indonesia masih fokus untuk penanganan sampah plastik, yang sampai sekarangpun belum dapat terselesaikan dengan baik. Serat dari sampah plastik juga mendapat perhatian peneliti untuk penguat pada beton ringan selular (CLC). Kuat lentur meningkat seiring dengan penambahan optimal 0,5% serat botol plastik, tetapi jika lebih dari 0,5% terjadi penurunan kuat lentur khususnya pada 0,7% serat, Pamungkas (2019). Untuk meningkatkan kinerja beton, Haryanto (2016) menambahkan serat limbah karpet pada beton ringan agregat kasar ALWA (*Artificial Lightweight Aggregate*) dengan variasi volume fraksi serat limbah karpet 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, dan 1,00%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa serat limbah karpet mampu meningkatkan kuat lentur balok beton ringan dari ALWA sampai dengan 1,09 MPa atau meningkat sebesar 7,15%. Dengan adanya serat limbah karpet, keruntuhan tidak terjadi secara tiba-tiba dengan nilai defleksi mengalami pengurangan sampai dengan 24,32%.

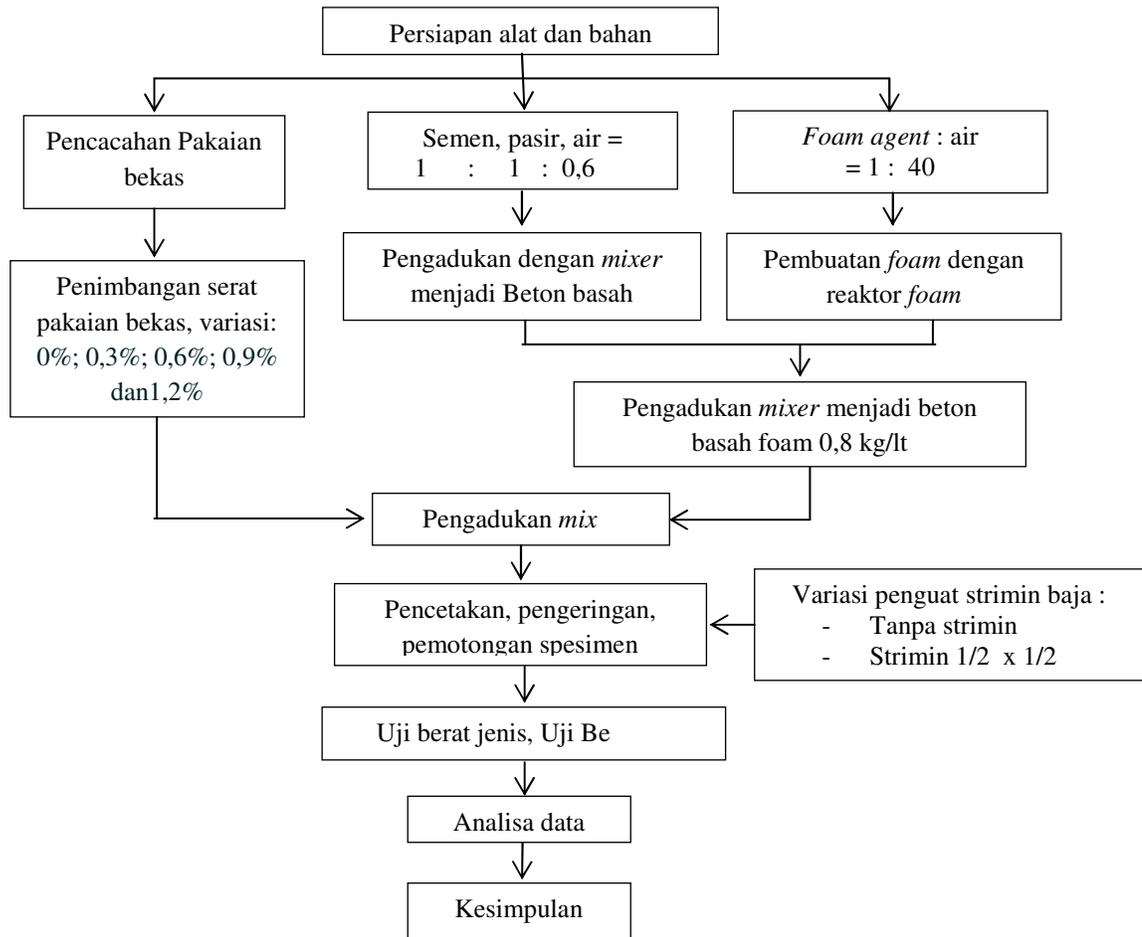
Disamping masalah sampah plastik, ada permasalahan sampah lain yang memiliki potensi merusak lingkungan yaitu sampah pakaian bekas. Limbah pakaian secara global di dunia ini mencapai 92 juta ton pakaian tak layak pakai, Dory (2018). Angka ini sangat besar dan dapat memperburuk lingkungan. Ketidaktahuan bahwa baju bekas menyumbang limbah yang sangat besar di dunia membuat pemakai pakaian tidak merawat pakaian dengan baik sehingga semakin banyak limbah pakaian bekas. Indonesia belum memiliki penanganan khusus untuk sampah pakaian bekas ini. Pakaian bekas yang masih layak pakai dapat dijual kembali atau disumbangkan kepada yang membutuhkan, namun tidak setiap pakaian bekas dapat dipakai kembali sehingga hanya dibuang yang dapat mengakibatkan pencemaran tanah dan air. Perlu dicarikan alternatif pengolahan baju bekas sehingga dapat berguna untuk keperluan produktif.

Serat kain alami maupun buatan, baru maupun bekas jelas mempunyai kekuatan tarik lebih besar dari kuat tarik beton ringan, hal ini membuat serat kain secara teoritis dapat dipakai untuk memperkuat beton ringan. Dalam artikel penelitian eksperimental ini diterangkan pakaian bekas dicacah menjadi serat-serat dan ditambahkan untuk memperkuat bahan bangunan yaitu panel beton ringan selular. Beton ringan selular yang telah dikuatkan dengan serat kain pakaian bekas diuji untuk mendapatkan sifatnya yaitu kekuatan lentur dan berat jenisnya.

2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi *mixer* elektrik, *foam reactor*, kompresor, mesin pencacah kain, timbangan, ayakan, sekop, ember, cetakan spesimen dari kayu, gunting, gergaji tangan, gerinda tangan, dan *Universal Testing Machine (UTM) tensilon*. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah semen portlan, pasir, kain pakaian bekas (celana jeans), air, *foam agent*. Serat pakaian bekas diperoleh dengan mencacah pakaian bekas dengan mesin pencacah. Pakaian bekas yang dipakai dalam penelitian ini adalah hanya pakaian yang berbahan *cotton* yaitu bekas celana jeans berbahan *cotton*, ini dimaksudkan agar terjadi keseragaman jenis serat yang

digunakan untuk memperkuat beton ringan selular. Serat hasil pencacahan juga disortir untuk diambil serat yang seragam. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan alur penelitian seperti terlihat pada gambar 1.

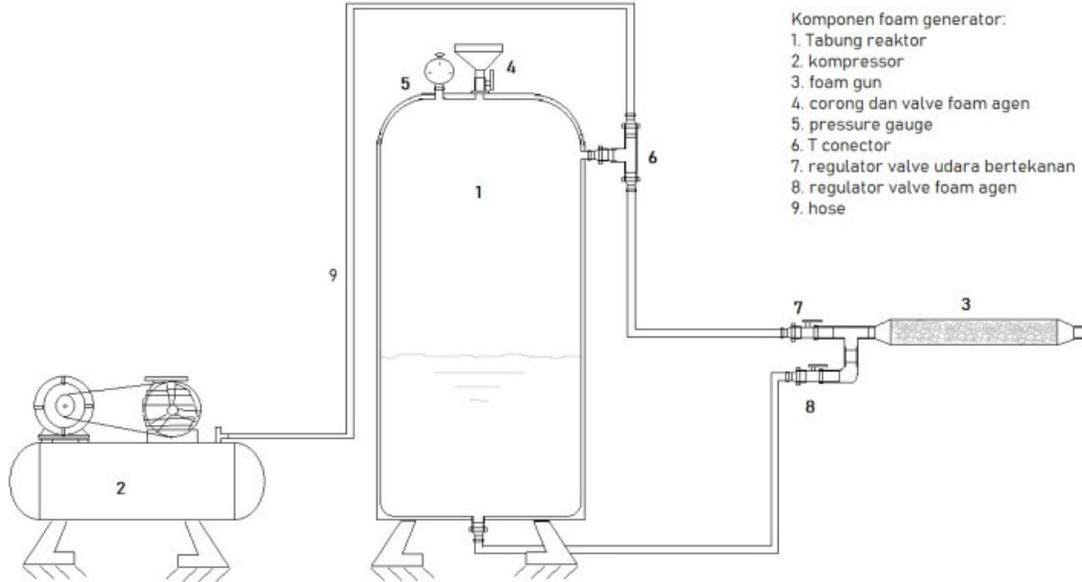


Gambar 1. Alur penelitian

Penyiapan bahan pembuat beton ringan selular dimulai dengan penimbangan bahan untuk membuat beton basah. Bahan dan jumlahnya dipersiapkan untuk beton basah dengan berat 13 kg dengan perbandingan berat semen : pasir : air = 1 : 1 : 0,6. Adapun bahan yang dipersiapkan untuk membuat beton basah adalah semen *portland* 5 kg, pasir halus 5 kg dan air 3 liter. Bahan tersebut dicampur dan diaduk di dalam wadah sampai tercampur dengan sempurna dengan menggunakan *mixer* maka dihasilkanlah beton basah.

Panel beton dapat menjadi ringan karena didalamnya ada gelembung udara. Di dalam beton terbentuk gelembung udara diperoleh dengan mencampurkan *foam* ke dalam beton basah. *Foam* ini dibuat dengan mencampur *foam agent* ke dalam air dengan perbandingan berat 1: 40 ke dalam *foam reactor*, dalam eksperimen ini berat *foam agent* 100 gram dengan air 4 lt. *Foam agent* yang dipakai dalam penelitian ini berupa surfaktan sintesis yang dibuat dari minyak bumi. Agar terbentuknya *foam* dapat kontinyu maka reaktor harus dihubungkan ke udara bertekanan dari kompresor. Gambar *foam reactor* ditunjukkan pada gambar 2.

Kompresor yang dipakai untuk memproduksi foam berdaya 0,25 HP dengan ukuran tangki udara 36 liter dan tekanan kerja 7 kg/cm². Pengaturan jumlah udara dan jumlah larutan *foam agent* yang masuk ke *foam gun* harus dilakukan untuk memperoleh foam yang lembut dan kokoh. Kekokohan gelembung foam dapat diuji dengan menaburkan pasir ke atas foam, jika pasir menempel di atas foam dan tidak tenggelam menandakan gelembung foam tidak pecah dan kokoh (gambar 3a).



(a)



(b)

Gambar 2. Skema susunan *foam reactor* (a), *foam reactor* tersusun (b)



Gambar 3. Foam yang baik mampu menahan pasir di atasnya dan tidak pecah (a), pencampuran beton basah dengan foam (b)

Foam yang terbentuk langsung disemprotkan ke dalam beton basah untuk diaduk bercampur dengan beton basah (gambar 3b). Pengadukan dilakukan dengan merata sehingga foam dapat tercampur dengan merata juga ke seluruh beton basah. Beton basah yang telah bercampur dengan foam dikatakan sebagai beton selular basah. Sifat fisik mekanik beton yang akan dicetak sangat tergantung pada komposisi foamnya. Agar komposisi foam pada beton tidak menjadi variabel bebas maka berat jenis beton basah harus dikontrol menjadi sama untuk setiap pembuatan spesimen. Pada penelitian ini berat jenis beton selular basah dibuat 800 kg/m^3 . Pertimbangan nilai berat jenis ini diambil karena beton ringan ini akan dibuat menjadi panel beton ringan yang diaplikasikan pada dinding rumah dengan ukuran $60 \text{ cm} \times 240 \text{ cm} \times 7,5 \text{ cm}$ sebagai pengganti dinding bata dengan berat tidak lebih dari 100 kg sehingga memudahkan dalam pemasangan oleh satu tukang dan satu peladen.

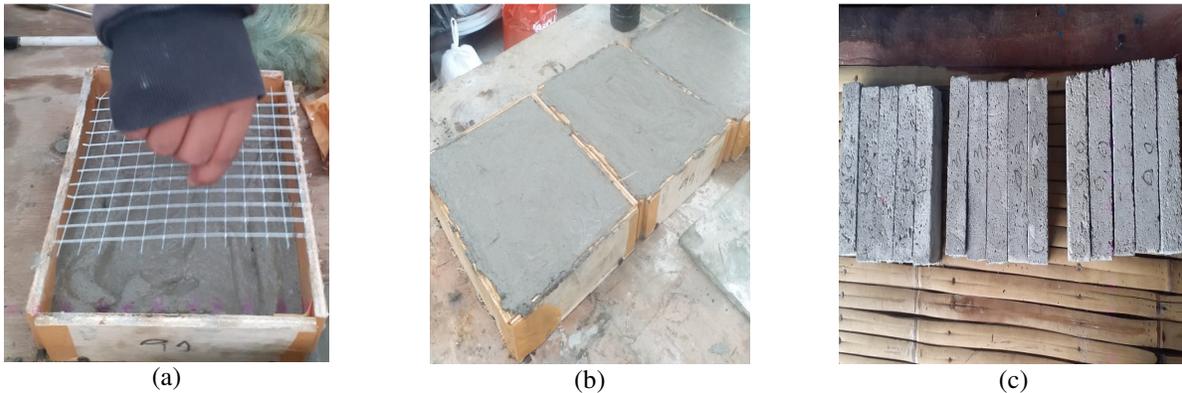


Gambar 4. Serat kain pakaian bekas (a), pendistribusian serat pada beton foam basah (b)

Pada penelitian ini spesimen berupa beton ringan sellular dengan penguat serat kain pakaian bekas di dalamnya. Jumlah serat kain yang dimasukkan ke dalam beton ringan sellular divariasikan sebanyak 0%; 0,3%; 0,6%; 0,9%; 1,2% terhadap berat semen dan pasir. Dalam pembuatan spesimen penelitian ini untuk sekali pembuatan adonan berat semen dan pasir 10 kg sehingga berat serat kain bekas bervariasi yaitu 0 gr ; 30 gr ; 60 gr ; 90 gr ; 120 gr . Agar serat dapat merata maka pendistribusian serat harus merata ke seluruh volume beton basah selular maka dilakukan pengadukan dengan tangan (gambar 4b) maupun dengan pengaduk elektrik agar distribusi serat dapat merata dan homogen. Cetakan spesimen terbuat dari multiplek dengan ukuran rongga $160 \text{ mm} \times 45 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$. Cetakan dipersiapkan diletakkan di atas meja datar dan diolesi dengan oli bekas agar nantinya dapat dibongkar dengan mudah. Beton selular basah kemudian dituangkan ke dalam cetakan sampai penuh dan diratakan ke seluruh cetakan.

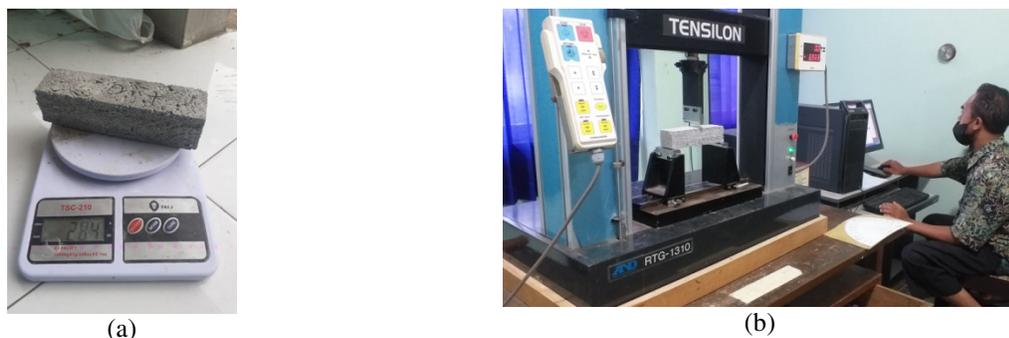
Pada penelitian ini spesimen juga divariasikan dengan penambahan strimin baja dan tidak dikuatkan dengan strimin baja. Strimin baja yang digunakan berjenis galvanis anti karat diameter $0,5 \text{ mm}$, dengan ukuran lubang bujur sangkar strimin $\frac{1}{2} \text{ inch} \times \frac{1}{2} \text{ inch}$. Strimin baja dipotong untuk penguat dengan panjang dan lebar sesuai panjang dan

lebar cetakan. Beton foam basah dituangkan ke dalam cetakan dan diratakan sampai setengah ketebalan cetakan. Setelah strimin dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian beton selular basah sisa dituangkan ke dalam cetakan sampai penuh cetakan dan diratakan (gambar 5.a, 5.b).



Gambar 5. Pencetakan beton ringan seluler dengan penguat strimin baja (a), beton ringan selular dalam cetakan (b), spesimen siap diuji (c)

Pembongkaran cetakan dilakukan setelah panel beton ringan seluler telah mengeras yaitu 12 jam setelah dicetak. Untuk kuat sempurna dibutuhkan waktu yang lama yaitu 28 hari dan dilakukan perawatan berupa penyiraman air 2 kali sehari pagi dan sore. Setelah 28 hari pemotongan spesimen dilakukan dengan pemotong gerinda kecepatan tinggi menjadi ukuran standar pengujian (gambar 5.c). Ukuran dan pengujian bending panel beton ringan berdasarkan standar ASTM C348. Ukuran spesimen uji bending adalah 40 mm x 40 mm x 160 mm. Pengujian bending dilakukan pada beton selular untuk mengetahui tegangan bending yang terjadi ketika diberi beban bending. Pengujian bending dilakukan dengan *universal testing machine* merk TENSILON tipe RTG 1310 buatan Japan dengan kapasitas 10 ton (gambar 6.b). Kecepatan pemberian defleksi adalah 0,5 mm / menit.



Gambar 6. Pengujian berat jenis (a), pengujian kuat bending (b)

Pengujian berat jenis dilakukan dengan menimbang spesimen dan mengukur volume spesimen yaitu dengan cara mengukur panjang, lebar, dan tebalnya. Alat ukur berat mempunyai ketelitian 1 gr (gambar 6.a), sedangkan alat ukur panjang mempunyai ketelitian 0,1 mm.

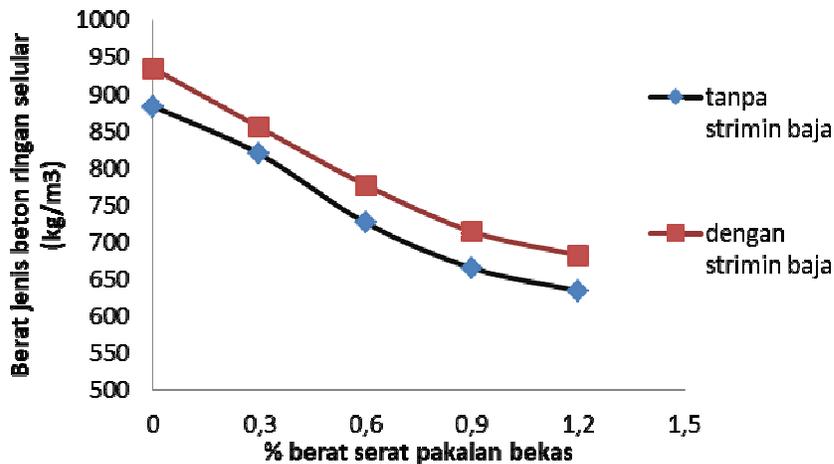
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Berat jenis beton ringan selular

Berat jenis bahan bangunan yang kecil memudahkan bahan diangkut dengan biaya bahan bakar untuk transportasi yang lebih sedikit. Bahan bangunan dengan berat jenis yang kecil maka konstruksi mempunyai bobot yang kecil sehingga bila terjadi gempa energi gempa konstruksi kecil. Terlihat dalam grafik gambar 7 nilai berat jenis beton ringan selular bervariasi pada varian spesimen yang berbeda. Dalam proses pembuatan beton ringan

selular telah diuji berat jenis beton basah 1603 kg/m^3 , kemudian ditambahkan dan diaduk foam sehingga menjadi beton ringan selular basah dan berat jenisnya dipertahankan pada nilai 800 kg/m^3 . Dengan demikian sehingga nilai berat jenis beton ringan selular dipengaruhi oleh variabel bebasnya yaitu jumlah penguatnya.

Dari hasil pengujian berat jenis diperoleh bahwa berat jenis beton ringan selular rata-rata tanpa penguat adalah $883,1 \text{ kg/m}^3$ dan berat jenis beton ringan selular dengan penguat berkisar antara $633,2 \text{ kg/m}^3$ sampai dengan $934,4 \text{ kg/m}^3$. Tren berat jenis beton ringan selular dengan penguat serat kain pakaian bekas dan strimin baja pada gambar 7 tersebut menunjukkan dengan adanya penambahan penguat berupa serat kain pakaian bekas maka berat jenis beton selular makin rendah.



Gambar 7. Berat jenis beton ringan selular terhadap % penguat serat kain pakaian bekas dengan penguat maupun tanpa penguat strimin baja.

Serat *cotton* memang mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari berat jenis beton selular yaitu 1540 kg/m^3 (Barnhard, 2021) namun serat *cotton* mempunyai banyak rongga. Rongga antar serat juga terbentuk saat penggilingan kain bekas menjadi serat. Rongga-rongga ini sangat sulit untuk dimasuki beton selular basah dengan kekentalan yang tinggi saat pencampurannya. Rongga-rongga pada beton bertambah dengan adanya rongga pada serat selain rongga dari foam yang ditambahkan pada beton. Dengan bertambahnya serat penguat kain pakaian bekas pada beton selular maka semakin bertambah rongga pada beton selular dan akibatnya memperkecil berat jenis beton selular.

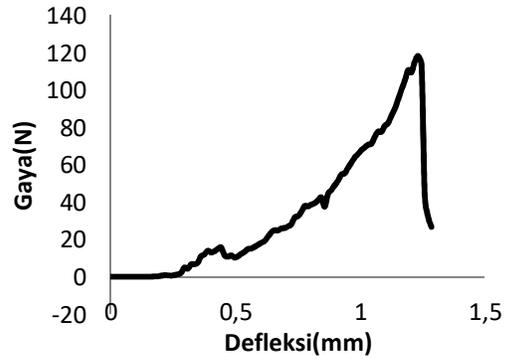
Terlihat juga pada gambar 7 bahwa beton ringan selular yang diperkuat strimin baja mempunyai berat jenis yang lebih besar dibanding dengan berat jenis beton ringan yang tidak diperkuat strimin baja. Baja mempunyai berat jenis 7800 kg/m^3 , nilai ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai berat jenis beton ringan selular yang diperkuat serat yang hanya $633,2 \text{ kg/m}^3$ sd $883,1 \text{ kg/m}^3$. Jika baja dimasukkan dalam komposit dalam hal ini adalah beton ringan selular diperkuat serat maka berat jenis beton ringan secara keseluruhan juga bertambah menjadi $681,5 \text{ kg/m}^3$ sd $934,4 \text{ kg/m}^3$ atau naik rata-rata $6,5\%$. Naiknya berat jenis ini juga dimungkinkan saat proses pembuatan beton ringan selular yang diperkuat strimin. Saat meletakkan strimin baja ke dalam beton selular basah, strimin menekan gelembung-gelembung/foam sehingga pecah sampai terjadinya pematatan beton. Karena gelembung yang pecah membuat jumlah material ringan berkurang sehingga berat jenis meningkat.

3.2 Kuat lentur beton ringan selular

Pengujian bending dilakukan pada spesimen panel beton ringan selular berukuran $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kain bekas dan strimin baja pada kekuatan bending panel beton ringan selular tersebut. Uji bending dilakukan dengan prosedur ASTM C348 menggunakan *universal testing machine* merk TENSILON tipe RTG 1310 buatan Japan dengan kapasitas 10 ton. Kecepatan pemberian defleksi adalah $0,5 \text{ mm / menit}$ dengan panjang *span* 140 mm.



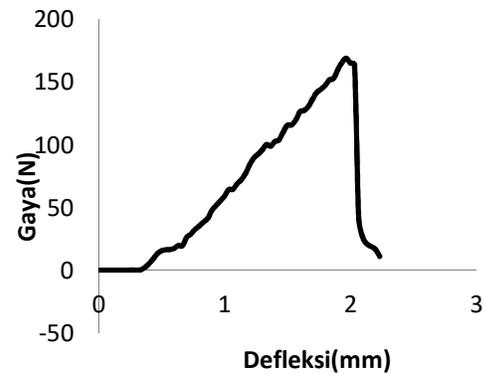
a. kegagalan spesimen beton ringan selular tanpa penguat



b. defleksi vs gaya bending beton ringan selular tanpa penguat



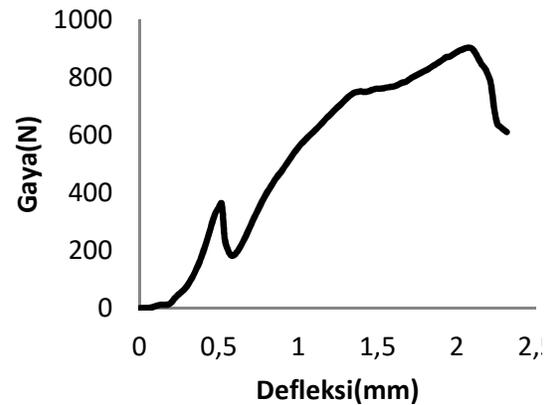
c. kegagalan spesimen beton ringan selular penguat 0,3% serat



d. defleksi vs gaya bending beton ringan selular dengan penguat 0,3% serat



e. kegagalan spesimen beton ringan selular dengan penguat 0,3% serat dan strimin



f. defleksi vs gaya bending beton ringan selular dengan penguat 0,3% serat dan strimin

Gambar 8. Kegagalan spesimen dan grafik defleksi vs gaya bending beton ringan selular

Pengujian bending telah dilakukan pada beton ringan selular, beberapa kegagalan bending spesimen dan grafik defleksi-gaya bending ditunjukkan pada gambar 8. Gambar 8a menunjukkan kegagalan bending spesimen beton ringan tanpa dikuatkan oleh serat pakaian bekas maupun strimin baja. Tampak pada gambar tersebut spesimen mengalami patah terpisah antara bagian kiri dan kanan. Pengamatan saat pengujian juga menunjukkan proses patah

yang terjadi juga secara tiba-tiba, ini menunjukkan beton tanpa dikuatkan bersifat getas, hal ini juga terjadi pada beton tanpa penguatan sebagai spesimen kontrol yang dilakukan oleh Haryanto (2016).

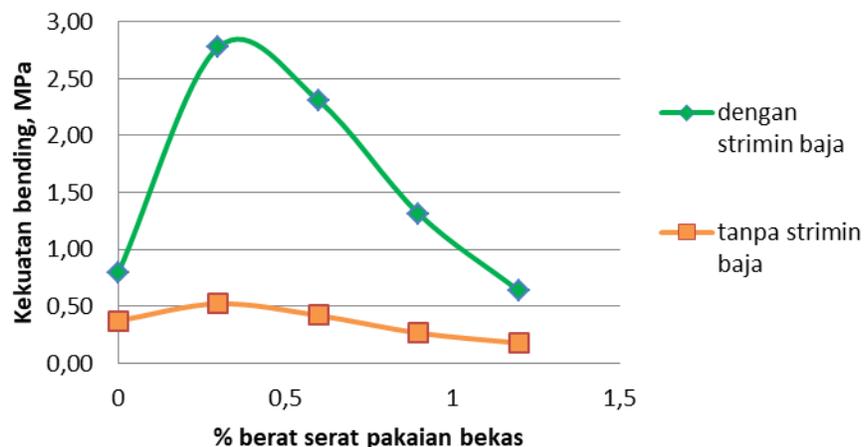
Sementara itu gambar 8 c menunjukkan kegagalan *bending* spesimen beton ringan yang dikuatkan oleh serat pakaian bekas 0,3% yang diambil gambarnya di bagian bawah spesimen. Nampak pada gambar kegagalan berupa retak namun tidak terjadi patah terpisah dan masih menyatu. Defleksi saat patah beton selular dengan penguat serat kain pakaian bekas 0,3% (gambar 8d) lebih dalam dibanding defleksi saat patah beton selular tanpa penguat serat kain (gambar 8b). Pada gambar 8b menunjukkan spesimen beton selular dengan penguat serat kain masih dapat menahan beban setelah beban puncak dan kemudian patah walaupun beban yang ditahan hanya kecil, ini membuktikan bahwa beton masih menyatu antara bagian kiri dan kanan penetrator *bending*. Serat kain pakaian bekas menyebabkan kegagalan dan keruntuhan total pada beton ringan selular membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terjadi atau dikatakan beton menjadi lebih liat. Hal serupa terjadi pada beton ringan ALWA yang diperkuat oleh serat karpet bekas yang diteliti oleh Haryanto (2016), dengan adanya serat limbah karpet, spesimen patah namun kedua bagian masih menyatu dan keruntuhan tidak terjadi secara tiba-tiba.

Perbaikan terhadap mode kegagalan *bending* juga ditunjukkan pada spesimen beton ringan selular yang dikuatkan dengan serat kain bekas 0,3 % dan strimin baja pada gambar 8e. Nampak pada gambar tersebut kegagalan *bending* berupa retak dengan spesimen masih utuh tersambung. Pada gambar 8f juga menunjukkan beton ringan selular yang dikuatkan dengan serat kain bekas 0,3 % dan strimin baja mempunyai sifat yang lebih ulet. Gaya beban maksimum terjadi pada defleksi 2 mm yang ini lebih lama terjadi jika dibandingkan dengan gaya beban maksimum beton ringan selular tanpa dikuatkan yaitu terjadi pada defleksi 1,2 mm. Bahkan beton ringan selular yang dikuatkan dengan serat kain bekas dan strimin baja masih dapat menahan beban setelah beban tertinggi terjadi seperti ditunjukkan pada gambar 8f. Sedangkan beton ringan selular yang tidak dikuatkan tidak dapat menahan beban setelah beban maksimumnya dan akhirnya patah, seperti ditunjukkan pada gambar 8b.

Kekuatan *bending* panel beton ringan selular merupakan tegangan rata-rata yang terjadi pada permukaan bawah komposit dengan persamaan seperti pada persamaan 1.

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \tag{1}$$

σ_b adalah tegangan *bending* (Mpa), P menyatakan beban maksimum *bending* (N), L adalah panjang *span* (mm), d menyatakan tebal spesimen (mm), b adalah lebar spesimen (mm).



Gambar 9. Kekuatan bending beton ringan selular terhadap % berat kandungan serat pakaian bekas

Ketika beton ringan selular dikenai beban oleh penetrator maka gaya diteruskan ke seluruh bagiannya dan pada material penyusunnya terjadi tegangan. Gaya internal karena tegangan inilah yang melawan gaya penetrator *bending*. Beban yang diterima oleh spesimen meningkat dengan bertambahnya *displacement* penetrator atau defleksi spesimen. Pada defleksi tertentu beban *bending* mencapai nilai maksimum dan tegangan *bending* yang terjadi pada material beton juga maksimum. Jika beban yang dikenakan menyebabkan tegangan yang melampaui kekuatan material (tegangan maksimum) penyusunnya maka gaya *bending* menurun dan akhirnya terjadi kegagalan pada material yang bersangkutan. Kegagalan pada beton ringan saat pengujian ditandai dengan penurunan drastis beban *bending*nya.

Data-data dari hasil pengukuran dimensi spesimen serta gaya maksimum hasil pengujian *three point bending* digunakan untuk menghitung kekuatan bending dengan persamaan (4.1) sehingga diperoleh besarnya kekuatan *bending* beton ringan selular yang digrafikkan pada gambar 9. Dari gambar 9 menunjukkan bahwa kekuatan *bending* beton ringan selular meningkat dengan ditambahkan serat kain pakaian bekas padanya, peningkatan tertinggi dari 0,373 MPa menjadi 0,523 MPa pada penambahan serat kain pakaian bekas 0,3%. Dari gambar 9 juga diketahui bahwa setelah 0,6% penambahan serat kain pakaian bekas pada beton ringan selular menyebabkan kuat bending menurun. Penambahan serat yang banyak dapat menyebabkan adukan beton basah tidak dapat masuk ke pori-pori serat, campuran serat kain tidak terdistribusi merata sehingga beton menjadi berongga pada kumpulan serat kain dan tidak mampu. Tren kenaikan kekuatan beton ringan dan kemudian turun setelah mencapai nilai maksimumnya dengan ditambahkan serat juga terjadi pada beton ringan yang ditambahkan serat polyolefin oleh Sedaghatdoost dkk (2017), serat aluminium oleh Gunawan dkk (2013), serat sabut kelapa oleh Marfranklin dkk (2019). Namun secara umum bahwa kehadiran serat pada beton ringan selular dapat menghubungkan antar beton walaupun sudah terjadi keretakan saat dikenai beban, kestabilan beton tersebut membuat nilai kuat bending beton ringan selular meningkat.

Fungsi penguatan oleh serat kain pakaian bekas pada beton ringan selular menjadi sangat efektif jika digabungkan dengan penguatan oleh strimin baja. Terlihat pada gambar 9 kenaikan kuat bending sangat tajam yaitu 2,5 kali lipat dari 0,79 MPa menjadi 2,776 MPa dengan ditambahkan 0,3 % serat kain pakaian bekas ke dalam beton ringan selular yang juga dikuatkan oleh strimin baja. Strimin baja meneruskan gaya dari penetrator ke area seluruh spesimen uji. Dari strimin baja kemudian gaya didistribusikan lagi oleh serat kain menjangkau bagian terkecil beton yaitu agregat halus beton. Dua mekanisme ini menghasilkan penguatan yang sangat efektif. Namun demikian jumlah serat kain yang terlalu banyak juga dapat menurunkan kuat bending beton ringan selular yang dikuatkan juga oleh strimin baja, yaitu ketika lebih dari 0,9% serat kain pakaian bekas.

4. KESIMPULAN

Penambahan serat kain pakaian bekas pada beton ringan selular meningkatkan kuat bendingnya, lebih efektif jika dilakukan pada beton ringan selular yang juga dikuatkan dengan strimin baja. Kuat *bending* beton ringan selular adalah 0,373 MPa naik menjadi 0,523 MPa saat ditambahkan 0,3% serat kain pakaian bekas, dan menjadi 2,776 MPa saat ditambahkan 0,3% serat kain pakaian bekas dan strimin baja. Serat kain pakaian bekas dan strimin baja menyebabkan kegagalan dan keruntuhan total pada beton ringan selular membutuhkan defleksi yang lebih dalam dan tentunya waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan keruntuhan beton ringan selular tanpa dikuatkan. Kegagalan beton ringan selular tanpa dikuatkan adalah berupa patah terpisah, sedangkan pada beton ringan selular dikuatkan dengan serat kain pakaian bekas dan strimin baja berupa retakan yang masih tersambung.

Berat jenis beton ringan selular rata-rata tanpa penguat adalah $883,1 \text{ kg/m}^3$ dan berat jenis beton ringan selular dengan penguat berkisar antara $633,2 \text{ kg/m}^3$ sampai dengan $934,4 \text{ kg/m}^3$. Dengan adanya penambahan penguat berupa serat kain pakaian bekas maka berat jenis beton selular makin rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Universitas Mataram atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian hibah internal 2021 yang dibiayai melalui DIPA BLU Universitas Mataram. Yang ke tiga penulis mengapresiasi Jurusan Teknik dan Laboratorium Fisika atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

σ_b	= kekuatan <i>bending</i> (MPa)
P	= beban maksimum <i>bending</i> (N)
L	= panjang <i>span</i> (mm)
D	= tebal spesimen (mm)
b	= lebar specimen (mm)

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, Annual book of ASTM standard, standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars, 04(0), C 348-02, 2021.
- Barnhard, Properties of cotton, barnhardt natural fibers, <https://barnhardtcotton.net>, 2021.

- Dory, K., Why fast fashion needs to slow down, UN environment program, <https://www.unep.org>, 2018.
- Gunawan, P., Wibowo, Mardiyanto, D., Pengaruh penambahan serat aluminium pada beton ringan dengan teknologi foam terhadap kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas, *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, September, 213-220, 2013.
- Haryanto, Y., Pengaruh serat limbah karpet terhadap kuat lentur balok beton ringan dari alwa, *Techno*, 17 (2), 073–078, 2016.
- Kim, Y.J., Hu J., Lee, S.J., You B.H., mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete containing surfactan, *Advances in Civil Engineering*, 10(2), 1-8, 2010.
- Marfranklin, M., Risdianto, Y., Pengaruh penambahan serat sabut kelapa pada pembuatan beton ringan cellular lightweight concrete, *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(1), 2019.
- Pamungkas, M.D., Risdianto Y., Pengaruh penambahan serat botol plastik sebagai bahan tambah pembuatan beton ringan seluler, *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 2020.
- Perdana, A.O., Wahyuni, A.S., Elhusna, Pengaruh penambahan serat ijuk terhadap kuat tarik belah beton dengan faktor air semen 0,5, *Jurnal Inersia*, 7(2), 7-12, 2015.
- Rochmah, N., Pengaruh serat ijuk sebagai bahan tambah terhadap kuat tarik belah beton, *Jurnal Penelitian LPPM Untag Surabaya*, 2(1), 52–56, 2017.
- Sedaghatdoost, A., Amini, M., Mechanical properties of polyolefin fiber-reinforced light weight concrete, *Civil Engineering Journal*, 3(9), 759-765, 2017.
- Zhang, P., Han, S., Serina, N., Wang, X.H., Fiber-reinforced concrete with application in civil engineering, *Advances in Civil Engineering*, 18(2), 1-4, 2018.
- Zulfiara, M.H., Endarto, M.R., Experimental study on splitting test on light weight concrete using bamboo fiber as aggregate, *ITS Journal Of Civil Engineering* , 31(1), 2011.