



PENGGUNAAN SERAT TANDAN KOSONG SAWIT DALAM PENINGKATAN KEKUATAN PADA BETON BERSERAT

APPLICATION OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FIBERS IN STRENGTH IMPROVEMENT AS A FIBER REINFORCED CONCRETE

Henny Lydiasari, Ari Yusman Manalu¹, dan Rahmi Karolina¹

Abstrak Potensi serat tandan kosong sawit (TKS) sebagai salah satu produk hasil samping pengolahan kelapa sawit semakin meningkat secara signifikan sehingga dibutuhkan pengelolaan yang tepat dalam mengurangi dampak lingkungan. Salah satu pemanfaatan serat TKS ini adalah sebagai material substitusi dalam dunia konstruksi yang biasanya material tersebut yang berasal dari bahan tambang yang tidak dapat diperbaharui sehingga jumlahnya semakin terbatas. Dengan demikian perlu dilakukan kajian untuk mengetahui performa serat TKS dalam pembuatan produk-produk konstruksi khususnya beton. Dalam hal ini, penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen dengan variasi penambahan serat sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Setiap benda uji dilakukan pengujian berat, nilai *slump*, kuat tekan, kuat tarik belah, elastisitas, dan panjang retak. Dari hasil pengujian tersebut, pada variasi penambahan serat 10%, diperoleh penurunan nilai *slump* sebesar 7%, berat beton sebesar 3% dan pengurangan panjang retak sebesar 8% sedangkan terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 2,7% dan modulus elastisitas sebesar 33,3% namun kuat tarik mengalami penurunan yang tidak signifikan sebesar

0,05%. Selanjutnya penambahan serat di atas 10% hingga 30% mengalami penurunan kuat tekan masih dibawah 10% dan kuat tarik di bawah 2%, sedangkan berat beton, nilai *slump* dan panjang retak semakin berkurang. Oleh karena itu, penambahan 10% dapat menggantikan performa beton tanpa serat namun penambahan di atas 10% masih dapat digunakan pada beton non-struktural.

Kata kunci: beton, serat TKS, nilai *slump*, berat, kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan panjang retak

Abstract The potency of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) fibers as one of the by-products of processing oil palm is increasing significantly so that proper management is needed in reducing environmental impact. One of the utilization of OPEFB fibers is as a substitution material in construction which usually the material is derived from non-renewable mining materials so that the number is increasingly limited. Therefore, it is necessary to study to know the performance of OPEFB fiber in making construction products especially concrete. In this case, the experiment was conducted using experimental method with variation of fiber addition by 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%. Each specimen was tested by weight, slump value, compressive strength, tensile strength, elasticity and crack length. As the results, the variation of fibers addition by 10%, decrease of slump value is 7%, concrete weight is 3% and crack length is 8% while increase of the compressive strength is 2.7% and the

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Henny Lydiasari (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: henny_lydiasari@yahoo.com

¹ Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatra Utara

modulus of elasticity is 33.3% but its tensile strength decreased insignificantly by 0.05% . Furthermore, the addition of fibers above 10% to 30% decreased compressive strength is still below 10% and tensile strength below 2% while the weight of concrete, slump value and crack length decreased. Therefore, the addition of 10% can replace the performance of concrete without fiber but the addition of above 10% can still be used on non-structural concrete.

Keywords: concrete, OPEFB fibers, slump value, weight, compressive strength, split tensile strength, elasticity modulus and crack length

PENDAHULUAN

Bahan baku beton berasal dari material tambang yang diperoleh dari alam merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Dengan ketersediaan bahan baku yang semakin terbatas mengakibatkan biaya pembuatan beton semakin meningkat. Sifat beton adalah sangat kuat untuk menahan tekan, tetapi lemah untuk menahan tarik sehingga beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya (Asroni, 2010). Berdasarkan performa ini, beton mengalami inovasi dalam bahan baku serta pembuatannya, seperti misalnya beton berserat (*fibre concrete*), beton ringan (*light weight concrete*), beton siklop, beton hampa, dan sebagainya.

Beton serat sebagai produk komposit dengan komposisi semen, air dan agregat serta penambahan serat dalam rasio tertentu (Tjokrodimulyo, 2007) mengakibatkan beban tarik yang timbul akan dilawan oleh gaya ikatan beton dengan serat, peningkatan kemampuan menahan beban tarik beton serat berasal dari kumulatif gaya perlawanan ikatan beton serat tunggal terhadap tegangan tarik yang dipengaruhi oleh orientasi penyebaran serat (*fiber dispersion*), lekatan pada alur retakan, panjang tertanam serat yang tidak teratur (*random*) (Saifudin dkk., 2015). Untuk memperbaiki sifat – sifat beton ini, serat yang digunakan antara lain serat baja, plastik, karbon, *fiberglass*, serat alami (ijuk, sabut kelapa, dan serat tumbuh-tumbuhan lainnya) (Satwanirat, 2005).

Ketersediaan hasil samping dari pengolahan kelapa sawit semakin meningkat sesuai dengan perluasan

perkebunan kelapa sawit. Persentase limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak kelapa sawit terhadap tandan buah berdasarkan neraca massa akan menghasilkan minyak sawit setara dengan TKS sebesar 25-26% (Herawan dan Rivani, 2013). Pada 2015, produksi *crude palm oil* (CPO) mencapai 31,1 juta ton dengan luas 11,3 juta ha (Ditjenbun, 2016), produksi CPO ini umumnya setara dengan potensi TKS.

Pemanfaatan TKS yang belum optimal mendorong perlunya kajian dalam pengolahan menjadi produk berkualitas antara lain sebagai bahan penyusun dalam konstruksi. Dalam proses produksi CPO dihasilkan hasil samping pengolahan TKS sebesar 25-26% dari tandan buah segar (TBS) dengan kadar air 60%, minyak 2,5% dan serat (Herawan dan Rivani, 2013). Besarnya potensi ketersediaan serat TKS membuka peluang untuk memanfaatkannya menjadi produk tepat guna salah satunya sebagai bahan campuran beton. Saat ini, pemanfaatan TKS sebagai bahan baku pupuk kompos yang baik dibanding kompos sesuai standar SNI (Haryanti *et al.*, 2014); sebagai bahan baku pulp dan kertas dari serat non-kayu (Erwinsyah *et al.*, 2015); dan sebagai bahan baku bioetanol karena banyak mengandung selulosa (Fuadi dan Pranoto, 2016). Menurut Gurning (2013), bahwa penambahan serat sebanyak 6% merupakan kondisi optimal dengan modulus elastisitas meningkat hingga 50% dan kehilangan berat 8,5% namun kekuatan ikat antara adonan beton dengan serat kurang baik sehingga menurunkan kuat tekan hingga 30%.

Penambahan serat mempunyai manfaat dalam mengurangi biaya pembuatan beton yang berasal dari bahan tambang dan sekaligus memperbaiki sifat beton. Namun juga dapat mengatasi dampak lingkungan yang terjadi akibat penumpukan TKS dari hasil samping pengolahan di PKS dalam waktu lama yang belum termanfaatkan secara optimal.

BAHAN DAN METODE

Bahan Baku

Bahan yang digunakan adalah berupa semen, pasir, kerikil dan air serta serat TKS yang diperoleh dari hasil penguraian TKS oleh mesin pengurai dengan panjang bervariasi maksimum 25 mm.

Semen

Semen adalah salah satu bahan penyusun yang sangat penting dalam menentukan kualitas beton. Pada umumnya semen yang digunakan adalah semen portland dengan berbagai jenis disesuaikan dengan penggunaannya. Semen berfungsi sebagai bahan yang bereaksi dengan air untuk menghasilkan pasta semen yang merekatkan agregat halus dan kasar menjadi adonan yang padu (Tjokrodimuljo, 2007).

Agregat

Peran agregat sebagai pengisi rongga-rongga pada adonan beton sangat berpengaruh. Menurut Tjokrodimuljo (2007) bahwa agregat terdiri dari agregat halus dan kasar di mana gradasi butiran agregat halus antara lolos ayakan 5 mm dan tertahan di ayakan 0.15 mm. Agregat ini berupa pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batu-batuan. Sedangkan agregat kasar mempunyai gradasi butiran lebih dari 40 mm, pada umumnya berupa kerikil dan batu pecah.

Air

Air harus selalu ada dalam beton cair membantu dalam proses hidrasi semen dan mengubah semen menjadi pasta sehingga workabilitas beton meningkat dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi antara 35-37% dari berat semen (Nugraha dan Antoni, 2007). Syarat umum air yang digunakan dalam campuran beton adalah disetarakan dengan air minum untuk menghindari adanya kandungan minyak, asam, alkali, zat organik, dan bahan lain yang merusak beton.

Bahan tambahan (Serat)

Pada beberapa tahun belakangan ini, serat telah digunakan dalam pembuatan bahan-bahan konstruksi. Serat terdiri atas dua jenis serat alami dan buatan (sintetis). Tujuan penggunaan serat tersebut untuk meningkatkan kekuatan tarik beton sehingga dapat digunakan pada konstruksi yang membutuhkan kuat tarik tertentu. Serat alami berupa serat yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti kayu, bambu, dan terutama serat tandan kosong sawit (TKS). Sedangkan serat buatan (sintetis) berupa serat baja, *polypropylene*, kaca, dan karbon. Serat TKS diperoleh dari penguraian tandan kosong yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak kelapa sawit. Menurut Herawan dan Rivani (2010), serat ini mempunyai komposisi sebagai berikut (Tabel 1).

Metode

Persiapan serat TKS

Serat TKS berasal dari tandan kosong sawit yang merupakan hasil samping dari pengolahan minyak kelapa sawit. TKS ini selanjutnya diuraikan dengan mesin pengurai serat (*chipper*) dan kemudian dihamparkan di ruang terbuka tapi ternaungi dengan ketebalan ± 5 cm untuk dikeringkan dengan kadar air mencapai $< 10\%$. Setelah mencapai kadar air tersebut, kemudian serat diproses dengan ukuran bervariasi maksimum 25 cm.

Tabel 1. Karakteristik serat TKS

Table 1. OPEFB fiber characteristic

Parameter	Kandungan (%)
Sari ekstraktif	7,78
Kadar Abu	6,23
Selulosa	37,50
Hemiselulosa	28,57
Pentosan	26,69
Kelarutan dalam: 1% NaOH	29,96

Sumber :Herawan dan Rivani, 2010

Tabel 2. Jenis konstruksi berdasarkan nilai slump
Table 2. Type of construction based on slump value

Konstruksi	Maksimum	Minimum
Dinding		
Pelat pondasi	12,5	5
Pondasi telapak bertulang		
Pondasi telapak tidak bertulang		
Kalson	9	2,5
Konstruksi di bawah tanah		
Pelat		
Balok	15	2,5
Kolom		
Dinding		
Pengerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber: Tjokrodinuljo, 2007

Pembuatan benda uji

Pembuatan campuran beton dilakukan menurut Standar Nasional Indonesia sehingga diperoleh rasio setiap bahan penyusun beton. Kemudian benda uji ini dicetak berbentuk silinder, balok, dan pelat dengan ukuran silinder $\varnothing 15$ cm dan tinggi 30 cm, balok (15x15x75) cm dan pelat (100x100x8) cm (BSN, 2002) dalam 5 variasi penambahan serat yaitu TKS 0% (BN), 10% (BS10), 15% (BS15), 20% (BS20), 25% (BS25), dan 30% (BS30). Selanjutnya cetakan akan dibuka setelah 24 jam dan kemudian dilakukan perawatan beton selama 28 hari untuk kemudian dilakukan pengujian.

Pengujian

Metode pengujian yang dilakukan terhadap benda uji yaitu nilai *slump*, kuat tekan, kuat tarik belah, elastisitas dan pola retak setelah umur beton mencapai 28 hari.

- Pengujian nilai slump

Nilai *slump* adalah nilai yang menunjukkan ketebalan adukan beton diukur dengan alat kerucut

Abram dengan diameter bawah 203 mm, diameter atas 102 mm dan tinggi 305 mm. Pengujian nilai slump di Indonesia mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), untuk mengetahui faktor air semen (fas) di mana air yang digunakan sudah sesuai dengan mutu beton yang diinginkan (BSN, 2008). Semakin banyak air yang digunakan akan mengurangi kekuatan beton dan namun sebaliknya terlalu sedikit air akan menurunkan workabilitas beton sehingga sulit untuk diaduk dan agregat tidak mengikat sempurna. Nilai slump untuk tiap jenis konstruksi mempunyai nilai maksimum dan minimum seperti pada Tabel 2.

- Pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan *concrete test machine* berkapasitas 200 ton dengan cara manual berdasarkan SNI. Sehari sebelum pengujian sesuai umur rencana, silinder beton dikeluarkan dari bak perendaman. Sebelum dilakukan uji kuat tekan, benda uji ditimbang beratnya. Kekuatan tekan benda uji beton dihitung dengan persamaan (1) (BSN, 2011).

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

$$f_r = 0,7 f_c M \dots\dots\dots (3)$$

f_c : Kekuatan tekan (N/mm^2)

P : Beban tekan (N)

A : Luas permukaan benda uji (mm^2)

Klasifikasi jenis beton berdasarkan kuat tekannya terdiri dari lima jenis meliputi sederhana hingga tinggi seperti pada Tabel 3.

- Pengujian kuat lentur normal dengan dua titik pembebanan

Kekuatan lentur merupakan kuat tarik beton tak langsung dalam keadaan lentur akibat momen (*flexure/modulus of rupture*). Dari pengujian kuat lentur dapat diketahui pola retak dan lendutan yang terjadi pada balok yang memikul beban lentur. Kuat lentur beton juga dapat menunjukkan tingkat daktilitas beton. Kuat lentur beton dihitung berdasarkan persamaan (2).

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (2)$$

di mana M merupakan momen maksimum pada saat benda uji runtuh dan Z merupakan modulus penampang arah melintang. Menurut (BSN, 2002), nilai kuat lentur beton bila dihubungkan dengan kuat tekannya pada persamaan (3) dan Gambar 1.

- Pengujian kuat tarik belah

Pengujian kuat tarik belah silinder beton dilakukan dengan menggunakan mesin kompres elektrik berkapasitas 200 ton yang digerakkan secara manual pada umur beton 28 hari. Kuat tarik belah silinder beton dihitung dengan persamaan (4) (BSN, 2002).

$$f_c = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (4)$$

f_c : Kuat tarik belah (MPa)

P : Beban tekan (N)

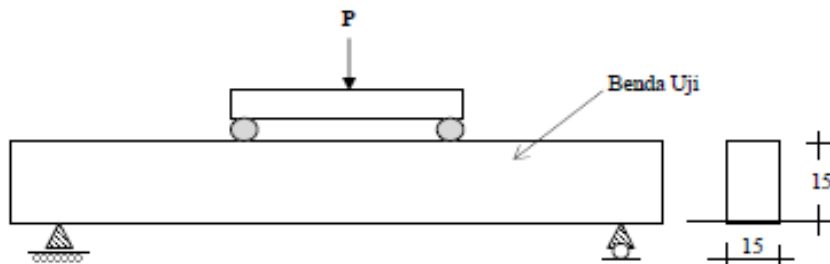
L : Panjang benda uji (mm^2)

D : Diameter benda uji (mm^2)

- Pengujian elastisitas beton

Pengujian ini menggunakan alat *compressor strain dial test* dengan kapasitas 200 ton. Sebelum dilakukan uji elastisitas beton, benda uji ditimbang beratnya. Selanjutnya benda uji diletakkan pada alat secara vertikal dalam keadaan seimbang dan dibebani sehingga silinder ini pecah arah. Kekuatan elastisitas beton dapat dihitung dengan persamaan (5) dan persamaan (6) (BSN, 2002).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 1. Pengujian kuat lentur balok
Figure 1. Flexure strength test for beam

M : momen pada daerah patahan (kgcm)

Z : modulus penampang ($1/6 bh^2$) (cm^3)

P : beban tekan (kg)

Maka:

$$\Delta L = \frac{k \cdot (Dial \text{ Pembacaan})}{10}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (6)$$

- A : Luas Permukaan Tekan Sampel (mm²)
- E : Modulus Elastisitas (N/ mm²)
- ΔL : Perubahan Panjang Sampel (mm)
- k : Faktor Pembacaan Dial (mm)
- L : Panjang awal sampel beton (mm)
- P : Beban Tekan sampel (N)
- σ : Tegangan (N/ mm²)
- ε : Regangan

Panjang retak

Pengujian ini juga mengamati pola retak secara visual dan dengan menggunakan alat *Microscope Crack* untuk mengetahui pola penyebaran dan

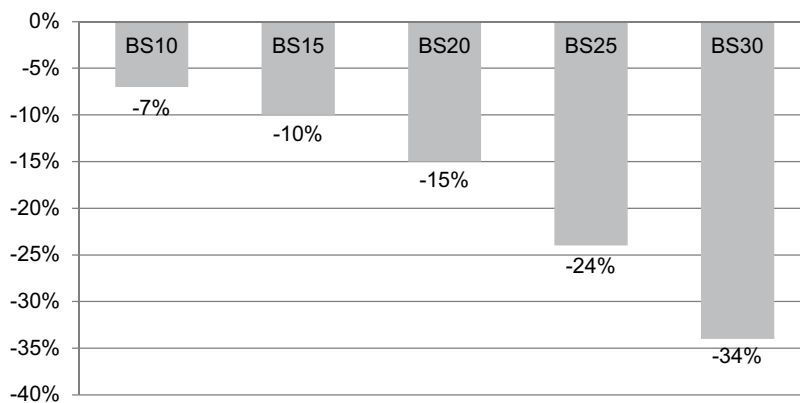
perkembangan retak (jumlah, panjang, dan lebar retak) yang terjadi pada benda uji pelat beton selama umur yang direncanakan. Benda uji pelat beton tanpa tulangan (polos) yang berdimensi (100x100x8) cm. Pengamatan pola retak dilakukan pada umur 28 hari setelah pengecoran tanpa melakukan perawatan sedikitpun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Slump

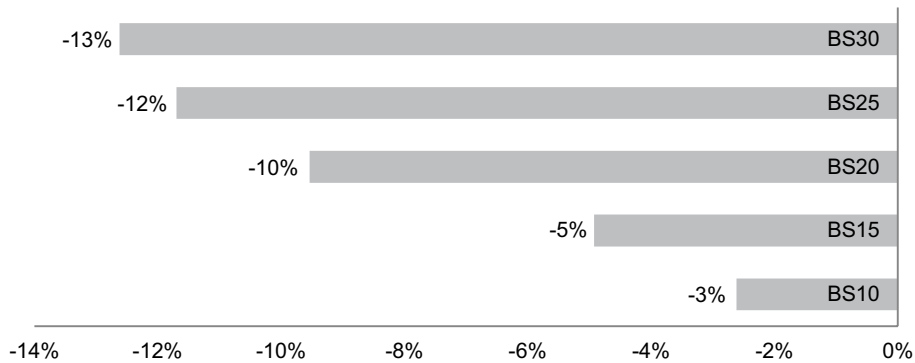
Hasil pengujian nilai *slump* dan penambahan serat TKS, semakin meningkat persentase serat maka nilai *slump* semakin kecil dimana menunjukkan workabilitas beton semakin rendah akibat air terserap oleh serat. Perbandingan nilai *slump* dari kelima variasi penambahan serat terhadap beton normal dengan nilai *slump* sebesar 13,6 cm dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari hasil lima variasi tersebut diperoleh nilai *slump* berturut-turut 12,7 cm, 12,2 cm, 11,5 cm, 10,3 cm, dan 9 cm. Berdasarkan SNI, bahwa nilai *slump* dari kelima variasi dapat diperuntukkan untuk pelat, balok, kolom, dan dinding namun variasi BS15, BS20, dan BS25 juga dapat digunakan pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang dan variasi BS30 juga dapat sebagai pondasi telapak tidak bertulang, kalson, dan konstruksi bawah tanah.



Gambar 2. Perbandingan nilai slump antara benda uji dengan variasi serat 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% terhadap beton normal

Figure 2. Comparison of slump value between samples with fiber variations in 10%, 15%, 20%, 25% and 30% and control samples



Gambar 3. Perbandingan berat beton antara benda uji dengan variasi serat 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% terhadap beton normal

Figure 3. Comparison of concrete weight between samples with fiber variations in 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% and control samples

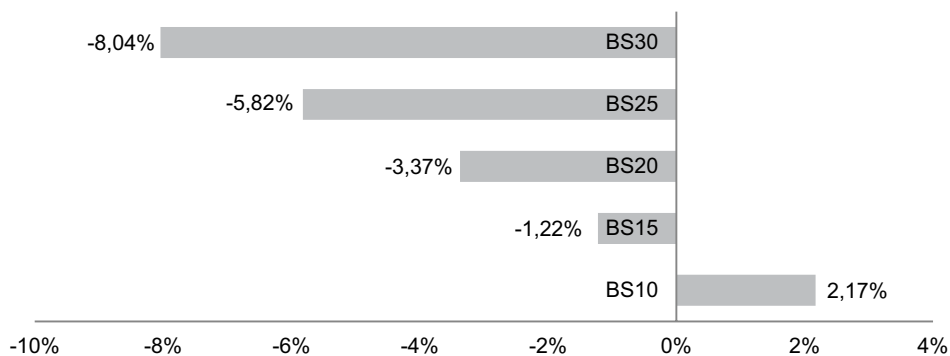
Berat Beton

Berat sampel beton dalam 5 variasi ditimbang setelah dan dibandingkan terhadap berat beton normal (Gambar 3). Beton dengan variasi serat mengalami penurunan berat hingga 13%, hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan serat dapat menjadikan beton lebih ringan.

Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui mutu beton terhadap beban. Dari hasil pengujian diperoleh variasi BS10 dapat meningkatkan mutu

beton sedangkan BS15 hingga BS30 kuat tekan beton menurun. Namun nilai kuat tekan BS10, BS15 dan BS 20, termasuk mutu beton sedang yang digunakan sebagai konstruksi beton bertulang sedangkan variasi BS25 dan BS30 termasuk kategori mutu beton rendah yang dapat digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti trotoar, beton siklop, dan pasangan batu. Perbandingan kuat tekan beton dari kelima variasi terhadap beton normal bahwa untuk variasi BS10 dapat meningkatkan kekuatan beton sebesar 2.17% sedangkan semakin meningkat jumlah serat kuat tekan menurun masih < 10% seperti terdapat pada Gambar 4.



Gambar Gambar 4. Perbandingan kuat tekan beton antara benda uji dengan variasi serat 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% terhadap beton normal pada umur 28 hari

Figure 4. Comparison of compressive strength between samples with fiber variations in 10%, 15%, 20%, 25% and 30% and control samples at 28 days

Kuat tarik belah beton (*Splitting Test*)

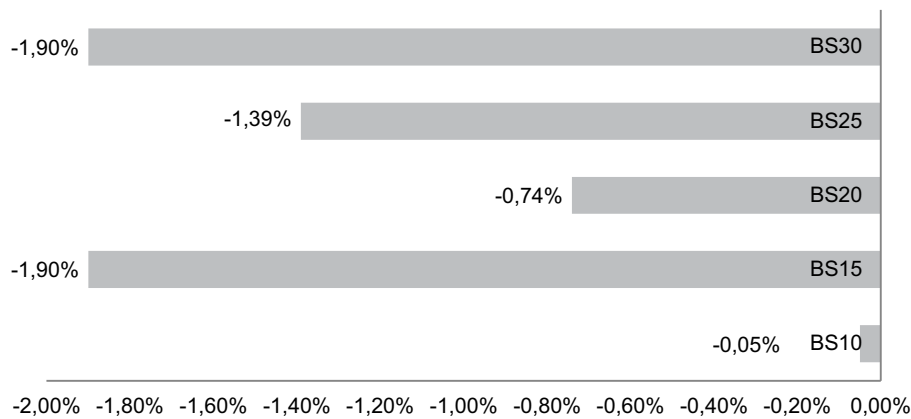
Pengujian kuat tarik belah beton dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran perkembangan kekuatan tarik beton dengan menggunakan bahan tambahan serat TKS dan dibandingkan dengan beton normal. Hal ini menunjukkan serat memberi kontribusi dalam mempertahankan kuat tarik belah dalam beton dapat dilihat pada Gambar 5.

Hasil pengujian diperoleh bahwa dengan peningkatan persentase serat TKS maka nilai kuat

tarik belah relatif menurun namun tidak signifikan sehingga tidak berpengaruh pada kualitas beton tersebut.

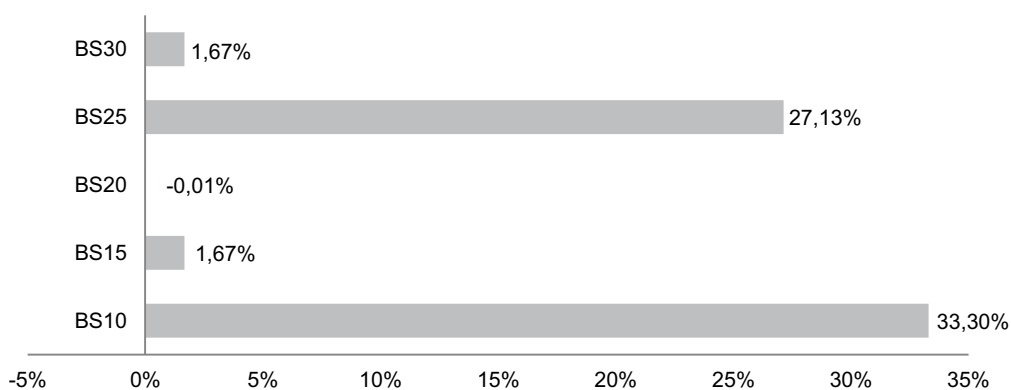
Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan untuk mendapatkan gambaran hubungan tegangan dan regangan pada beton berupa nilai modulus elastisitas pada beton dengan serat TKS terhadap beton normal (Gambar 6).



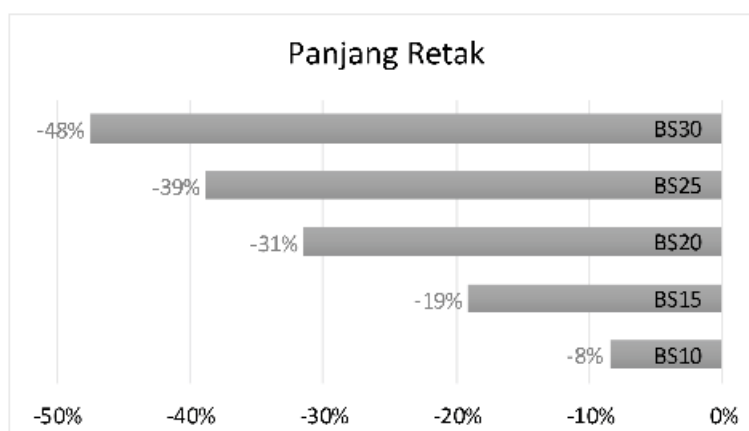
Gambar 5. Perbandingan kuat tarik belah antara benda uji dengan variasi serat 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% terhadap benda uji normal pada umur 28 hari.

Figure 5. Comparison of split tensile strength between samples with fiber variations in 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% and control samples at 28 days.



Gambar 6. Perbandingan modulus elastisitas antara benda uji dengan variasi serat 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% terhadap beton normal pada umur 28 hari

Figure 6. Comparison of elasticity modulus between samples with fiber variations in 10%, 15%, 20%, 25% and 30% and control samples at 28 days



Gambar 7. Perbandingan panjang retak antara benda uji dengan variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% terhadap beton normal pada umur 90 hari

Figure 7. Comparison of cracking length between samples with fiber variations in 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% and control samples at 90 days

Elastisitas pada beton berserat meningkat hingga 33.3% pada penambahan serat 10% dan meingkat 27.13% pada penambahan 25% namun tidak berbeda nyata terhadap beton normal pada variasi lainnya. Hal ini merupakan indikasi bahwa daktilitas beton menjadi lebih baik atau tidak berkurang.

Panjang retak

Penambahan panjang retak berbanding terbalik dengan penambahan serat TKS hingga variasi serat 30%. Hal ini menunjukkan peningkatan penyerapan air oleh serat dan mengurangi penguapan pada beton sehingga menurunkan terjadi keretakan selama proses pengerasan dan perawatan beton. Hasil pengamatan pola retak dengan alat *Microscope Crack* terhadap pelat beton dapat dilihat pada Gambar 7.

KESIMPULAN

Penambahan serat TKS mempengaruhi performa beton dari workabilitas, daktilitas, kekuatan, elastisitas, dan keretakan. Penambahan serat sebesar 10%, menurunkan nilai slump sebesar 7%, berat beton sebesar 3%, kuat tarik 0,05% dan panjang retak sebesar 8%. Sedangkan kuat tekan meningkat

sebesar 2,7% dan elastisitas beton sebesar 34%. Namun penambahan diatas 10%, penurunan kuat tekan masih dibawah 10% dan kuat tarik di bawah 2% sehingga tidak berbeda nyata dengan performa beton kontrolnya namun nilai *slump* semakin berkurang hingga 33,4% yang berindikasi penurunan workabilitas beton. Selain itu, panjang retak berkurang hingga 48% dan berat berkurang hingga 13% memberikan performa yang baik bagi beton tersebut. Variasi penambahan serat hingga 20%, dapat digunakan sebagai kontruksi sipil kelas I seperti beton bertulang dan penambahan serat hingga 30% menjadi alternatif sebagai konstruksi sipil kelas II seperti struktur beton tanpa tulangan sepeti trotoar, beton siklop, dan pasangan batu dengan penghematan penggunaan material terutama semen hingga 30%. Beton berserat ini juga mempunyai kuat tarik belah yang tidak berbeda nyata dengan beton normal sehingga penambahan serat tidak meningkatkan kekuatan tarik namun pada elastisitas dan panjang retak beton berserat memberikan performa yang lebih baik. Penelitian ini dapat menjadi acuan sebagai pemanfaatan serat TKS untuk konstruksi non-struktural sehingga dapat mengurangi biaya pembuatan beton dan menjadi solusi dalam penanganan TKS sebagai produk samping dari pengolahan kelapa sawit di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN, Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 1974:2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. BSN, Indonesia.
- BSN, Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 1972:2008. Cara Uji Slump Beton. BSN, Indonesia.
- BSN Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI-03-2491-2002. Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. BSN, Indonesia.
- BSN, Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI-03-2847-2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. BSN, Indonesia.
- ACI, American Concrete Institute. 1993. ACI 544.3R-93, Fiber Reinforced Concrete. ACI Committee 544.
- Yayasan LPMB. 1991. SK SNI T-15-1990-03. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Yayasan LPMB, Bandung.
- Aroni, A. 2010. Struktur Beton I (Balok dan Plat Beton Bertulang). Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Tanaman Perkebunan. 2016. Statistik Tanaman Perkebunan di Indonesia – Kelapa Sawit. Jakarta.
- Erwinsyah, A, Afriani, dan T. Kardiansyah. 2015. Potensi dan Peluang Tandan kosong sawit Sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas: Studi Kasus Indonesia. *Jurnal Selulosa*. 5(2): 79-88.
- Fuadi A. M. dan H. Pranoto. 2016. Pemanfaatan Limbah Tandan kosong sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Glukosa. *Jurnal Chemica*. 3(1): 1-5.
- Gurning N. 2013. Pembuatan Beton Serat Tandan Kosong Sawit. *Jurnal LIPI No.377/E/2013*. 31(1): 13-20. ISSN: 0125-9121.
- Haryanti A., Norsamsi, Sholiha P.S.F. dan Putri N. P. 2014. Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Konversi*. 3(2): 20-29. Universitas Lambung Mangkurat.
- Herawan, T. dan M. Rivani. 2013. Pemanfaatan Hasil Samping Pengolahan Padat Kelapa Sawit untuk Produksi "Green Product". *Prosiding Pertemuan Kelapa Sawit 2013*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- Herawan T. dan M. Rivani. 2010. Produksi Aseton-Butanol-Etanol dari hidrolisat tandan kosong sawit. *Laporan Penelitian Kerjasama PPKS-PTPN IV*. Unpublished.
- Nugraha P. dan Antoni, 2007. Teknologi Beton – Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi. LPPM Universitas Kristen Petra dan Penerbit ANDI, Surabaya.
- Saifudin A., S. As'ad, dan Sunarmasto. 2015. Pengaruh Dosis, Aspek Rasio dan Distribusi Serat Terhadap Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Berserat Baja. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*. 3(2): 369-376.
- Satwarnirat. 2005. Pengaruh Penambahan Serat Tandan kosong sawit Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*. 1(1): 1-8. ISSN: 1858-3709.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.