



Pengaruh Panjang Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Pembuatan *Palmfiber Reinforced Concrete* terhadap Uji Lentur dan Struktur Makro

Vedrix Vantri^{1*}, Asfarizal²

^{1,2}Institut Teknologi Padang, Indonesia

*Korespondensi penulis: vedrixv3@gmail.com

Abstract. This study aims to examine the effect of varying the length of oil palm empty fruit bunch (EFB) fibers on the mechanical properties and macrostructure of Palmfiber Reinforced Concrete (PRC) as an alternative to Glassfiber Reinforced Concrete (GRC). EFB fibers were selected due to their abundance, eco-friendliness, and potential to enhance the mechanical properties of lightweight concrete. The methods employed include flexural testing and macrostructural observation using five fiber length variations (3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, and 7 cm). The results show that a fiber length of 5 cm produced the highest flexural stress of 11.78 kg/cm², while a length of 4 cm yielded the highest modulus of elasticity at 162.2 kg/cm². Macrostructural observations revealed good bonding between fibers and matrix in most specimens, although performance differences were observed due to fiber distribution and manual compaction processes. In conclusion, fiber length affects the mechanical performance of PRC, yet production process optimization is necessary to achieve more consistent results.

Keywords: EFB, Flexural Test, Fiber Length, Macrostructure, PRC.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi panjang serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap sifat mekanik dan struktur makro dari *Palmfiber Reinforced Concrete* (PRC) sebagai alternatif pengganti *Glassfiber Reinforced Concrete* (GRC). Penggunaan serat TKKS dipilih karena merupakan bahan alami yang melimpah, ramah lingkungan, dan potensial untuk meningkatkan sifat mekanik beton ringan. Metode yang digunakan adalah uji lentur dan pengamatan struktur makro dengan lima variasi panjang serat (3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, dan 7 cm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang serat 5 cm menghasilkan tegangan lentur tertinggi sebesar 11,78 kg/cm², sedangkan panjang 4 cm memberikan nilai *modulus of elasticity* tertinggi sebesar 162,2 kg/cm². Dari pengamatan struktur makro, sebagian besar spesimen menunjukkan ikatan yang baik antara serat dan matriks, meskipun terdapat perbedaan performa akibat distribusi serat dan proses pemadatan manual. Kesimpulannya, panjang serat berpengaruh terhadap performa mekanik PRC, namun optimalisasi proses produksi diperlukan agar hasil yang diperoleh lebih konsisten.

Kata Kunci: Panjang Serat, PRC, Struktur Makro, TKKS, Uji Lentur.

1. PENDAHULUAN

Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) menurut British Standard Institution adalah material yang terbuat dari campuran pasta semen-pasir yang diperkuat dengan serat kaca. GRC merupakan kombinasi dua material dengan karakteristik yang berbeda, memiliki nilai kuat tekan yang tinggi namun memiliki nilai kuat lentur yang rendah setelah campuran semen dan pasir yang sudah mengeras. GRC memiliki kelemahan yaitu densitas cukup tinggi yaitu 1,80-2,10 g/cm³ (Fiber Technologies, 2013). GRC merupakan kombinasi dua material dengan karakteristik yang berbeda, memiliki nilai impact 100-110 yang tinggi namun kekuatan lentur 160 kg/cm³ dan modulus elastis 5-6 x 10⁴ kg/cm³. Keunggulan dari GRC yaitu dapat memudahkan dalam pekerjaan struktural dan finishing, penghematan biaya, dan rapi.

Sedangkan kelemahan GRC yaitu tegangan lentur yang rendah (160 kg/cm^3), rentan terhadap benturan karena harga impact rendah 100-110, dan cenderung retak apabila terkena beban berat, serta perlu dipertimbangkan keandalannya dalam jangka waktu yang panjang. Untuk mengatasi kelemahan dari papan papan GRC diperlukan penelitian dan pengembangan penggunaan serat organik (sawit, nenas, pinang, lidah buaya, ijuk, bambu, serat, enceng gondok, sabut kelapa, tebu) yang ketersediaannya melimpah di Indonesia. Pada sisi lain dengan menggunakan serat organik menghasilkan produk yang ramah lingkungan dan harga satuannya bisa berkurang. Salah satu pilihan utama dalam memanfaatkan serat alam sebagai pengganti serat kaca adalah serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).

Serat yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang kaya akan serat, sebab penggunaan serat yang berasal dari kelapa sawit telah diaplikasikan pada beberapa produk. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) jika diolah dapat menghasilkan serat. Serat yang berasal dari TKKS tergolong serat alam yang jumlahnya sangat melimpah. Selama ini pemanfaatan TKKS hanya sebagai bahan bakar pembangkit listrik pada PT. Belitung Energy - Bangka Belitung dan sebagai pupuk organik yang langsung ditaburkan di lahan perkebunan. TKKS memiliki kekuatan Tarik 1074 kg/cm^2 , massa jenis $0,14 \text{ g/cm}^3$ dengan diameter serat uji $0,55 \text{ mm}$ (Agustina, 2016). Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Suripto 2023 mendapatkan hasil tegangan lentur terbesar $1,81 \text{ Mpa}$ atau $F_s = 18,48 \text{ kg/cm}^2$ dengan komposisi serat 3,55% serat gelas dan plastik. (Suripto et al., 2023).

Penambahan serat tandan kosong kelapa sawit dapat menggantikan serat kaca atau fiber glass sebagai bahan campuran dari pembuatan papan GRC, pemanfaatan serat organik ini yang keberadaannya sangat melimpah tentunya dapat mengurangi limbah hasil dari produksi industri kelapa sawit. Dalam penelitian ini, penulis mengubah komposisi campuran dari pembuatan papan GRC yang mulanya digunakan serat kaca sebagai bahan campuran dalam pembuatan papan GRC menjadi *Palmfiber Reinforced Concrete* (PRC).

Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan sebuah penelitian pemanfaatan serat alam yang ramah lingkungan sebagai bahan campuran pembuatan PRC yaitu dengan menambahkan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai pengganti serat kaca yang mulanya digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan papan GRC menjadi *Palmfiber Reinforced Concrete* (PRC). Dari penelitian ini penulis juga melakukan sebuah penelitian yang merujuk kepada pengaruh panjang serat terhadap PRC pada uji lentur dan struktur makro untuk mengetahui perbedaan kekuatan dan struktur makro dari masing - masing panjang serat yang dilakukan dengan beberapa pengujian pada spesimen uji.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Glasfiber Reinforced Concrete (GRC)

Glasfiber Reinforced Concrete (GRC) merupakan material komposit yang memiliki komposisi semen portland, pasir mortar, dan campuran dari serat gelas sebagai unsur penguat pada GRC board. GRC dapat saja memiliki campuran serat penguat yang lain jika diperlukan campuran serat sebagai bahan komposisi pada pembuatan papan GRC, contohnya yaitu penggunaan serat gelas, serat plastik, dan serat alam sesuai dengan kebutuhannya (Dan Fianca, 2015). GRC dipilih sebagai pengganti papan gipsium karena ketahanannya yang lebih lama, kekuatannya yang lebih besar dan ketahanannya terhadap kelembapan. Namun, meskipun memiliki kelebihan tersebut, GRC juga memiliki kekurangan seperti biaya produksi yang tinggi karena penggunaan serat kaca dan densitas papan beton yang tinggi berkisar 1,9 hingga 2,1 g/cm³. Disamping biaya yang tinggi dan densitas yang besar, serat kaca yang terdapat pada GRC tidak dapat terurai secara alami yang berpotensi menimbulkan masalah lingkungan setelah habis masa pakainya (Ridho et al, 2022). Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Tarkono (2017) mengungkapkan bahwa dengan menambahkan serat tandan kosong kelapa sawit sebanyak 16% dari total volume, beratnya dapat dikurangi hingga 15,2%.

Palmfibber Reinforced Concrete

Palmfibber Reinforced Concrete (PRC) merupakan papan beton ringan komposit yang terbuat dari komposisi semen-pasir dan diperkuat dengan serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Sebelumnya sudah ada papan beton ringan yang di perkuat oleh serat kaca atau fibber glass yang disebut juga dengan (GRC). Dari studi yang telah dilakukan baik di dalam negeri maupun diluar negeri mengenai potensi limbah dari kelapa sawit. Berbagai bagian dari tanaman kelapa sawit telah diidentifikasi sebagai bahan tambahan untuk memperkuat komposit, termasuk serat buah kelapa sawit, daun kelapa sawit dan serat tandan kosong kelapa sawit. Penggunaan serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai unsur penguat papan partikel telah menunjukkan bahwa panjang serat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanis dari komposit tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin panjang serat tandan kosong kelapa sawit, maka semakin baik pula sifat mekaniknya (Sunardi et al, 2016).

Tandan Kosong

Kelapa Sawit (TKKS)

Menurut analisis massa bahan, setiap kali Tandan Buah Segar (TBS) dari kelapa sawit diproses dipabrik maka akan menghasilkan sekitar 25-26% serat tandan kosong kelapa sawit. Secara visual, tandan kosong kelapa sawit adalah serabut tebal berwarna coklat yang disisihkan setelah proses perebusan buah melalui rotary drum trheser di pabrik kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit memiliki bentuk yang tidak teratur dengan bobot sekitar 3,5 kg dan dimensi ketebalan sekitar 130 mm, panjang antara 170-300 mm, dan lebar antara 250-350 mm. Data dari 200 sampel TKKS di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) menunjukkan bobot rata-rata sebesar 5,1 kg, panjang rata-rata 44,8 cm, lebar rata rata 35 cm, dan ketebalan rata rata 19,4 cm (Firman, 2017).

Standar Mutu Papan Semen Berserat

Standar mutu yang harus dicapai oleh papan semen berserat yang diproduksi melalui pencetakan manual atau mesin sesuai dengan standar SNI 15-0233-1989 adalah sebagai berikut:

- 1) Bagian tepi dari lembaran serat semen harus memiliki kontur yang lurus, permukaan yang rata tanpa lipatan, dan ketebalan yang sama pada seluruh lembaran. Ketika diketuk dengan lembut menggunakan benda yang keras, lembaran tersebut tidak retak atau pecah.
- 2) Permukaan lembaran harus bersih dari lipatan, retak atau cacat lain yang dapat mengganggu penggunaannya. Namun jika ada ketidakrataan yang sengaja dibuat, itu masih dipebolehkan.
- 3) Penampang potongan lembaran serat semen harus menunjukkan distribusi yang merata, tidak memiliki lubang-lubang atau celah-celah.
- 4) Lembaran harus dapat dipotong dengan mudah, digergaji, dibor, dan dipaku dengan mudah tanpa menyebabkan retak atau cacat lainnya.
- 5) Kerapatan air dianggap memadai jika tidak lebih dari 30% dari jumlah benda uji yang di uji mengalami kebocoran.
- 6) Kemampuan pemasangan dan pencabutan dianggap baik jika tidak lebih dari 20% dari jumlah pengujian pemasangan pada setiap lembara menghasilkan cacat atau retak.
- 7) Rata rata kuat lentur minimal adalah 100kg/cm^3 .

Pengujian Benda Uji

Untuk memenuhi standar kualitas papan Palmfibber Reinforced Concrete, dilakukan serangkaian pengujian agar papan PRC dapat memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Beberapa pengujian termasuk:

- 1) Pengujian uji lentur

Uji lentur adalah metode pengujian yang digunakan untuk menilai kekuatan lentur suatu bahan atau struktur. Dalam proses ini, spesimen atau benda uji diberi beban pada satu atau beberapa titik, kemudian ditekuk atau dibengkokkan sampai mencapai titik patah atau deformasi yang ditetapkan.

- 2) Pengujian makro struktur

Pengujian struktur makro bertujuan untuk mengetahui bentuk geseran serat TKKS yang terjadi pada PRC yang telah dilakukan pengujian lentur (Asmeati et al, 2022).

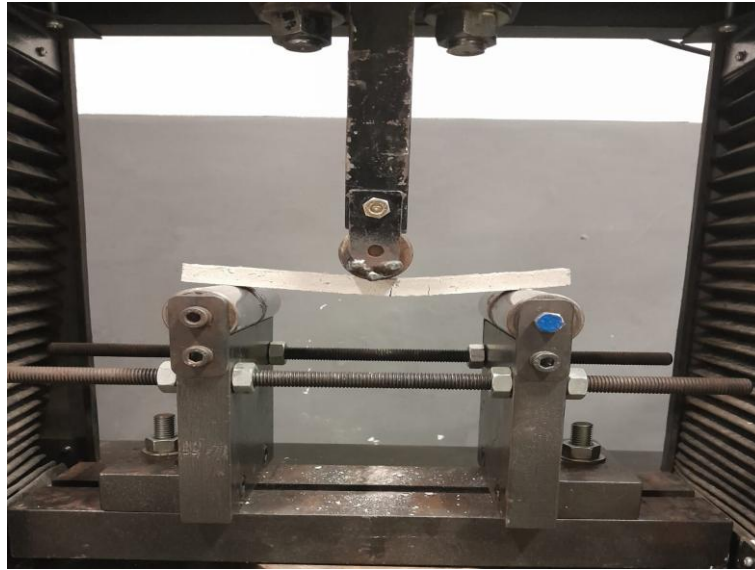
3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang dipergunakan pada penelitian ini yaitu: *Cornice Compound*, Pasir, Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit, dan Air. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Cetakan PRC Untuk Ukuran Spesimen, dan Timbangan digital. Pengujian uji lentur dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Institut Teknologi Padang. Pengujian struktur makro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Institut Teknologi Padang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Lentur

Dalam pengujian uji lentur nilai beban maksimum yang diterapkan hingga material mengalami patah. Setelah itu dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai tegangan lentur. Pengujian mengikuti standar ASTM D790-03, Dengan material yang di uji berupa komposit dari serat TKKS dengan nama pengujian papan PRC. Pengujian ini dilakukan dengan metode three point bending, yang terdiri dari tiga titik tumpuan : dua di bagian pinggir spesimen uji dan satu di tengah sebagai titik pembebanan. Beban tekuk dengan kecepatan tetap kemudian diberikan pada spesimen hingga terjadi keretakan pada spesimen tersebut.



Gambar 1. Pengujian lentur

Uji lentur bertujuan untuk mengetahui ketahanan material pada beban tekuk. beban lentur menekan dengan kecepatan konstan pada alat bending yang di terapkan pada spesimen hingga terjadi patahan.

Sifat Mekanik PRC

Dengan menggunakan 5 variasi Panjang serat dari Panjang serat 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm dan 7 cm. pada pengujian ini yaitu dengan menggunakan semen Portland dan semen compound dengan komposisi yang telah disesuaikan. Didapatkan hasil sebuah tegangan, regangan, MOE pada PRC.

Pengujian lentur ini dilakukan menggunakan mesin universal machine (UTM) pada Laboratorium Institut Teknologi Padang.

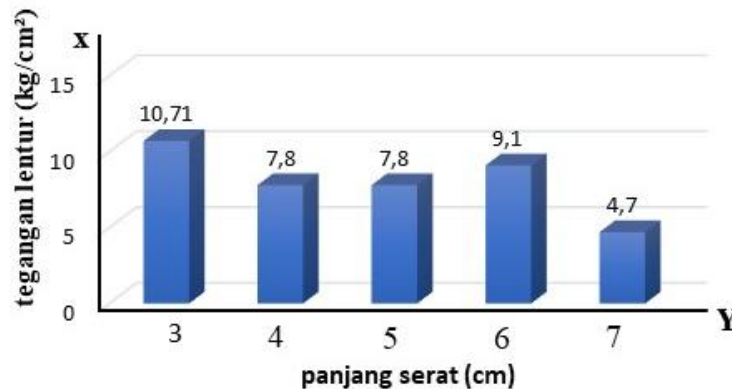
Tabel 1. Hasil Pengujian Tegangan, Regangan, MOE, MOR pada PRC

NO	Panjang serat (CM)	Gaya maksimal (N)	Tegangan lentur (kg/ cm ²)	Regangan lentur (%)	Modulus lentur (kg/cm ²)
1	3	9,81	10,71	9,3	117,3
2		9,81	10,71	8,2	132,9
3		9,81	10,71	8,8	123
	rerata	9,81	10,71	8,8	124,6
	SD	0	0	0,45	6,45
1	4	9,81	7,8	6,7	119,1
2		9,81	7,8	16,4	63,3
3		9,81	7,8	4,9	162,2
	rerata	9,81	7,8	9,3	110
	SD	0	0	6,19	49,59
1	5	9,81	5,8	9,9	60,4
2		19,62	11,78	7,6	157,7
3		9,81	5,8	7,7	77,5
	rerata	13	7,8	8,4	98,4
	SD	5,66	3,45	1,30	51,95
1	6	19,62	10,96	8,8	125,8
2		9,81	5,4	9,9	56,1
3		19,62	10,96	7,6	146
	rerata	16,35	9,1	8,8	109,5
	SD	5,66	3,21	1,15	47,17
1	7	9,81	4,7	12,3	39
2		9,81	4,7	11,7	40,7
3		9,81	4,7	8,8	54,5
	rerata	9,81	4,7	10	44,7
	SD	0	0	1,87	8,50

Berdasarkan tabel hasil perhitungan di atas bahwa tegangan lentur tertinggi di peroleh oleh PRC dengan panjang serat 5 cm dengan nilai 11,78 kg/cm² dengan rata rata tegangan diperoleh oleh spesimen dengan panjang serat 3 cm 10,71 kg/cm². Nilai regangan lentur diperoleh oleh spesimen dengan panjang serat 4 cm dengan nilai 16,4 % dan rata – rata regangan lentur di peroleh oleh panjang serat 7 cm dengan nilai yang didapatkan yaitu 10%. Nilai modulus elastisitas tertinggi di peroleh oleh spesimen dengan panjang serat 4 cm nilai 162,2 kg/cm² dan rata – rata yang diperoleh pada spesimen yang berbeda dengan panjang serat 3 cm dengan hasil yang didapatkan 124,6 kg/cm². Nilai keteguhan lentur yang diperoleh oleh spesimen dengan panjang serat 5 cm dengan nilai 11,78 kg/cm² dan rata – rata modulus elastisitasnya di peroleh oleh spesimen dengan panjang serat 3 cm 10,71 kg/cm².

Hasil Pengujian

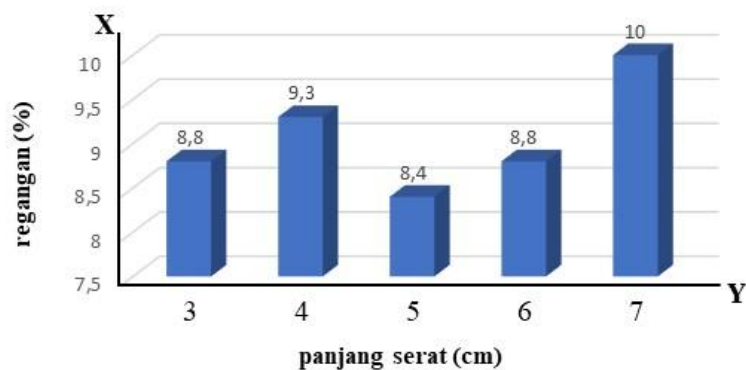
a) Tegangan



Gambar 2. Hasil Pengujian Tegangan Lentur

Berdasarkan data dari diagram batang di atas yang memiliki tegangan lentur yang lebih tinggi yaitu terdapat pada spesimen dengan Panjang serat 3 cm yaitu sebesar 10,71 kg/cm² ini menunjukkan bahwa pada Panjang serat ini material memiliki ketahanan lentur yang paling besar, Panjang serat 4 dan 5 cm memiliki nilai kuat lentur sama pada Panjang serat 6 cm terjadi kenaikan dengan nilai 9,1 kg/cm².

b) Regangan

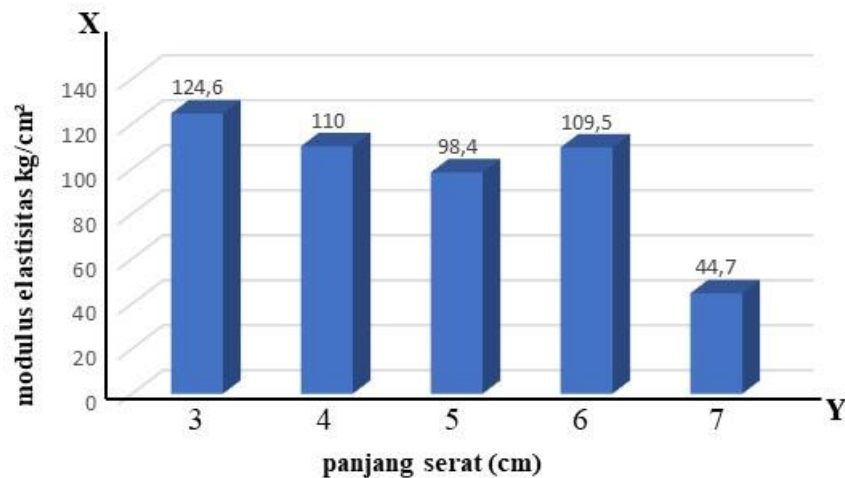


Gambar 3. Hasil Pengujian Regangan

Berdasarkan data dari diagram batang diatas yang memiliki regangan lentur terlihat ada kecendrungan peningkatan seiring dengan bertambahnya panjang serat.data tertinggi yaitu regangan 10 % berada pada Panjang serat 7 cm dan batang terendah yaitu regangan 8,4 % berada pada Panjang serat 5 cm peningkatan regangan paling signifikan terjadi antara Panjang serat 5 dan 6 pada titik ini ada perbedaan regangan yang cukup besar dibandingkan dengan perubahan antara titik lainnya, penyebab tidak stabilnya data

dari hasil regangan diatas ada beberapa faktor yaitu kurangnya pemadatan pada pencetakan spesimen dan dilakukan secara manual.

c) Modulus Elastisitas



Gambar 4. Modulus Elastisitas

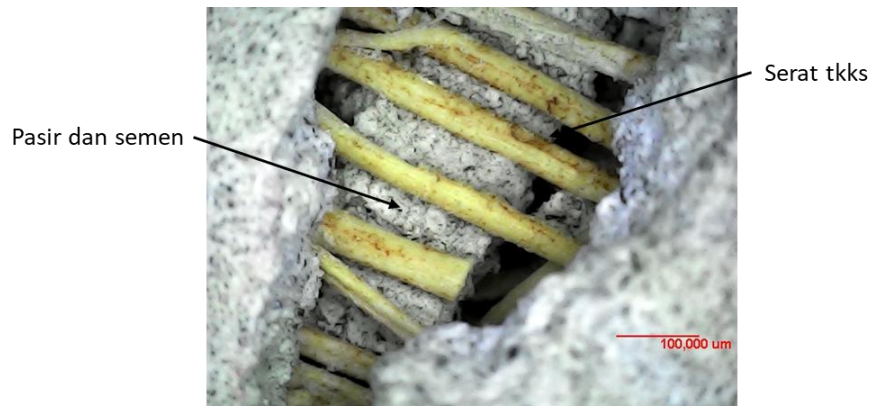
Berdasarkan data dari diagram batang diatas yang memiliki modulus elastisitas yang paling tinggi terdapat pada serat dengan Panjang 3 cm dan modulus elastisitas yang paling rendah dengan Panjang serat 7 cm, penyebab terjadinya hasil dari grafik yang tidak stabil karena pengaruh dari ukuran diameter serat yang tidak sama dan pada saat melakukan pencetakan sampel dilakukan secara manual tanpa menggunakan pemadatan dan bahan penguat pada sampel yang dibuat

Pengamatan Hasil Pengujian Struktur Makro

Pengamatan makrostruktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x. Hasil pengujian dapat dilihat pada pembahasan berikut ini :

a. Variasi dengan Panjang searat 3 cm

Pada pengujian makrostruktur digunakan sampel yang telah dilakukan pengujian lentur, setelah dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x terlihat bahwa ikatan antara serat dan matriks cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan foto makrostruktur sampel terlihat bahwa serat tidak ada yang terputus serta ikatan antara serat dan matriks juga terlihat cukup baik.



Gambar 5. Permukaan patah PRC

b. Variasi dengan Panjang searat 4 cm

Pada pengujian makrostruktur digunakan sampel yang telah dilakukan pengujian lentur, setelah dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x terlihat bahwa ikatan antara serat dan matriks cukup baik. Namun patahan pada sampel tidak tepat dititik pembebanan, hal ini disebabkan karena pendistribusian serat yang tidak merata pada saat pembuatan sampel, dapat terlihat pada daerah patahan bahwa hanya ada sedikit serat yang terlihat pada sampel uji.

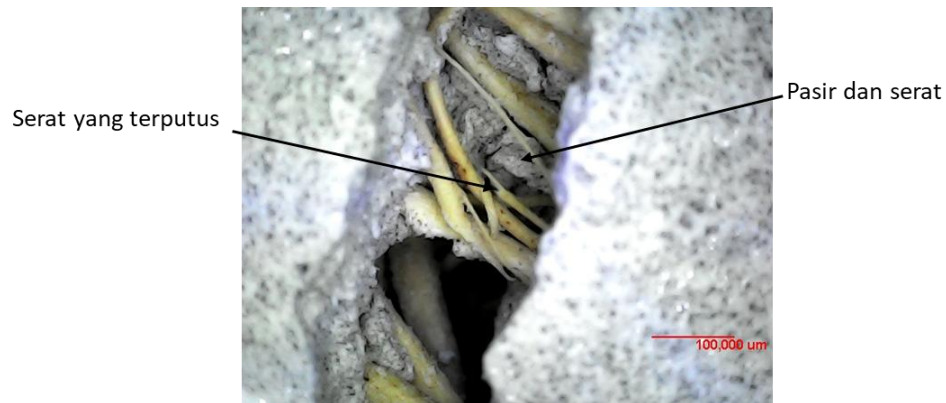


Gambar 6. Permukaan patah PRC

c. Variasi dengan Panjang serat 5 cm

Pada pengujian makrostruktur digunakan sampel yang telah dilakukan pengujian lentur, setelah dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x terlihat bahwa ikatan antara serat dan matriks cukup baik. Dari foto makrostruktur yang didapatkan terlihat bahwa adanya serat yang terputus. Serat dengan diameter yang lebih kecil tidak mampu menahan gaya yang diberikan

sehingga mengakibatkan serat dengan diameter yang lebih kecil menjadi putus. Namun serat dengan diameter yang lebih besar cukup kuat untuk menahan gaya yang diberikan.



Gambar 7. Permukaan patah PRC

d. Variasi dengan Panjang serat 6 cm

Pada pengujian makrostruktur digunakan sampel yang telah dilakukan pengujian lentur, setelah dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x terlihat bahwa ikatan antara serat dan matriks cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan foto makrostruktur sampel terlihat bahwa serat tidak ada yang terputus serta ikatan antara serat dan matriks juga terlihat cukup baik.



Gambar 8. Permukaan patah PRC

e. Variasi dengan Panjang serat 7 cm

Pada pengujian makrostruktur digunakan sampel yang telah dilakukan pengujian lentur, setelah dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 100x terlihat bahwa ikatan antara serat dan matriks cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan foto makrostruktur sampel terlihat bahwa serat tidak ada yang terputus serta ikatan antara serat dan matriks juga terlihat cukup baik.



Gambar 9. Permukaan patah PRC

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap Palmfiber Reinforced Concrete (PRC), dapat disimpulkan bahwa kekuatan lentur PRC masih jauh berada di bawah Glassfiber Reinforced Concrete (GRC) konvensional. GRC memiliki kekuatan lentur sebesar 160 kg/cm², sedangkan GRC pasaran dengan ketebalan 5 mm mencapai 167,75 kg/cm², sementara PRC dengan semen Portland hanya mencapai kekuatan lentur maksimum sebesar 11,78 kg/cm². Tegangan lentur tertinggi diperoleh pada spesimen dengan panjang serat 5 cm, yaitu sebesar 11,78 kg/cm² dengan nilai rata-rata 10,71 kg/cm² pada panjang serat 3 cm. Regangan lentur tertinggi tercatat pada panjang serat 4 cm sebesar 16,4%, sedangkan rata-rata regangan lentur tertinggi berada pada panjang serat 7 cm yaitu 10%. Nilai modulus elastisitas tertinggi ditemukan pada panjang serat 4 cm sebesar 162,2 kg/cm² dan rata-rata tertinggi pada panjang serat 3 cm yaitu sebesar 124,6 kg/cm². Meskipun menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit, PRC menunjukkan potensi elastisitas yang cukup baik, namun komposisi semen yang digunakan belum cukup kuat untuk menghasilkan kekuatan elastisitas yang maksimal. Selain itu, proses pemadatan yang tidak maksimal selama pengeringan juga menyebabkan terbentuknya rongga dalam material, yang berdampak pada rendahnya kekuatan lentur dan modulus elastisitas.

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, disarankan agar proses pemadatan dilakukan menggunakan alat khusus setelah pencetakan spesimen, mengingat masih terdapat rongga pada patahan hasil uji lentur. Penambahan bahan penguat seperti bonding agents juga direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas ikatan semen dan daya tahan terhadap air. Selanjutnya, proses pengeringan sebaiknya dilakukan pada suhu yang stabil dan konstan guna menghasilkan spesimen yang homogen serta memiliki kualitas mekanik yang lebih optimal.

REFERENSI

- Agustina, L., Udiantoro, & Halim, A. (2016). Karakteristik serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan *empty fruit bunches (EFB)* fiber with boiling and steaming treatment. *Ziraa'Ah*, 41(1), 97–102.
- Alfianti, J., & Wardhono, A. (2021). Penggunaan serat ampas tebu sebagai bahan pengganti serat fiberglass pada pembuatan campuran plafon GRC terhadap uji kuat lentur, uji kuat tekan, dan uji resapan air. *Jurnal Teknik Sipil*, 2013–2015.
- Anugrah, F., & Mahyudin, A. (2022). Pengaruh komposisi serat sabut kelapa dan pinang terhadap sifat fisik dan mekanik papan beton ringan dengan fly ash sebagai filler. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 8–14.
- Aritonang, F. P. (2017). Karakteristik komposit berpenguat serat. *Jurnal Teknik Mesin*, 3.
- Asmeati, Ali, M. Y., Purnama, I., & Paloboran, M. (2016). Analisis uji mekanik dan struktur makro dan mikro terhadap material komposit dengan arah acak serat ampas tebu. *Media Komunikasi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 91–102.
- Boimau, K. (2022). Efek panjang serat terhadap sifat tarik komposit poliester berpenguat serat buah lontar yang diberi perlakuan alkali. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(1), 129–140. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i1.17948>
- Fatmi, R., & Mahyudin, A. (2017). Pengaruh persentase serat sabut kelapa dan foam agent terhadap sifat fisik dan mekanik papan beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(4), 324–330.
- Ichsan, R. M., Sukma, H., Tatak, A. R., & Tim Mesin Universitas Pancasila. (2020). Pengembangan komposit matriks polimer berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit. *JMTM*, 15, 21–26.
- Jati, A. S., Prawatya, Y. E., & Wicaksono, R. A. (2021). Karakterisasi pengaruh orientasi serat terhadap sifat fisis komposit serat tandan kosong kelapa sawit dengan perlakuan alkali (NaOH). *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 6–12.
- Lusiani, R., Sunardi, & Ardiansah, Y. (2015). 520-1030-1-Sm. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(April), 46–54.
- Purboputro, P. I. (2017). Pengaruh panjang serat terhadap kekuatan impak komposit enceng gondok dengan matriks poliester. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 7(2), 70–76. <https://doi.org/10.23917/mesin.v7i2.3088>
- Ridho, R., Mahyudin, A., & Tim Material Fisika FMIPA Universitas Andalas. (2022). Pengaruh persentase serat plastik terhadap sifat fisis dan mekanis papan beton ringan. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 97–103.
- Sunardi, Fawaid, M., & Chumaidi, M. (2016). Pemanfaatan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai penguat papan partikel dengan variasi fraksi volume serat. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 36–39.
- Susilowati, A., & Rizal, R. S. (2022). Variasi serat gelas pada papan semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 339–346.

- Tarkono, & Ali, H. (2017). Penambahan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam rangka mereduksi berat komposit papan semen. *Rotor*, 10(2), 36. <https://doi.org/10.19184/rotor.v10i2.5761>
- Tri, R., Simatupang, H., & Fitri, M. (2018). Pengaruh ukuran serat ijuk pada material komposit matriks polimer terhadap kekuatan tariknya. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1).
- Yunita, D., & Mahyudin, A. (2017). Pengaruh persentase serat bambu terhadap sifat fisik dan mekanik papan beton ringan. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(4), 348–354.
- Zakki, A. F., Fianca, D., & Manik, P. (2014). Studi eksperimen material GRC (glassfiber reinforced concrete) sebagai bahan dasar pada modular floating pontoon. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 20(4), 557–567.