



Inovasi pemanfaatan serat *polypropylene* dan limbah abu cangkang sawit sebagai bahan substitusi beton

Rizal Andika Saputra ^{a*}, Luthfi Helmi Pratama ^b, Puji Widodo ^c, Riza Susanti ^d

^{a*, b, c, d} Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:
rizalriz945@gmail.com

Article history:

Received : 20 June 2023
Revised : 8 August 2023
Accepted : 27 August 2023
Publish : 8 September 2023

Keywords:

Infrastructure, concrete,
polypropylene fiber, palm shell ash

ABSTRACT

The existence of infrastructure development has increased rapidly in encouraging global competitiveness, including infrastructure development in Indonesia. In infrastructure development, there are many aspects that must be considered. The planning stage is the most important stage in infrastructure development, because it will determine the quality of the building to be produced. Therefore, infrastructure development in Indonesia must use good construction material design to improve the quality of buildings and minimize the impact of damage to buildings. One of the alternative efforts made is to improve the quality of building quality by utilizing materials that can reduce expensive development costs and are more environmentally friendly. The use of palm kernel shell ash and polypropylene fiber waste can be an alternative solution to this problem. The research method carried out is quantitative experimental conducted in the laboratory with variations in test objects in the form of (0% ACS; 0% PP); (6 % ACS;0% PP); (0 % ACS;6% PP); (3% ACS;3% PP) tested for compressive strength and flexural strength at 28 days concrete life. Palm kernel shell ash waste was chosen as an added material for concrete mixture because it has the same properties as cement, namely silica (SiO₄), while polypropylene fiber was chosen because it can function as a filler that binds hollow concrete. From the research that has been done, several variations of test objects that have been made have been made then have gone through a testing process and compared to normal concrete K-300, modified concrete (3% ACS; 3% PP) is concrete with optimum variations that are more efficient and have high quality in compressive and flexural strength test results, which are 31,174 MPa and 30 MPa from normal concrete quality results.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Saat ini keberadaan pembangunan infrastruktur mengalami peningkatan yang pesat dalam mendorong daya saing global, termasuk pembangunan infrastruktur yang ada di negara Indonesia (KPPIP, 2014). Pada pembangunan Infrastruktur terdapat banyak aspek yang harus diperhatikan. Perencanaan menjadi salah satu tahapan dalam proses pembangunan infrastruktur yang harus diperhatikan dengan baik. Aspek-aspek yang baik salah satunya adalah dengan melakukan perencanaan bangunan konstruksi yang memperhatikan kondisi lingkungan dan mutu material penyusunnya, salah satunya kualitas pada beton. Dengan merencanakan dan mengoptimalkan kualitas bangunan seperti bangunan dengan kuat tekan dan lentur yang tinggi menjadi cara yang dapat dilaksanakan dalam mencapai pembangunan yang berspesifikasi tinggi.

Namun saat ini biaya untuk melakukan pembangunan tidak sedikit, hal ini dikarenakan mahalnnya harga bahan bangunan yang terus melonjak naik seiring berjalannya waktu sehingga mengakibatkan seseorang yang hendak membeli bahan bangunan di toko bangunan harus mengeluarkan biaya yang

cukup banyak. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi harga bahan bangunan menjadi cukup mahal, diantaranya dikarenakan tingginya biaya produksi, kenaikan harga transportasi dari produsen ke penjual, dan akibat juga adanya kenaikan pajak pertambahan nilai (PPN) sejak April 2022 dari 10 % naik menjadi 11 %. Oleh karena itu perlu adanya upaya untuk dapat menekan biaya pembangunan yang tinggi akibat harga bahan bangunan yang mahal. Melalui pemanfaatan limbah cangkang sawit serta serat *polypropylene* yang dijadikan substitusi parsial ke dalam campuran beton dapat menjadi alternatif dalam menekan harga bahan bangunan yang mahal menjadi lebih efisien, serta dapat mengurangi limbah yang ada dimasyarakat dan meningkatkan kualitas beton dalam hasil kuat tekan dan kuat lentur beton menjadi lebih tinggi. Limbah kelapa sawit dapat diolah menjadi dapat diolah menjadi abu cangkang sawit yang dimana hasil olahan tersebut memiliki komposisi silika (SiO_4) yang dapat menjadi bahan campuran semen dalam industri konstruksi material penyusun beton (Sarifah & Pasaribu, 2017). Selain limbah abu cangkang sawit yang bisa dijadikan material penyusun beton, terdapat Serat PP (*Polypropylene*) yang dapat dimanfaatkan juga menjadi bahan tambah campuran beton dalam dunia konstruksi. Serat PP (*Polypropylene*) memiliki sifat yang unik yaitu tidak menyerap air dan mengikat sehingga dapat diaplikasikan ke dalam inovasi beton serat (Kartini, W, 2017). Penelitian ini untuk mengetahui komposisi yang optimum dari adanya pencampuran serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit yang divariasikan pada beton normal yang kemudian akan dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton yang diharapkan mampu memberikan pengaruh yang baik dari segi kualitas beton yang dihasilkan dari beton modifikasi.

2. Data dan metode

2.1. Persiapan dan pengujian material

Tahap pengujian material dilakukan pengujian terhadap agregat halus, agregat kasar, semen, serta bahan tambah yang digunakan yaitu serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan material yang sesuai dengan rencana dan dalam keadaan yang baik.

- a) Pengujian Agregat Halus
 - Dari hasil kadar lumpur dengan menggunakan pasir muntitan didapatkan nilai rata-rata sebesar 2,4 %, yang mana menurut SK-SNI-S-04-1989-F kadar lumpur memiliki nilai sebesar 5 %. Dari hasil tersebut untuk kadar lumpur menggunakan pasir muntitan sudah memenuhi SK-SNI-S-04-1989-F.
 - Untuk gradasi pasir muntitan memiliki hasil modulus halus butir sebesar 3,01 %, dengan hasil tersebut pasir muntitan memenuhi syarat sesuai SNI 03-1972-1990 yaitu 1,5 - 3,8.
- b) Pengujian Agregat Kasar
 - Dari hasil pemeriksaan Analisa ayak agregat kasar didapatkan nilai modulus kehalusan sebesar 7,69 % untuk sampel pengujian 1 kg kerikil dengan pemeriksaan agregat menggunakan alat *sieve shaker*.
- c) Pengujian Air
 - Pemeriksaan air dilakukan melalui pengamatan dengan cara visual yang sesuai dengan PBI-1971. Untuk hasil yang dipakai, tidak berbau, air harus jernih, harus bersih tidak boleh memiliki kandungan minyak, lumpur, garam dan tidak boleh memiliki kandungan bahan-bahan yang lain yang bisa menurunkan kualitas beton.
- d) Pengujian Semen
 - Keadaan Kemasan Semen, Pengujian ini dilihat dari kondisi semen yang mana kemasan semen dilakukan dengan cara visual secara langsung. Untuk penelitian ini kondisi semen masih bagus tidak terbuka ataupun robekan, untuk kemasan sendiri juga kering dan kondisi semen terlihat gembur tidak memadat.
 - Keadaan Butiran Semen, Untuk proses pengujian ini dengan melakukan cara yaitu membuka kemasan semen dan selanjutnya di lihat secara visual mengenai keadaan butiran semen. Dari hasil yang didapatkan dalam pengamatan semen, terlihat bahwa semen dipakai dalam penelitian ini masih bagus atau dalam keadaan baik yang mana tidak terjadi gumpalan pada butiran.

2.2. Hasil uji kelayakan material

Material penyusun beton modifikasi terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan untuk dapat menentukan kelayakan material sebagai bahan campuran beton dan hasil pemeriksaan tersebut akan dicocokkan dengan standard pengujian oleh SNI. Tabel 1 menunjukkan pemeriksaan material yang diuji mengacu pada SNI.

Tabel 1. Hasil uji kelayakan material

No	Jenis Material	Hasil Pengujian	Standard	Keterangan
1.	Agregat Halus	Persentase kandungan lumpur yang telah diuji tanpa campuran $\text{Na}(\text{OH})_3$ adalah 2,4 %. Persentase kandungan lumpur dari pengujian ini kurang dari 5 %.	SNI 03-1968-1990 Tentang Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar	Memenuhi
2.	Agregat Kasar	Diperoleh nilai keausan rata-rata dari pengujian yang telah dilakukan adalah : 24,1 % < 40 %	SNI 03-1968-1990 Tentang metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar	Memenuhi
3.	Semen	Semen masih dalam kondisi baik tidak terjadi gumpalan pada butiran semen ketika kemasan semen dibuka	SNI 7656:2012 Tentang Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa	Memenuhi
4.	Air	Tidak berbau, jernih, tidak terdapat kandungan minyak, lumpur, garam, dan bahan lain yang dapat menurunkan kualitas beton.	SNI 03-6861.1-2002 Tentang persyaratan air untuk campuran beton	Memenuhi

2.3. Persiapan material tambahan

Pada tahap ini material serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit yang didapatkan akan dilakukan beberapa perlakuan sebelum di proses sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton modifikasi. Berikut adalah gambar limbah abu cangkang sawit yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta serat *polypropylene* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Abu cangkang sawit

Abu cangkang sawit yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan nomor 200 atau ukuran 0,075 mm dengan kondisi kering melalui proses pengeringan.



Gambar 2. Serat *Polypropylene*

2.4. Job Mix Design

Penulis melakukan perencanaan *mix design* yang bertujuan agar mengetahui perbandingan proporsi material yang digunakan dalam pembuatan beton modifikasi dengan bahan tambah serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit. Dalam penelitian ini bahan tambah serat *polypropylene* akan disubstitusikan dari berat agregat kasar dan abu cangkang sawit di substitusikan dari berat semen. Dengan total 4 variasi yaitu benda uji A (0 % Serat *Polypropylene* ; 0 % Abu Cangkang Sawit), benda uji B (0 % Serat *Polypropylene* ; 6 % Abu Cangkang Sawit), benda uji C (6 % Serat *Polypropylene*; 0 % Abu Cangkang Sawit) dan benda uji D (3 % Serat *Polypropylene*; 3 % Abu Cangkang Sawit). Tabel 2 menunjukkan hasil *job mix design* yang akan direncanakan.

Tabel 2. Rancangan *Job mix design*

Benda Uji	Serat PP	Abu Cangkang Sawit	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji Silinder	Jumlah Benda Uji Balok
A	0%	0%	28	5	1
B	0%	6%	28	5	1
C	6%	0%	28	5	1
D	3%	3%	28	5	1

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil kuat tekan

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan saat beton berusia 28 hari.

Tabel 3. Kuat tekan beton (MPa)

No	Jenia Benda Uji	Tanggal Diuji	Umur (hari)	Hasil Uji (MPa)
1	Beton Normal	19-05-2023	28	26,150
2	Beton Modifikasi (0 % PP 6 % ACS)	30-05-2023	28	22,392
3	Beton Modifikasi (6 % PP 0 % ACS)	07-06-2023	28	26,940
4	Beton Modifikasi (3 % PP 3 % ACS)	07-06-2023	28	31,174

Hasil pengujian kuat tekan yang ditunjukkan pada Tabel 3, dengan menggunakan benda uji silinder terdapat penurunan nilai kuat tekan pada beton dengan variasi penambahan 6 % serat *polypropylene*. Nilai kuat tekan beton tersebut adalah sebesar 22,392 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat tekan beton normal yaitu sebesar 26,15 MPa. Hal ini dikarenakan penambahan serat *polypropylene* dengan variasi penambahan sebesar 6% dapat membuat campuran beton tidak dapat tercampur dengan sempurna karena terlalu banyak air semen yang diserap oleh serat *polypropylene*. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa semakin adanya penambahan persentase serat *polypropylene* yang tinggi dapat mengakibatkan nilai penyerapan air beton semakin tinggi.

Selanjutnya hasil kuat tekan beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) memiliki nilai kuat tekan sebesar 26,94 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat beton tekan normal sebesar 26,15 Mpa. Hal ini diakibatkan abu cangkang sawit memiliki kandungan silika (SiO₄) yang sifatnya sama dengan semen. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Hayward,1995) bahwa dalam penelitian abu cangkang sawit apabila bereaksi dengan bahan kapur dan air maka akan membentuk material seperti semen yaitu berupa Kalsium Silika Hidrat.

Kemudian pada benda uji beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) mengalami peningkatan yang paling tinggi yaitu sebesar 31,174 MPa lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sebesar 26,94 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa nilai kuat tekan yang diperoleh dari hasil pengujian beton yang dicampur dengan serat *polypropylene* optimum pada variasi penambahan sebesar 2 %, serta penelitian yang dilakukan oleh (Johan, 2020) bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan pada variasi penambahan abu cangkang sawit sebesar 9 % hal ini diakibatkan kadar senyawa silika (SiO₄) akan lebih besar dari kadar semen normal. Sehingga pada penambahan variasi 3 % abu cangkang sawit dan 3 % serat *polypropylene* merupakan variasi yang paling optimum.

3.2. Hasil kuat lentur

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kuat lentur beton yang telah dilakukan saat usia beton 28 hari.

Tabel 4. Kuat lentur beton

No	Jenis Benda Uji	Tanggal Diuji	Umur (hari)	Hasil Uji (MPa)
1	Beton Normal	12-06-2023	28	25
2	Beton Modifikasi (0 % PP 6 % ACS)	12-06-2023	28	32
3	Beton Modifikasi (6 % PP 0 % ACS)	12-06-2023	28	18
4	Beton Modifikasi (3 % PP 3 % ACS)	12-06-2023	28	30

Hasil pengujian kuat lentur yang ditunjukkan pada tabel 4, dengan menggunakan benda uji berbentuk balok didapatkan penurunan hasil kuat lentur beton pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*). Nilai kuat lentur beton tersebut adalah sebesar 18 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat lentur beton normal yaitu sebesar 25 MPa. Hal ini sama seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh (Elia, 2023) bahwa Pemeriksaan kuat lentur beton dengan menggunakan variasi dari abu cangkang kelapa sawit sebesar 0%, 9%, 11% dan 13% yang diuji pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat lentur beton yang terus mengalami penurunan nilai rata-rata untuk setiap penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit. Hal ini juga dikarenakan abu cangkang sawit mengakibatkan beton memiliki sifat getas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Amir, 2020) disebutkan bahwa kegagalan suatu struktur beton dapat disebabkan oleh adanya sifat getas pada material, getas memiliki sifat yang kuat terhadap tekan namun lemah terhadap lentur, salah satu sifat

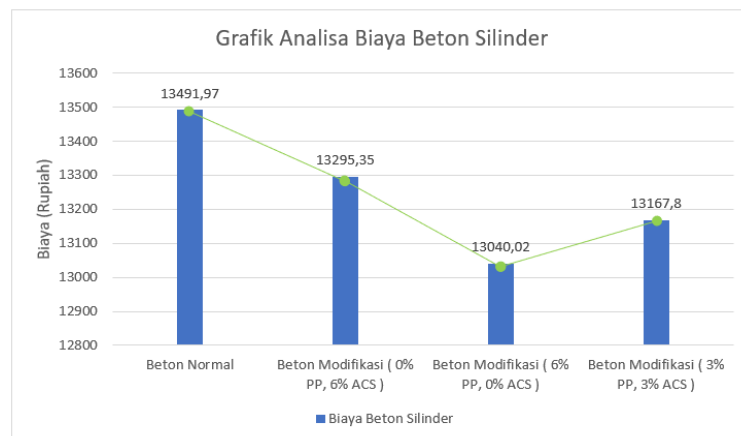
material tersebut dimiliki pada bahan abu cangkang sawit yang menaikkan nilai kuat tekan namun menurunkan nilai kuat lentur.

Selanjutnya hasil kuat lentur beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) memiliki kenaikan nilai kuat lentur tertinggi yaitu sebesar 32 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat lentur beton normal sebesar 25 Mpa. Kenaikan kuat lentur beton tersebut diakibatkan karena dengan adanya penambahan serat *polypropylene* maka beton akan tidak mudah retak. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Dina, 1999) bahwa dengan penambahan serat *polypropylene* pada beton dapat memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan, kikisan, dan dapat memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre-hardening stage* sehingga dapat mengurangi adanya keretakan akibat adanya penyusutan, (ACI Committee 544, 1982) serat *polypropylene* dapat memperbaiki sifat beton diantaranya ketahanan terhadap beban kejut, ketahanan terhadap susutan, dan ketahanan terhadap keausan, dan berdasarkan (Siregar, 2017) serat *polypropylene* dapat mengubah sifat getas menjadi lebih daktal pada beton. Sehingga hal tersebut juga mengakibatkan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) memiliki kuat lentur yang lebih rendah dari beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) namun lebih tinggi dari hasil kuat lentur beton normal.

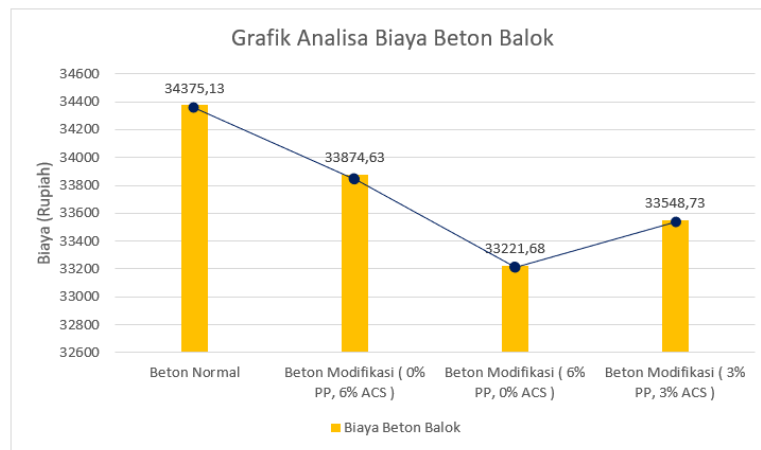
3.3. Hasil analisis biaya

Analisis biaya yang dilakukan adalah dengan membandingkan pembuatan beton normal dengan beton modifikasi yang menggunakan serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit. Perhitungan Analisa biaya dihitung berdasarkan kebutuhan dalam *job mix design* yang dibuat dalam penelitian disesuaikan dengan harga kebutuhan belanja material di toko bangunan yang ada di daerah Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah.

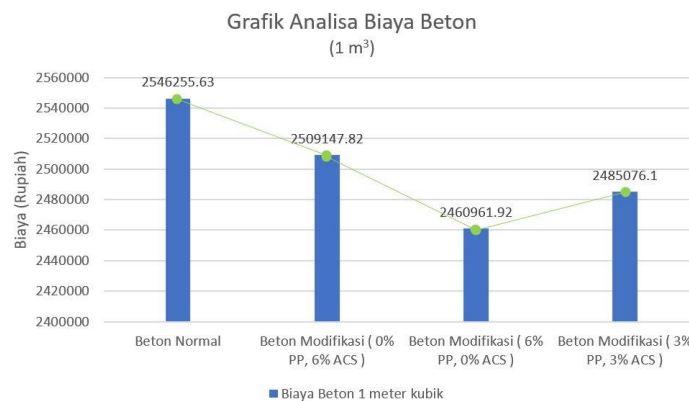
Pada gambar grafik analisa biaya beton modifikasi yang dihitung berdasarkan volume cetakan (Gambar 3 dan Gambar 4), serta pada perhitungan volume per m³ (Gambar 5) dapat disimpulkan bahwa beton modifikasi lebih efisien dari beton normal dikarenakan harga semen dan agregat kasar dapat ditekan dengan adanya substitusi serat *polypropylene* dan abu cangkang sawit yang divariasikan.



Gambar 3. Grafik analisa biaya silinder



Gambar 4. Grafik analisa biaya balok



Gambar 5. Grafik analisis biaya per m³

4. Kesimpulan

1. Penelitian ini menunjukkan campuran beton yang optimum yang memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur tertinggi pada variasi campuran beton yang disubstitusi dengan campuran 3% serat *polypropylene* dan 3% limbah abu cangkang sawit dengan menghasilkan kuat tekan sebesar 31,174 MPa dan kuat lentur sebesar 30 MPa.
2. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dengan menggunakan benda uji silinder yang telah dilakukan pada laboratorium terdapat penurunan nilai kuat tekan pada beton dengan variasi penambahan 6 % serat *polypropylene*. Nilai kuat tekan beton tersebut adalah sebesar 22,392 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat tekan beton normal yaitu sebesar 26,15 MPa. Hal ini dikarenakan penambahan serat *polypropylene* dengan variasi penambahan sebesar 6% dapat membuat campuran beton tidak dapat tercampur dengan sempurna karena terlalu banyak air semen yang diserap oleh serat *polypropylene*. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa semakin adanya penambahan persentase serat *polypropylene* yang tinggi dapat mengakibatkan nilai penyerapan air beton semakin tinggi. Hasil kuat tekan beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*) memiliki nilai kuat tekan sebesar 26,94 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat beton tekan normal sebesar 26,15 MPa. Hal ini diakibatkan abu cangkang sawit memiliki kandungan silika (SiO₄) yang sifatnya sama dengan semen. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh (Hayward,1995) bahwa dalam penelitian abu cangkang sawit apabila bereaksi dengan bahan kapur dan air maka akan membentuk material seperti semen yaitu berupa Kalsium Silika Hidrat. Kemudian pada benda uji beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) mengalami peningkatan yang paling tinggi yaitu sebesar 31,174 MPa lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sebesar 26,94 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Andi, 2020) bahwa nilai kuat tekan yang

diperoleh dari hasil pengujian beton yang dicampur dengan serat *polypropylene* optimum pada variasi penambahan sebesar 2 %, serta penelitian yang dilakukan oleh (Johan, 2020) bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan pada variasi penambahan abu cangkang sawit sebesar 9 % hal ini diakibatkan kadar senyawa silika (SiO₄) akan lebih besar dari kadar semen normal. Sehingga pada penambahan variasi 3 % abu cangkang sawit dan 3 % serat *polypropylene* merupakan variasi yang paling optimum. Selanjutnya pada pengujian kuat lentur, berdasarkan hasil pengujian kuat lentur dengan menggunakan benda uji berbentuk balok didapatkan penurunan hasil kuat lentur beton pada beton modifikasi (6 % abu cangkang sawit; 0 % serat *polypropylene*). Nilai kuat lentur beton tersebut adalah sebesar 18 MPa yang dimana lebih rendah dari nilai kuat lentur beton normal yaitu sebesar 25 MPa. Hal ini sama seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh (Elia, 2023) bahwa Pemeriksaan kuat lentur beton dengan menggunakan variasi dari abu cangkang kelapa sawit sebesar 0%, 9%, 11% dan 13% yang diuji pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat lentur beton yang terus mengalami penurunan nilai rata-rata untuk setiap penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit. Hal ini juga dikarenakan abu cangkang sawit mengakibatkan beton memiliki sifat getas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Amir, 2020) disebutkan bahwa kegagalan suatu struktur beton dapat disebabkan oleh adanya sifat getas pada material, getas memiliki sifat yang kuat terhadap tekan namun lemah terhadap lentur, salah satu sifat material tersebut dimiliki pada bahan abu cangkang sawit yang menaikkan nilai kuat tekan namun menurunkan nilai kuat lentur. Hasil kuat lentur beton yang meningkat berada pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) dan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*). Pada beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) memiliki kenaikan nilai kuat lentur tertinggi yaitu sebesar 32 MPa dimana lebih tinggi dari nilai kuat lentur beton normal sebesar 25 MPa. Kenaikan kuat lentur beton tersebut diakibatkan karena dengan adanya penambahan serat *polypropylene* maka beton akan tidak mudah retak. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Dina, 1999) bahwa dengan penambahan serat *polypropylene* pada beton dapat memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan, kikisan, dan dapat memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre-hardening stage* sehingga dapat mengurangi adanya keretakan akibat adanya penyusutan, (ACI Committee 544, 1982) serat *polypropylene* dapat memperbaiki sifat beton diantaranya ketahanan terhadap beban kejutan, ketahanan terhadap susutan, dan ketahanan terhadap keausan, dan berdasarkan (Siregar, 2017) serat *polypropylene* dapat mengubah sifat getas menjadi lebih daktal pada beton. Sehingga hal tersebut juga mengakibatkan beton modifikasi (3 % abu cangkang sawit; 3 % serat *polypropylene*) memiliki kuat lentur yang lebih rendah dari beton modifikasi (0 % abu cangkang sawit; 6 % serat *polypropylene*) namun lebih tinggi dari hasil kuat lentur beton normal.

3. Berdasarkan analisis data perhitungan biaya yang disesuaikan dengan bentuk cetakan benda uji dan per 1 m³ beton dikalikan dengan harga bahan yang telah diperoleh sebelumnya, didapatkan beton modifikasi yang telah disubstitusikan dengan menggunakan serat *polypropylene* dan limbah abu cangkang sawit lebih murah dibandingkan dengan beton normal konvensional.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Tuhan YME, kepada dosen pembimbing dalam penelitian ini serta seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyusunan hasil penelitian ini. Semoga kedepannya penelitian ini bisa bermanfaat bagi pembaca dalam menambah wawasan dan pengetahuan.

Referensi

- Khairizal, Y., Kurniawandy, A., & Kamaldi, A. (2015, Oktober). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton Normal. *Jom FTEKNIK*, 2, 1-11.
- Sarifah, J., & Pasaribu, B. (2017, September). Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Guna Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung. *Buletin Utama Teknik*, 13, 55- 61.
- Simanjuntak, J. O., Saragih, T. E., Lumbangaol, P., & Panjaitan, S. P. (2020, Desember). Beton Bermutu Dan Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Limbah Abu Cangkang Sawit. *Jurnal Darma Agung*, 28, 387-401.
- Kartini, W. (2017). Penggunaan Serat Polypropylene untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton. *Rekayasa Perencanaan*, 4(1), 1-13.

- Pudjisuryadi, P., & Lumantara, B. (2006). Studi Tentang Daktilitas Struktur Pada Sistem Shearwall Frame Dengan Belt Truss. *Civil Engineering Dimension*, 8(1), 41-46.
- Muto, Kiyoshi. (1987). Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa. Diterjemahkan oleh: Ir.Wira M.S.C.E. Jakarta: Erlangga.
- Mulyono, T., 2006, *Teknologi Beton*, Yogyakarta:Penerbit Andi.
- Royan, N. (2012). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Variasi Pasir dan Cangkang Sawit. *Berkala Teknik*, 2(4). 1-12.
- Indra Syahrul Fuad, d. (2014). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Belah pada Mutu Beton K-175. *Desiminasi Teknologi*, 66-71.
- Ir Indra Syahrul Fuad, M. (2008). *Petunjuk Praktikum Beton*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Tridinanti.
- ACI COMMITTE 304, 1997, *Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications (ACI 304.1R-92) (Reapproved 1997)*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA.
- ACI COMMITTE 544, May 1982, *State of The art Report On Fibre Reinforced Concrete, ACI 544 IR-82*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004, *SK SNI 15-2049-2004, Semen Portland Pozolan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Arde, 2005, *Penggunaan Polypropylene Fiber Ditinjau Terhadap Mekanisme Tekan dan Lentur Pada Campuran Beton Normal*, , Teknik Sipil, UPN Veteran, Surabaya, Jawa Timur.
- Yusra, A., 2014, *Pengaruh Variasi Zat Tambahan Terhadap Sifat Mekanis Beton Mutu Tinggi*, Universitas Syiah Kuala, Aceh.
- Purwanto, E. 1999. *Perilaku Fiber Lokal Pada Perilaku Dan Kuat Torsi Ultimit Balok Beton Bertulang*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- SNI 03-1974-1990.1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 03-4431-1997.1997. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan..* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 15-7064-2004. 2004. *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Suhendro, B. 1991, *Pengaruh Pemakaian Fiber Secara Parsial Pada Balok Beton Bertulang*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- M. Lerry, Elhusna dan Y. Afrizal, "Perilaku Kuat Tekan Beton Dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen," *Inersia*, vol. 4, no. 2, pp. 43-50, 2012.
- I. B. Rahardja, V. N. C. Surbakti dan A. L. Siregar, "Empowering Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Bata Beton Ringan (Light-Weight Concrete)," *Jurnal Teknologi*, vol. 14, no. 1, pp. 119-126, 2022
- G. Vitri dan H. Herman, "Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton," *Jurnal Teknik Sipil ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 78-87, 2019.
- V. Itteridi dan Rusandinata, "Pengaruh Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Ilmiah Bering's*, vol. 5, no. 1, pp. 21-26, 2018.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, (PBI, 1989).