

Pengaruh Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen dan Agregat Sungai Pada Beton

Elia Kelin ^{*1}, Junus Mara ^{*2}, Desi Sandy ^{*3}

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia kelinelia6@gmail.com

^{*2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia²marajunus@gmail.com dan sandy.mylife@yahoo.co.id

Corresponding Author: kelinelia6@gmail.com

Abstrak

Limbah padat dari kelapa sawit yaitu cangkangnya dapat digunakan sebagai bahan bakar industri dan sisa pembakarannya banyak mengandung silika. Abu ketel yang dihasilkan dari pembakaran cangkang kelapa sawit mengandung 61% silika. Abu dari boiler cangkang sawit dibuat dengan pembakaran cangkang pada suhu antara 300 sampai 500 °C Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti sebagian semen dan agregat sungai yang optimum terhadap kekuatan beton. Sungai Jeneberang sebagai tempat pengambilan agregat kasar dan halus yang dilakukan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi semen dan agregat sungai pada variasi 9% memenuhi nilai kuat tekan beton rencana, sedangkan variasi 11% dan 13% tidak memenuhi kuat tekan beton rencana. Pada variasi 0% sampai 13% nilai kuat tarik belah beton dan kuat lentur mengalami penurunan. Hubungan kuat tekan dengan tarik belah pada setiap variasi memenuhi ketentuan dimana berkisar antara 7% sampai 11% sedangkan kuat tekan dengan kuat lentur diperoleh nilai koefisien x semakin kecil.

Kata kunci: Abu Cangkang Kelapa Sawit, Agregat Sungai, Beton.

Abstract

Solid waste from palm oil, namely the shell, can be used as industrial fuel and the rest of the combustion contains a lot of silica. The boiler ash produced from burning palm shells contains 61% silica. Ash from palm shell boilers is made by burning shells at temperatures between 300 and 500 °C. The purpose of this study was to determine the effect of using palm shell ash as a substitute for part of cement and river aggregates that is optimal on the strength of concrete. Jeneberang River as a place for coarse and fine aggregate retrieval carried out in this study. The results showed that the use of palm shell ash as a substitution of cement and river aggregates at variation 9% met the compressive strength value of plan concrete, while variations of 11% and 13% did not meet the compressive strength of plan concrete. At a variation of 0% to 13% the value of the tensile strength of concrete and bending strength decreases. The relationship of compressive strength with split pull in each variation meets the conditions where it ranges from 7% to 11% while compressive strength with bending strength is obtained the value of the coefficient x is getting smaller.

Keywords: Oil Palm Shell Ash, River Aggregate, Concrete.

PENDAHULUAN

Limbah padat dari kelapa sawit yaitu cangkangnya dapat digunakan sebagai bahan bakar industri dan sisa pembakarannya banyak mengandung silika. Abu ketel yang dihasilkan dari pembakaran cangkang kelapa

sawit mengandung 61% silika. Abu boiler Cangkang Kelapa Sawit ini telah melewati proses penggilingan pada suhu pembakaran 300 sampai dengan 500 derajat *Celcius*. Abu ini umumnya sebagai limbah padat. Abu yang mengandung *silica* (SiO₂), *aluminium*, *kalsium silikat hidrat* (CSH) dan *kalsium aluminat hidrat* (CAH) dihasilkan dari pembakaran cangkang kelapa sawit. Abu ini bereaksi dan berikatan dengan *kalsium oksida* (Kapur Bebas) dalam pasta semen membentuk material yang dapat meningkatkan mutu beton. Unsur *silika* (SiO₂) akan bereaksi dengan kapur bebas Ca(OH)₂ untuk menghasilkan gel CSH baru jika ditambahkan kedalam beton. Komponen utama yang mempengaruhi kekuatan pasta semen dan beton adalah gel CSH (*kalsium silikat hidrat*). Ada banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain: Perilaku Kuat Tekan Beton Dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen, pada penelitian ini semen dengan fly ash kelapa sawit sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Diperoleh hasil penelitian kekuatan kompresi beton menunjukkan tren penurunan. Kekuatan tersebut menurun seiring dengan meningkatnya persen fly ash kelapa sawit yang digunakan. Penurunan maksimal dibandingkan dengan kekuatan beton tanpa abu adalah 40% ketika beton menggunakan pasir gunung dan 45% ketika menggunakan pasir laut [1], *Empowering Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Bata Beton Ringan (Light-Weight Concrete)* pada penelitian ini komposisi abu cangkang yang digunakan adalah 15%, 30% dan 45%. Hasil penelitian menunjukkan dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit menghasilkan kualitas bata beton ringan pada komposisi 30% dengan kuat tekan (13,43), densitas (1.112,3) dan absorpsi (28,7%) [2], Penelitian Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi untuk menguji beton mutu tinggi terhadap aliran *slump* dan kuat tekan beton pada umur 3, 14 dan 28 hari menggunakan 6 variasi kadar yakni 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 20%. Pada pengujian 3 hari didapatkan hasil kuat tekan rata – rata setelah penambahan abu cangkang kelapa sawit tertinggi pada kadar 10% (52,70). Untuk kuat tekan rata-rata 14 hari pada kadar 12,5% (63,13). Dan rata-rata kuat tekan beton pada hari ke 28 pada kadar 10% (64,72). Hasil uji *slump flow* (cm) menghasilkan 63, 60, 59, 58, 57 dan 55 untuk variasi penambahan yang sama [3], Dampak aditif abu cangkang sawit terhadap kuat tekan beton premium. Penelitian ini menggunakan superplastizer (viscocrete N 10) hingga 1,5% berat semen dan abu cangkang sawit dengan proporsi masing-masing 0%, 5%, 8%, 10% dan 15%. Pada umur 28 hari, pengujian kekuatan beton (Mpa) menunjukkan bahwa 0% (54,14), 5% (59,04), 8% (47,53), 10% (52,44) dan 15% (60,74). Kekuatan tekan (Mpa) yang dihasilkan selama 56 hari pengujian sebesar 0% (57,91), 5% (64,89), 8% (57,91), 10% (56,21) dan 15% (69,23). Ketika ditambahkan 15% abu cangkang sawit, kekuatan meningkat sebesar 13,98% pada 56 hari dibandingkan dengan kuat tekan pada 28 hari [4], Hasil penelitian menunjukkan dengan pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai bahan tambahan beton menunjukkan bahwa karakteristik agregat halus dan agregat kasar yang dapat mencapai standar SNI dan dapat dimanfaatkan. Begitu juga dengan berat jenis dan penyerapan limbah minyak sawit mampu mencapai standar SNI untuk analisis saringan yang memungkinkan untuk digunakan sebagai pengganti agregat dalam jumlah yang tidak $\geq 10\%$ untuk abu boiler minyak sawit dan tidak $\geq 30\%$ untuk cangkang kelapa sawit. Pada hari ke 7 dan 28, kuat tekan rata-rata beton adalah 21 MPa, ini juga masih dibawah perkiraan awal yang diinginkan yaitu 25 MPa [5], Penggunaan Silica Gel dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Ditinjau dari Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder. Ada 3 macam variasi proporsi abu cangkang sawit dan agregat normal yang diuji yaitu 15%, 20% dan 25%. Silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm berfungsi sebagai benda uji untuk uji kuat tarik belah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan silica gel dan abu cangkang sawit meningkatkan nilai *slump* dan kuat tarik belah beton. Hasil analisis menunjukkan bahwa beton dengan komposisi abu cangkang sawit dan silica gel 25% memiliki kuat tarik belah yang optimal sebesar 4,88 MPa [6], Pengujian Substitusi Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton, didapatkan hasil pengujian kuat tekan beton (Mpa) pada umur 28 hari (20,59) [7], Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Substitusi Semen Pada Beton. Limbah cangkang telur adalah limbah yang digunakan dalam penelitian ini dan kekuatan beton divariasikan masing-masing sebesar 0%, 4%, 6% dan 8%. Berdasarkan temuan penelitian, diperoleh

hasil uji modulus elastisitas beton (Mpa) berturut-turut adalah (21912,043), (17437,327), (14447,336) dan (12290,684). Kuat tarik belah beton masing-masing adalah 2,712 MPa, 2,499 MPa, 2,264 MPa dan 2,146 MPa. Kuat tekan beton adalah 27,351 MPa, 25,842 MPa, 23,201 MPa dan 21,504 MPa. Menurut temuan penelitian ini, beton yang dibuat dengan cangkang telur sebagai pengganti semen dapat memenuhi persyaratan mutu rencana beton pada konsentrasi yang berkisar antara 0% sampai 4% [8], Pemanfaatan Agregat Sungai Aralle Kecamatan Buntu Malangka Sebagai Bahan Campuran Beton. Berdasarkan pengujian diperoleh hasil dengan kesimpulan bahwa pengujian kuat tekan beton (Mpa) pada umur 28 hari telah sesuai dan memenuhi mutu rencana [9], Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Beton. Penelitian ini menggunakan limbah serbuk kayu dengan variasi 0%, 3%, 6% dan 9%. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh pengaruh serbuk kayu apabila dicampur dengan campuran beton menghasilkan peningkatan nilai kuat tekan, tarik, dan lentur pada kadar 3% tetapi kembali menurun pada kadar 6% dan 9% [10].

METODOLOGI

1. Lokasi Pengambilan Material

a. Agregat

Material agregat pada penelitian ini merupakan batu pecah yang bersumber dari sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Agregat



Gambar 2. Pengambilan Abu Cangkang Kelapa Sawit

b. Abu cangkang kelapa sawit

Bahan ini berasal dari area Pabrik PT. SURYA RAYA LESTARI II di, Kecamatan Budong-Budong, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat.

c. Semen

Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cemen (PCC)*.

2. Pengujian Karakteristik Material

a. Karakteristik Agregat Kasar

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian pada laboratorium untuk karakteristik agregat kasar, berupa pengujian Kadar air (%) dengan interval 0,5 – 2 didapatkan 0,847 dan telah sesuai dengan SNI 03-1971-2011, untuk kadar lumpur (%) dengan interval 0,20 – 1,00 dan telah sesuai dengan SNI 03-4142-1996, untuk berat volume padat (kg/ltr) dengan interval 1,40 – 1,90 dan telah sesuai dengan SNI 03-4804-1998, untuk berat volume gembur (kg/ltr) dengan interval 1,40 – 1,90 dan telah sesuai dengan SNI 03-4804-1998, untuk

berat jenis SSD dengan interval 1,6 – 3,2 dan telah sesuai dengan SNI 1969 – 2008, untuk penyerapan (%) dengan interval 0,20 – 2,00 dan telah sesuai dengan SNI 1969 – 2008.

b. Agregat Halus

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian pada laboratorium untuk karakteristik agregat halus, berupa pengujian Kadar air (%) dengan interval 0 – 5,00 didapatkan 3,63 dan telah sesuai dengan SNI 03-1971-2011, untuk zat organik dengan interval no. 2 dan telah sesuai dengan SNI 2816:2014, untuk kadar lumpur (%) dengan interval 0,20 – 6,00 dan telah sesuai dengan SNI 03-4142-1996, untuk berat volume padat (kg/ltr) dengan interval 1,4 – 1,9 dan telah sesuai dengan SNI 03-4804-1998, untuk volume gembur dengan interval 0,20 – 2,00 dan telah sesuai dengan SNI 03-4804-1998, untuk berat jenis SSD dengan interval 1,6 – 3,2 dan telah sesuai dengan SNI 1970 – 2008, untuk penyerapan (%) dengan interval 0,20 – 2,00 dan telah sesuai dengan SNI 1970 – 2008.

c. Hasil pemeriksaan Filler (Abu Cangkang Kelapa Sawit)

Pemeriksaan dilakukan sama halnya dengan pemeriksaan berat jenis semen karena fungsi yang sama sebagai bahan pengikat beton. Pemeriksaan berat jenis abu cangkang sawit diperoleh hasil 2,78.

3. Komposisi Mix Design

Dari hasil pemeriksaan karakteristik material dan dan hasil perhitungan *mix design* kuat tekan rencana $f'c = 23$ MPa dengan metode ACI 211.2-91 (*American Concrete Institute*) diperoleh komposisi campuran beton dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton 1 m³

Material	Berat kg/m ³			
	Abu cangkang kelapa sawit			
	0%	9%	11%	13%
Abu cangkang kelapa sawit	0	35,176	42,993	50,810
Semen	390,85	355,674	347,857	340,04
Agregat halus	685,94	685,94	685,94	685,94
Agregat kasar	1143,85	1143,85	1143,85	1143,85
Air	164,223	164,223	164,223	164,223

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

a. Pengujian Kuat Tekan Beton dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0%

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk pemeriksaan kuat tekan dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0% didapatkan hasil pada umur 7 hari, 21 hari dan 28 hari terus mengalami peningkatan dari 23,071 Mpa sampai dengan 24,616 Mpa dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 23,805 Mpa. Rincian hasil pengujian pada sampel dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0%, berikut adalah Tabel 2 yang dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 2. Hasil perhitungan kuat tekan dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0%

Umur	Beban Maksimum(kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Faktor umur	Kuat Tekan 28 Hari (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan 28Hari (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata
7 hari	265	14,996	14,996	0,65	23,071	23,071	23,805
	270	15,279			23,506		
	260	14,713			22,635		
21 hari	390	22,069	22,541	0,95	23,231	23,727	23,805
	400	22,635			23,827		
	405	22,918			24,125		
28 hari	410	23,201	24,616	1	23,201	24,616	
	450	25,465			25,465		
	445	25,182			25,182		

b. Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit 9%

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk pemeriksaan kuat tekan dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 9% didapatkan hasil pada umur 7 hari, 21 hari dan 28 hari terus mengalami peningkatan dari 22,926 Mpa sampai dengan 23,861 Mpa dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 24,439 Mpa. Rincian hasil pengujian pada sampel dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0%, berikut adalah Tabel 3 yang dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kuat Tekan dengan Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit 9%

Umur	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Faktor umur	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan 28 Hari MPa	Kuat Tekan Rata-rata Mpa
7 hari	260	14,713	14,902	0,65	22,635	22,926	23,439
	265	14,996			23,071		
	265	14,996			23,071		
21 hari	395	22,352	22,352	0,95	23,529	23,529	23,439
	390	22,069			23,231		
	400	22,635			23,827		
28 hari	420	23,767	23,861	1	23,767	23,861	
	415	23,484			23,484		
	430	24,333			24,333		

c. Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit 11%

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk pemeriksaan kuat tekan dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 11% didapatkan hasil pada umur 7 hari, 21 hari dan 28 hari terus mengalami peningkatan dari 22,780 Mpa sampai dengan 23,107 Mpa dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 22,907 Mpa. Rincian hasil pengujian pada sampel dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0%, berikut adalah Tabel 4 yang dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4. Hasil perhitungan kuat tekan dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 11%

Umur	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Faktor umur	Kuat Tekan28 Hari (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Mpa
7 hari	265	14,996	14,807	0,65	23,071	22,780	22,907
	265	14,996			23,071		
	255	14,430			22,200		
21 hari	390	22,069	21,692	0,95	23,231	22,834	22,907
	380	21,504			22,635		
	380	21,504			22,635		
28 hari	405	22,918	23,107	1	22,918	23,107	22,907
	420	23,767			23,767		
	450	25,465			25,465		

d. Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit 13%

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk pemeriksaan kuat tekan dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 13% didapatkan hasil pada umur 7 hari, 21 hari dan 28 hari terus mengalami peningkatan dari 22,536 Mpa sampai dengan 22,635 Mpa dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 22,457 Mpa. Rincian hasil pengujian pada sampel dengan substitusi abu cangkang kelapa sawit 0%, berikut adalah Tabel 5 yang dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Substitusi Abu Cangkang Kelapa Sawit 13%

Umur	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Aktual (MPa)	Faktor umur	Kuat Tekan28 Hari (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Mpa
7 hari	260	14,713	14,430	0,65	22,635	22,200	22,457
	255	14,430			22,200		
	250	14,147			21,765		
21hari	370	20,938	21,409	0,95	22,040	22,536	22,457
	385	21,787			22,933		
	380	21,504			22,635		
28 hari	400	22,635	22,635	1	22,635	22,635	22,457
	405	22,918			22,918		
	395	22,352			22,352		

2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk pemeriksaan kuat tarik belah beton dengan penggunaan 4 variasi abu cangkang kelapa sawit yaitu 0%, 9%, 11% dan 13% pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tarik belah beton terus mengalami penurunan nilai rata-rata untuk setiap penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit. Nilai ini terus mengalami penurunan dari 2,453 Mpa menjadi 2,288 Mpa yang dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Hasil perhitungan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari

Abu Cangkang Kelapa Sawit	Berat BendaUji Kering (Kg)	Beban Maksimum(kN)	Kuat Tarik Belah Aktual (MPa)	Rata-Rata Kuat Tarik Belah Aktual(MPa)
0%	12,34	160	2,265	2,453
	12,26	180	2,548	

	12,17	180	2,548	
9%	12,51	170	2,406	2,383
	12,23	165	2,335	
	12,31	170	2,406	
	12,65	160	2,265	
11%	12,15	170	2,406	2,312
	12,84	160	2,265	
	12,62	165	2,335	
113%	12,11	160	2,265	2,288
	12,46	160	2,265	

3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

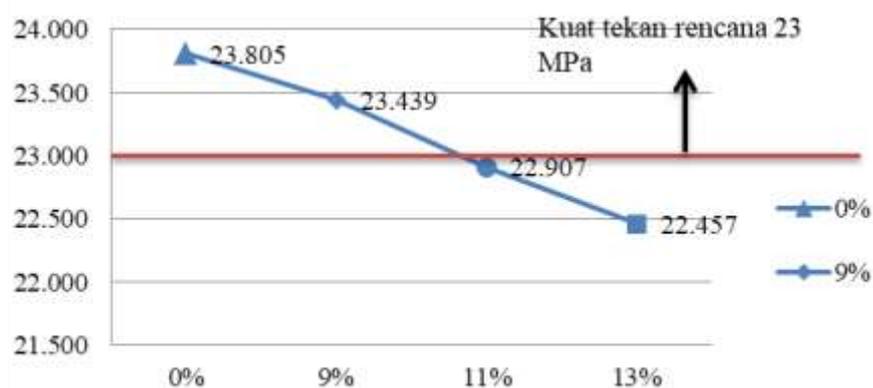
Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk pemeriksaan kuat tarik belah beton dengan penggunaan 4 variasi abu cangkang kelapa sawit yaitu 0%, 9%, 11% dan 13% pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat lentur beton terus mengalami penurunan nilai rata-rata untuk setiap penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit. Nilai ini terus mengalami penurunan dari 3,475 Mpa menjadi 2,065 Mpa yang dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7. Hasil perhitungan kuat lentur beton

Abu cangkang kelapa sawit	Beban Max(Ton)	Kuat Lentur Aktual (Mpa)	Rata Rata Kuat Lentur Aktual (MPa)
0%	2,6	3,928	3,475
	2,1	3,173	
	2,2	3,324	
9%	1,9	2,871	2,921
	1,8	2,720	
	2,1	3,173	
11%	1,8	2,720	2,569
	1,7	2,569	
	1,6	2,418	
13%	1,2	1,813	2,065
	1,6	2,418	
	1,3	1,964	

4. Pembahasan Uji Kuat Tekan

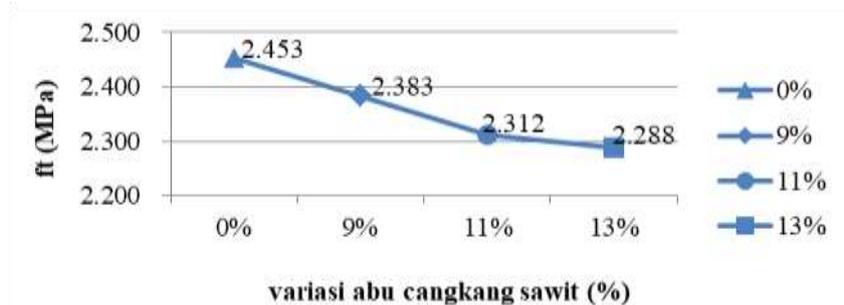
Perkembangan beton dari umur beton 7 - 28 hari terhadap nilai kuat tekan beton untuk variasi 0% diperoleh kuat tekan rata-rata 23,805 Mpa. Untuk variasi 9% kuat tekan rata-rata sebesar 23,439 Mpa. Sedangkan untuk variasi 11% diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 22,907 Mpa. Dan variasi 13% nilai kuat tekan rata-rata diperoleh sebesar 22,457 Mpa.



Gambar 3. Hubungan kuat tekan rata-rata dengan variasi abu cangkang sawit

5. Pembahasan Uji Kuat Tarik Belah

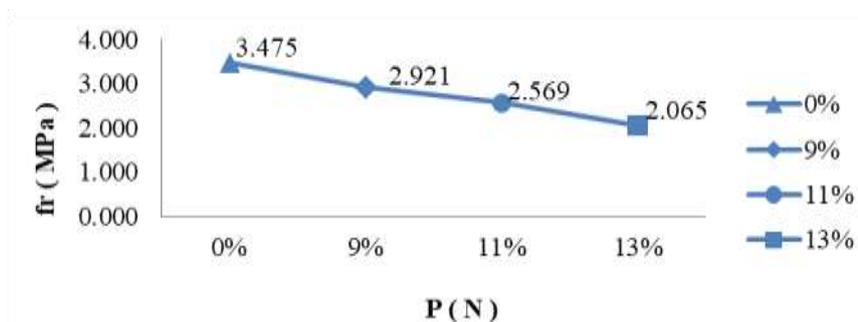
Berdasarkan grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar substitusi abu cangkang kelapa sawit terhadap semen maka nilai kuat tarik belah rata-rata yang di hasilkan mengalami penurunan. Nilai kuat tarik belah maksimum diperoleh pada variasi 0% sebesar 2,453 Mpa. Sedangkan nilai kuat tarik belah minimum pada variasi 13% dengan nilai sebesar 2,288 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh abu cangkang kelapa sawit kepada nilai kuat tarik belah rata-rata, tidak memperoleh hasil yang baik.



Gambar 4. Variasi abu cangkang kelapa sawit terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari

6. Pembahasan Uji Kuat Lentur

Berdasarkan grafik pada gambar 5 dapat dilihat bahwa penggunaan substitusi abu cangkang kelapa sawit kepada nilai kuat lentur rata-rata yang diperoleh dari sekian variasi mengalami penurunan. Nilai kuat lentur maksimum yang di peroleh pada variasi 0% yaitu sebesar 3,475 Mpa. Sedangkan nilai kuat lentur minimum pada variasi substitusi abu cangkang kelapa sawit 13% yaitu dengan nilai 2,065 Mpa.



Gambar 5. Variasi abu cangkang kelapa sawit terhadap kuat lentur 28 hari

KESIMPULAN

1. Pada variasi 9%, pengaruh penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti semen dan agregat sungai menghasilkan kekuatan beton yang paling tinggi.
2. Pemanfaatan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti semen dan agregat sungai, pada variasi 9% memenuhi nilai kuat tekan beton rencana, sedangkan variasi 11% dan 13% tidak memenuhi dari kuat tekan beton rencana. Untuk nilai kuat tarik belah beton mengalami penurunan mulai dari variasi 0% sampai dengan 13%. Demikian juga untuk nilai kuat lentur mengalami penurunan dari variasi 0% sampai dengan 13%. Hubungan kuat tekan dengan tarik belah pada setiap variasi memenuhi syarat ketentuan, yaitu berkisar antara 7% - 11% dari kuat tekannya. Sedangkan hubungan kuat tekan dengan kuat lentur diperoleh nilai koefisien x semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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. <https://doi.org/10.33369/ijts.4.2.43-50>
- [2] 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. <https://doi.org/10.24853/jurtek.14.1.119-126>
- [3] T. Sitorus dan E. F. R. Siahaan, "Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi," *Jurnal Teknik Sipil Usu*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2021. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/30172>
- [4] A. Yusra dan A. Amir, "Pengaruh Zat Tambah Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi," *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, vol. 2, no. 1, pp. 29-36, 2016. <http://jurnal.utu.ac.id/jtsipil/article/view/327>
- [5] 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. <https://doi.org/10.21063/jts.2019.V602.078-87>
- [6] F. Zulkarnain dan M. Y. Chair, "Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan Tambah Silica Gel Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder," *Educational Building*, vol. 8, no. 2, pp. 51-58, 2022. <https://doi.org/10.24114/ebjptbs.v8i2%20DES.41867>
- [7] 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. <https://doi.org/10.36050/berings.v5i01.139>
- [8] A. S. Klau, F. Phengkarsa dan O. J. Sanggaria, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Substitusi Semen Pada Beton," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 3, no. 4, pp. 479-488, 2021. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.327>
- [9] F. I. Alnaldi, H. Parung dan B. Kusuma, "Pemanfaatan Agregat Sungai Aralle Kecamatan Buntu Malangka Sebagai Bahan Campuran Beton," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 97-109, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i1.382>
- [10] L. E. Paranggai, J. Mara dan L. Febriani, "Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Beton," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 225-233, 2022. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i2.451>
- [11] R. Rachman, "Inovasi Teknologi Bahan Konstruksi," dalam *Teknologi Bangunan dan Material*, Makassar: Tohar Media, 2021, hlm. 11-21