

Pengaruh Penambahan Abu Ijuk Pada Beton Normal

Ika Tangma'ti *¹, Frans Phengkarsa*², Lisa Febriani*³

*¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Indonesia, datupuangermita@gmail.com

*^{2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Indonesia, Fphengkarsa@hotmail.com*² dan lisa@ukipaulus.ac.id*³

Corresponding Author: datupuangermita@gmail.com

Abstrak

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling umum digunakan di sektor industri. Hal inilah yang mendorong pemanfaatan abu ijuk sebagai bahan tambah pada beton. Ijuk yang kurang dimanfaatkan dan dibiarkan begitu saja memunculkan ide baru yaitu memanfaatkan ijuk tersebut sebagai bahan tambah pada beton. Metode *American Concrete Institute* (ACI) digunakan untuk menyiapkan sampel. Pengujian dilakukan bila beton telah melewati waktu penahanan yaitu 7, 21 dan 28 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan abu ijuk 3%, 6% dan 9% terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Pada penelitian ini direncanakan mutu beton yaitu 50 MPa. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan beton untuk variasi persentase 0%, 3%, 6% dan 9% secara berturut-turut sebesar 26,893 MPa, 26,799 MPa, 21,892 MPa dan 19,061 MPa, pengujian kuat tarik belah untuk variasi persentase 0%, 3%, 6%, dan 9% secara berturut-turut sebesar 2,453 MPa, 2,430 MPa, 2,170 MPa dan 1,887 MPa, dan pengujian modulus elastisitas untuk variasi persentase 0%, 3%, 6% dan 9% secara berturut-turut sebesar 22209,358 MPa, 21064,331 MPa, 19496,646 MPa dan 18971,406 MPa. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan penambahan abu ijuk sebagai bahan tambah mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi persentase abu ijuk.

Kata Kunci : Abu Ijuk, Beton Normal, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Modulus Elastisitas.

Abstract

Concrete is one of the most commonly used building materials in the industrial sector. This is what encourages the use of palm fiber ash as an added ingredient in concrete. Palm fiber which is underutilized and left alone gives rise to a new idea, namely to use the palm fiber as an added ingredient in concrete. The American Concrete Institute (ACI) method was used to prepare the sample. The test is carried out when the concrete has passed the holding time of 7, 21 and 28 days.. The purpose of this study was to determine the effect of adding 3%, 6% and 9% palm fiber ash on compressive strength, split tensile strength and modulus of elasticity. In this research, the concrete quality is planned to be 50 MPa. From the test results, it was obtained that the concrete compressive strength values for the percentage variations of 0%, 3%, 6% and 9% were respectively 26.893 MPa, 26.799 MPa, 21.892 MPa and 19.061 MPa, split tensile strength test for percentage variations of 0%, 3 %, 6%, and 9% respectively 2.453 MPa, 2.430 MPa, 2.170 MPa and 1.887 MPa, and testing the modulus of elasticity for the percentage variation of 0%, 3%, 6% and 9% respectively 22209, 358 MPa, 21064.331 MPa, 19496.646 MPa and 18971.406 MPa. From the proceeds of the study it can be concluded that the use

of the addition of palm fiber ash as an added ingredient decreased with increasing variations in the percentage of palm ashes.

Keywords : *Abu Ijuk, Normal Concrete, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Modulus of Elasticity.*

PENDAHULUAN

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas bahan dengan menggunakan bahan yang tersedia, ramah lingkungan dan ekonomis dengan mengidentifikasi bahan lain yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan alternatif dalam campuran beton seperti abu ijuk. [1]. Beton adalah bahan komposit (campuran) dari beberapa bahan yang komponen utamanya adalah campuran agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambahan lainnya dalam proporsi tertentu. [2]. Ijuk (*Arenga Pinnata*) merupakan serat alam yang istimewa dibandingkan dengan serat alam lainnya. Didapatkan dari pohon aren, serat hitam ini memiliki banyak khasiat seperti: Awet, sulit terurai dan tahan terhadap asam dan garam laut. [3]. Penggunaan abu ijuk digunakan sebagai bahan tambah dengan persentase penambahan 0%, 3%, 6% dan 9%. Pada pengujian kuat tekan dengan variasi penambahan abu ijuk 3% hanya mengalami kenaikan sebesar 0,072% dari kuat tekan rencana yaitu 25 MPa. Sedangkan pada variasi penambahan 6% dan 9% mengalami penurunan. [4]

Hasil penelitian pada beton umur 28 hari yang dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* didapat hasil kuat tekan beton untuk penambahan 0% sebesar 26.893 MPa, sedangkan pada variasi penambahan 3%, 6% dan 9% berturut-turut sebesar 26.799 MPa, 21.892 MPa dan 19.061 MPa. Sehingga berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, penggunaan atau penambahan abu ijuk yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton, karena abu ijuk dapat menyebabkan proses pengikatan komponen beton menjadi kurang optimal. [5]

Beberapa penelitian sebelumnya, yaitu pengaruh serbuk besi dan natrium silika terhadap beton menghasilkan nilai kuat tarik dan tekan mengalami penurunan akibat berkurangnya daya ikat serbuk besi [6], perbandingan beton dengan menggunakan Portland Composite Cement dan Ordinary Portland Cement menghasilkan kuat tarik belah untuk semen OPC lebih tinggi dibandingkan semen OPC [7], pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai substitusi agregat halus pada beton dapat menurunkan kekuatan dari beton [8], pengaruh penggunaan pasir putih sebagai bahan campuran beton mutu tinggi dengan hasil setelah ditambahkan *superplasticizer* terjadi pengenceran pada campuran, sehingga tingkat *workability* meningkat [9], pemanfaatan *fly ash* sebagai substitusi semen dan batu gamping sebagai agregat pada beton menghasilkan substitusi 15% pada *fly ash* aman untuk digunakan dalam pembuatan beton [10].

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya tegangan per satuan luas yang mengakibatkan benda uji beton hancur dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin *press*. Nilai kuat tekan beton ditentukan dengan menggunakan metode standar dengan mesin uji dengan membebani sampel beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) dengan beban tekan bertingkat hingga hancur.

Adapun rumus yang digunakan dalam menghitung kuat tekan beton adalah:

$$\text{Kuat Tekan} = P/A \tag{1}$$



Gambar 1. Contoh pengujian kuat tekan beton

2. Kuat Tarik Belah

Uji tarik belah menggunakan beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm ditempatkan memanjang pada alat pengujian, kemudian diberikan beban tekan secara merata ke arah memanjang, setelah itu beban tekan diterapkan sama tegak lurus dari atas ke seluruh penampang silinder. Jika kekuatan tarik terlampaui, sampel dibagi menjadi dua bagian. Tegangan tarik yang terjadi saat spesimen dibelah disebut sebagai kekuatan atau tegangan tarik silinder belah. Kuat tarik belah dapat dihitung dengan rumus :

$$f_t = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \quad (2)$$



Gambar 2. Pengujian kuat tarik belah

3. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan sifat mekanik yang sangat penting dari struktur beton. Modulus elastisitas beton diuji dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Indikator *dial* dipasang pada benda uji silinder untuk mengukur pemendekan pada benda uji.

Modulus elastisitas beton dapat dihitung dengan rumus :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (3)$$



Gambar 3. Pengujian modulus elastisitas

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Pengambilan Material

Lokasi pengambilan Agregat Kasar dan Agregat Halus berasal dari Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi pengambilan serat ijuk berasal dari Desa Tangge', Kelurahan Sa'dan Malimbong, Kecamatan Sa'dan, Kabupaten Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan



Gambar 4. Lokasi Pengambilan Material



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Abu Ijuk

2. Bahan

- a. Semen Portland yang bersumber dari PT. Semen Tonasa.



Gambar 6. Semen

- b. Agregat halus dan kasar diambil dari Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa.



Gambar 7. Agregat Kasar



Gambar 8. Agregat Halus

- c. Abu ijuk berasal dari Toraja Utara



Gambar 9. Abu Ijuk

3. Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan sifat-sifat agregat akan menentukan apakah agregat tersebut cocok untuk digunakan dalam campuran beton. Pengujian karakteristik agregat halus dan kasar yang digunakan memenuhi standar yang telah ditetapkan dan dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton. Hasil uji karakteristik ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No.	Karakteristik	Hasil	Interval ASTM	Keterangan
1	Kadar Lumpur	1.91%	0,20 % - 6,00 %	Memenuhi
2	Absorpsi (Penyerapan)	0.529%	0,20 % - 2,00 %	Memenuhi
3	Modulus Kehalusan	2.624	2,20 – 3,10	Memenuhi
4	Berat Volume Gembur	1410.710 kg/m ³	>1,200 kg/ltr	Memenuhi
5	Kadar Air	4.39%	3,00 % - 5,00 %	Memenuhi
6	Kadar Organik	No.1	< No.3	Memenuhi
7	Berat Jenis SSD	2.635	1,60 – 3,20	Memenuhi
8	Berat Volume Padat	1597.861 kg/m ³	>1,200 kg/ltr	Memenuhi

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No.	Karakteristik	Hasil	Interval ASTM	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0.46%	0,2 % - 1,00 %	Memenuhi
2	Modulus Kehalusan	6.947	5,50 – 8,50	Memenuhi
3	Absorpsi (Penyerapan)	1.153%	0,20 % - 2,00 %	Memenuhi
4	Kadar Air	0.62%	0,50 % - 2,00 %	Memenuhi
5	Berat Jenis SSD	2.704	1,60 – 3,20	Memenuhi
7	Berat Volume Padat	1627.48 kg/liter	1,40– ,90 kg/ltr	Memenuhi
8	Berat Volume Gembur	1555.43 kg/liter	1,40 – 1,90 kg/ltr	Memenuhi

4. Mix Design

Desain campuran beton standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode ACI 211.1-91. Menurut prosedur eksperimental metode ACI 211.1-91, maka perhitungan komposisi bahan-bahan penyusun beton dengan kuat rencana 25 MPa adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Bahan yang dibutuhkan untuk 1 m³ campuran beton

Bahan	Berat
Agregat Halus	3,526 kg
Agregat Kasar	5,898 kg
Semen	2,265 kg
Air	0,918 liter

5. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Semua bahan disatukan dalam mesin pencampur (molen) sesuai porsi yang telah ditentukan.
- Uji slump yang dilakukan mengacu pada metode ACI (*American Concrete Institute*) yang memiliki nilai uji *slump* 70 – 100 mm.
- Proses mencetak benda uji dilakukan dengan cetakan berbentuk silinder dengan ukuran 15×30 cm dan dibiarkan selama 24 jam.
- Pemberian kode pada benda uji disesuaikan dengan umur dan variasi benda uji.



Gambar 10. Benda Uji

6. Perawatan Benda Uji

Perawatan (*curing*) dilakukan dengan menempatkan sampel yang telah disiapkan ke dalam bak perendaman hingga menutupi seluruh sampel. Perawatan dilakukan sedemikian rupa untuk menghindari penguapan yang berlebihan pada beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Trial Mix

Pencampuran *trial mix* dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi yang dihitung memenuhi kuat tekan yang dirancang (f'_c) menggunakan koefisien 3 hari untuk pengujian. Ketika kekuatan tekan (f'_c) yang ditentukan telah tercapai, pembuatan sampel dapat dilakukan.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Trial Mix*

Sampel	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)
--------	------	------------------	------------------------------

I		25,478	
II	3 Hari	28,662	26,274
III		27,662	

Hasil uji campuran di atas menunjukkan mutu rencana 25 MPa telah terpenuhi, sehingga dapat dilanjutkan untuk proses pembuatan benda uji.

2. Kuat Tekan Beton

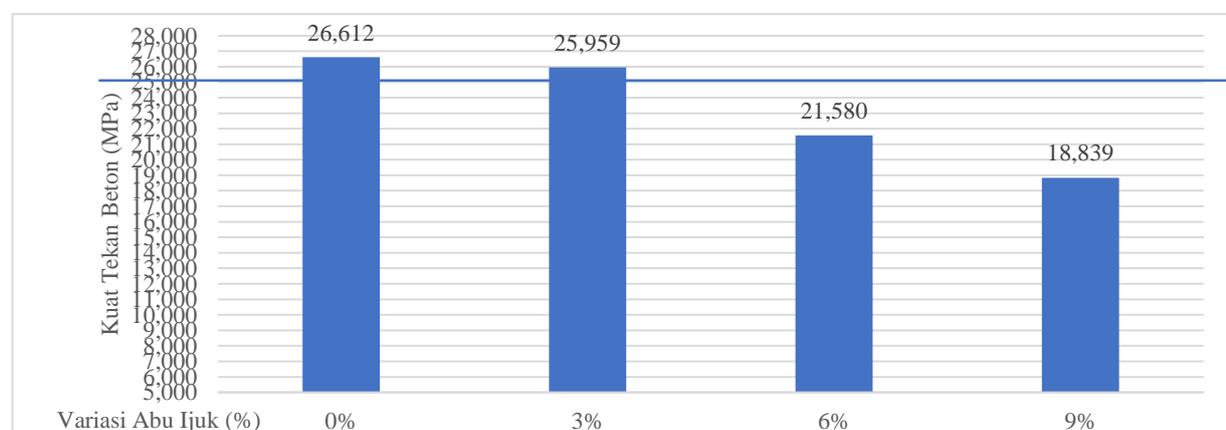
Nilai kuat tekan yang diperoleh saat pengujian dengan mesin *press* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Variasi Abu Ijuk	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Rata-Rata Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	27.459	26.893
	26.327	
	26.893	
3%	26.893	26.799
	27.176	
	26.327	
6%	22.364	21.892
	21.515	
	21.798	
9%	18.401	19.061
	19.816	
	18.967	

Dari tabel diatas dapat dilihat hasil kuat tekan optimum terjadi pada penambahan abu ijuk 0% terdapat pada sampel 1 dan hanya pada penambahan abu ijuk 3% yang memenuhi kuat tekan rencana yaitu 25 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penambahan abu ijuk maka nilai kuat tekannya semakin menurun.

Gambar 11 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya usia beton, maka semakin meningkat pula kuat tekan betonnya. Namun, semakin banyak penambahan Abu Ijuk pada beton maka nilai kuat tekan beton semakin menurun. Nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari pada variasi 0%, 3%, 6% dan 9% adalah 26,612 MPa, 25,959 MPa, 21,580 MPa dan 18,839 MPa sehingga hanya pada penambahan abu ijuk sebesar 3% yang mencapai nilai kuat tekan rencana yaitu 25 MPa.



Gambar 11. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton

3. Kuat Tarik Belah Beton

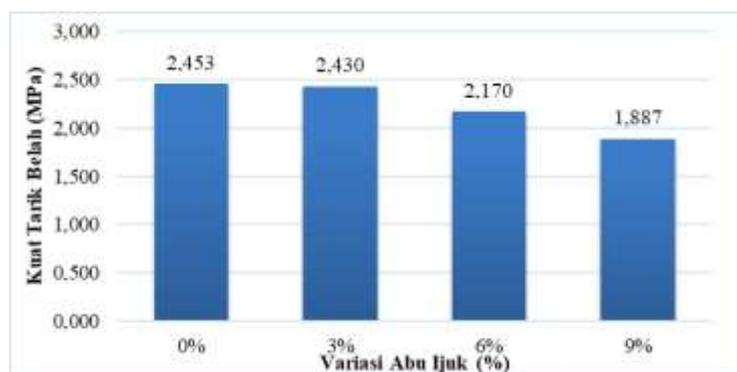
Pengujian ini dilakukan pada saat sampel berumur 28 hari dengan menggunakan mesin tekan untuk mengetahui kekuatan tarik belah maksimum akibat beban beton (P) dalam satuan kN.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Variasi	Umur Beton	Kuat Tarik Belah Beton	Rata-Rata
0%	28	2.619	2.453
		2.335	
		2.406	
3%	28	2.548	2.43
		2.477	
		2.265	
6%	28	2.194	2.17
		1.911	
		2.406	
9%	28	1.769	1.887
		2.052	
		1.84	

Nesarnya beban maksimum (P) berbanding lurus dengan besarnya nilai kuat tarik belah beton (f_t). Dari hasil pengujian di dapatkan nilai rata-rata kuat tarik belah beton (f_t) pada variasi 0%, 3%, 6% dan 9% adalah MPa 2,453, 2,430 MPa, 2,170 dan 1,887 MPa. Nilai kuat Tarik belah beton terbesar pada variasi 0% yaitu 2,453 MPa. Semakin tinggi persentase penambahan abu ijuk pada beton maka nilai kuat tarik belah semakin menurun.

Kuat tarik belah beton terbesar pada penambahan 0% yaitu 2,453 MPa. Namun, bila dilihat dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase variasi abu ijuk maka nilai kuat tarik belah semakin menurun.



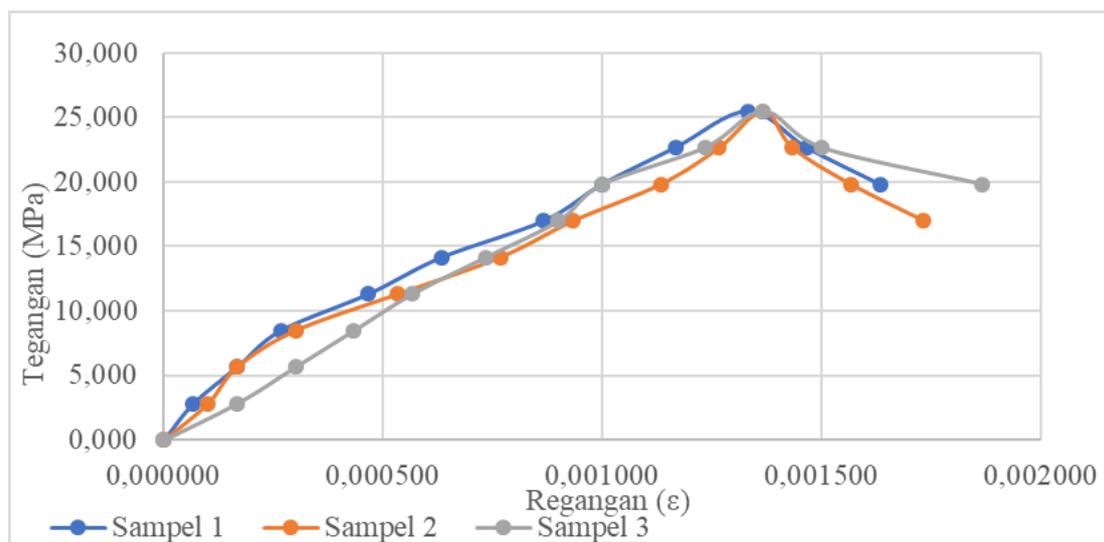
Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

4. Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada saat sampel berumur 28 hari dengan menggunakan mesin uji tekan untuk mengetahui perbandingan antara tegangan dan regangan pada beton dimana pembacaan *dial gauge* vertikal dilakukan setiap kenaikan 50 kN. nilai modulus elastisitas berbanding terbalik dengan persentase variasi abu ijuk dimana semakin tinggi penambahan abu ijuk maka semakin menurun pula nilai modulus elastisitasnya. Nilai modulus elastisitas beton terbesar terdapat pada penambahan abu ijuk 0% yaitu dengan nilai rata-rata 22209,4 MPa.

Tabel 7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Variasi	Umur Beton	Modulus Elastisitas	Rata-Rata Modulus Elastisitas
0%	28	23964,2	22209,4
		22501,7	
		20162,2	
3%	28	22123,5	21064,3
		20907,3	
		20162,2	
6%	28	19392,5	19495,6
		19496,6	
		19712,2	
9%	28	19247,2	18971,4
		18683,7	
		18983,4	



Gambar 13. Grafik Modulus Elastisitas Beton

Hubungan variasi 0% antara tegangan dan regangan memiliki nilai tegangan maksimum 25,478 MPa dengan regangan 0,00051 dan terdapat pada sampel 3. Pada hasil penelitian didapatkan nilai tegangan maksimum terbesar terjadi pada variasi 3% yaitu sebesar 27,176 dengan nilai regangan 0,00045. Nilai modulus elastis rata-rata terbesar didapat pada variasi 0% yaitu sebesar 22209,4 MPa.

PEMBAHASAN

1. Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah

Untuk menentukan nilai persentase kuat tarik belah beton (f_t) terhadap kuat tekan beton (f'_c), ditentukan perbandingan kuat tekan beton (f'_c) terhadap kuat tarik belah beton (f_t). Dari hasil uji kuat tekan beton (f'_c) pada umur 28 hari pada variasi 0%, 3%, 6% dan 9% didapatkan sebesar 26,893 MPa, 26,799 MPa, 21,892 MPa dan 19,061 MPa.

Tabel 8. Persentase Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah (%)

Persentase Abu Ijuk	$f'c$	Ft	Persentase Hubungan
0%	25	2.453	9.812
3%		2.430	9.719
6%		2.170	8.681
9%		1.887	7.549

Nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk variasi abu ijuk 0%, 3%, 6% dan 9% antara lain 26,893 MPa, 26,799 MPa, 21,892 MPa dan 19,061 MPa. Adapun nilai kuat Tarik belah beton antara lain 2,453 MPa, 2,430 MPa, 2,170 MPa dan 1,887 MPa. Tabel di atas memberikan nilai persentase rasio kuat tekan ($f'c$) terhadap kuat tarik belah (ft) untuk varietas. 0%, 3%, 6% dan 9% adalah 9,814%, 9,719%, 8,681 dan 7,549%. Nilai tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan yaitu 7% -11%.

2. Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Hubungan antara kuat tekan beton ($f'c$) dan modulus elastisitas beton (E) digunakan untuk menentukan rasio tegangan-regangan.

Tabel 9. Persentase Hubungan antara Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas (%)

Variasi Abu Ijuk	$f'c$ (Mpa)	E (Mpa)	Modulus Elastisitas Teoritis ($4700\sqrt{f'c}$)
0%	25	22209.358	23500.000
3%		21064.331	23500.000
6%		19496.646	23500.000
9%		18971.406	23500.000

Dari hasil pengujian kuat tekan beton ($f'c$) pada umur 28 hari dengan variasi 0%, 3%, 6% dan 9% didapatkan nilai rata-rata sebesar 26,893 MPa, 26,799 MPa, 21,892 MPa dan 19,061 MPa dan hasil pengujian modulus elastisitas beton (E) di dapatkan nilai rata-rata dari variasi 0%, 3%, 6% dan 9% adalah 22209.358 MPa, 21064.331 MPa, 19496.646 MPa dan 18971.406 MPa. Sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas teoritis (E_c) dari variasi 0%, 3%, 6% dan 9% adalah 23500.000 MPa.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan ($f'c$) pada persentase 3%, 6% dan 9% mengalami penurunan sebesar 0,349%, 18,596% dan 29,123% dari penambahan 0% abu ijuk yaitu 26,893 MPa. Pada hasil pengujian kuat tarik belah (ft) mengalami penurunan berturut-turut sebesar 0,938%, 11,527% dan 23,074% dari penambahan 0% abu ijuk. Demikian juga untuk pengujian modulus elastisitas (E) didapatkan nilai yang terus menurun dari penambahan 0%. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penambahan abu ijuk dapat mempengaruhi nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas karena dapat menaikkan atau mengurangi nilainya. Persentase hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah pada variasi 0%, 3%, 6% dan 9% berturut-turut sebesar 9.812%, 9.719%, 8.681% dan 7.549%. Sedangkan, korelasi nilai modulus elastisitas (E) terhadap nilai kuat tekan ($f'c$) diperoleh nilai modulus elastisitas teoritis sebesar 23500.000 MPa.

SARAN

Disarankan untuk penelitian lebih lanjut agar menggunakan variasi abu ijuk tidak lebih dari 3% karena dapat menurunkan mutu beton. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai kuat tekan optimum pada penambahan 3% abu ijuk. Oleh sebab itu, disarankan untuk penelitian selanjutnya boleh menggunakan variasi ijuk dan dikombinasikan dengan material lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. B. Setiawan, N. Kartikaputra, J. T. Sipil, F. Teknik, S. Pengaruh Penambahan Serat Ijuk Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Desak pada Beton Normal. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, 2014.
- [2] A. Nugroho. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Sifat Mekanik Beton Busa Ringan, *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 24, no. 2, hlm. 139–144, 2017, doi: 10.5614/jts.2017.24.2.4.
- [3] A. Maufida. *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Perlakuan Perendaman Air Tawar Dan Air Laut*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Digital Repository Universitas Jember, hlm. 2019–2022, 2018.
- [4] D. Heldita. Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton (Agregat Kasar Ex Desa Sungai Kacil, Agregat Halus Ex Desa Karang Bintang, Abu Sekam Padi Ex Desa Berangas, *Teknologi Aplikasi Konstruksi*: vol. 8, no. 1, hlm. 46–52, 2019.
- [5] P. Studi dan D. K. Bangunan. *Studi Eksperimental Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton dengan Penambahan Serat Ijuk Aren*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil. Politeknik Negeri Manado, 2019.
- [6] Y. K. J. Randa, F. Phengkarsa, dan D. Sandy. Pengaruh Serbuk Besi dan Natrium Silika Serta Natrium Hidroksida Terhadap Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 5, no.1, hlm, 151-160, 2023.
- [7] V. P. Kristianto, J. Tanijaya, dan O. J. Sanggaria. Perbandingan Beton dengan Menggunakan *Portland Cement Composite* dan *Ordinary Portland Cement*. *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 3, no.3, hlm. 406-411, 2021.
- [8] 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, hlm. 225-233, 2022.
- [9] M. M. Siranga, F. Phengkarsa, dan S. R. Tonapa. Pengaruh Penggunaan Pasir Putih Sebagai Bahan Campuran Beton Mutu Tinggi. *Paulus Civil Engineering Journal*. vol. 3, no,3, hlm. 341-352, 2021.
- [10] W. Desliono, H. Parung, dan S. R. Tonapa. Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen dan Batu Gamping Sebagai Agregat pada Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 3, no.2, hlm. 209-216, 2021.