



PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BIJI ENAU TERHADAP KEKUATAN BETON

¹ Andas Setiawan, ² Andi Sulfanita, ³ Hendro Widarto, ⁴ Adnan

^{1*234} Universitas Muhammadiyah Parepare

Koresponden Author : ajhy7460@gmail.com, hendrowidarto99@gmail.com

Info Artikel		ABSTRAK
Diajukan	: <i>Di isi tanggal pengiriman</i>	Abstrak
Diperbaiki	:	Andas Setiawan, 2024. Dengan judul penelitian Pengaruh Penambahan Limbah Biji Enau Terhadap Kekuatan Beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah biji enau kering sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap kekuatan tekan beton dengan variasi persentase 5%, 10%, dan 15%. Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, menggunakan bahan dari Kulinjang Desa Tuara, Enrekang. Pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen langsung di laboratorium (data primer) dan kajian literatur (data sekunder).
Disetujui	:	Hasil menunjukkan bahwa penambahan limbah biji enau mengurangi kekuatan tekan beton. Pada umur 28 hari, beton tanpa limbah biji enau mencapai kuat tekan 25.29 MPa, sedangkan beton dengan 15% limbah biji enau hanya mencapai 14.34 MPa. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh gangguan pada proses hidrasi semen yang diakibatkan oleh struktur limbah organik. Meskipun beton mengalami peningkatan kekuatan tekan seiring bertambahnya umur, campuran dengan limbah biji enau tidak mencapai kuat tekan yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi penggunaan zat aditif atau penyesuaian proporsi material untuk mencapai target kekuatan tekan. Evaluasi teknis dan ekonomis lebih lanjut diperlukan sebelum penerapan luas limbah biji enau dalam konstruksi beton.

Kata Kunci: Limbah Biji Enau, Kekuatan Beton.

ABSTRACT

Andas Setiawan, 2024. With the research title The Effect of Adding Enau Seed Waste on Concrete Strength. This research aims to evaluate the effect of adding dry palm kernel waste as a partial replacement for coarse aggregate on the compressive strength of concrete with varying percentages of 5%, 10% and 15%. The type of research used was a laboratory experiment carried out at the Civil Engineering Laboratory of the Muhammadiyah University of Parepare, using materials from Kulinjang, Tuara Village, Enrekang. Data collection was carried out through direct experiments in the laboratory (primary data) and literature review (secondary data).

The results show that the addition of palm seed waste reduces the compressive strength of concrete. At 28 days, concrete without palm kernel waste reached a compressive strength of 25.29 MPa, while

concrete with 15% palm kernel waste only reached 14.34 MPa. This decrease in strength is caused by disturbances in the cement hydration process caused by the structure of organic waste. Although concrete increases in compressive strength with age, the mixture with palm seed waste does not achieve the desired compressive strength. Therefore, it is necessary to evaluate the use of additives or adjust material proportions to achieve the target compressive strength. Further technical and economic evaluation is needed before widespread application of palm kernel waste in concrete construction.

Keywords: **Addition of Enau Seed Waste, Concrete Strength**

PENDAHULUAN

Beton merupakan material utama yang digunakan dalam pembuatan bangunan. Beton sendiri terdiri dari semen, agregat (agregat kasar, agregat halus) dan air. Dalam pembuatan beton dengan mutu tertentu perlu ditentukan jumlah semen dan agregat serta air yang sesuai. Pencampuran air dan semen akan menjadi pasta yang berfungsi untuk merekatkan agregat - agregat dalam beton. Jumlah pasta pada pembuatan beton sekitar 30-40% dari volume dan berat total beton. Sedangkan jumlah agregat sebesar 60-70%, (Riyono, 2022).

Pembangunan di bidang konstruksi yang terus berjalan membutuhkan berbagai macam kebutuhan diantaranya adalah kebutuhan beton, demikian pula kebutuhan material pembentuknya. Dalam usaha untuk mengurangi tingkat kerusakan lingkungan akibat penambangan batu kali secara terus menerus, perlu dicari bahan alternatif pengisi beton dari sisi material terutama dari limbah industri maupun limbah hasil pertanian yang telah banyak dilakukan sebagai pengganti atau pengganti sebagian agregat kasar untuk mengurangi jumlah agregat kasar berupa pecahan batu kali tanpa mengurangi kuat tekan beton

Limbah biji enau yang banyak dijumpai di tempat-tempat penghasil kolang-kaling atau jatuh disekitar pohon aren akibat pembusukan buah. Saat ini pengolahan limbah biji enau masih belum bisa diolah secara maksimal, sehingga masih banyak biji enau yang dibuang.

Guna meningkatkan nilai ekonomis dari limbah tersebut, maka perlu difikirkan dan penelitian cara pemanfaatan lainnya, salah satunya adalah pemanfaatan limbah biji enau kering

sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada pembuatan beton. Permasalahannya, seberapa besar pengaruh penggunaan biji enau sebagai pengganti sebagian agregat kasar bila dibandingkan dengan pecahan batu kali secara keseluruhan dalam pembuatan beton.

Penelitian ini dilaksanakan dalam upaya mencari alternatif pengganti bahan dasar beton yang berupa batu pecah, diganti sebagian dengan biji enau. Penelitian ini memfokuskan pada penentuan optimasi pengaruh penggunaan biji salak sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan beton.

Diharapkan dari penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat serta dengan mengkombinasikan campuran beton dengan mengganti sebagian agregat kasar dengan biji enau kering dapat menciptakan atau menghasilkan beton dengan mutu yang baik dan ekonomis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen, yaitu penelitian di laboratorium yang bertujuan untuk menyelidiki sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Proses penelitian dilakukan dengan melakukan serangkaian pengujian terhadap karakteristik bahan yang digunakan dengan persyaratan yang ditentukan.

Data yang diperoleh melalui eksperimen di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penelitian ini berfokus pada variasi campuran dari biji enau yang akan dijadikan sebagai penambahan sebagian agregat kasar. Jumlah sampel yang dibutuhkan pada setiap variasi adalah:

Tabel 3. 1 Variasi campuran keramik



Perbandingan	Variasi	Umur (Hari)	Beton/ Variasi	Jumlah
Agregat Kasar 100% Biji Enau 0%	0%	7	3	9
		14	3	
		28	3	
Agregat Kasar 95% Biji Enau 5%	5%	7	3	9
		14	3	
		28	3	
Agregat Kasar 90% Biji Enau 10%	10%	7	3	9
		14	3	
		28	3	
Agregat Kasar 85 % Biji Enau 15 %	15%	7	3	9
		14	3	
		28	3	
Jumlah				36

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat Biji

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar (Kerikil)

Enau. Hasil rekapitulasi masing-masing pengujian ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

1. Agregat Kasar

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,8%	1,00%	0,90%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	18,7%	16,9%	17,8%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1,14%	1,42%	1,28%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,67	1,63	1,65	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,86	1,86	1,86	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	2,99%	3,09%	3,04%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,91	2,76	2,83	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,68	2,54	2,61	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,76	2,62	2,69	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,72	6,72	6,72	Memenuhi

Dari pengujian agregat kasar diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar Lumpur

Kadar lumpur pada agregat kasar menunjukkan persentase lumpur yang terkandung dalam agregat. Dalam standar

pengujian, kadar lumpur maksimum yang diizinkan adalah 1%. Berdasarkan hasil pengamatan, kadar lumpur dari dua kali pengujian berturut-turut adalah 0,8% dan 1,00%, dengan rata-rata 0,90%. Nilai ini masih di bawah batas maksimum yang diizinkan, sehingga agregat memenuhi syarat..

b. Keausan Agregat

Keausan agregat menunjukkan tingkat keausan agregat saat diuji dalam kondisi tertentu. Batas keausan maksimum yang diizinkan adalah 50%. Hasil pengamatan menunjukkan nilai keausan masing-masing 18,7% dan 16,9%, dengan rata-rata 17,8%. Nilai ini jauh di bawah batas maksimum, sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat.

c. Kadar Air

Kadar air agregat menunjukkan persentase air yang terkandung dalam agregat. Batas kadar air yang diizinkan adalah antara 0,5% hingga 2%. Hasil pengamatan menunjukkan kadar air 1,14% dan 1,42%, dengan rata-rata 1,28%. Nilai ini berada dalam interval yang diizinkan, sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat pada campuran beton.

d. Berat Volume

Dari pengujian berat volume agregat baik dalam kondisi lepas maupun padat memenuhi syarat yang ditentukan. Untuk kondisi lepas, hasil pengamatan menunjukkan berat volume masing-masing sebesar 1,67 kg/liter dan 1,63 kg/liter, dengan rata-rata 1,65 kg/liter. Nilai ini berada dalam batas berat volume yang diizinkan, yaitu antara 1,6 hingga 1,9 kg/liter, sehingga agregat dalam kondisi lepas dinyatakan memenuhi syarat. Sementara itu, untuk kondisi padat, hasil pengamatan menunjukkan berat volume masing-masing sebesar 1,86 kg/liter, dengan rata-rata 1,86 kg/liter. Nilai ini juga berada dalam batas berat volume yang diizinkan, yaitu antara 1,6 hingga 1,9 kg/liter.

Oleh karena itu, agregat dalam kondisi padat dinyatakan memenuhi syarat. Secara keseluruhan, baik agregat dalam kondisi lepas maupun padat memenuhi persyaratan yang ditetapkan, menunjukkan bahwa kualitas agregat tersebut sesuai

dengan standar yang diinginkan dijadikan bahan campuran beton.

e. Absorpsi

Absorpsi menunjukkan kemampuan agregat untuk menyerap air, yang diukur sebagai persentase berat air yang diserap dibandingkan dengan berat kering agregat. Batas absorpsi maksimum yang diizinkan adalah 4%. Hasil pengamatan menunjukkan nilai absorpsi 2,99% dan 3,09%, dengan rata-rata 3,04%. Nilai ini masih di bawah batas maksimum, sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat bahan campuran beton

f. Berat Jenis

Dari pengujian berat jenis spesifik nyata menunjukkan berat jenis agregat dalam kondisi sebenarnya, dengan batas yang diizinkan antara 1,6 hingga 3,3. Hasil pengamatan menunjukkan berat jenis nyata sebesar 2,91 dan 2,76, dengan rata-rata 2,83, yang berada dalam interval yang diizinkan sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat. Berat jenis dasar kering, yang menunjukkan berat jenis agregat dalam kondisi kering, juga memiliki batas yang diizinkan antara 1,6 hingga 3,3.

Hasil pengamatan menunjukkan berat jenis dasar kering sebesar 2,68 dan 2,54, dengan rata-rata 2,61, yang berada dalam interval yang diizinkan sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat. Selain itu, berat jenis kering permukaan, yang menunjukkan berat jenis agregat setelah dikeringkan di permukaan, memiliki batas yang diizinkan antara 1,6 hingga 3,3. Hasil pengamatan menunjukkan berat jenis kering permukaan sebesar 2,76 dan 2,62, dengan rata-rata 2,69, yang berada dalam interval yang diizinkan sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat. dapat dijadikan bahan campuran beton.

g. Modulus Kehalusan

Modulus kehalusan menunjukkan ukuran butiran agregat, yang diukur dengan metode saringan. Batas modulus kehalusan yang diizinkan adalah antara 6,0 hingga 8,0. Hasil pengamatan menunjukkan nilai modulus kehalusan 6,72 untuk kedua pengamatan, dengan rata-rata 6,72. Nilai ini berada dalam interval yang diizinkan, sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat..

2. Agregat Halus

Tabel 2 Rekapitulasi pengujian agregat halus (Pasir Sungai)

NO	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	2,8%	5,0%	3,88%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 2	No. 2	No. 2	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	2,04%	2,88%	2,46%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,77	1,63	1,70	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,88	1,84	1,86	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	7,41%	2,82%	5,11%	Tidak
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	2,65	2,61	2,63	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,22	2,43	2,32	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,38	2,50	2,44	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	2,95	2,94	2,95	Memenuhi

Dari pengujian agregat halus diatas didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Kadar Lumpur

Dari pengujian kadar lumpur agregat halus diatas didapatkan Uji I menunjukkan kadar lumpur sebesar 2,8%, yang berada di bawah batas maksimal 5%. Uji II menunjukkan kadar lumpur sebesar 5,0%, yang tepat berada pada batas maksimal. Rata-rata kadar lumpur dari kedua uji ini adalah 3,88%.

Hasil menunjukkan bahwa pasir sungai memiliki kadar lumpur yang bervariasi namun tetap dalam batas yang diperbolehkan. Kadar lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi kualitas beton, namun hasil rata-rata 3,88% masih memenuhi standar sehingga pasir ini layak digunakan.

b. Kadar Organik

Dari pengujian tingkat kadar organik agregat halus diatas didapatkan kedua uji menunjukkan kadar organik pada tingkat No. 2, yang berada di bawah batas maksimal No. 3. Kadar organik yang lebih rendah dari No. 3 menandakan bahwa pasir sungai tidak mengandung banyak bahan organik yang dapat merusak kekuatan dan

daya tahan beton. Oleh karena itu, pasir ini dianggap sesuai untuk penggunaan konstruksi.

c. Kadar Air

Dari pengujian kadar air diatas diketahui Uji I menunjukkan kadar air sebesar 2,04%, sedikit di atas batas minimum 2%. Uji II menunjukkan kadar air sebesar 2,88%, berada di tengah-tengah interval 2% - 5%. Rata-rata kadar air adalah 2,46%. Kadar air dalam pasir penting untuk proses pengikatan semen. Kadar air yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi kualitas beton. Hasil menunjukkan bahwa kadar air pasir ini berada dalam batas yang diperbolehkan, sehingga cocok untuk penggunaan konstruksi.

d. Berat Volume

Dari pengujian berat volume rongga agregat kasar diketahui hasil uji kondisi lepas, pada Uji I menunjukkan berat volume sebesar 1,77 kg/liter. Uji II menunjukkan berat volume sebesar 1,63 kg/liter. Rata-rata berat volume adalah 1,70 kg/liter. Berat volume dalam kondisi lepas menunjukkan densitas pasir saat tidak

dipadatkan. Nilai yang berada dalam interval 1,4 - 1,9 kg/liter menunjukkan bahwa pasir memiliki kerapatan yang sesuai untuk aplikasi konstruksi.

Hasil uji Kondisi Padat, diketahui Uji I menunjukkan berat volume sebesar 1,88 kg/liter. Uji II menunjukkan berat volume sebesar 1,84 kg/liter. Rata-rata berat volume adalah 1,86 kg/liter. Berat volume dalam kondisi padat menunjukkan densitas pasir saat dipadatkan. Nilai yang berada dalam interval 1,4 - 1,9 kg/liter menunjukkan bahwa pasir memiliki kerapatan yang baik untuk aplikasi konstruksi dan akan memberikan stabilitas yang baik pada campuran beton.

e. Absorpsi

Dari pengujian I menunjukkan nilai absorpsi sebesar 7,41%, yang jauh di atas interval 0,2% - 2%. Uji II menunjukkan nilai absorpsi sebesar 2,82%, yang sedikit di atas interval. Rata-rata nilai absorpsi adalah 5,11%. Nilai absorpsi yang tinggi menunjukkan pasir memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi, yang dapat mengganggu proporsi air dalam campuran beton. Dengan nilai rata-rata 5,11%, pasir ini tidak memenuhi standar yang diharapkan untuk aplikasi konstruksi.

f. Berat Jenis

Dari pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil Berat jenis Nyata Uji I menunjukkan berat jenis sebesar 2,65. Uji II menunjukkan berat jenis sebesar 2,61. Rata-rata berat jenis adalah 2,63. Berat jenis nyata menunjukkan massa jenis pasir yang sebenarnya. Nilai dalam kisaran 1,6 - 3,3 menunjukkan bahwa pasir ini cukup padat dan sesuai untuk konstruksi.

Berat jenis Dasar Kering dari pengujian Uji I menunjukkan berat jenis sebesar 2,22. Uji II menunjukkan berat

jenis sebesar 2,43. Rata-rata berat jenis adalah 2,32. Berat jenis dasar kering menunjukkan densitas pasir saat dalam kondisi kering. Nilai ini berada dalam batas yang diizinkan, menunjukkan pasir ini stabil dan cocok untuk penggunaan konstruksi.

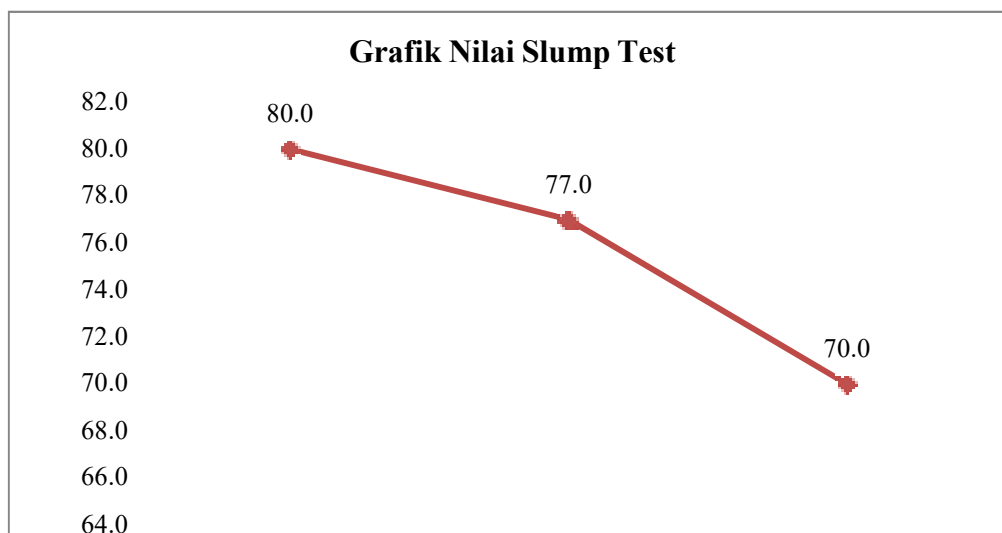
Berat jenis Kering Permukaan dari pengujian Uji I menunjukkan berat jenis sebesar 2,38. Uji II menunjukkan berat jenis sebesar 2,50. Rata-rata berat jenis adalah 2,44. Berat jenis kering permukaan menunjukkan densitas pasir saat permukaan kering. Nilai yang berada dalam interval 1,6 - 3,3 menunjukkan bahwa pasir ini memenuhi syarat dan cocok untuk aplikasi konstruksi.

g. Modulus Kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu Uji I menunjukkan modulus kehalusan sebesar 2,95. Uji II menunjukkan modulus kehalusan sebesar 2,94. Rata-rata modulus kehalusan adalah 2,95. Modulus kehalusan menunjukkan distribusi ukuran partikel pasir. Nilai yang berada dalam interval 1,50 - 3,80 menunjukkan bahwa pasir ini memiliki distribusi ukuran partikel yang baik dan sesuai untuk penggunaan dalam campuran beton.

3. Nilai Slump

Pada penelitian ini, pemeriksaan nilai slump yang dilakukan diperoleh hasil seperti gambar dibawah ini. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi jumlah variasi Biji Enau dicampurkan ke dalam adukan beton, maka nilai *workability* akan semakin menurun.



Dari pengujian slump diatas, tampak bahwa nilai slump turun dengan bertambahnya jumlah Biji Enau dalam campuran, hal ini dikarenakan Biji Enau yang tidak memiliki permukaan yang beraturan dan berongga sehingga pada saat dilakukan pencampuran, rongga pada Biji Enau saling mengisi atau saling mengikat sehingga nilai slump atau kelecekan pada campuran beton berkurang.

4. Kuat Tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 9 sampel. Yang terdiri dari 3 variasi

campuran biji enau yaitu 0%, 5%, 10% dan 15%. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 3 sampel untuk kuat tekan silinder dengan ukuran benda uji 15 x 30 cm. Sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

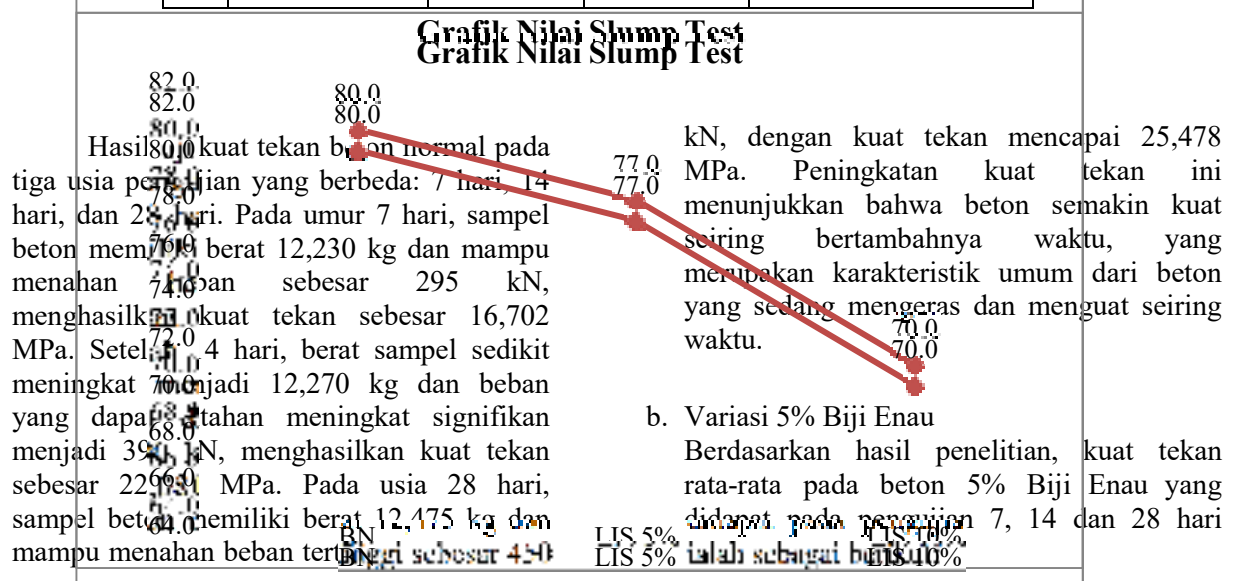
Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari beton normal dan 4 variasi campuran Biji Enau dengan 3 hari perawatan adalah sebagai berikut:

a. Beton normal (0% Biji Enau)

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton normal yang didapat pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 3 Rekap hasil kuat tekan beton normal

No	Umur	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat tekan f_c (Mpa)
1	7 Hari	12,230	295	16,702
2	14 Hari	12,270	390	22,081
3	28 Hari	12,475	450	25,478



Tabel 4 Rekap hasil kuat tekan beton variasi 5% Biji Enau

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan f_c (MPa)
1	7 Hari	12,121	245	13,87
2	14 Hari	11,970	328	18,58
3	28 Hari	12,041	381	21,60

Tabel di atas menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi 5% Biji Enau pada berbagai umur beton, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada umur 7 hari, berat beton adalah 12,121 kg dengan beban maksimum yang diterima sebesar 245 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 13,87 MPa. Pada umur 14 hari, berat beton sedikit menurun menjadi 11,970 kg, namun beban yang diterima meningkat menjadi 328 kN, menghasilkan kuat tekan sebesar 18,58 MPa.

Pada umur 28 hari, berat beton kembali meningkat menjadi 12,041 kg dengan beban maksimum 381 kN, menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 21,60 MPa. Dari data ini, terlihat bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton, menunjukkan proses pengerasan dan penguatan yang berlangsung dengan baik

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Studi ini menyajikan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi persentase limbah biji enau dalam campuran, dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 28 hari setelah pencampuran. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan limbah biji enau secara konsisten mengurangi kekuatan mekanis beton. Pada umur 7 hari, beton yang tidak mengandung limbah biji enau mencapai kuat tekan rata-rata 16.61 MPa, sedangkan beton dengan 15% limbah biji enau hanya mencapai 8.3 MPa. Penurunan ini terus terlihat pada umur 14 hari, di mana beton normal mencapai 22.46 MPa sementara beton dengan 15% limbah biji enau hanya mencapai 11.98 MPa. Meskipun ada sedikit peningkatan pada umur 28 hari, dengan beton normal mencapai 25.29 MPa dan beton 15% limbah biji enau mencapai 14.34 MPa, penurunan signifikan dari kekuatan beton normal tetap terlihat. Perkembangan

kuat tekan beton menunjukkan peningkatan secara signifikan seiring dengan bertambahnya umur beton, yang diukur pada interval waktu tertentu seperti 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Proses hidrasi semen yang terjadi pada awal pencampuran dan pematangan beton selama periode tersebut berkontribusi secara langsung terhadap peningkatan kuat tekan ini. Meskipun terdapat variasi dalam penggunaan limbah biji enau dalam campuran beton, proses-proses tersebut tetap berpengaruh, meskipun dengan dampak yang mungkin berbeda tergantung pada proporsi dan karakteristik limbah yang digunakan.

2. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa penambahan limbah biji enau menyebabkan penurunan kuat tekan beton secara signifikan, terutama pada persentase yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh struktur limbah organik yang berbeda dan kemungkinan gangguan terhadap proses hidrasi semen dalam beton. perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut. Berdasarkan data, pada umur 28 hari, hanya campuran beton normal (tanpa biji enau) yang mencapai kuat tekan di atas 25 MPa. Variasi dengan 5%, 10% dan 15% biji enau tidak mencapai kuat tekan rencana. Sehingga, untuk mencapai target kuat tekan 25 MPa, dapat dipertimbangkan untuk menggunakan campuran dengan penambahan zat aditif, atau melalui penyesuaian proporsi material yang lebih rendah dari yang di rencanakan dan proses pembuatan beton yang lebih optimal untuk meningkatkan kuat tekan. Evaluasi tambahan mengenai kelayakan teknis dan ekonomis perlu dilakukan sebelum menerapkan limbah biji enau secara luas dalam konstruksi beton.

Saran

1. Berdasarkan hasil analisis terhadap pengaruh limbah biji enau terhadap kuat tekan beton, diperlukan langkah-langkah optimasi yang tepat untuk memaksimalkan

kualitas campuran. Perlu dilakukan optimasi proporsi campuran beton dengan mempertimbangkan penambahan limbah biji enau sehingga dapat mengkompensasi pengurangan kekuatan yang terjadi.

2. Evaluasi ulang terhadap proporsi semen, pasir, dan agregat (kerikil) sangat dianjurkan untuk memastikan bahwa kuat tekan beton tetap terjaga atau bahkan meningkat sesuai dengan standar yang diinginkan. Dengan melakukan optimasi ini, diharapkan dapat menghasilkan campuran beton yang optimal dalam kinerja mekanisnya, menjaga keberlanjutan penggunaan limbah biji enau, serta mendukung efisiensi dalam konstruksi bangunan secara keseluruhan.
3. Disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan alternatif limbah organik atau material pengganti lain yang memiliki dampak yang lebih minimal terhadap sifat mekanis beton. Langkah ini akan membantu mengurangi penurunan kuat tekan yang disebabkan oleh limbah biji enau, sehingga memungkinkan untuk tetap mencapai kekuatan yang diinginkan dalam aplikasi konstruksi.
4. Selain itu, uji lebih lanjut dengan material lain perlu dilakukan untuk membandingkan hasilnya terhadap beton dengan limbah biji enau. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai opsi material alternatif yang dapat mengoptimalkan performa beton tanpa mengorbankan kekuatan strukturalnya. Dengan melakukan pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih baik dalam memanfaatkan limbah organik dalam konstruksi beton, menjaga keberlanjutan lingkungan, dan meningkatkan efisiensi penggunaan material konstruksi secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C 33-92 tentang Standard Specification for Concrete Aggregate. (1982). United States: ASTM

SNI-15-1990-032 tentang Persyaratan Gradasi Batu Pecah. (1990). Bandung: Badan Standar Nasional.

SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. (2002). Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Kimpraswil tentang Metoda, Tata Cara dan Spesifikasi Beton, Semen, Perkerasan Jalan Beton Semen. (2003). Jakarta: Balitbang.

Fernanda, S.R., Lay, R. A. S. & Latif, W. (2018). Pemanfaatan Limbah Biji Salak dan Tongkol Jagung Sebagai Campuran Beton yang Menghasilkan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mutu Tinggi Ramah Lingkungan. *Potensi*. 3(2): 1-8.

Kimpraswil tentang Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual: Air Minum Perkotaan. (2003). Jakarta: Balitbang.

Kuncoro, H. B. B., Darwis, Z. & Rahmat, A. A. (2021). Studi Eksperimental Pengaruh Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanik Beton Serat Bambu. *Fondasi*. 10(2): 134-143.

ASTM tentang Standards For Medical Computing. (1990). United States: ASTM

Badan Standar Nasional tentang Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. (2000). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Badan Standar Nasional tentang Semen Portland SNI 15-2049-2004. (2004). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Rahayu, D. (2018). Pengaruh Penambahan Serbuk Biji Salak Sebagai Filler Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Potensi*. 3(2): 1-8.

Riyono, M., Lestari, W. & Juara, A. (2022). Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Limbah Biji Salak Kering Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar. *Teras*. 12(1): 19-28.

Sulfanita, A., Dirawan, G. D., & Ali, M. I. (2021). Investigation of the Effect of using Salak Seeds as Coarse Aggregate in Concrete. *Asian Journal*. 9(3): 172-178.

Tjokrodinuljo, Kardiyono tentang Teknologi Beton. (1996). Yogyakarta: Nafiri

Wuryati, S., & Candra, R tentang *Teknologi beton.* (2001). Yogyakarta : Kanisius.