

Analisis Kuat Tekan Beton dengan Limbah Serat Bubut Besi sebagai Bahan Tambah Campuran Beton

Ina Siti Mahmudah¹, Dedy Rutama², Lintang Dian Artanti³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Jakarta Global University

Jl. Boulevard Grand Depok City, Tirtajaya, Sukmajaya, Depok, Jawa Barat

¹E-mail: inasitimahmudah@student.jgu.ac.id

Abstrak — Akibat besarnya penggunaan beton, muncul bentuk terobosan dengan menambah bahan penyusun beton tanpa mengurangi kualitas beton itu sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah serat bubuk besi dengan persentase sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3% sebagai campuran beton terhadap kuat tekan beton. Penelitian menunjukkan semakin banyak serat besi yang dipakai, maka beton yang dihasilkan semakin kental dan semakin sulit pematatannya. Pengujian pada umur 7 hari didapatkan nilai kuat tekan beton dengan penambahan serat besi sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3% mencapai 12,620 MPa, 14,211 MPa, 14,222 MPa, dan 12,888 MPa. Pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan beton dengan penambahan serat besi sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3% mencapai 21,38 MPa, 21,8 MPa, dan 19,778 MPa.

Kata kunci: beton; limbah serat bubuk besi; kuat tekan.

Abstract — As a result of the large use of concrete, a breakthrough has emerged by adding the ingredients that make up concrete without reducing the quality of concrete itself. This research aims to determine the effect of adding iron lathe fiber waste with percentages of 0%, 1%, 2% and 3% as a concrete mixture on the compressive strength of concrete. Research shows that the more iron fiber used, the thicker the resulting concrete and the more difficult it is to compact. Tests at the age of 7 days showed that the compressive strength values of concrete with the addition of iron fiber at 0%, 1%, 2%, and 3% reached 12,620 MPa, 14,211 MPa, 14,222 MPa, and 12,888 MPa. At the age of 28 days, the compressive strength values obtained for concrete with the addition of iron fiber of 0%, 1%, 2% and 3% reached 21.38 MPa, 21.8 MPa and 19.778 MPa.

Key words: concrete; iron lathe fiber waste; compressive strength.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, infrastruktur di Indonesia berkembang sangat cepat dengan peningkatan jumlah infrastruktur yang di bangun, teknologi yang digunakan untuk membuat bangunan juga berkembang terutama dalam hal konstruksi beton. Beton memiliki kuat tekan cukup tinggi yang menjadikannya bahan bangunan yang bagus.

Beton adalah bahan konstruksi yang paling umum digunakan, baik untuk bangunan besar dan kompleks maupun bangunan kecil dengan bentuk sederhana. Beton memiliki banyak keuntungan, seperti dapat disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi, tahan terhadap api dan perubahan cuaca, harganya relatif murah karena dibuat dari bahan lokal yang mudah didapat, dan perawatannya mudah dan murah.

Semakin banyak inovasi dalam teknologi beton yang bertujuan untuk meningkatkan kualitasnya. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas beton adalah dengan memasukkan beberapa bahan tambah ke dalam campuran penyusun beton. Diharapkan sifat mekanis beton akan lebih baik karena bahan tambah dapat berasal dari bahan limbah yang dapat digunakan kembali. Di industri otomotif, ada bengkel bubuk. Limbah besi

dihasilkan dari mesin yang diperbaiki di bengkel bubuk. Limbah ini berasal dari mesin yang dibersihkan, yang menghasilkan serat besi. Sampah dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan, Limbah serat bubuk besi juga mudah di dapatkan di bengkel-bengkel, maka limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran beton untuk mengurangi limbah yang ada.

Beton yang baik memiliki kualitas dan mutu yang baik. Ada beberapa parameter yang menentukan kualitas beton, salah satunya adalah kekuatan tekannya. Oleh karena itu, tugas akhir ini meneliti kekuatan tekan beton dengan limbah serat bubuk besi sebagai bahan tambah pada campuran beton. Sebelum ini, penelitian yang dilakukan oleh (Hadi & Setiawan, 2019) menunjukkan bahwa penambahan limbah serat bubuk besi sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan variasi takaran 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% mengalami penurunan kuat tekan beton seiring dengan penambahan serat yang di tambahkan. Maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh bahan tambah limbah serat bubuk besi pada campuran beton terhadap kuat tekan beton dan karakteristik beton. Oleh karena itu, pada penelitian ini membandingkan dua jenis

silinder beton, yaitu satu yang dibuat tanpa bahan tambahan dan satu yang dibuat dengan bahan tambah limbah serat bubuk besi. Bahan tambah limbah serat bubuk besi yang digunakan yaitu sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3%. Hasilnya diperoleh melalui pengujian dan analisis kedua model beton tersebut. Uji kuat tekan dilakukan pada beton yang telah berumur 7 dan 28 hari.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh limbah serat bubuk besi sebagai bahan tambah campuran beton terhadap karakteristik beton, hasil pengujian kuat tekan beton optimum setelah penambahan limbah serat bubuk besi sebagai bahan tambah campuran beton pada variasi takaran 0%, 1%, 2%, dan 3%, dan seberapa besar pengaruh penambahan limbah serat bubuk besi pada beton dengan pengolahan data menggunakan aplikasi SPSS.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur. Bisa dikatakan semua bangunan struktur dibangun menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, contohnya struktur gedung, struktur bangunan air, struktur bangunan transportasi dan banyak lagi bangunan struktur lainnya. Salah satu kelebihan beton yaitu mampu menahan beban tekan, perubahan cuaca, suhu yang tinggi, dapat dibentuk dan mudah dirawat. (Hamdi et al., 2022). Menurut (SNI 2847:2019) beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa campuran lain.

2.2 Semen Portland

Semen Portland (PC) berfungsi sebagai pengikat agregat. Campuran air dan semen menghasilkan reaksi kimia yang menghasilkan pasta semen yang keras. (Saputra, 2022). Semen Portland (PC) adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak semen portland, yang sebagian besar terdiri dari kalsium silikat hidrolis. Ini digiling bersama dengan bahan tambahan yang terdiri dari satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan dapat ditambahkan dengan bahan tambahan lainnya. (SNI 2049:2015).

2.3 Agregat Halus

Menurut (SNI 1969:2016) agregat halus adalah pasir dengan ukuran butir terbesar 4,75 mm yang

berasal dari batuan yang telah pecah secara alami atau pasir yang dibuat oleh industri pemecah batu.

2.4 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil dengan ukuran butir antara 4,75 mm – 40 mm yang berasal dari batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu atau yang berasal dari batuan yang telah pecah secara alami. (SNI 1969:2016).

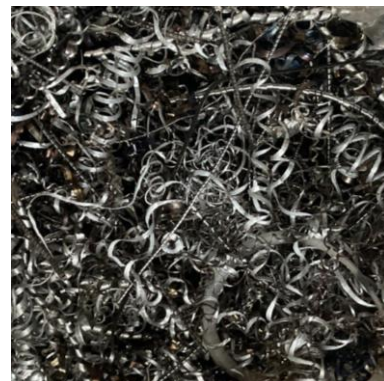
2.5 Air

Air diperlukan untuk berinteraksi dengan semen dan untuk memberikan pelumas antara butir agregat agar mudah diproses dan dipadatkan. Air yang dapat digunakan untuk campuran beton biasanya adalah air yang memenuhi syarat sebagai air minum dan cocok untuk campuran beton. Jika air tidak memenuhi standar air minum, pemeriksaan visual dapat menunjukkan bahwa air tidak berwarna, tidak berbau, dan cukup jernih (Apriyadi, 2020).

Secara umum, air yang digunakan untuk campuran beton adalah air yang jika dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% dari kekuatan beton yang menggunakan air suling. Apabila air pencampur mortar beton tercampur kotoran dapat menyebabkan kekuatan beton menurun. (Syaihu, 2022).

2.6 Bahan Tambah Limbah Serat Bubut Besi

Limbah serat bubuk besi adalah limbah yang dihasilkan dari pabrik pembubutan logam dan terdiri dari serat logam berbentuk spiral dengan berbagai panjang dan ketebalan.



Gambar 1. Limbah serat bubuk besi

Secara umum pemberian serat pada beton dapat mengurangi dan mengontrol retakan pada beton. Oleh karena itu, serat limbah bubuk besi dapat meningkatkan kekuatan tekan beton. Penggunaan serat yang berlebihan atau kurang pada beton

dapat menyebabkan kerugian, dan terlalu banyak serat dapat menyebabkan *balling*.

Balling adalah kondisi di mana beton sulit dipadatkan dan menimbulkan banyak rongga, yang mengurangi kekuatan beton. Dalam kondisi ini, beton dengan kandungan serat yang lebih rendah memiliki kinerja yang kurang optimal. (Saputra, 2022).

2.7 Slump Beton

Slump beton didefinisikan sebagai penurunan ketinggian di sekitar pusat permukaan atas beton yang diukur setelah cetakan uji slump diangkat. Slump test adalah metode untuk mengukur kecairan atau kepadatan dalam adukan beton. Tujuan dari pemeriksaan slump adalah untuk mengetahui apakah ada perubahan kadar air dalam adukan beton. Di sisi lain, nilai slump dimaksudkan untuk mengetahui konsistensi beton dan kemudahan kerjanya sesuai dengan kondisi yang ditetapkan. Nilai slump yang lebih rendah menunjukkan bahwa beton lebih kental, dan nilai slump yang paling tinggi menunjukkan bahwa beton lebih kuat. (SNI 1972:2008).

2.8 Perawatan Beton

Perawatan beton bertujuan untuk memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti agar berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai dan menjaga agar tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau tidak seragam, sehingga dapat menyebabkan retak. (Arrihan, 2019).

2.9 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah jumlah beban persatuan luas yang akan menghancurkan benda uji ketika dibebani dengan gaya tertentu. Beton sangat kuat karena banyaknya air dan semen yang digunakan atau faktor air semen. Dengan bertambahnya umur beton, kekuatan tekannya semakin meningkat. Beton mencapai kekuatan maksimalnya pada 28 hari (Ibal dan Firdaus, 2019).

Kekuatan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Biasanya nilai kuat tekan ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya tidak terlalu signifikan. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan mencapai 65% dan pada umur 14 hari mencapai 88% - 90% dari kuat tekan umur 28 hari. (Budiansa, 2020).

2.10 Statistical Package for Social Science (SPSS)

Program SPSS sering sekali digunakan untuk memecahkan suatu masalah riset atau bisnis dalam hal statistik. Sejalan dengan dibutuhkan metode statistik untuk melihat kecenderungan suatu fenomena, ada hal yang terkadang kurang tepat bagi peneliti dan praktisi, bila mana ada parameter yang sifatnya sangat kualitatif dalam mengambil kebijakan membutuhkan hasil yang kuantitatif. SPSS merupakan bagian integral dari tentang proses analisa, menyediakan akses data, persiapan dan manajemen data, analisa data dan pelaporan. SPSS salah satu perangkat lunak yang paling banyak dipakai karena tampilannya yang user friendly dan merupakan terobosan baru yang berkaitan dengan perkembangan teknologi informasi saat ini, khususnya dalam menjalankan suatu bisnis. Kemampuan SPSS diperluas untuk melayani berbagai jenis pengguna (user) seperti untuk proses produksi di pabrik, riset ilmu sains dan lainnya. (Sitopu, Purba, dan Sipayung, 2021).

III. METODE

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Balai Teknik Irigasi Bekasi, Jl. Cut Mutia, RT.002/RW.025, Margahayu, Kecamatan Bekasi Timur, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113.

3.2 Lokasi Pengambilan Sampel

Limbah bubuk besi diperoleh dari PT. Jl. Pedurenan IV Jl. Pertamina Buntu No.137, Padurenan, Kecamatan Gunung Sindur, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16340.

3.3 Pemilihan Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Semen Gresik.
2. Agregat Halus, Pasir Serang, Banten.
3. Agregat Kasar, Split Serang, Banten.
4. Air dari Laboratorium Beton Balai Teknik Irigasi.
5. Limbah Serat Bubut Besi, PT Panca Wahana Teknindo Bogor.

3.4 Pengujian Bahan

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian material, yaitu :

1. Uji Berat Jenis Semen (SNI 2531:2015)
2. Uji Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI ASTM C136:2012)
3. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1969:2016)
4. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1970:2016).
5. Uji Kadar Air Agregat (SNI 1971:2011).
6. Uji Kadar Lumpur (SNI ASTM C117:2012).
7. Uji Keausan Agregat kasar (SNI 2417:2008).
8. Uji Kadar Organik Agregat Halus (SNI 2816:2014).
9. Uji Bobot Isi dan Rongga Udara Agregat Halus dan Kasar (SNI 4804:1998)
10. Uji Kuat Tekan Beton (SNI 1974:2011)
11. Uji Slump Beton (SNI 1972:2022).
12. Uji Berat Jenis Serat Bubut Besi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen
 Salah satu material pengujian pada penelitian ini adalah semen yang berfungsi sebagai perekat. Penelitian ini menggunakan jenis semen PCC (*Portland Composite Cement*) dengan merk Semen Gresik. Pengujian material semen yang disyaratkan sesuai dengan SNI 2531:2015 adalah berat jenis semen dengan jumlah sampel semen sebanyak 64 gram dengan dua kali pengujian. Gambar 2 di bawah adalah hasil akhir pengujian berat jenis semen dengan didapatkan hasil pembacaan pada tabung piknometer adalah hasil pertama 21,4 ml dan percobaan kedua 21,9 ml. Didapatkan nilai berat jenis semen sebesar 3,073.



Gambar 2. Pengujian berat jenis semen

Hasil data analisis pengujian disajikan dalam bentuk Tabel 1 di bawah. Hasil pengujian berat jenis semen yang dilakukan menunjukkan bahwa semen yang digunakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam SNI 2531:2015, yaitu sebesar 3,073. Berat jenis semen *portland* biasanya berada di antara 3,00 – 3,20. Jika berat

jenis semen kurang dari 3,00, maka dianggap tidak murni atau tercampur bahan lain.

Tabel 1. Data hasil pengujian berat jenis semen

Nomor Pengujian	1	2
(1) Nomor botol <i>le chatelier</i>	1	2
(2) Pembacaan pertama (V1)	(ml) 0,800	0,800
(3) Berat benda uji (A)	(gr) 64,00	64,00
(4) Pembacaan kedua (V2)	(ml) 21,40	21,90
(5) Berat isi semen $(\rho) = \frac{(3)}{(4)-(2)}$	3,107	3,033
(6) Berat jenis semen $(G_{sp}) = \frac{(5)}{K}$	3,110	3,037
(7) Perbedaan hasil	0,074	
(8) Hasil rata-rata	3,073	

4.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus yang disyaratkan sesuai dengan SNI ASTM C136:2012 adalah agregat halus dengan jumlah sampel sebanyak 500 gram dengan satu kali pengujian. Gambar 3 di bawah adalah hasil akhir pengujian analisa saringan agregat halus yang tertahan di ayakan 9,52 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,075 mm. Didapatkan nilai modulus kehalusan pasir sebesar 2,75.



Gambar 3. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Tabel 2 di bawah ini merupakan hasil data analisis pengujian analisa saringan agregat halus. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai modulus kehalusan agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam SNI ASTM C136:2012, yaitu sebesar 2,75. Nilai modulus kehalusan yang memenuhi persyaratan adalah sebesar 1,5–3,80. Maka nilai modulus kehalusan yang didapat dalam pengujian ini masih memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 2. Data hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Lolos ayakan	Batas agregat Maks/Min	Jumlah berat sisa di ayakan	Berat sisa masing-masing di ayakan	Berat lolos
(mm)	(%)	(%)	(g)	(%)
9.52	100	100		100
4.75	100	90	43,40	8,680
2.36	100	80	99,00	55,60
1.18	90	50	164,6	32,92
0.6	65	25	269,5	53,90
0.3	35	10	340,5	68,10
0.15	10	2	457,9	91,58
0.075	3	0	487,1	97,42
Pan	0	0	500,0	100,0
Jumlah			500,0	100,0

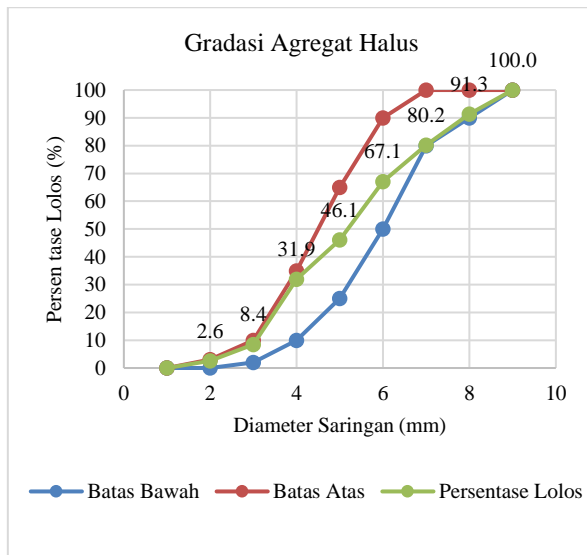
Lolos ayakan	Batasan agregat Maks/Min	Jumlah berat sisa di ayakan	Berat sisa masing-masing di ayakan	Berat lolos
Modulus Kehalusan (FM)		2,750		

Dilihat dari data hasil pengujian pada Tabel 2, pasir yang berasal dari Serang, Banten termasuk ke dalam daerah II yaitu pasir agak kasar sesuai dengan persyaratan gradasi pasir pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Persyaratan gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Halus yang Lolos Saringan			
	Daerah I (Kasar)	Daerah II (Agak Kasar)	Daerah III (Agak Halus)	Daerah IV (Halus)
9,52	100	100	100	100
4,75	90-100	90-100	90-100	95-100
2,36	60-95	75-100	85-100	95-100
1,18	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Berdasarkan daerah gradasi pasir yang telah ditentukan pada Tabel 3 di atas, Gambar 4 di bawah ini menampilkan grafik hasil pengujian gradasi pasir yang telah dilakukan. Dapat dilihat bahwa hasil pengujian gradasi agregat halus berada di antara batas atas dan batas bawah yang telah ditentukan oleh SNI ASTM C136:2012. Maka dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan.



Gambar 4. Grafik gradasi agregat halus

4.3 Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus pada penelitian ini menggunakan jenis pasir yang berasal dari Serang, Banten. Pengujian ini

disyaratkan sesuai dengan SNI 1970:2016 dengan sampel agregat halus yang lolos saringan no. 4 dan jumlah sampel sebanyak 500 gram dengan dua kali pengujian. Gambar 5 di bawah ini merupakan hasil akhir pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dengan didapatkan hasil pertama sebesar 488,3 gram dan hasil kedua sebesar 486,7 gram. Didapatkan nilai berat jenis curah 2,335, berat jenis SSD 2,395, berat jenis semu 2,484, dan penyerapan air sebesar 2,564%.



Gambar 5. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus disajikan dalam Tabel 4 di bawah ini. Dapat dilihat bahwa nilai berat jenis dan penyerapan air pasir yang digunakan yaitu untuk berat jenis curah 2,335, berat jenis SSD 2,395, dan berat jenis semu 2,484. Sesuai dengan SNI 1970:2016, hasil berat jenis tersebut telah memenuhi persyaratan yang nilainya berada di antara 1,6 – 3,3. Perhitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa pasir yang digunakan memiliki kemampuan menyerap air sebesar 2,564%, yang memenuhi kriteria pasir normal maksimal sebesar 3%.

Tabel 4. Data hasil berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Nomor Pengujian		1	2
(1) Nomor piknometer	(gr)	1	2
(2) Berat piknometer	(gr)	191,4	196,5
(3) Berat benda uji SSD	(gr)	500,0	500,0
(4) Berat (pikno+benda uji+air) (Bt)	(gr)	979,3	984,0
(5) Berat piknometer + air (B)	(gr)	687,9	692,9
(6) Berat Jenis curah = $\frac{(15)}{(5)+500-(4)}$		2,341	2,330
(7) Perbedaan hasil			0,011
(8) Hasil rata-rata			2,335
(9) Berat Jenis SSD = $\frac{(3)}{(5)+500-(4)}$		2,397	2,393
(10) Perbedaan hasil			0,003
(11) Hasil rata-rata			2,395
(12) Berat Jenis semu = $\frac{(15)}{(5)+(15)-(4)}$		2,480	2,488
(13) Perbedaan hasil			0,008
(14) Hasil rata-rata			2,484
(15) Berat benda uji kering oven (Bk)	(gr)	488,3	486,7
(16) Penyerapan = $\frac{(3)-(15)}{(15)} \times 100$	(%)	2,396	2,733

(17) Perbedaan hasil		0,337
(18) Hasil rata-rata	(%)	2,564

4.4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Salah satu pengujian agregat halus pada penelitian ini adalah pengujian kadar air. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pasir Serang, Banten. Pengujian ini menggunakan persyaratan sesuai SNI 1971:2011 dengan jumlah sampel sebanyak 500 gram dan dilakukan dua kali percobaan. Hasil akhir pengujian kadar air agregat halus dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini, dengan didapatkan nilai percobaan pertama sebesar 645,6 gram dan percobaan kedua sebesar 629 gram. Didapatkan nilai kadar air agregat halus yang digunakan sebesar 3,552%.



Gambar 6. Pengujian kadar air agregat halus

Hasil data analisis pengujian disajikan dalam bentuk Tabel 5 di bawah. Hasil pengujian kadar air agregat halus yang telah dilakukan didapat bahwa rata-rata kadar air pasir yaitu sebesar 3,552%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pasir yang digunakan memenuhi standar kadar air agregat halus maksimal 5% menurut SNI 1971:2011.

Tabel 5. Data hasil pengujian kadar air agregat halus

(1) Jenis benda uji	Agregat Halus	
	1	2
(2) Nomor pengujian		
(3) Nomor cawan	35	64
(4) Berat cawan (W ₁)	(gr) 162,1	146,8
(5) Berat contoh basah + cawan (W ₂)	(gr) 662,1	646,8
(6) Berat contoh kering + cawan (W ₃)	(gr) 645,6	629,0
(7) Berat air (5) – (6) (W ₄)	(gr) 16,50	17,80
(8) Berat contoh kering (6) – (4) (W ₅)	(gr) 483,5	482,2
(9) Kadar air = $\frac{(7)}{(8)} \times 100$	(%) 3,413	3,691
(10) Perbedaan hasil		0,279
(11) Hasil rata-rata	(%)	3,552

4.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur merupakan salah satu pengujian material pada penelitian ini dengan menggunakan jenis pasir yang berasal dari Serang, Banten. Pengujian kadar lumpur agregat

halus yang disyaratkan sesuai dengan SNI ASTM C117:2012 adalah agregat halus dengan jumlah sampel sebanyak 750 gram dengan dua kali pengujian. Gambar 7 di bawah adalah hasil akhir pengujian kadar lumpur agregat halus dengan didapatkan nilai percobaan pertama sebesar 1384,8 gram dan percobaan kedua sebesar 1540,7 gram. Didapatkan nilai kadar lumpur sebesar 4,88%.



Gambar 7. Pengujian kadar lumpur agregat halus

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pasir yang digunakan memiliki kandungan lumpur sebesar 4,88%. Ini menunjukkan bahwa pasir ini memenuhi persyaratan kadar lumpur kurang dari 5% yang ditetapkan dalam SNI ASTM C117:2012. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus disajikan dalam Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Data hasil pengujian kadar lumpur agregat halus

Nomor Pengujian	1	2
(1) Berat kering benda uji + wadah (W ₁)	(gr) 1421,7	1577,0
(2) Berat wadah (W ₂)	(gr) 671,70	827,00
(3) Berat benda uji kering sebelum dicuci (W ₃ = W ₁ - W ₂)	(gr) 750,00	750,00
(4) Berat benda uji kering sesudah dicuci + wadah (W ₄)	(gr) 1384,8	1540,7
(5) Berat benda uji kering sesudah dicuci (W ₅ = W ₄ - W ₂)	(gr) 713,10	713,70
(6) Persentase bahan yang lolos (W ₆) = $\frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100$	(%) 4,92	4,84
(7) Perbedaan hasil	(%)	0,08
(8) Hasil rata-rata	(%)	4,88

4.6 Hasil Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Pengujian bobot isi dan rongga udara agregat halus pada penelitian ini menggunakan persyaratan sesuai dengan SNI 4804:1998 dengan sampel agregat halus diukur menggunakan mold 2 liter dan dilakukan dua kali pengujian. Gambar

8 di bawah ini merupakan hasil akhir pengujian bobot isi dan rongga udara agregat halus dengan didapatkan hasil pengujian pertama sebesar 2,469 kg dan hasil pengujian kedua sebesar 2,435 kg. Didapatkan nilai bobot isi pasir yang digunakan sebesar 1,257 dan rongga udara agregat halus sebesar 50,545%.



Gambar 8. Pengujian bobot isi dan rongga udara agregat halus

Hasil pengujian bobot isi dan rongga udara agregat halus disajikan dalam Tabel 7 di bawah ini. Dengan menggunakan dua sampel agregat halus untuk pengujian ini, didapatkan bahwa pasir yang digunakan memiliki bobot isi sebesar 1,266 kg/lt untuk sampel 1 dan 1,218 kg/lt untuk sampel 2. Hasil rata-rata bobot isi yang di dapat dari kedua sampel tersebut yaitu 1,257 kg/lt. Kemudian untuk kadar rongga udara hasil pada percobaan pertama sebesar 50,202% dan hasil pada percobaan kedua sebesar 50,888%. Rata-rata nilai kadar rongga udara yang di dapat dari kedua sampel tersebut yaitu 50,545%.

Tabel 7. Data hasil pengujian bobot isi dan rongga udara

(1) Jenis benda uji	Agregat Halus	
	1	2
(2) Nomor pengujian		
(3) Kapasitas (volume) mold	(lt)	2 2
(4) Berat benda uji + mold	(kg)	3,939 3,905
(5) Berat mold	(kg)	1,470 1,470
(6) Berat benda uji kering oven	(kg)	2,469 2,435
(7) Berat isi kering oven = $\frac{(6)}{(3)}$	(kg)/lt	1,235 1,218
(8) Perbedaan hasil		0,017
(9) Hasil rata-rata	(kg)/lt	1,226
(10) Penyerapan benda uji SSD (W_{SSD})	(%)	2,564
(11) Berat isi SSD = $(7) \times (1 + ((W_{SSD})/100))$	(kg)/lt	1,257 1,239
(12) Perbedaan Hasil		0,017
(13) Hasil rata-rata		1,248
(14) Berat jenis agregat kering oven	(kg)/lt	2,484
(15) Kadar rongga udara = $\frac{((14) \times W) - (7)}{(14) \times W}$	(%)	50,202 50,888
(16) Perbedaan hasil		0,686
(17) Hasil rata-rata	(%)	50,545

Sumber: Penulis (2024)

4.7 Hasil Pengujian Kadar Organik Agregat Halus

Pengujian kadar organik pada agregat halus yang berasal dari Serang, Banten dilakukan dengan mengikuti persyaratan sesuai SNI 2816:2014.

Pengujian ini menggunakan sampel sebanyak 130 ml dengan dua kali percobaan. Hasil akhir pengujian kadar organik agregat halus dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini, dengan pembacaan warna larutan yang berada di bagian atas pasir pada gelas ukur. Didapatkan bahwa hasil pengujian kadar organik pada pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah berwarna jernih.



Gambar 9. Pengujian kadar organik agregat halus

Hasil pengujian kadar organik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini. Menurut hasil uji yang didapat, agregat halus dapat digunakan sebagai campuran beton karena uji kandungan organik agregat halus menunjukkan warna jernih yang menunjukkan bahwa tidak ada kandungan organik dalam pasir.

Tabel 8. Data hasil pengujian kadar organik agregat halus

Warna Pasir Setelah direndam	Form Warna
Bening / Sama Dengan / Lebih Gelap dari	Jernih Jernih Kuning Kuning Coklat Coklat Gelap

Sumber: Penulis (2024)

4.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Analisa saringan agregat kasar merupakan salah satu pengujian material pada penelitian ini dengan menggunakan jenis agregat kasar yang berasal dari Serang, Banten. Pengujian analisa saringan agregat kasar yang disyaratkan sesuai dengan SNI ASTM C136:2012 adalah agregat kasar dengan jumlah sampel sebanyak 10 kg dengan satu kali pengujian. Gambar 10 di bawah adalah hasil akhir pengujian analisa saringan agregat kasar yang tertahan di ayakan 19,1 mm, 9,52 mm, 4,76 mm dan 2,36 mm dengan nilai masing-masing sebesar 962 gram, 4964 gram, 3322 gram, dan 516 gram Didapatkan nilai modulus kehalusan semen sebesar 6,59.



Gambar 10. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Tabel 9 di bawah ini merupakan hasil data analisis pengujian analisa saringan agregat kasar. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai modulus kehalusan agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam SNI ASTM C136:2012, yaitu sebesar 6,59. Nilai modulus kehalusan agregat kasar sesuai dengan persyaratan adalah berkisar antara 5,0 – 8,0, maka nilai modulus kehalusan yang didapat dalam pengujian ini masih memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 9. Data hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Lolos ayakan (mm)	Batasan agregat Maks/Min (%)		Jumlah berat sisa di ayakan (g) (%)		Berat sisa masing-masing di ayakan (g) (%)		Berat lolos (%)
	(%)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	
31.7							
25.4	100	100					100,0
19.1	100	90	962,0	9,620	962,0	9,620	90,38
9.52	55	20	5926	59,26	4964	49,64	40,74
4.76	10	0	9248	92,48	3322	33,22	7,52
2.36	5	0	9764	97,64	516,0	5,160	2,36
1.19			10000	100,0	0	0	0
0.60			10000	100,0	0	0	0
0.30			10000	100,0	0	0	0
0.15			10000	100,0	0	0	0
Pan					236,0	2,360	
Jumlah					10000	100,0	
Modulus Kehalusan (FM)						6,590	

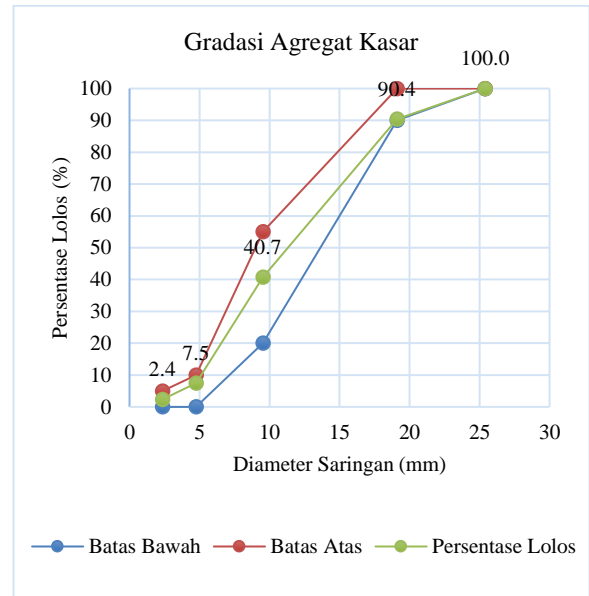
Nilai modulus kehalusan ini digunakan untuk mengetahui ukuran agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Jenis gradasi agregat kasar yang digunakan ditentukan dengan menggunakan Tabel 10 di bawah ini. Sesuai dengan tabel gradasi agregat kasar, material yang dipakai pada penelitian ini harus memenuhi gradasi sesuai dengan SNI ASTM C136:2012 dengan agregat kasar berukuran maksimum 20 mm.

Tabel 10. Persyaratan gradasi agregat kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
	40	95-100
20	35-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Tabel 9 dan Tabel 10 menunjukkan bahwa sampel agregat kasar yang digunakan termasuk dalam

gradasi ukuran maksimal 20 mm, seperti yang ditunjukkan oleh data gradasi hasil pengujian, yang dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah. Grafik di atas menunjukkan bahwa persen lolos kumulatif agregat kasar memenuhi batasan yang telah ditentukan dalam gradasi ukuran maksimal 20 mm.



Gambar 11. Grafik gradasi agregat kasar

4.10 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar pada penelitian ini menggunakan jenis agregat kasar yang berasal dari Serang, Banten. Pengujian ini disyaratkan sesuai dengan SNI 1969:2016 dengan jumlah sampel agregat kasar minimum sebanyak 3 kg dengan dua kali pengujian. Gambar 12 di bawah ini merupakan hasil akhir pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dengan didapatkan hasil pertama sebesar 5891 gram dan hasil kedua sebesar 5216 gram. Didapatkan nilai berat jenis curah 2,484, berat jenis SSD 2,5297, berat jenis semu 2,6036, dan penyerapan air sebesar 1,856%.



Gambar 12. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar disajikan dalam Tabel 11 di bawah ini. Dapat dilihat bahwa bahwa agregat kasar memiliki kemampuan menyerap air sebesar 1,856% yang sesuai dengan kriteria agregat kasar normal, yaitu maksimal 3%. Hasil untuk berat jenis curah adalah 2,484, berat jenis jenuh kering muka (SSD) adalah 2,5297, dan berat jenis semu adalah 2,6036. Agregat kasar ini memenuhi syarat berat jenis agregat normal yang ada pada SNI 1969:2016, yaitu 1,6 – 3,3.

Tabel 11. Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Nomor Pengujian		1	2
(1)	Berat benda uji SSD (B_i)	(gr) 5999	5314
(2)	Berat benda uji dalam air (B_a)	(gr) 3628	3213
(3)	Berat benda kering oven (B_k)	(gr) 5891	5216
(6)	Berat Jenis curah = $\frac{(3)}{(1)-(2)}$	(ml) 2,485	2,483
(7)	Perbedaan hasil		0,002
(8)	Hasil rata-rata		2,484
(9)	Berat Jenis SSD = $\frac{(1)}{(1)-(2)}$		2,530 2,529
(10)	Perbedaan hasil		0,001
(11)	Hasil rata-rata		2,5297
(12)	Berat Jenis semu = $\frac{(3)}{(3)-(2)}$		2,603 2,604
(13)	Perbedaan hasil		0,001
(14)	Hasil rata-rata		2,6036
(16)	Penyerapan = $\frac{(1)-(3)}{(3)} \times 100$	(%) 1,833	1,879
(17)	Perbedaan hasil		0,046
(18)	Hasil rata-rata	(%)	1,856

4.12 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Salah satu pengujian agregat kasar pada penelitian ini adalah pengujian kadar air. Pengujian ini menggunakan persyaratan sesuai SNI 1971:2011 dengan jumlah sampel sebanyak 1 kg dan dilakukan dua kali percobaan. Hasil akhir pengujian kadar air agregat halus dapat dilihat pada Gambar 13 di bawah ini, dengan didapatkan nilai percobaan pertama sebesar 1380,8 gram dan percobaan kedua sebesar 1433,1

gram. Didapatkan nilai kadar air agregat kasar yang digunakan sebesar 1,107%.



Gambar 13. Pengujian kadar air agregat kasar

Hasil data analisis pengujian disajikan dalam bentuk Tabel 12 di bawah. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kadar air agregat kasar adalah sebesar 1,107%. Maka dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini sudah memenuhi standar kadar air agregat kasar sebesar maksimal 5% yang ditetapkan oleh SNI 1971:2011.

Tabel 12. Data hasil pengujian kadar air agregat kasar

(1) Jenis benda uji	Agregat Kasar	
	1	2
(2) Nomor pengujian		
(3) Nomor cawan		
(4) Berat cawan (W_1)	(gr) 391,30	444,50
(5) Berat contoh basah + cawan (W_2)	(gr) 1391,3	1444,5
(6) Berat contoh kering + cawan (W_3)	(gr) 1380,8	1433,1
(7) Berat air ($5 - (6)$) (W_4)	(gr) 10,500	11,400
(8) Berat contoh kering ($6 - (4)$) (W_5)	(gr) 989,50	988,60
(9) Kadar air = $\frac{(7)}{(8)} \times 100$	(%) 1,061	1,153
(10) Perbedaan hasil		0,092
(11) Hasil rata-rata	(%)	1,107

4.13 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian kadar lumpur merupakan salah satu pengujian material pada penelitian ini dengan menggunakan jenis agregat kasar yang berasal dari Serang, Banten. Pengujian kadar lumpur agregat kasar yang disyaratkan sesuai dengan SNI ASTM C117:2012 adalah agregat kasar dengan jumlah sampel sebanyak 3 kg dengan dua kali pengujian. Gambar 14 di bawah adalah hasil akhir pengujian kadar lumpur agregat kasar dengan didapatkan nilai percobaan pertama sebesar 3812 gram gram dan percobaan kedua sebesar 3808 gram. Didapatkan nilai kadar lumpur sebesar 0,733%.



Gambar 14. Pengujian kadar lumpur agregat kasar

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, agregat kasar yang digunakan memiliki kandungan lumpur sebesar 0,733%. Pengujian ini menunjukkan bahwa kerikil yang digunakan memenuhi persyaratan kadar lumpur kurang dari 1% yang ditetapkan dalam SNI ASTM C117:2012. Tabel 13 di bawah ini adalah tabel hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Tabel 13. Data hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar

Nomor Pengujian	1	2
(1) Berat kering benda uji + wadah (W_1)	(gr) 3837	3827
(2) Berat wadah (W_2)	(gr) 837	827
(3) Berat benda uji kering sebelum dicuci ($W_3 = W_1 - W_2$)	(gr) 3000	3000
(4) Berat benda kering sesudah dicuci + wadah (W_4)	3812	3808
(5) Berat benda uji kering sesudah dicuci ($W_5 = W_4 - W_2$)	(gr) 2975	2981
(6) Persentase bahan yang lolos $(W_6) = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100$	(gr) 0,833	0,633
(7) Perbedaan hasil		0,2
(8) Hasil rata-rata	(%)	0,733

4.14 Hasil Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pengujian bobot isi dan rongga udara agregat kasar pada penelitian ini menggunakan persyaratan sesuai dengan SNI 4804:1998 dengan sampel agregat kasar diukur menggunakan mold 10 liter dan dilakukan dua kali pengujian. Gambar 15 di bawah ini merupakan hasil akhir pengujian bobot isi dan rongga udara agregat halus dengan didapatkan hasil pengujian pertama sebesar 12,737 kg dan hasil pengujian kedua sebesar 12,829 kg. Didapatkan nilai bobot isi pasir yang digunakan sebesar 1,302 dan rongga udara agregat halus sebesar 50,804%.



Gambar 15. Pengujian bobot isi dan rongga udara agregat kasar

Hasil pengujian bobot isi dan rongga udara agregat kasar disajikan dalam Tabel 14 di bawah ini. Dengan menggunakan dua sampel agregat halus untuk pengujian ini, didapatkan bahwa pasir yang digunakan memiliki bobot isi sebesar 1,2973 kg/lit untuk sampel 1 dan 1,307 kg/lit untuk sampel 2. Hasil rata-rata bobot isi yang di dapat dari kedua sampel tersebut yaitu 1,302 kg/lit. Kemudian untuk kadar rongga udara hasil pada percobaan pertama sebesar 50,981% dan hasil pada percobaan kedua sebesar 50,627%. Rata-rata nilai kadar rongga udara yang di dapat dari kedua sampel tersebut yaitu 50,804%.

Tabel 14. Data hasil pengujian bobot isi dan rongga udara agregat kasar

(1) Jenis benda uji	Agregat Kasar	
	1	2
(2) Nomor pengujian		
(3) Kapasitas (volume) mold	(lt)	10 10
(4) Berat benda uji + mold	(kg)	17,336 17,428
(5) Berat mold	(kg)	4,5990 4,5990
(6) Berat benda uji kering oven	(kg)	12,737 12,829
(7) Berat isi kering oven = $\frac{(6)}{(3)}$	(kg)/lt	1,2737 1,2829
(8) Perbedaan hasil		0,0092
(9) Hasil rata-rata	(kg)/lt	1,2783
(10) Penyerapan benda uji SSD (W_{SSD})	(%)	1,8560
(11) Berat isi SSD = $(7) \times (1 + ((W_{SSD})/100))$	(kg)/lt	1,2973 1,307
(12) Perbedaan Hasil		0,009
(13) Hasil rata-rata	(kg)/lt	1,302
(14) Berat jenis agregat kering oven		2,6036
(15) Kadar rongga udara = $\frac{[(14) \times W] - (7)}{(14) \times W} \times 100$	(%)	50,981 50,627
(16) Perbedaan hasil		0,354
(17) Hasil rata-rata	(%)	50,804

4.15 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles

Pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *los angeles* dilakukan dengan mengikuti persyaratan sesuai SNI 2531:2015. Pengujian ini menggunakan sampel sebanyak 5 kg dengan dua kali percobaan. Hasil akhir pengujian keausan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 16 di bawah ini, didapatkan nilai pada pengujian pertama 3402 gram dan pengujian kedua 3415 gram. Kemudian dihitung dengan persamaan 3.19 didapatkan nilai keausan agregat sebesar 31,83%.



Gambar 16. Pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles*

Kadar keausan agregat yang didapat dalam pengujian ini yaitu sebesar 31,83%. Berdasarkan hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *los angeles* menunjukkan bahwa agregat kasar yang diuji memenuhi standar agregat normal dengan nilai maksimum sebesar 40% sesuai dengan SNI 2531:2015. Data hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *los angeles* disajikan dalam bentuk Tabel 15 di bawah ini.

Tabel 15. Data hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles*

Nomor Pengujian		1	2
(1) Jenis tipe dari benda uji		1	2
(2) Jumlah berat benda uji sebelum di tes (a)	(gr)	5000	5000
(3) Jumlah berat benda uji sesudah di tes (b)	(gr)	3402	3415
(4) Keausan pada agregat = $\frac{(2)-(3)}{(2)} \times 100$	(%)	31,96	31,70
(5) Perbedaan hasil	(%)		0,260
(6) Hasil rata-rata	(%)		31,83

4.16 Hasil Pengujian Berat Jenis Serat Bubut Besi

Bahan tambah campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah serat bubut besi. Pengujian berat jenis serat bubut besi dilakukan dengan dua sampel. Serat bubut besi yang digunakan untuk pengujian pertama sebanyak 150 gram dan pengujian kedua sebanyak 100 gram. Gambar 17 di bawah merupakan hasil akhir pengujian berat jenis serat bubut besi dengan didapatkan hasil pembacaan pada gelas ukur yaitu pada pengujian pertama sebesar 820 ml dan pengujian kedua sebesar 435 ml. Didapatkan nilai berat jenis serat bubut besi sebesar 7,083.



Gambar 17. Pengujian berat jenis serat bubut besi

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, berat jenis serat bubut besi yang didapat untuk sampel 1 sebesar 7,5 dan sampel 2 sebesar 6,67. Sehingga didapatkan rata-rata berat jenis serat bubut besi yaitu sebesar 7,083. Berikut disajikan dalam Tabel 16 adalah data hasil pengujian berat jenis serat bubut besi yang digunakan untuk bahan tambah campuran beton.

Tabel 16. Data hasil pengujian berat jenis serat bubut besi

Nomor Pengujian		1	2
(1) Nomor gelas ukur		1	2
(2) Pembacaan pertama (V1)	(ml)	800	420
(3) Berat contoh	(gr)	150	100
(4) Pembacaan kedua (V2)	(ml)	820	435
(5) Berat jenis serat besi = $\frac{\text{Berat contoh}}{V2 - V1}$		7,50	6,67
(6) Perbedaan hasil			0,833
(7) Hasil rata-rata			7,083

4.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui mutu beton adalah uji kekuatan tekan, yang merupakan pengujian paling penting karena bertujuan untuk mengetahui besar mutu beton yang telah dibuat. Berikut disajikan Tabel 17, 18, 19, dan 20 di bawah ini yang berisi data hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari.

Tabel 17. Data hasil pengujian kuat tekan beton normal

Kode Beton	Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton		Persentase Kenaikan dan Penurunan
		MPa	Rata-Rata	
N1	7	12,849	12,620	0%
N2		12,297		
N3		12,713		
N1	28	19,748	19,396	0%
N2		18,899		
N3		19,541		

Tabel 18. Data hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan serat bubuk besi 1%

Kode Beton	Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton		Persentase Kenaikan dan Penurunan
		MPa	Rata-Rata	
SB 1% (1)	7	13,656	14,211	+12,6%
SB 1% (2)		14,156		
SB 1% (3)		14,822		
SB 1% (1)	28	19,596	21,380	+10,2%
SB 1% (2)		22,816		
SB 1% (3)		21,727		

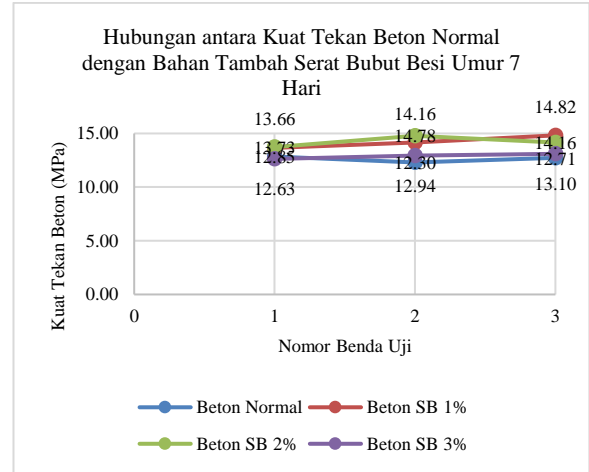
Tabel 19. Data hasil pengujian kuat tekan beton normal

Kode Beton	Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton		Persentase Kenaikan dan Penurunan
		MPa	Rata-Rata	
SB 2% (1)	7	13,731	14,222	+12,7%
SB 2% (2)		14,779		
SB 2% (3)		14,156		
SB 2% (1)	28	20,984	21,800	+12,4%
SB 2% (2)		21,872		
SB 2% (3)		22,544		

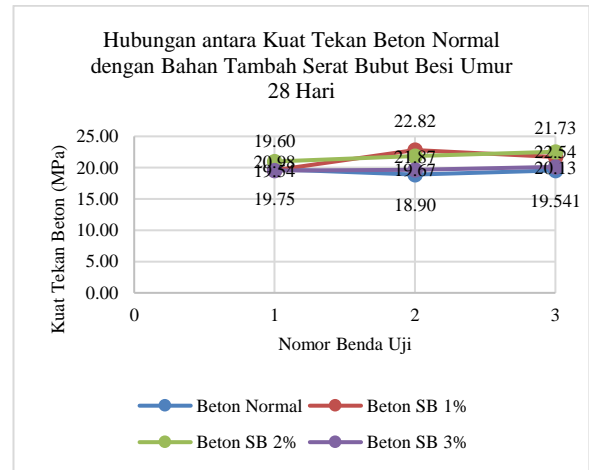
Tabel 20. Data hasil pengujian kuat tekan beton normal

Kode Beton	Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton		Persentase Kenaikan dan Penurunan
		MPa	Rata-Rata	
SB 3% (1)	7	12,628	12,888	+2,1%
SB 3% (2)		12,935		
SB 3% (3)		13,101		
SB 3% (1)	28	19,541	19,778	+2,0%
SB 3% (2)		19,666		
SB 3% (3)		20,128		

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada beton normal umur 7 hari mencapai 12,620 MPa, pada campuran serat bubuk besi sebesar 1% mengalami kenaikan 12,6% mencapai 14,211 MPa, pada penambahan serat bubuk besi 2% mengalami kenaikan 12,7% mencapai 14,222 MPa dan pada penambahan serat bubuk besi sebesar 3% mengalami kenaikan 2,1% mencapai 12,888 MPa. Pada umur 28 hari beton normal mencapai 19,396 MPa, pada campuran serat bubuk besi sebesar 1% mengalami kenaikan 10,2% mencapai 21,380 MPa, penambahan serat bubuk besi 2% mengalami kenaikan 12,4% mencapai 21,8 MPa, pada penambahan serat bubuk besi 3% mengalami kenaikan 2% mencapai 19,778 MPa. Berikut pada Gambar 18 dan 19 di bawah ini menunjukkan bahwa beton dengan penambahan serat bubuk besi 1%, 2% dan 3% meningkatkan kuat tekan dari beton normal pada umur 7 hari maupun 28 hari.



Gambar 18. Grafik hubungan antara kuat tekan beton normal dan bahan tambah serat bubuk besi umur 7 hari



Gambar 19. Grafik hubungan antara kuat tekan beton normal dan bahan tambah serat bubuk besi umur 28 hari

4.18 Hasil Uji Normalitas dengan SPSS

Dapat dilihat pada Tabel 21 dan Tabel 22 di bawah ini adalah uji normalitas data hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari.

Tabel 21. Data hasil uji normalitas kuat tekan beton umur 7 hari

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Statistic	df	Sig.	
Kuat Tekan 7 Hari	.173	12	.200*	.929	12	.368

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Tabel 21. Data hasil uji normalitas kuat tekan beton umur 28 hari

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Statistic	df	Sig.	
Kuat Tekan 28 Hari	.235	12	.066	.880	12	.087

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Hasil statistik *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa diperoleh nilai signifikansi untuk kuat tekan beton umur 7 hari sebesar $0,368 > 0,05$ dan pada umur 28 hari $0,087 > 0,05$, maka data berdistribusi normal.

4.19 Hasil Uji Linearitas dengan SPSS

Data uji linieritas pada kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari disajikan dalam Tabel 23 dan Tabel 24.

Tabel 23. Data hasil uji linearitas kuat tekan beton umur 7 hari

ANOVA Table						
			Sum of Squares	df	Mean Square	Sig.
Kuat Tekan Umur 7 Hari *	Between Groups	(Combined) Linearity	6.528	3	2.176	11.447 .003
Persentase Serat Bubut Besi		Deviation from Linearity	.100	1	.100	.525 .489
	Within Groups		1.521	8	.190	
	Total		8.048	11		

Tabel 24. Data hasil uji linearitas kuat tekan beton umur 28 hari

ANOVA Table						
			Sum of Squares	df	Mean Square	Sig.
Kuat Tekan Umur 28 Hari *	Between Groups	(Combined) Linearity	12.516	3	4.172	4.653 .036
Persentase Serat Bubut Besi		Deviation from Linearity	.368	1	.368	.411 .539
	Within Groups		12.148	2	6.074	6.774 .019
	Total		7.173	8	.897	
			19.689	11		

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada umur 7 hari signifikansi $0,001 < 0,05$ dan pada umur 28 hari signifikansi $0,019 < 0,05$, maka disimpulkan bahwa H_1 diterima atau model regresi tidak linier.

4.19 Hasil Uji Regresi Linier Sederhana SPSS

Berikut Tabel 25 dan Tabel 26 merupakan data hasil uji regresi linier sederhana kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari.

Tabel 25. Data hasil uji regresi linier sederhana kuat tekan beton umur 7 hari

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.111 ^a	.012	-.086	.89155

a. Predictors: (Constant), Persentase Serat Bubut Besi
 b. Dependent Variable: Kuat Tekan Umur 7 Hari

Tabel 26. Data hasil uji regresi linier sederhana kuat tekan beton umur 28 hari

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.137 ^a	.019	-.079	1.38999

a. Predictors: (Constant), Persentase Serat Bubut Besi
 b. Dependent Variable: Kuat Tekan Umur 28 Hari

Berdasarkan data di atas diperoleh nilai *R Square* kuat tekan beton umur 7 hari sebesar 1,2% dan umur 28 hari sebesar 1,9%. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah serat bubuk besi sebagai bahan tambah pada campuran beton berpengaruh sangat rendah terhadap kuat tekan beton.

V. KESIMPULAN

1. Penambahan limbah serat bubuk besi berpengaruh terhadap karakteristik beton, semakin banyak limbah serat bubuk besi yang dipakai maka beton semakin kental, artinya beton yang dihasilkan akan lebih sulit dalam proses pengerjaan dan pematatannya.
2. Pengaruh penambahan limbah serat bubuk besi sebagai bahan tambah campuran beton terhadap kuat tekan beton, yaitu didapatkan nilai kuat tekan pada beton normal umur 7 hari mencapai 12,620 MPa, pada campuran serat bubuk besi sebesar 1% mengalami kenaikan 12,6% mencapai 14,211 MPa, pada penambahan serat bubuk besi 2% mengalami kenaikan 12,7% mencapai 14,222 MPa dan pada penambahan serat bubuk besi sebesar 3% mengalami kenaikan 2,1% mencapai 12,888 MPa. Pada umur 28 hari beton normal mencapai 19,396 MPa, pada campuran serat bubuk besi sebesar 1% mengalami kenaikan 10,2% mencapai 21,380 MPa, penambahan serat bubuk besi 2% mengalami kenaikan 12,4% mencapai 21,8 MPa, pada penambahan serat bubuk besi 3% mengalami kenaikan 2% mencapai 19,778 MPa.
3. Pengaruh penambahan limbah serat bubuk besi sebagai bahan tambah campuran beton terhadap kuat tekan beton berdasarkan hasil uji regresi linier sederhana kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari menggunakan SPSS dapat disimpulkan bahwa bahan tambah limbah serat bubuk besi berpengaruh sangat rendah terhadap kuat tekan beton dengan nilai sebesar 1,2% untuk umur 7 hari dan sebesar 1,9% untuk umur 28 hari. Maka persentase penambahan serat bubuk besi yang diambil harus lebih besar agar lebih terlihat pengaruhnya.

DAFTAR PUSTAKA

Arrihan, M. A. (2019). *Kajian kuat tekan beton yang menggunakan agregat alam Kabupaten Sarolangun*.
 Budiansa, R. (2020). *Kajian kuat lentur beton fast track mutu tinggi dengan penambahan zat additive*. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201, 2(1)*, 41–49.

- Hadi, P. N., & Setiawan, A. A. (2019). Studi eksperimental penambahan limbah bubuk sebagai bahan substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan beton. *Widyakala Journal*, 6(1), 77. <https://doi.org/10.36262/widyakala.v6i1.148>
- Hamdi, et al. (2022). Teknologi beton. In *Tohar Media* (Vol. 1, Issue 1). http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/prejuicios_y_verdades_sobre_grasas.pdf<https://www.colesterolfamiliar.org/formacion/guia.pdf><https://www.colesterolfamiliar.org/wp-content/uploads/2015/05/guia.pdf>
- Ibal, R., & Firdaus. (2019). Pengaruh penggunaan agregat tanah liat sebagai substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan beton. *16*(April), 454–466.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2008). *SNI-1972-2008 Uji Slump*.
- Saputra, A. R. (2022). Limbah bubuk logam besi terhadap kuat tekan beton $f'c$ 25 Mpa.
- Syaihu, F. R. (2022). Pengaruh penggunaan serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir pada beton terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton.
- Yudha Apriyadi. (2020). Pemanfaatan limbah serbuk besi dari sisa pengerjaan bubuk besi sebagai bahan pengganti agregat halus pada campuran beton dengan faktor air semen (FAS) 0,4. 1–65. <https://repository.uir.ac.id/14359/>