

Analisis Pengaruh Jenis Pasir Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton

Ari Rahmandani Prabowo¹, Dewi Ayu Sofia^{*2}

Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Sukabumi, Sukabumi, INDONESIA

*Corresponding authors: dewiayusofia@polteksmi.ac.id

Diserahkan: 26 Juni 2024, Direvisi: 5 Juli 2024, Diterima: 24 Juli 2024

ABSTRAK: Dalam pembuatan beton, pasir merupakan salah satu komponen pengisi atau agregat halus. Kualitas pasir yang digunakan seringkali tidak terlalu diperhatikan. Namun walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi mengingat komposisinya yang cukup besar maka pasir juga memiliki peranan penting dalam pembuatan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik pasir yang digunakan di wilayah Sukabumi beserta dengan nilai kuat tekan betonnya. Pasir yang digunakan berasal dari daerah Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah sampel yang dibuat sebanyak 18 buah dengan 3 variasi yang masing-masing terdiri dari 6 sampel. Mutu beton yang direncanakan $f'c$ 30 MPa dan diuji pada umur 14 serta 28 hari dengan terlebih dahulu dilakukan perawatan sebelum pengujian. Dari hasil uji material agregat halus pasir diperoleh masing-masing jenis pasir memiliki sifat fisik yang berbeda. Sementara itu, berdasarkan gradasinya seluruh jenis pasir berada dalam kelompok agregat halus zona/daerah 1 yang dikategorikan sebagai pasir kasar. Jika ditinjau berdasarkan nilai kuat tekannya, beton Pasir Cimangkok memiliki nilai kuat tekan tertinggi dan satu-satunya yang melampaui nilai kuat tekan rencana. Beton pasir Jebrod memiliki nilai yang paling kecil. Pada pasir Jebrod, diketahui bahwa nilai kadar lumpurnya paling tinggi dibandingkan dengan pasir lain.

KATA KUNCI: Agregat halus; beton; kuat tekan; pasir.

ABSTRACT: In making concrete, sand is a filler component or fine aggregate. The quality of the sand used is often not given much attention. However, even though its function is only as a filler, considering its composition is quite large, sand also has an important role in making concrete. The aim of this research is to determine the physical properties of sand used in the Sukabumi area along with the compressive strength values of the concrete. The sand used comes from the Cimangkok, Cibuni, and Jebrod areas. The test object used is cylindrical with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The number of samples made was 18 with 3 variations, each consisting of 6 samples. The planned concrete quality is $f'c$ 30 MPa and tested at the age of 14 and 28 days with treatment carried out before testing. From the test results of the fine sand aggregate material, it was found that each type of sand had different physical properties. Meanwhile, based on the gradation, all types of sand are in the fine aggregate group zone/region 1 which is categorized as coarse sand. If viewed based on its compressive strength value, Cimangkok sand concrete has the highest compressive strength value and is the only one that exceeds the design compressive strength value. Jebrod sand concrete has the smallest value. In Jebrod sand, it is known that the mud content value is the highest compared to other sands.

KEYWORDS: Fine aggregate; concrete; compressive strength; sand.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan struktur utama yang paling banyak digunakan pada bangunan yang ada di Indonesia. Namun demikian, banyak ditemukan beberapa masalah seperti beton yang cepat rusak. Kondisi ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah material pembentuk beton yang digunakan memiliki kualitas di bawah standar. Untuk mendapatkan beton kualitas tinggi, maka bahan pembentuk beton yang digunakanpun harus memiliki kualitas yang tinggi juga. Bahan pembentuk beton terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang membentuk suatu massa mirip batuan (Dipohusodo, 1994).

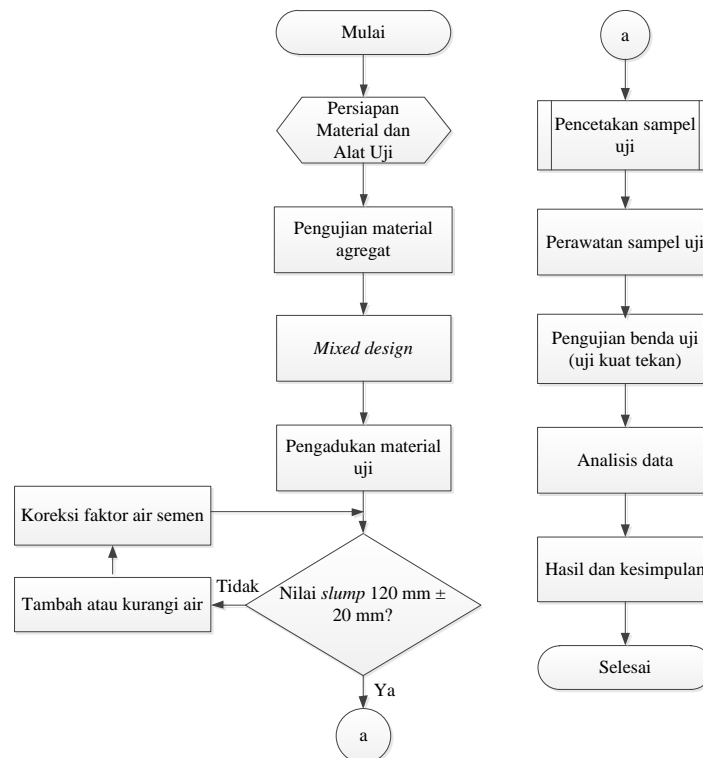
Kualitas pasir yang digunakan sebagai komponen pengisi atau agregat halus pada beton seringkali tidak terlalu diperhatikan. Namun sebenarnya walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi mengingat komposisinya yang cukup besar maka pasir juga memiliki peranan penting dalam pembuatan beton. Sifat pasir yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekerasan butiran pasir dan ukuran maksimum dari campuran beton yang disyaratkan (Hachemi, et al., 2022). Pasir yang digunakan dalam suatu konstruksi berasal dari lokasi penambangan yang berbeda yang tersebar di wilayah Indonesia, tergantung dari proyek tersebut berada. Pasir yang berasal dari berbagai lokasi dapat memiliki perbedaan signifikan dalam distribusi ukuran butir, bentuk butir, kekerasan, dan tekstur. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan.

Studi mengenai pengaruh jenis pasir yang berasal dari beberapa sumber berbeda terhadap kuat tekan beton telah dilakukan sebelumnya. Soares, et al. (2023) dan Hadi (2020) melakukan percobaan dengan membuat alat uji beton dari agregat halus pasir yang berasal dari beberapa sungai yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa uji kuat tekan beton telah mencapai uji kuat tekan rencana, namun masing-masing benda uji memiliki nilai yang berbeda. Elsadey, et al (2021) melakukan studi karakteristik beton dengan menggunakan dua jenis pasir yang berbeda, yaitu gump pasir dan pasir laut. Kedua jenis pasir ini berbeda secara sifat mineralogi, bentuk butir, angularitas, ukuran partikel, dan proporsi elemen halus. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Choo (2015) yang mengevaluasi penggunaan pasir dari berbagai sumber. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis pasir mempengaruhi sifat-sifat beton seperti kuat tekan, *workability*, dan durabilitas.

Dari studi yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa perbedaan sumber dan jenis pasir dapat mempengaruhi karakteristik beton, khususnya kuat tekan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kuat tekan terhadap beton dengan agregat halus pasir yang berasal dari Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod. Pasir dari ketiga daerah ini memang digunakan untuk pembangunan konstruksi di wilayah Sukabumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik pasir dari setiap daerah dan nilai kuat tekan betonnya. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi oleh pelaku di bidang konstruksi khususnya di Sukabumi dalam memilih pasir untuk memperoleh nilai kuat tekan yang baik.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di dua laboratorium, yakni di Laboratorium Uji Bahan Program Studi Teknik Sipil Politeknik Sukabumi dan Laboratorium Uji Bahan Teknik Konstruksi Batu Beton SMK Negeri 1 Sukabumi. Sampel yang dibuat berupa beton keras dengan mutu beton $f'c$ 30 MPa atau K300. Analisis perancangan campuran beton (*mix design*) mengacu pada SNI-7394-2008. Kuat tekan beton akan diuji pada umur 14 hari dan 28 hari. Cetakan sampel yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah sampel yang dibuat sebanyak 18 buah, dengan masing-masing variasi terdiri dari 6 sampel. Tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

2.1. Persiapan Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada pembuatan sampel untuk penelitian ini antara lain semen *portland* (PC) tipe I, agregat halus berupa pasir, serta agregat kasar berupa kerikil dan air. Pasir yang digunakan berasal dari daerah berbeda, yaitu Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod. Adapun peralatan yang digunakan antara lain timbangan, alat uji agregat, mesin molen, kerucut Abrams, cetakan silinder, mesin uji kuat tekan, dan alat penunjang lainnya.

2.2. Pengujian Material Agregat

Pengujian material bertujuan untuk memberikan informasi mengenai komposisi material/agregat yang dapat digunakan sebagai acuan untuk pembuatan beton dengan mutu tertentu. Secara khusus, pengujian agregat halus bertujuan untuk menentukan kebersihan pasir terhadap bahan organik dan lumpur, sedangkan pengujian agregat kasar bertujuan untuk menentukan persentase kekerasan batu pecah terhadap perilaku mekanis (Huseiny, et al., 2020). Pada penelitian ini pengujian agregat halus dilakukan di Laboratorium Bahan Program Studi Teknik Sipil Politeknik Sukabumi, sedangkan agregat kasar di Laboratorium Bahan Konstruksi Batu dan Beton SMK Negeri 1 Sukabumi. Pengujian material agregat halus terdiri dari penyerapan air, kadar air, kadar lumpur, serta analisis saringan dan modulus butir halus. Untuk agregat kasar dilakukan pengujian penyerapan air, kadar air, dan gradasi.

2.3. Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton (*mix design*) yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada SNI-7394-2008. Pada SNI tersebut terdapat indeks bahan bangunan yang dibutuhkan tiap satuan pekerjaan beton yang dapat dijadikan sebagai acuan dasar yang seragam bagi para pelaksana dalam merencanakan proporsi campuran beton. Adapun campuran beton yang akan dibuat memiliki ketentuan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan bahan per m^3 dengan mutu K-300 dengan *slump* 12 ± 2 cm

	Kebutuhan	Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	413
	PB	Kg	681
	KR (maksimum 30 mm)	Kg	1021
	Air	Liter	215

2.4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Konstruksi Batu Beton SMK Negeri 1 Sukabumi. Pada saat pembuatan benda uji perlu disiapkan material dan alat yang dibutuhkan. Untuk menakar material campuran beton digunakan komposisi berat dengan satuan kilogram. Namun sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu kebutuhan bahan berdasarkan volume benda uji yang akan dibuat dan nilai indeks pada SNI-7394-2008.

Pada penelitian ini, proses pengadukan dilakukan dengan menggunakan bantuan mesin molen (*concrete mixer*). Oleh karena itu, pada saat penakaran, bahan yang digunakan harus dilebihkan. Hal ini bertujuan untuk menghindari kekurangan campuran beton yang diakibatkan sebagian campuran yang melekat di dalam mesin. Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Indikasinya adalah warna adukan merata, kelecakan yang cukup, dan tampak homogen. Selama proses pengadukan, harus dilakukan pendataan rinci mengenai jumlah *batch*-aduk yang dihasilkan, proporsi material, perkiraan lokasi dari penuangan akhir pada struktur, serta waktu pengadukan dan penuangan.

2.5. Pengujian Kualitas Beton Segar

Pengujian kualitas beton segar pada penelitian ini hanya dilakukan dengan uji *slump*. Uji *slump* adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi/kekakuan dari campuran beton segar. Kekakuan dalam suatu campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan. Oleh karena itu, uji *slump* dapat menunjukkan suatu campuran beton kekurangan, kelebihan atau cukup air.

Pengujian *slump* mengacu pada SNI 03-1972-1990. Pada proses pengujiannya digunakan kerucut Abrams, yakni berupa kerucut terpancung dengan ukuran diameter bawah 20 cm, atas 10 cm dan tinggi 30 cm. Pertama-tama beton dibagi mejadi tiga lapisan dan dimasukkan ke dalam kerucut Abrams. Tiap lapisan dipadatkan dengan batang pemadat sebanyak 25 kali. Permukaan atas diratakan dengan menggeser batang pemadat secara mendatar. Setelah itu, kerucut Abrams diangkat perlahan secara vertikal ke atas. Nilai *slump* merupakan selisih antara tinggi cetakan dengan tinggi beton.

2.6. Perawatan Benda Uji

Semen yang digunakan untuk pembuatan benda uji merupakan jenis *Portland* yang memiliki panas hidrasi yang cukup tinggi. Oleh karena itu diperlukan perawatan untuk menjaga keadaan beton tetap lembab. Perawatan beton adalah proses menjaga agar air pada beton tidak cepat menghilang selama proses hidrasi agar tidak terjadi retak akibat penyusutan volume. Perawatan baru dapat dilakukan 24 jam setelah benda uji selesai dibuat dan mengeras dalam suhu ruangan. Benda uji direndam dalam bak selama 14 dan 28 hari. Tujuan perendaman adalah untuk menjaga kelembaban beton selama proses kimia pengikatan semen. Kurangnya kelembaban akan membuat mineral semen kurang bereaksi dengan baik untuk menghasilkan karakteristik beton yang dikehendaki.

2.7. Pengujian Kualitas Beton Keras

Pemeriksaan kualitas beton keras terdiri dari kuat tekan beton, modulus elastisitas, permeabilitas, serta densitas. Pada penelitian ini hanya akan dilakukan pengujian kuat tekan beton saja. Hal ini dikarenakan adanya kendala ketersediaan alat dan efisiensi waktu penelitian. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Konstruksi Batu dan Beton SMK Negeri 1 Sukabumi. Tata cara pengujian yang dilakukan mengacu pada SNI 1974:2011. Langkah pelaksanaan pengujian terdiri dari kegiatan persiapan dan pengujian.

Pada tahap persiapan, benda uji yang telah mengalami proses perendaman selanjutnya dibersihkan dari kotoran yang menempel menggunakan kain lembab. Jika sudah bersih, maka selanjutnya menentukan berat dan ukuran benda uji. Setelah itu, barulah dilakukan proses *capping*. Pada proses *capping*, permukaan atas dan bawah benda uji dilapisi dengan mortar belerang. Jika mortar belerang sebagai pelapis telah kering, maka benda uji siap untuk diperiksa. Pemeriksaan dilakukan dengan kecepatan pembebanan yang diatur dengan rate antara 0,14 – 0,34 MPa per detik atau sekitar 2 – 4 kg/cm³. Beban dikatakan sudah mencapai maksimum jika jarum penunjuk berhenti dan kembali ke angka nol. Pembebanan ini dilakukan sampai benda uji hancur. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton:

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

dimana $f'c$ adalah kuat tekan beton, P adalah beban maksimum, dan A adalah luas penampang benda uji.

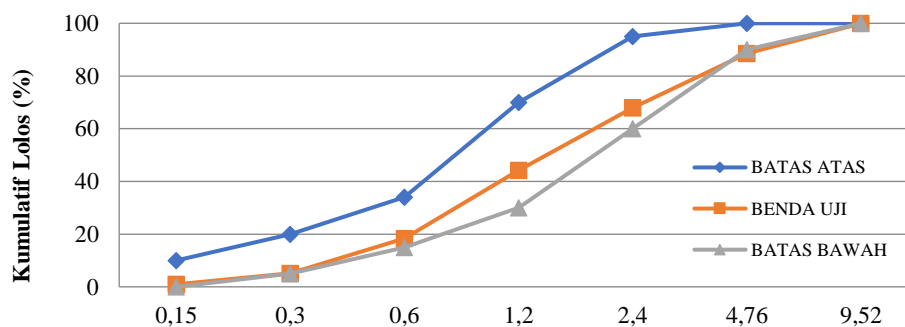
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Material

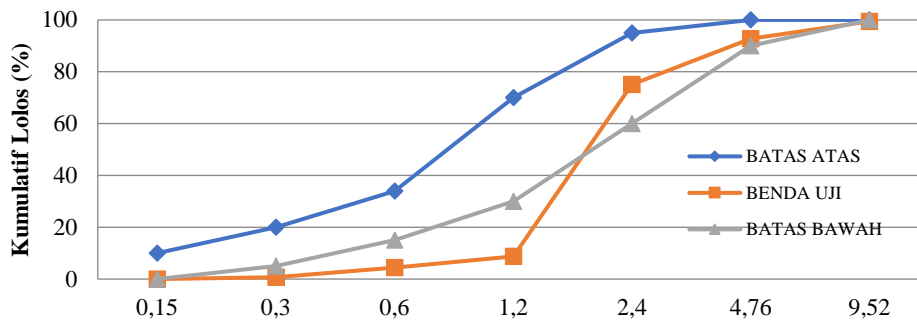
Hasil pengujian material/agregat halus berupa pasir yang berasal dari daerah Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2, dapat terlihat bahwa pasir Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod memiliki nilai modulus halus butir (*finess modulus*) berturut-turut sebesar 3,79; 2,81; dan 3,70. Berdasarkan Tabel Gradasi Pasir menurut Tjokrodimulyo (2007), pasir-pasir yang digunakan pada penelitian ini berada dalam kelompok agregat halus zona/daerah 1 yang dikategorikan sebagai pasir kasar. Grafik zonasi agregat halus pasir dari tiap daerah ditampilkan pada Gambar 2 – Gambar 4. Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus (pasir)

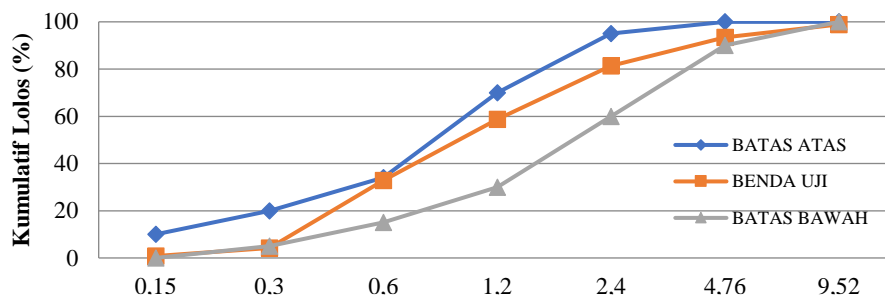
Pengujian	Pasir Cimangkok	Pasir Cibuni	Pasir Jebrod
Penyerapan air (S_w)	1,52	3,29	2,26
Kadar air	1,51	3,30	2,29
Kadar lumpur	2,06	3,22	5,21
Modulus halus butir	3,79	2,81	3,70



Gambar 2. Zonasi agregat halus Pasir Cimangkok



Gambar 3. Zonasi agregat halus Pasir Cibuni



Gambar 4. Zonasi agregat halus Pasir Jebrod

Tabel 3. Hasil pengujian fisik agregat kasar

Sifat Fisik	Nilai
Penyerapan air	4,28 %
Kadar air	3,06 %
Gradasi	Fm = 4,75

3.2. Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Berdasarkan SNI-7394-2008, hasil perhitungan kebutuhan bahan untuk membuat satu buah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4. Cetakan silinder yang digunakan memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sehingga diperoleh volume sebesar 0,0053 m³. Kebutuhan bahan disesuaikan dengan jumlah sampel yang akan dibuat untuk tiap variasi. Masing-masing variasi, yaitu beton pasir Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod akan dibuat 6 sampel.

Tabel 4. Kebutuhan material untuk pembuatan 1 silinder beton

Material	Indeks	Volume (m ³)	Kebutuhan Material (Kg)
PC	413	0,0053	2,18
Pasir	681		3,61
Kerikil	1021		5,41
Air	215		1,14

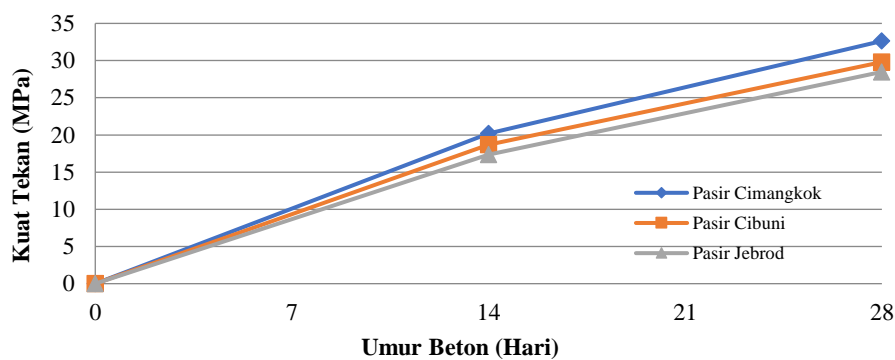
3.3. Pengujian Beton Segar

Pemeriksaan kualitas beton segar dengan pengujian *slump* dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari adukan beton. Kekentalan ini dapat menggambarkan *workabilitas* atau kemudahan pengerjaan beton segar. Semakin tinggi nilai *slump*, maka proses pengerjaan akan semakin mudah dan begitupun sebaliknya. Hasil pengujian menunjukkan nilai *slump* terendah sebesar 90 mm dan tertinggi sebesar 108 mm. Pada penelitian ini, nilai uji *slump* yang diperoleh telah sesuai dengan target rencana sebesar 120 mm ± 20 mm. Jadi, dapat dikatakan bahwa pengerjaan campuran beton telah sesuai dengan yang direncanakan.

Gambar 5. Pengujian *slump*

3.4. Pengujian Beton Keras

Setelah dilakukan pembuatan dan perawatan benda uji, maka proses selanjutnya adalah pengujian beton keras dengan uji kuat tekan. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 14 dan 28 hari. Kuat tekan yang direncanakan ($f'c$) sebesar 30 MPa atau K300 dengan jumlah sampel sebanyak 18 buah. Sampel tersebut terdiri dari 3 variasi beton dengan jenis pasir yang berbeda, masing-masing jumlahnya sebanyak 6 buah. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada benda uji silinder beton dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 6, pada umur 14 hari belum ada beton yang nilai kuat tekan rata-ratanya mencapai kuat tekan rencana ($f'c$) 30 MPa. Hal ini dikarenakan pengikatan semen belum maksimal. Pada umur 28 hari, seluruh variasi beton mengalami peningkatan dibandingkan sebelumnya, namun hanya beton dengan pasir Cimangkok yang berhasil melampaui nilai kuat tekan rencana. Pada beton pasir Cibuni kuat tekan rata-ratanya sebesar 29,80 MPa, sedangkan beton pasir Jebrod sebesar 28,48 MPa. Pada pasir Jebrod, diketahui bahwa nilai kadar lumpurnya paling tinggi dibandingkan dengan pasir lain. Hal ini juga yang mengakibatkan nilai kuat tekan rata-rata beton pasir Jebrod memiliki nilai yang paling kecil.

Jadi dapat disimpulkan bahwa sumber pasir yang berbeda dapat berpengaruh terhadap karakteristik beton, diantaranya kuat tekan. Faktor sifat fisik agregat halus seperti kadar air, kadar lumpur, distribusi ukuran butir, bentuk butir, dan modulus halus butir mempengaruhi interaksi antara pasir dengan bahan pembentuk beton lain dan akhirnya kinerja atau kekuatan beton secara keseluruhan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Elsadey, et al (2021). Oleh karena itu, pemilihan pasir yang tepat sangat penting dalam praktik konstruksi untuk mencapai hasil yang diinginkan dan memenuhi standar teknis yang diperlukan.

4. KESIMPULAN

Perbandingan kuat tekan antara beton dengan pasir Cimangkok, Cibuni, dan Jebrod telah dilakukan pada studi ini. Hasil pengujian menunjukkan masing-masing jenis pasir memiliki sifat fisik yang berbeda. Sementara itu, berdasarkan gradasinya seluruh jenis pasir berada dalam kelompok agregat halus zona/daerah 1 yang dikategorikan sebagai pasir kasar. Jika ditinjau berdasarkan nilai kuat tekannya, beton Pasir Cimangkok memiliki nilai kuat tekan tertinggi dan satu-satunya yang melampaui nilai kuat tekan rencana. Beton pasir Jebrod memiliki nilai yang paling kecil. Pada pasir Jebrod, diketahui bahwa nilai kadar lumpurnya paling tinggi dibandingkan dengan pasir lain. Hal ini juga yang mengakibatkan nilai kuat tekan rata-rata beton pasir

Jebrod memiliki nilai yang paling kecil. Jadi dapat disimpulkan bahwa sumber pasir yang berbeda dapat berpengaruh terhadap karakteristik beton, diantaranya workabilitas dan kuat tekan. Oleh karena itu, pemilihan pasir yang tepat sangat penting dalam praktik konstruksi untuk mencapai hasil yang diinginkan dan memenuhi standar teknis yang diperlukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih untuk pihak Laboratorium Bahan Program Studi Teknik Sipil Politeknik Sukabumi dan Laboratorium Bahan Teknik Konstruksi Batu dan Beton SMK Negeri 1 Sukabumi atas bantuannya selama penelitian ini dilakukan.

REFERENSI

- Alsadey, S., & Omran, A., 2021. Effect of The Type of Sand on the Properties of Concrete. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16 (3), pp. 111-113.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990. *Metode Pengujian Slump Beton, SNI 03-1972-1990*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008. *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan, SNI7394:2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974:2011..*
- Choo, B. S., 2015. Effects of Different Sand Types on Concrete Properties. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 4(4), pp. 303-308.
- Dipohusodo, I., 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Hachemi, S. & Rhamouni, Z.E., 2022. A Review on the Effect of Varied Sand Types in Concrete at High Temperature. *JENRS (Journal of Engineering Research and Sciences)*, 1(4), pp. 38-47.
- Hadi, S., 2020. Analisis Jenis Pasir terhadap Kuat Tekan Beton. *JURNAL KACAPURI: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(2), pp. 146-155.
- Huseiny, M.S.A., Nursani, R., 2020. Pengaruh Bahan Tambah Serat Fiber terhadap Kuat Tekan dan Lentur Beton. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(2), pp. 64-69.
- Soares, M.M., Anggreni, M.Y., & Salu, E., 2023. Analisa Perbedaan Penggunaan Pasir sebagai Agregat Halus terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Gradien*, 15(1), pp. 65-74.
- Tjokrodimulyo, K., 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.