

Efek Variasi Jenis Pasir Terhadap Berat dan Kuat Tekan Beton Ringan Dari Agregat Kasar Ringan Buatan

Butje Alfonsius Louk Fanggi^{1*}, Yuyun Tajunnisa², Hazen Masrafat², Jusuf Wilson Meynerd¹
Rafael⁴

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang
Jl. Adi Sucipto, Kupang-Nusa Tenggara Timur, 85111

²⁾ Departemen Infrastruktur Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Raya Menur No. 127, Surabaya-Jawa Timur 60116

*Corresponding Author's email: butje.loukfanggi@pnk.ac.id

Diterima : 20 Januari 2025

Direvisi : 30 April 2025

Disetujui : 6 Mei 2025

Diterbitkan : 30 Mei 2025

Abstract: *This study investigates the impacts of incorporating a blend of river sand and artificial lightweight sand, as well as refined artificial lightweight sand, into a concrete mixture composed of artificial lightweight gravel. The parameters examined are the weight and compressive strength of the concrete. Eighteen test specimens, designed to achieve target compressive strengths of 15, 28, and 41 MPa, were manufactured and tested at 28 days of age. The study demonstrate that concrete produced with a blend of river sand and artificial lightweight sand can be categorised as lightweight concrete. Similarly, the study's findings show that concrete made with artificial lightweight sand alone, without any river sand mixed in, weighs significantly less than concrete made with a combination of artificial light sand and river sand, but it has a compressive strength that is nearly identical to that of concrete made with a combination of artificial lightweight sand and river sand.*

Keywords : *lightweight concrete; river sand; artificial lightweight sand; artificial lightweight gravel; concrete weight; concrete compressive strength.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menilai efek dari penggunaan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan serta pasir ringan buatan yang telah dihaluskan dalam campuran beton yang terbuat dari kerikil ringan buatan. Parameter yang ditinjau adalah adalah berat dan kuat tekan beton. Delapan belas buah benda uji dengan target kuat tekan 15, 28, dan 41 MPa dibuat dan dites pada saat berumur 28 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beton yang dibuat dengan menggunakan pasir yang merupakan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan dapat digolongkan sebagai beton ringan. Demikian juga hasil penelitian ini menunjukkan bahwa berat beton yang dibuat dengan menggunakan pasir ringan buatan tanpa dicampur dengan pasir sungai memiliki berat yang jauh lebih ringan dari beton yang terbuat dari campuran antar pasir ringan buatan dengan pasir sungai tetapi memiliki kuat tekan yang hampir menyamai beton yang menggunakan campuran antara pasir ringan buatan dan pasir sungai.

Kata kunci : beton ringan; pasir sungai; pasir ringan buatan; kerikil ringan buatan; berat beton; kuat tekan beton.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan agregat halus buatan (pasir buatan) sebagai pengganti pasir sungai dalam campuran beton merupakan salah satu upaya untuk meminimalkan

dampak negatif yang terjadi pada lingkungan akibat penambangan pasir sungai [1], [2], [3]. Pasir buatan dapat bersumber dari alam atau proses produksi bongkahan batuan alam menjadi pasir ataupun memanfaatkan

material bekas dari sisa hasil produksi atau pembongkaran [4]. Salah jenis pasir buatan adalah pasir buatan yang diproses dari pengolahan batuan lempung (shale). Pasir ini diperoleh melalui proses pemecahan shale menjadi fraksi yang lebih kecil, pengelompokan berdasarkan ukuran fraksi tersebut, pengeringan, dan pemanasan dengan suhu antara 500-1200 °C dalam tungku putar. Pasir buatan ini memiliki keistimewaan karena dapat digolongkan sebagai pasir ringan buatan [5].

Beton ringan struktural memiliki berat isi kurang dari 2000 Kg/m³ atau 30% lebih rendah dari berat beton normal [6]. Karena itu, menggunakan beton ringan, berarti berat konstruksi menjadi lebih ringan, mengurangi ukuran penampang struktur, mengurangi dimensi pondasi dan sekaligus mengurangi beban gempa yang dipikul oleh struktur dari konstruksi tersebut [3],[7], [8]. Demikian juga, beton ringan memiliki sifat kedap suara dan tahan panas yang baik [9].

Beton ringan dapat dibuat dengan menggantikan kerikil atau pasir alam yang ada (pasir sungai) dalam campuran beton normal dengan kerikil atau pasir ringan alamiah atau buatan ataupun mennggantikan pasir alamiah (pasir sungai) saja dengan campuran antara pasir sungai dengan pasir ringan ataupun menggantikan seluruh pasir sungai dengan pasir ringan [6].

Karena merupakan hasil produksi, pasir ringan buatan pada umumnya memiliki gradasi butiran yang seragam dan kasar, yang mana gradasi butirannya dapat tidak berada dalam salah satu zone gradasi pasir standar. Karena itu penggunaan pasir dengan butiran seragam dan kasar dalam campuran beton dapat menyebabkan terjadinya efek negatif pada beton seperti kelacakan yg rendah dan juga *bleeding* yang berlebihan [10].

Salah satu upaya untuk mengatasi kekurangan dari pasir ringan buatan yang memiliki butiran gradasi yang

seragam dan kasar adalah dengan cara mencampur pasir ringan buatan tersebut dengan pasir sungai yang memiliki butiran halus sehingga gradasi butiran dari hasil pencampuran tersebut berada dalam salah satu zone pasir standar. Walaupun demikian, pasir ringan buatan dengan butiran yang seragam dan kasar dapat pula digunakan tanpa dicampur dengan pasir sungai namun pasir tersebut harus dihaluskan terlebih dahulu sehingga gradasi butirannya menjadi lebih halus dan berada dalam salah satu zone gradasi pasir standar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari penggunaan pasir yang telah mengalami pencampuran antara pasir sungai dengan pasir ringan buatan yang memiliki butiran seragam dan kasar dan juga penggunaan pasir ringan buatan yang telah dihaluskan tanpa dicampur dengan pasir sungai dalam campuran beton yang terbuat dari agregat kasar ringan buatan (kerikil ringan buatan). Pencampuran antara pasir sungai dengan pasir ringan buatan dalam campuran beton ringan merupakan salah satu topik riset yang selama ini luput dari publikasi. Berat isi dan kuat tekan beton merupakan 2 parameter yg ditinjau dalam penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

Material

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas pasir sungai dan pasir ringan buatan. Kedua jenis pasir ini dicampur dengan persentasi tertentu dan digunakan dalam campuran beton. Pasir ringan buatan yang sama juga ada yang dihaluskan dan digunakan dalam campuran beton tanpa dicampur terlebih dahulu dengan pasir sungai. Hasil analisa gradasi butiran dari pasir dan kerikil yang digunakan dalam campuran beton dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1** dan 2 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil analisa saringan pasir

Material	Ukuran saringan (mm)					
	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
	Kumulatif berat lolos (%)					
Pasir sungai	4,75 (100)	2,36 (96,58)	1,18 (87,03)	0,60 (68,90)	0,30 (44,35)	0,15 (7,92)
Pasir ringan buatan (belum dihaluskan)	4,75 (100)	2,36 (35,66)	1,18 (0,52)	0,60 (0,28)	0,30 (0,21)	0,15 (0,13)
Pasir ringan buatan (setelah dihaluskan)	4,75 (100)	2,36 (73,36)	1,18 (36,07)	0,60 (21,47)	0,30 (14,25)	0,15 (9,02)

Tabel 1 menunjukkan distribusi butiran pasir ringan buatan yang belum dihaluskan. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa distribusi gradasi butiran pasir ini hampir

65% tertahan pada saringan 2,36 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pasir ringan buatan ini memiliki gradasi butiran yang sangat kasar dan seragam sehingga dapat menyebabkan efek negatif pada beton seperti

segragasi ataupun *bleeding* [10]. Karena itu selain dicampur dengan pasir sungai yang memiliki butiran yang lebih halus, pasir ringan buatan ini dapat dihaluskan terlebih dahulu sebelum digunakan dalam campuran beton. Distribusi butiran dari pasir sungai yang digunakan dapat juga dilihat dari tabel diatas. Dari proses pencampuran yang dilakukan antara pasir sungai dengan pasir ringan buatan yang gradasi butirannya seragam dan kasar didapat persentase 65% pasir sungai

ditambahkan 35% pasir ringan buatan akan menghasilkan pasir dengan butiran gradasi yang berada pada zone 2 pasir standar. Demikian juga hasil gradasi butiran dari proses penghalusan pasir ringan buatan menjadi lebih halus dan berada pada zone pasir standar 1 seperti tampak pada **Tabel 1** diatas. Hasil pengujian fisik material baik pasir maupun kerikil yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3** dibawah ini.

Tabel 2. Hasil analisa saringan kerikil ringan buatan

Material	Ukuran saringan (mm)			
	Kumulatif berat lolos (%)			
Kerikil ringan buatan	19 (100)	9,50 (73,36)	4,75 (9,13)	2,36 (0,00)

Tabel 3. Hasil pengujian fisik pasir dan kerikil

Material	Berat Jenis SSD	Berat Volume (kg/m ³)	Kadar Air (%)	Penyerapan (%)
Pasir Sungai	2,63	1.570,00	3,04	1,09
Pasir ringan buatan	1,84	844,10	0,20	5,00
Kerikil ringan buatan	1,40	768,57	0,20	14,00

Penghalusan pasir ringan buatan yang memiliki butiran yang seragam dan kasar dilakukan dengan cara sebagai berikut; pertama-tama pasir dituangkan dalam wadah, kemudian wadah tersebut ditempatkan pada mesin kuat tekan dan ditekan hingga beban maksimum mencapai 600 KN. Dengan cara ini, pasir hasil penghalusan memiliki jumlah butiran kasar yang berkurang dan distribusi ukuran butirannya tersebar pada ukuran saringan yang lain sehingga masuk pada zone 1 pasir standar. Sebaran butiran gradasi pasir hasil penghalusan dapat dilihat pada **Tabel 1** diatas.

Tiga target kuat tekan beton digunakan dalam penelitian ini yang mewakili beton mutu rendah, sedang, dan tinggi. Kuat tekan rencana adalah adalah 15 MPa, 28 MPa, dan 41 MPa. Perhitungan komposisi material penyusun beton sesuai target diatas, dilakukan dengan menggunakan metode dreux-corrise dimana metode ini telah banyak digunakan dalam perhitungan beton ringan yang material penyusunnya menggunakan kerikil atau pasir ringan buatan seperti yang dilaporkan oleh Widyawati [11]. Hasil perhitungan komposisi material penyusun dengan metode Dreux-Corrise dapat dilihat pada **Tabel 4** dibawah ini.

Komposisi Material

Tabel 4. Komposisi material untuk campuran beton

Target Kuat Tekan (MPa)	Jenis Pasir	Dosis (kg/m ³)						
		Pasir sungai	pasir ringan buatan	kerikil ringan buatan	Semen	Silika Fume	Superplasticizer	Air
15	Mix	712,60	211,28	377,99	354,25	35,43	2,83	239,72
	Full	-	529,62	455,51	267,90	35,43	2,83	239,72
28	Mix	665,71	197,38	353,12	441,45	44,15	3,53	208,01
	Full	-	494,78	425,54	383,15	44,15	3,53	208,01
41	Mix	604,18	179,14	320,48	555,90	55,59	4,45	204,21
	Full	-	287,71	563,44	431,80	54,50	4,36	200,20

Note: MIX menggunakan pasir ringan buatan yang belum dihaluskan, FULL menggunakan pasir ringan buatan yang telah dihaluskan.

Benda uji

Benda uji dibuat berbentuk silinder standar sebanyak 18 buah dengan ukuran diameter 100 mm dan tinggi silinder 200 mm. Penamaan benda uji dilakukan dengan menggunakan simbol MIX dan FULL yang melambangkan tipe pasir yang digunakan yaitu MIX melambangkan pasir yang digubakan adalah campuran pasir sungai dengan pasir ringan butan yang belum dihaluskan sementara angka 15, 28, dan 41 melambangkan target kuat tekannya sedangkan simbol BU merupakan arti dari kata benda uji. Penamaan benda

uji adalah sebagai berikut, misalkan benda uji dengan identitas BU15MIX artinya benda uji memiliki target kuat tekan 15 MPa dan pasir yang digunakan adalah campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan yang belum dihaluskan. Demikian juga benda uji dengan identitas BU28FULL menunjukkan benda uji tersebut terbuat dari beton dengan target kuat tekann 28 MPa dan pasir yang digunakan adalah pasir ringan buatan yang telah dihaluskan tanpa dicampur dengan pasir sungai. Detail dari benda uji yang dibuat serta jumlahnya dapat dilihat pada **Tabel 5** dibawah ini.

Tabel 5. Detail benda uji

ID	Target Kuat Tekan (MPa)	Pasir yang digunakan	Jumlah Benda Uji (Buah)
BU15MIX	15	Pasir Sungai + Pasir ringan buatan	3
BU28MIX	28	Pasir Sungai + Pasir ringan buatan	3
BU41MIX	41	Pasir Sungai + Pasir ringan buatan	3
BU15FULL	15	Pasir ringan buatan (telah dihaluskan)	3
BU28FULL	28	Pasir ringan buatan (telah dihaluskan)	3
BU41FULL	41	Pasir ringan buatan (telah dihaluskan)	3

Proses Pengetesan

Seluruh benda uji dites pada saat benda uji telah berumur 28 hari. Pengukuran berat benda uji dilakukan sebelum proses pengepungan. Pengepungan dilakukan dengan menggunakan gypsum pada kedua ujung benda uji sehingga beban dapat diberikan secara merata. Pembebanan dilakukan secara monotonik sentris dengan menggunakan mesin kuat tekan berkapasitas 2000 kN.

3. HASIL PEMBAHASAN

Tabel 6 menunjukkan hasil penimbangan berat dan pengujian kuat tekan dari benda uji yang pasirmnya menggunakan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan yang belum dihaluskan. Berdasarkan tabel ini dapat dilihat bahwa seluruh berat benda uji yg dibuat dari campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan memiliki berat kurang dari 2000 kg/m³ sehingga dapat dikategorikan sebagai beton ringan struktural [6]. Selain itu, hasil pengujian kuat tekan menunjukkan nilai target kuat tekan dapat dicapai untuk setiap komposisi campuran yang digunakan. Demikian juga perbandingan antara kuat tekan hasil pengujian terhadap target kuat tekan dari setiap campuran menunjukkan bahwa semakin tinggi target kuat tekannya maka semakin kecil peningkatan besar kuat tekan yang dicapai. Hal ini dapat dikaitkan dengan hubungan antara faktor air semen (jumlah semen), jumlah pasir dan

kerikil buatan, dan jumlah air yg ada dalam campuran seperti yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti terdahulu misalnya Yu et al. [12], Zhang dkk, [13], dan Mija dkk. [14]. Berdasarkan komposisi material yang ada pada **Tabel 4** dapat dilihat bahwa peningkatan target kuat tekan diikuti dengan peningkatan jumlah semen namun jumlah air yang digunakan semakin sedikit. Disisi yang lain, dari perbandingan antara **Tabel 4** dan **Tabel 6** memperlihatkan peningkatan target kuat tekan diikuti dengan berkurangnya jumlah pasir dan kerikil buatan yang digunakan sehingga porositas dari betonnya semakin tinggi. Dengan demikian dapat dilihat bahwa walaupun peningkatan target kuat tekan diikuti dengan penurunan porositas namun jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi juga berkurang mengikuti peningkatan target kuat tekannya. Hal ini menyebabkan jumlah air yang tersedia tidak optimal karena jumlah semen yang semakin besar namun ketersediaannya semakin sedikit seiring dengan bertambahnya target kuat tekannya [8], [15].

Tabel 7 menunjukkan hasil penimbangan berat dan pengujian kuat tekan untuk benda uji yang menggunakan pasir ringan buatan yang telah dihaluskan tanpa dicampur dengan pasir lain. Tabel ini menunjukkan bahwa berat beton yang dihasilkan dengan menggunakan pasir ringan buatan yang dihaluskan kurang dari 2000 kg/m³ atau masuk dalam katergori sebagai beton ringan struktural. Hasil pengujian kuat

tekannya menunjukkan dengan penggunaan pasir buatan yang telah dihaluskan, target kuat tekannya dapat tercapai. Rasio antara kuat tekan hasil pengujian dibandingkan dengan target kuat tekannya meningkat berbanding terbalik dengan target kuat tekannya. Hal ini juga berkaitan dengan hubungan antara faktor air semen (jumlah semen), jumlah pasir dan kerikil buatan yang digunakan, serta jumlah air yang tersedia, seperti yang

telah dijelaskan diatas. Walaupun peningkatan target kuat tekan diikuti dengan penurunan porositas namun jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi juga berkurang mengikuti peningkatan target kuat tekannya. Hal ini menyebabkan jumlah air tersedia untuk proses hidrasi semen tidak optimal karena jumlah semen yang digunakan semakin meningkat sesuai dengan peningkatan target kuat tekannya [15].

Tabel 6. Hasil pengujian benda uji yang menggunakan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan

ID	Berat Isi (kg/m ³)	Rata-rata Berat Isi (kg/m ³)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata Kuat tekan (MPa)
BU15MIX-1	1.967,00		28,51	
BU15MIX-2	1.964,00	1.966,00	29,31	29,40
BU15MIX-3	1.967,00		30,37	
BU28MIX-1	1.962,00		41,36	
BU28MIX-2	1.965,00	1.964,00	43,91	42,42
BU28MIX-3	1.965,00		42,00	
BU41MIX-1	1.945,00		52,18	
BU41MIX-2	1.963,00	1.955,67	48,72	49,12
BU41MIX-3	1.959,00		46,45	

Tabel 7. Hasil pengujian benda uji yang menggunakan pasir ringan buatan yang dihaluskan

ID	Berat Isi (kg/m ³)	Rata-rata Berat Isi (kg/m ³)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata Kuat tekan (MPa)
BU15FULL-1	1.653,00		23,41	
BU15FULL-2	1.634,00	1.632,00	23,54	24,09
BU15FULL-3	1.609,00		25,32	
BU28FULL-1	1.624,00		33,72	
BU28FULL-2	1.672,00	1.663,00	35,63	34,57
BU28FULL-3	1.693,00		34,36	
BU41FULL-1	1.665,00		39,43	
BU41FULL-2	1.676,00	1.670,33	43,91	41,15
BU41FULL-3	1.670,00		40,10	

Selanjutnya dari kedua tabel diatas dapat dilihat perbandingan berat isi antara benda uji yang menggunakan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan dengan benda uji yang hanya menggunakan pasir ringan buatan saja yang telah dihaluskan menunjukkan bahwa berat benda uji yang menggunakan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan lebih besar dari benda uji yang menggunakan pasir ringan buatan saja seperti tampak pada **Tabel 4** diatas. Hal ini tentunya merupakan kontribusi dari berat yang disumbangkan dari masing-masing pasir yang digunakan dalam campuran tersebut dimana berat campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan secara total lebih berat dari benda uji yang hanya menggunakan pasir ringan

buatan saja. Dari **Tabel 6** dan **Tabel 7** diatas juga dapat dilihat perbandingan nilai kuat tekan antara benda uji yang menggunakan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan dengan benda uji yang hanya menggunakan pasir ringan buatan yang telah dihaluskan menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan pasir ringan buatan saja memiliki nilai kuat tekan yang sedikit lebih rendah dari benda uji yang menggunakan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan. Hal ini dapat dikaitkan dengan jumlah semen yang digunakan dimana walaupun jumlah airnya relatif sama antara campuran yang menggunakan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan dan campuran yang hanya menggunakan pasir ringan buatan yang

dihaluskan saja tetapi jumlah semen yang digunakan dalam campuran yang menggunakan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan jumlahnya lebih banyak dari semen yang digunakan pada campuran yang hanya menggunakan pasir ringan buatan saja sehingga dapat meningkatkan kuat tekan yang terjadi [12]. Selain itu, keseluruhan pasir dan kerikil yang digunakan pada benda uji yang menggunakan campuran pasir ringan buatan saja adalah pasir dan kerikil ringan buatan sehingga beton yang dihasilkan bersifat porus [16] karena itu nilai kuat tekan akan lebih rendah dari benda uji yang menggunakan pasir campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan yang porositasnya lebih rendah [13], [14].

Hasil tes diatas menunjukkan bahwa penggunaan pasir ringan buatan yang telah dihaluskan tanpa dicampur dengan pasir sungai dalam campuran beton dapat menghasilkan beton yang kuat tekannya hampir menyamai kuat tekan beton yang menggunakan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan dengan selisih kuat tekannya kurang dari 20% namun memiliki berat yang jauh lebih ringan dari beton yang dihasilkan dengan menggunakan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan yang seragam dan kasar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan diskusi yang telah dijabarkan diatas, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan mengenai efek dari penggunaan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan dan pasir ringan buatan yang telah dihaluskan dalam campuran beton yang menggunakan kerikil atau agregat ringan buatan sebagai agregat kasar terhadap berat dan kuat tekan beton. Penggunaan campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan serta pasir ringan buatan yang telah dihaluskan dalam campuran beton yang menggunakan kerikil ringan buatan dapat menghasilkan beton dengan berat yang dapat dikategorikan sebagai beton ringan. Campuran pasir sungai dan pasir ringan buatan dalam beton yang menggunakan kerikil ringan buatan menghasilkan berat dan kuat tekan yang lebih besar dari campuran yang menggunakan pasir ringan buatan saja. Beton yang terbuat dari pasir ringan buatan yang telah dihaluskan memiliki berat yang jauh lebih rendah namun memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan beton yang menggunakan campuran antara pasir sungai dan pasir ringan buatan.

Saran

Dari pengalaman dalam proses pengecoran, berat dan kuat tekan beton ringan sangat sensitif terhadap

pemadatan. Karena itu harus diupayakan agar selama proses pengecoran, variasi dalam proses pemadatan harus dibuat seminimal mungkin sehingga dapat menghasilkan beton dengan kualitas yang sama dari setiap duplikasinya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah mendanai seluruh kegiatan dalam penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Louk Fanggi, Budi Suswanto, Yuyun Tajunnisa, Jusuf Wilson Meynerd Rafael, Jonatan Lassa, and Ahmad Basshofi Habieb. 2025. *An Experimental Study on Axial Stress-Strain Behaviour of FRP-Confined Square Lightweight Aggregate Concrete Columns*. Advance Sustainable Science Engineering and Technology, vol. 7, no. 1, p. 0250112, Jan. 2025, doi: 10.26877/asset.v7i1.865.
- [2] X. Cheng dkk. 2024. *Research progress on the preparation and strengthening technologies of artificial aggregate: A review*. Journal of Building Engineering, vol. 98, p. 111527, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.jobte.2024.111527.
- [3] B. Alfonsius dkk. 2023. *Perilaku Tegangan-Regang Beton Yang Terbuat Dari Agregat Ringan Buatan Yang Diperkuat Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer*. Jurnal Teknik Sipil. vol. 12, no. 2.
- [4] S. Y. Chung, P. Sikora, D. J. Kim, M. E. El Madawy, dan M. Abd Elrahman. 2021. *Effect of different expanded aggregates on durability-related characteristics of lightweight aggregate concrete*. Mater Charact, vol. 173, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.matchar.2021.110907.
- [5] N. A. Sulistyowati dkk. 2015. *Karakteristik Aplikasi Bering (Beton Ringan) Alwa Pada Komponen Panel Risha (Rumah Instan Sederhana Sehat) Characteristic Of Lighthweigth Concrete Applications In The Panel Component RISHA*. Jurnal Permukiman. Vol. 10, no. 1, pp. 11-18.
- [6] K. S. Elango, J. Sanfeer, R. Gopi, A. Shalini, R. Saravanakumar, dan L. Prabhu. 2020. *Properties of light weight concrete - A state of the art review*. Materials Today: Proceedings, Elsevier Ltd, 2020, pp. 4059-4062. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.571.
- [7] J. Karthik, H. J. Surendra, V. S. Prathibha, dan G. Anand Kumar. 2022. *Experimental study on*

- lightweight concrete using Leca, silica fume, and limestone as aggregates*. *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, Jan. 2022, pp. 2478–2482. doi: 10.1016/j.matpr.2022.06.453.
- [8] H. K. Adai Al-Farttoosi, O. A. Abdulrazzaq, dan H. K. Hussain. 2021. *Mechanical Properties of Light Weight Aggregate Concrete Using Pumice as a Coarse Aggregate*. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1090, no. 1, p. 012106, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1090/1/012106.
- [9] J. X. Lu. 2023. *Recent advances in high strength lightweight concrete: From development strategies to practical applications*. Oct. 12, 2023, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132905.
- [10] ASTM. 2008. *Specification for Concrete Aggregates*. Dec. 01, 2008, ASTM International, West Conshohocken, PA. doi: 10.1520/C0033_C0033M-08.
- [11] Ratna Widyawati. 2011. *Studi Kuat tekan Beton Ringan Dengan Metoda Rancang-Campur Dreux-Corrise*. *Jurnal Rekayasa*, vol. 15, no. 1, pp. 39–50.
- [12] Q. L. Yu, P. Spiesz, dan H. J. H. Brouwers. 2015. *Ultra-lightweight concrete: Conceptual design and performance evaluation*. *Cem Concr Compos*, vol. 61, pp. 18–28, May 2015, doi: 10.1016/j.cemcon-comp.2015.04.012.
- [13] Y. Zhang, Y. Hua, dan X. Zhu. 2022. *Investigation of the durability of eco-friendly concrete material incorporating artificial lightweight fine aggregate and pozzolanic minerals under dual sulfate attack*. *J Clean Prod*, vol. 331, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130022.
- [14] R. Sanjari Mijan, M. Momeni, dan M. A. Hadianfard. 2024. *Impact of fine lightweight aggregates and coal waste on structural lightweight concrete: Experimental study and gene expression programming*. *Structures*, vol. 63, May 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.106397.
- [15] G. Espinoza-Hijazin dan M. Lopez. 2011. *Extending internal curing to concrete mixtures with W/C higher than 0.42*. *Constr Build Mater*, vol. 25, no. 3, pp. 1236–1242, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.09.031.
- [16] M. Sifan, B. Nagaratnam, J. Thamboo, K. Poologanathan, dan M. Corradi. 2023. *Development and prospectives of lightweight high strength concrete using lightweight aggregates*. Jan. 02, 2023, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129628.