



Analisis Pengaruh Air Lerak dan Pecahan Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan

**Aditya Dandy Firatama^{1*}, Yuni Rokhmawati², Ipung Wisnu Triono³, Mochammad
Yudha Nur Fawaid⁴**

¹ Universitas Annuqayah, Jl. Bukit Lancaran PP Annuqayah Sumenep, Jawa Timur, Indonesia

^{2,3} Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Raya ITS Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

⁴ Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: adityadandi11@gmail.com

Abstrak

Beton merupakan material konstruksi yang terus berkembang secara signifikan hingga saat ini, namun memiliki kelemahan utama berupa nilai berat jenis yang tinggi, sehingga beban mati yang ditimbulkan pada suatu struktur menjadi sangat besar. Berdasarkan SNI 03-2847-2002, beton ringan tergolong beton yang berat satuan ≤ 1900 kg/m³. Mix design menggunakan Metode berdasarkan ACI 211.4R-93 terkait tata cara rencana pembuatan campuran beton ringan. Benda uji berjumlah 16 dengan umur pengujian 7 hari dan 28 hari berbentuk silinder Ø15 cm dan tinggi 30 cm. Beton ringan inovasi menggunakan agregat kasar substitusi 100% dengan limbah pecahan keramik dan air substitusi 100% dengan menggunakan air lerak. Beton ringan normal pada umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 17,56 MPa dan beton ringan inovasi sebesar 11,28 MPa. Penggunaan limbah pecahan keramik dan air lerak ini dapat menghemat biaya sebesar 18,4% dari biaya pembuatan beton ringan normal.

Kata kunci: Beton Ringan; Limbah Pecahan Keramik; Lerak; Kuat Tekan; RAB.

1. Pendahuluan

Infrastruktur di Indonesia mengalami perkembangan yang pesat, yang mendorong peningkatan pemanfaatan beton secara luas. Beton menjadi salah satu bahan konstruksi yang sangat umum digunakan dalam berbagai proyek pembangunan saat ini. Hal ini disebabkan oleh sejumlah keunggulan yang dimilikinya, antara lain kemampuan beton untuk dibentuk sesuai kebutuhan, ketahanannya terhadap perubahan cuaca, harga yang relatif lebih ekonomis dibandingkan bahan lain, serta daya tahan terhadap api dan korosi. Kelebihan utama beton adalah kemampuannya dalam menahan gaya tekan (Firatama et al., 2020). Kekuatan tekan ini merupakan salah satu aspek utama yang menjadi keunggulan beton menurut Firatama & Aziz (2024).

Berat keseluruhan suatu konstruksi sipil sangat dipengaruhi oleh berat jenis beton yang digunakan, dan permasalahan ini dapat diatasi dengan memanfaatkan material yang lebih ringan, sehingga tercipta beton ringan (Miswar, 2020). Beton ringan didefinisikan sebagai beton dengan berat jenis maksimum mencapai 1.850 kg/m³. Pada proyek pembangunan gedung tinggi (high rise building), pemakaian beton ringan secara signifikan dapat menurunkan beban struktur yang harus

ditopang. Beton ringan ini dibuat dengan menggantikan agregat kasar maupun agregat halus menggunakan bahan yang memiliki berat jenis lebih rendah (Firda et al., 2021). Rentang berat beton ringan berkisar antara 1.000 hingga 2.000 kg/m³ (Fauzi et al., 2022). Penggunaan beton ringan telah meluas di Indonesia, terutama di daerah-daerah yang rawan gempa, karena kemampuan beton ringan untuk mengurangi bobot struktur secara efektif (Sutama & Oemiati, 2022). Tujuan utama penggunaan beton ringan adalah untuk mengurangi berat sendiri dari beton itu sendiri (Damayanti, 2022). Berdasarkan standar SNI-03-2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dengan berat jenis tidak melebihi 1.000-2.000 kg/m³. Beton ringan dikelompokkan menjadi tiga kategori, sebagaimana dijelaskan oleh Febryandi et al. (2022):

- a. Beton tidak rata adalah beton bebas pasir yang terbuat dari semen, air, dan kerikil. Peristiwa ini meringankan berat jenis beton. Beton tanpa pasir biasanya diterapkan pada elemen-elemen non-struktural seperti pagar, balok beton ringan, dan bata beton. Semen yang digunakan sangat sedikit, karena beton tanpa pasir menekankan estetika dan semen hanya digunakan untuk menutupi permukaan agregat kasar. Massa jenis beton tanpa pasir bervariasi dari nilai minimum 1963,0 kg/m³ hingga nilai maksimum 2047,3 kg/m³. Kuat tekan minimum beton diperoleh dengan memvariasikan diameter agregat 15 mm sebesar 5,66 MPa, Nilai kuat tekan maksimum yang diperoleh dengan variasi diameter 10 mm adalah sebesar 7,45 MPa.
- b. Beton ringan dengan agregat ringan. Beton ini dapat diproduksi pada beton ringan dengan agregat ringan, yaitu produksi agregat yang mengandung bahan kering gembur sampai dengan 1100 kg/m³ (SK SNI 03-349-2002).
- c. *Papercrete merupakan jenis beton yang dibuat dari campuran semen, pasir, dan kertas daur ulang.*

Kuat tekan beton merujuk pada besaran beban per satuan luas yang dapat menyebabkan kerusakan pada sampel beton ketika diberikan tekanan oleh mesin uji. Kekuatan tekan merupakan salah satu parameter utama untuk menilai performa beton. Nilai kekuatan ini diperoleh melalui pengujian pada sampel beton berbentuk silinder atau kubus yang umur pengerasan betonnya mencapai 28 hari, dengan pembebanan gaya tekan hingga mencapai beban puncak (Gobel, 2019). Faktor yang memengaruhi kuat tekan beton meliputi komposisi campuran, mutu bahan yang digunakan, serta metode pemadatan saat pembuatan sampel (Ilyas et al., 2022). Agar kuat tekan beton sesuai target, proses perawatan atau curing beton perlu mendapat perhatian khusus. Perawatan curing dilakukan setelah pengecoran dan pembukaan bekisting, bertujuan untuk menjaga agar beton tidak kehilangan kelembaban secara cepat. Dengan menjaga kelembaban dan suhu yang optimal, proses hidrasi semen dapat berlangsung optimal dan mencegah terjadinya retak pada permukaan beton (Mulyati & Arkis, 2020).

Sejauh ini, penelitian terdahulu yang ada memfokuskan pada kekuatan dengan berbagai jenis bahan tambah yang digunakan sebagai *foaming agent* seperti saponin, lerak atau *soap nut*, fermipan, *hydrogen peroxide*, sabun cuci piring, dan lainnya (Christina et al., 2022). Lerak adalah sejenis buah yang digunakan untuk mencuci kain batik tulis tradisional. Dalam beton ringan terdapat *foam* (busa) yang berfungsi untuk meringankan berat beton. Material *foam agent* dalam beton ringan termasuk salah satu bidang konstruksi yang terus mengalami perkembangan pesat (F.

Firmansyah et al., 2021). Permintaan yang semakin meningkat terhadap bata beton ringan berbasis *foam* menyebabkan kebutuhan akan bahan pembentuk bata tersebut, khususnya *foam agent*, juga meningkat. *Foam agent* merupakan bahan yang mengandung surfaktan, berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan larutan sehingga mampu menghasilkan busa. Penerapan *foam agent* pada beton ringan bertujuan untuk menciptakan gelembung udara di dalam mortar, sehingga setelah mengalami proses pengeringan dan pengerasan akan terbentuk pori-pori yang berperan menurunkan densitas beton ringan tersebut (Firdaus et al., 2022). Saat ini, *foam agent* memiliki peran penting sebagai bahan utama dalam produksi beton ringan (Lubis et al., 2019). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Arrumi (2018), ditemukan adanya perbedaan nilai kuat tekan pada bata beton ringan *foam* yang dibuat dengan menggunakan variasi *foam* lerak sebesar 30% dan 40%, serta perbandingan campuran 1PC:1PS dan 1PC:2PS. Nilai kuat tekan tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 6,583 MPa, berasal dari penggunaan *foam* lerak 30% dengan perbandingan campuran 1PC:1PS.

Namun, di pihak lain, peningkatan penggunaan beton secara besar-besaran menyebabkan tekanan yang terus-menerus pada sumber daya alam. Seperti pengerukan pasir di tepi sungai dan munculnya penambangan batu di kaki-kaki gunung berapi. Di sisi lain industri juga semakin berkembang dan menghasilkan limbah yang beragam. Beberapa jenis limbah dapat diuraikan oleh alam. Tetapi limbah yang tidak dapat diuraikan akan menjadi polusi pada tanah. Beton ramah lingkungan didefinisikan sebagai beton yang menggunakan bahan-bahan yang tidak berdampak merugikan terhadap lingkungan. Salah satu cara untuk mewujudkannya adalah dengan mengganti agregat dalam beton menggunakan bahan limbah (Karimah & Rusdianto, 2021). Contohnya adalah limbah pecahan keramik, yang berasal dari proses produksi pabrik keramik maupun sisa kegiatan konstruksi bangunan (Darmiyanti et al., 2022). Pemanfaatan limbah keramik juga untuk mengurangi dampak negatif pada lingkungan dan juga karena ketersediaan bahan baku agregat kasar yang semakin sedikit seiring dengan bertambahnya jumlah proyek (A. A. Firmansyah et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh (Pangestu, 2025) menunjukkan hasil kuat tekan beton terhadap variasi pergantian agregat kasar dengan limbah keramik, nilai kuat tekan maksimum beton dengan substitusi limbah keramik terjadi pada kadar 14% yaitu sebesar 28,02 MPa, mengalami peningkatan sebesar 5,68% dibandingkan beton normal. Penelitian (Haniuddin et al., 2021) hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan dalam penambahan limbah genteng keramik sebesar 0% dan 25% sebagai substitusi agregat kasar menyebabkan nilai kuat tekan naik pada umur 28 hari sebesar 22,57 MPa dengan variasi 0%, dan 24,86 MPa variasi 25%. Penelitian yang dilakukan oleh R. Wawan et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan limbah keramik dengan variasi persentase sebesar 10%, 20%, dan 30% dari berat agregat kasar menghasilkan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari masing-masing sebesar 16,60 MPa, 14,15 MPa, dan 18,02 MPa. Sementara itu, studi oleh Wardani et al. (2023) mengungkapkan penurunan nilai kuat tekan beton saat limbah pecahan genteng keramik digunakan sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi yang meningkat. Pada umur 28 hari, nilai kuat tekan beton normal tercatat sebesar 27,79 MPa, sedangkan beton dengan variasi 13% mengalami penurunan menjadi 25,85 MPa, dan beton dengan variasi 23% turun lebih lanjut menjadi 24,64

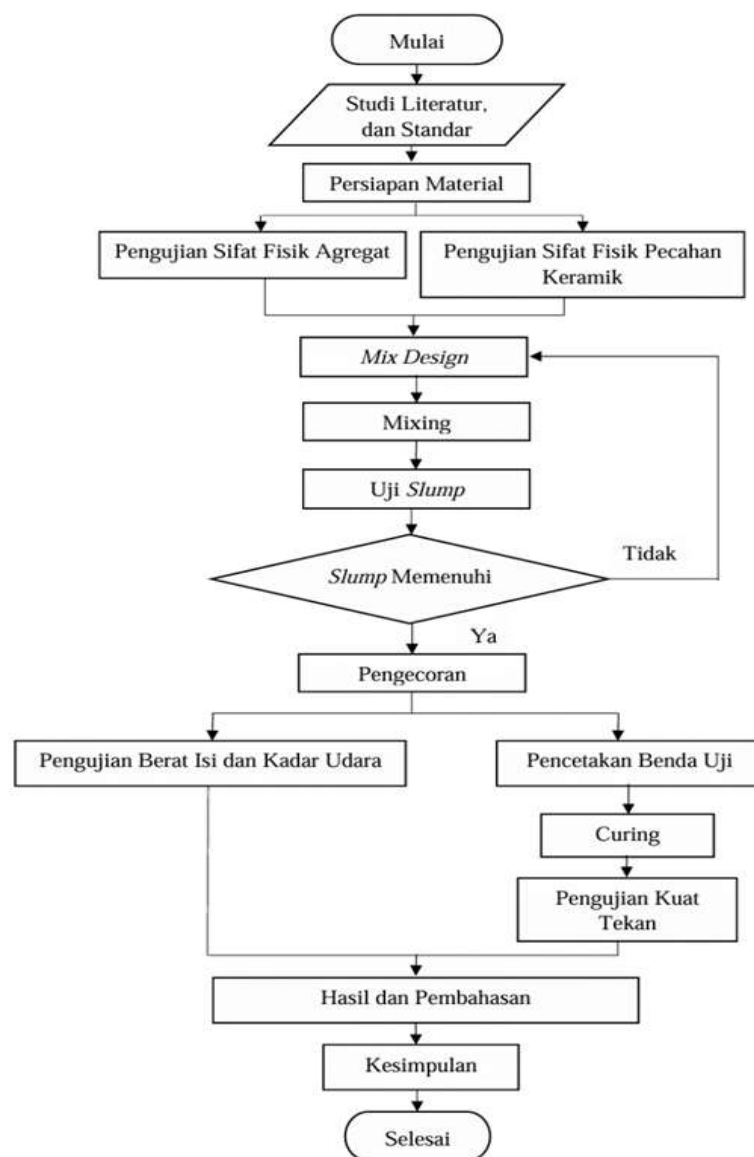
MPa. Penggunaan beton yang semakin masif di satu sisi juga memicu eksploitasi sumber daya alam yang berkelanjutan.

Akibat semakin sedikitnya sumber daya yang tersedia di alam perlu dikembangkan sebuah metode yang dapat mensubstitusi bahan campuran tersebut. Inovasi beton ringan dengan campuran air lerak dan pecahan keramik diharapkan dapat dijadikan solusi dengan keunggulannya memiliki berat jenis yang ringan untuk pekerjaan konstruksi sehingga pengerjaan menjadi lebih cepat dan efisien terhadap biaya.

2. Metode

2.1. Flow Chart Penelitian

Kegiatan penelitian memiliki alur yang tertampilkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Sumber: Penulis

2.2. Kuat Tekan Beton

Salah satu keunggulan dari beton adalah kekuatan tekan. Kemampuan dari beton yang ditujukan untuk menerima gaya secara vertikal atau tekan persatuan luas disebut dengan kuat tekan beton (Mulyono, 2005:9). Kuat tekan dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

f_c' = Kuat Tekan Beton (N/mm²)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Permukaan benda uji (mm²)

2.3. Metode *Mix Design*

Metode Mix desain kali ini menggunakan hasil perhitungan dengan ketentuan dan metode yang tercantum dalam ACI 211.4R-93, untuk perencanaan beton ringan dengan nilai FAS antara 0,6 – 0,8.

2.4. Pemilihan Bahan

Material yang kami pilih yaitu menggunakan Pasir Lumajang yang telah umum digunakan di Kota Malang dan untuk Pecahan Keramik menggunakan limbah pembongkaran rumah. Sedangkan buah lerak didapatkan dari sekitar kampus Politeknik Negeri Malang.



Gambar 2. Proses Pengambilan Air Lerak

Sumber: Dokumentasi Penulis



Gambar 3. Limbah Pecahan Keramik

Sumber: Dokumentasi Penulis

2.5. Alat Percobaan

Alat percobaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu set ayakan, mesin getar, timbangan, oven, cawan, piknometer dengan kapasitas 500 ml, thermometer, gelas ukur, kerucut terpancung, plat alas, sendok spesi, meteran, penumbuk, mould, cetakan beton dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dan alat uji tekan.

2.6. Metode Pelaksanaan

Metode Pelaksanaan dalam pengecoran kali ini adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan persiapan untuk alat dan bahan.
- b. Takar setiap material yang akan digunakan.
- c. Masukkan pasir dan semen ke dalam mesin molen, aduk hingga merata.
- d. Kemudian masukkan Pecahan Keramik ke dalam mesin molen.
- e. Apabila campuran sudah merata, tambahkan Larutan Lerak ke dalam mesin molen,
- f. Lakukan uji Slump keruntuhan.
- g. Apabila nilai uji Slump telah memenuhi, maka masukkan campuran ke dalam cetakan dalam 3 lapis dan tumbuk sebanyak 25 kali pada tiap lapisnya.
- h.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang dipergunakan pasir Lumajang. Dilakukan pengujian sifat fisik, dengan hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	Standart SNI
Gradasi	Zona 2	
Berat Jenis JPK (gr/cm ³)	2,52	2,2 - 2,6
Berat Jenis Semu (gr/cm ³)	2,56	
Absorsi/ Penyerapan (%)	1,17	
Kadar Air (%)	0,66	0 - 10
Kekerasan	-	-

Sumber: Hasil Uji Laboratotium

Dari hasil pengujian agregat halus di atas secara keseluruhan memenuhi syarat dan dapat digunakan untuk campuran beton yang direncanakan.

3.2. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian tersebut berupa batu pecah dari Ngoro dengan ukuran berkisar antara 1 hingga 2 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	Standart SNI
Gradasi	-	
Berat Jenis JPK (gr/cm ³)	2,75	2,4 - 2,8
Berat Jenis Semu (gr/cm ³)	2,80	
Absorsi/ Penyerapan (%)	1,01	

Kadar Air (%)	0,28	1 - 5
Kekerasan	9,39	0 - 45

Sumber: Hasil Uji Laboratotium

Dari hasil pengujian di atas meterial agregat kasar secara keseluruhan memenuhi syarat untuk di campurkan kedalam campuran beton.

3.3. Pengujian Pecahan Keramik

Pecahan keramik digunakan sebagai substitusi Agregat kasar oleh peneliti, dengan hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pecahan Keramik (Agregat Kasar)

Pemeriksaan	Hasil	Standart SNI
Gradasi	-	
Berat Jenis JPK (gr/cm ³)	2,27	2,4 - 2,8
Berat Jenis Semu (gr/cm ³)	2,58	
Absorsi/ Penyerapan (%)	9,52	
Kadar Air (%)	8,69	1 - 5
Kekerasan	6,24	0 - 45

Sumber: Hasil Uji Laboratotium

Dari hasil pengujian di atas limbah pecahan kermaik sebagai subtitusi agregat kasar secara keseluruhan memenuhi syarat untuk di campurkan ke dalam campuran beton, tetapi untuk pengujian kadar air dan kekerasan tidak memenuhi syarat.

3.4. Analisis *Mix Design*

Perencanaan *mix design* dilakukan dengan mutu f_c' 10 MPa. Pada pengujian ini kami menggunakan Semen sebanyak 217,82 kg/m³, Kerikil sebanyak 1149,33 kg/m³, Pasir sebesar 362,95 kg/m³, dan Air sebesar 169,90 kg/m³. Inovasi dari pen-gujian ini adalah penggunaan pecahan keramik sebagai subsitusi kerikil sebesar 100%. Selain itu, kami juga menggunakan air rendaman lerak sebagai subsitusi air sebesar 100%. Untuk percobaan kali ini kami membuat sampel sebanyak 16 buah berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm.

Tabel 4. Perhitungan *Mix Design*

Agregat Halus (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)
362,95	1149,33	169,90	217,82

Sumber: Hasil Perhitungan

3.5. Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian kuat tekan beton untuk setiap variasi sejumlah 8 buah benda uji yang terbagi 4 buah benda uji pada umur 7 hari dan 28 hari dengan hasil pengujian pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Umur	Variasi 0% (Mpa)	Variasi 100% (Mpa)
7	11,39	7,42
28	17,56	11,28

Sumber: Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar 4. Grafik Pengujian Kuat Tekan

Sumber: Penulis

Dari hasil pengujian kuat tekan beton ringan, dengan variasi 0% pada umur 7 hari sebesar 11,39 MPa dan umur 28 hari sebesar 17,56 MPa. Sedangkan pada variasi 100% nilai kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 7,42 MPa dan umur 28 hari sebesar 11,28 MPa.

3.6. Perhitungan RAB Beton Ringan per m³

Berikut adalah perhitungan RAB beton ringan per m³ yang terdiri dari semen, pasir, serpihan keramik, dan larutan lerak:

Tabel 6. RAB Beton Ringan Normal per m³

No.	Material	Harga/kg	Kebutuhan per 1 kg/m ³	Harga
1	Semen	Rp. 1.288	217,82	Rp. 280.552
2	Pasir	Rp. 162	362,95	Rp. 58.798
3	Kerikil	Rp. 147	1149,33	Rp. 168.952
			Total	Rp. 508.302

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. RAB Beton Ringan Inovasi per m³

No.	Material	Harga/kg	Kebutuhan per 1 kg/m ³	Harga
1	Semen	Rp. 1.288	217,82	Rp. 280.552
2	Pasir	Rp. 162	362,95	Rp. 58.798
3	Pecahan Keramik	Rp. -	1149,33	Rp. -
4	Lerak	Rp. 25.000	3	Rp. 75.000
			Total	Rp. 414.350

Sumber: Hasil Perhitungan

Maka, biaya yang dibutuhkan untuk membuat 1 meter³ beton inovasi sebesar Rp. 414.350, harga ini menghemat 18,4% dari biaya pembuatan beton ringan normal tanpa keramik dan lerak.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai kuat tekan rata-rata tertinggi pada beton ringan dicapai oleh beton ringan normal pada umur 28 hari, yaitu sebesar 17,56 MPa, sedangkan beton ringan inovasi mencapai 11,28 MPa. Penggantian agregat kasar dan air dengan limbah serpihan keramik serta air lerak menyebabkan penurunan nilai kuat tekan rata-rata pada variasi beton ringan. Penurunan kuat tekan ini disebabkan oleh gradasi cangkang limbah pecahan keramik yang tidak memenuhi standar sebagai agregat kasar untuk beton ringan, sehingga berdampak pada berat isi, daya serap, dan kekuatan tekan beton, sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya.
- b. Biaya kebutuhan inovasi dalam beton ringan 1 m³ sebesar Rp. 414.350, harga ini menghemat 18,4% dari biaya pembuatan beton ringan normal tanpa keramik dan lerak.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Annuqayah, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang yang sudah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di Laboratorium Bahan Bangunan dan Beton serta semua pihak yang terlibat pada penelitian ini.

Daftar Rujukan

- ACI 211.4R-93, 'Guide For Selecting Proportions For High Strength Concrete Using Portland Cement And Fly Ash', Reported by ACIS Committee 211.
- Christina, S., Kristanto, D., Hafisuddin, F., & Olivia, M. (2022). Ketahanan Mortar Ringan Campuran Gula Aren dan Ragi pada Suhu Tinggi: Narrative Review. *Rekayasa Sipil*, 16(3), 148-155. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2022.016.03.1>
- Damayanti, R. (2022). Pengaruh Campuran Styrofoam Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Dengan Tambahan Superplasticizer. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 15(2), 71-76. <https://doi.org/10.23917/dts.v15i2.18736>
- Darmiyanti, L., Indriasari, & Tambunan, S. H. (2022). Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar. *Jurnal Sipil Krisna*, 8(1), 11-20. <https://doi.org/10.61488/sipilkrisna.v8i1.157>
- Fauzi, M., Puspita, N., & Julio, R. R. (2022). Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Pada Beton Ringan. *Jurnal Ilmiah Tekno Global*, 11(2), 45-50. <https://doi.org/10.36982/jtg.v11i2.2802>
- Febryandi, F., Devi, D. S., Julio, R. R., & Cristine, A. (2022). Analisis Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan. *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 11(1), 25-29. <https://doi.org/10.36982/jtg.v11i1.2804>
- Firatama, A. D., & Aziz, H. A. A. (2024). Hasil Eksperimen Pengujian Kuat Tekan Kembali dan Curing Oven dengan Cangkang Kerang Darah Sebagai Substitusi Pasir. *Prosiding National Seminar and Call for Paper Civil Dasy 2024*, 4, 24-33.
- Firatama, A. D., Qomariah, & Sugiharti. (2020). Analisis Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Beton Normal. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 1(2), 12-18. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2020.01.02.8-11>
- Firda, A., Permatasari, R., & Fuad, I. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Sebagai Material Pengganti Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Ringan. *Jurnal Deformasi*, 6(1), 1-8. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v6i1.5423>
- Firdaus, M. S., Abdi, F. N., Sharly, T., & Arifin, P. (2022). Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap

Live and Applied Science, Volume 5

- Kuat Tekanbeton Ringan Struktural Agregat Batu Apung. *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 6(2), 87–93. <https://doi.org/10.30872/ts.v6i2.9423>
- Firmansyah, A. A., Ariawan, P., Darmayasa, I. G. N. P., & Agus, A. (2023). Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Bahan Alternatif Campuran Agregat Kasar Pada Beton. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 2(2), 74–86. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v2i2.4689>
- Firmansyah, F., Itteridi, V., & Taswin, M. (2021). Pengaruh Penggunaan Foam Agent Terhadap Karakteristik Beton Ringan. *Jurnal Ilmiah Bering's*, 08(01), 7–9. <https://ejournal.lppmsttpagaralam.ac.id/index.php/berings>
- Gobel, F. M. V. (2019). Nilai Kuat Tekan Beton Pada Slump Beton Tertentu. *RADIAL – Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 5(1), 22–33.
- Haniuddin, I., Qomariah, & Suryanto, S. (2021). Iyz Haniuddin (2021). *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 2(2), 1–6.
- Ilyas, Y. A., Yanti, G., & Putri, L. D. (2022). Studi Beton Geopolimer Dengan Bahan Dasar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5(2), 83–92. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i2.2096>
- Karimah, R., & Rusdianto, Y. (2021). Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Pada Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 19(1), 17–23. <https://doi.org/10.22219/jmts.v19i1.15386>
- Lubis, M., Suryani, A., Kartika, I. A., & Hambali, E. (2019). Pemanfaatan Foaming Agent Dari Minyak Sawit Pada Beton Ringan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 29(3), 308–316. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2019.29.3.307>
- Miswar, K. (2020). Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Material Beton Ringan. *PORTAL Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 25–32.
- Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(2), 78–84. <https://doi.org/10.21063/jts.2020.v702.05>
- Mulyono, T. 2005. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Pangestu, M. A. (2025). Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Limbah Keramik Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Beton. In *Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*.
- R. Wawan, S., Zuraidah, S., & Hartono, B. (2024). Penggunaan Limbah Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Ditinjau Terhadap Kuat Tekan Beton. *CONCRETE: Construction and Civil Integration Technology*, 02(2), 132–137.
- Sutama, A., & Oemiati, N. (2022). Studi Mikrostruktur Beton Ringan Geopolimer Dengan Scanning Electron Microscope (SEM) dan X-Ray Diffraction (XRD). *Jurnal Deformasi*, 7(2), 145–160.
- Wardani, D. G. L., Sugiarto, A., & Qomariah. (2023). Pengaruh Penggunaan Limbah Genteng Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 4(1), 211–215.