

STUDI EKSPERIMEN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT ALWA CILACAP TERHADAP AGREGAT KASAR

Heri Kasyanto¹, Ambar Susanto^{1*}

¹ Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung, 40012
*E-mail Penulis Korespondensi: ambar.susanto@polban.ac.id

ABSTRAK

Saat ini, beton dengan menggunakan agregat ringan dapat mencapai kuat tekan 17 - 41 MPa. Di Cilacap terdapat industri penghasil agregat ringan yang mempunyai karakteristik material cocok untuk beton yaitu agregat ALWA Cilacap. Penelitian ini akan menggunakan agregat ALWA Cilacap untuk menyubstitusi agregat kasar pada beton sehingga dapat menghasilkan beton mutu tinggi yang ringan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dengan melakukan eksperimen di laboratorium. Persentase penggunaan agregat ringan ALWA Cilacap untuk menyubstitusi agregat kasar sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Pengujian kuat tekan beton dan berat isi menggunakan benda uji silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton maksimum pada benda uji B4 (substitusi agregat ringan ALWA Cilacap 15% dari agregat kasar) sebesar 39,7 MPa. Berat isi yang paling ringan adalah pada benda uji B5 (substitusi agregat ringan ALWA Cilacap 20% dari agregat kasar) yaitu sebesar 2151 kg/m³.

Kata Kunci: Agregat Ringan, Agregat ALWA Cilacap, Beton Ringan

ABSTRACT

At present, concrete using lightweight aggregates can achieve a compressive strength of 17 - 41 MPa. In Cilacap there is a light aggregate producing industry that is material characteristics suitable for concrete, that is the ALWA Cilacap aggregate. This study will use the ALWA Cilacap aggregate to substitute coarse aggregate on concrete to produce high-quality lightweight concrete. The methodology used in this study is to conduct experiments in the laboratory. The percentage of the use of ALWA Cilacap light aggregate to substitute gross aggregate is 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. Testing the concrete compressive strength and weight of the contents using a cylindrical specimen. The research results indicate that the maximum compressive strength of concrete in B4 specimens, the substitution of lightweight aggregate ALWA Cilacap 15% of coarse aggregate, was 39.7 MPa. The lightest weight content is in the specimen B5, the substitution of light aggregate ALWA Cilacap 20% of the gross aggregate, which is equal to 2151 kg/m³.

Key Word: Light Aggregate, ALWA Cilacap, lightweight concrete.

1. PENDAHULUAN

Secara umum penggunaan material beton dalam dunia konstruksi di Indonesia masih sangat dominan bila dibandingkan dengan material lain seperti baja atau kayu. Hal ini didasarkan pada mudahnya dan relatif murah nya material penyusun beton jika dibandingkan material baja atau kayu. Material beton juga sudah mengalami banyak perkembangan dalam mendapatkan material yang lebih baik perilakunya dalam memenuhi unsur-unsur struktur bangunan secara keseluruhan. Untuk mendapatkan kekuatan beton yang tinggi akan berbanding lurus juga dengan berat yang tinggi, karena material penyusun beton mempunyai berat jenis yang tinggi. Indonesia adalah negara yang mempunyai tingkat kegempaan yang tinggi, sehingga membuat struktur bangunan yang ringan dan kuat menjadi sebuah pilihan. Kemajuan teknologi material beton pada saat ini dimungkinkan untuk membuat campuran beton dari agregat ringan yang menghasilkan kuat tekan beton sampai 40 MPa atau lebih besar [1]. Penggolongan atau pendefinisian suatu campuran beton dikategorikan termasuk mutu tinggi bila campuran beton tersebut menghasilkan kuat tekan beton (f_c') lebih besar dari 41 MPa [2]. Pengembangan komposisi pada beton ringan bergantung pada agregat yang juga harus ringan, sehingga dalam penggunaannya diperlukan komposisi yang tepat untuk memprediksi kekuatan tekan beton [3]. Tingkat penyerapan pada agregat ringan menjadi faktor yang berpengaruh pada proporsi campuran, penanganan, dan pengendalian beton dan tergantung juga pada karakteristik pori permukaan partikel agregat, hal ini karena beton yang dibuat dengan agregat ringan menunjukkan pergerakan kelembaban yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan berat normal [4]. Hasil agregat beton ringan jika di uji dengan metode *non-destructive ultrasonic pulse velocity* menunjukkan perbedaan yang dipengaruhi oleh parameter desain campuran. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis dan kandungan semen, jumlah air, jenis campuran, kadar air, jenis dan volume agregat dan penggantian sebagian agregat kasar dan halus dengan berat normal oleh agregat ringan [5].

Penelitian tentang beton ringan sudah banyak dikembangkan oleh para peneliti dengan berbagai material penyusunnya. Peneliti Tripiyo dkk (2010) melakukan penelitian beton ringan dengan substitusi parsial batu apung sebagai agregat kasar dapat mencapai kuat tekan beton 39,21 MPa dan mempunyai berat beton per volumenya 1850 kg/m³ [6]. Aslam dkk. (2015) juga telah mengembangkan penelitian agregat ringan dengan agregat ringan buatan yaitu dengan cangkang kelapa sawit dan klinker minyak kelapa sawit, dari campuran tersebut ada komposisi yang menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 42,6 MPa [7]. Penggunaan *fly ash* dan agregat dari tanah liat juga pernah dilakukan oleh Subasi (2009), dimana komposisi yang telah dilakukan selain menghasilkan kekuatan tinggi juga dengan penggunaan *fly ash* dapat menghemat semen [8]. Hal ini didukung juga bahwa *fly ash* dapat substitusi parsial semen, *fly ash* juga bisa menyubstitusi semen lebih banyak jika ditambah dengan *activator* sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH). Seperti yang dilakukan Kasyanto (2012) yang menghasilkan kuat tekan *fly ash* 39,15 MPa pada campuran *fly ash* dengan sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH), dimana campuran Na₂SiO₃ : NaOH adalah 3 : 1 dengan faktor air 0,2 dan konsentrasi NaOH 8M [9]. Agregat dari lempung juga dilakukan oleh Banawair dkk (2019) yang diberi nama LECA (*lightweight expanded clay aggregate*) dimana mempunyai berat lebih ringan 50% dari agregat ringan, meskipun menghasilkan kekuatan sedang tetapi cukup signifikan beratnya [10]. Penggunaan lempung sebagai agregat ringan sudah dilakukan pengujian terhadap temperatur tinggi oleh Bingol dan Gul (2004) bahwa durasi pemanasan tidak mempengaruhi kehilangan kekuatan secara signifikan tetapi suhu tinggi merupakan parameter yang lebih signifikan pada kehilangan kekuatan [11]. Riyawan dan Olivia (2013) juga melakukan penelitian pengaruh gradasi agregat kasar lempung bakar pada beton ringan. Dalam penelitiannya kuat tekan beton yang dihasilkan sebesar 22,63 MPa, *density* 1867.041 kg/m³ dan modulus elastisitasnya 1,564 x 10⁴ MPa pada umur 28 hari dengan benda uji silinder 150 x 300 mm, hasil tersebut didasarkan pada gradasi agregat kasar lempung bakar 19 – 4,75 mm [12].

Berdasarkan perkembangan material yang dapat menjadi komposisi pada beton ringan yang mempunyai kekuatan cukup untuk material struktural, maka beberapa peneliti sudah membuktikan baik mencampur material ringan dari alam atau buatan maka beberapa industri sudah mengembangkan untuk memproduksi agregat ringan. Saat ini di Indonesia yaitu tepatnya di Cilacap Jawa Tengah melalui Loka Teknologi Permukiman Cilacap mempunyai unit produksi agregat ringan buatan dengan produk yang dinamakan ALWA (*Artificial Light Weight Aggregate*) yang berbahan baku batu lempung sedimenter (*shale*) dan Alwa tersebut sudah diaplikasikan menjadi rumah yang diberi nama RISHA ALWA yaitu Rumah Instan Sederhana Sehat Alwa. Agregat ringan ALWA – Cilacap merupakan hasil proses pemecahan, pemisahan fraksi dan pembakaran dari batu lempung sedimenter [13]. Sulistyowati dan Rakhman (2015) juga telah melakukan pengujian panel RISHA (Rumah Instan Sederhana Sehat Alwa) untuk mendapatkan kuat lentur dan kekuatan struktur terhadap beban gempa. Berdasarkan hasil pengujian tersebut maka rangkaian komponen RISHA ALWA memenuhi persyaratan untuk bangunan rumah tinggal 2 lantai [14].

Berdasarkan data teknis dan spesifikasi (komposisi) bahan kimia yang terkandung dalam agregat ringan ALWA – Cilacap sangat dimungkinkan untuk dapat digunakan sebagai agregat dalam pembuatan campuran beton baik beton normal maupun beton mutu tinggi. Hal yang mendasari dari studi eksperimen ini untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan beton yang dihasilkan dengan menyubstitusi parsial agregat ringan ALWA – Cilacap terhadap agregat kasar. Studi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton mutu tinggi dengan menggunakan agregat ringan ALWA – Cilacap sebagai substitusi parsial terhadap agregat kasar sehingga akan berpengaruh pada berat isi dari pada campuran beton tersebut.

2. STUDI PUSTAKA

Agregat ringan ALWA - Cilacap (*Artificial Light Weight Aggregate*) adalah produk agregat ringan buatan pada Loka Teknologi Permukiman Cilacap. Berdasarkan data dari Balitbang PU Loka Teknologi Permukiman Cilacap bahwa ALWA mempunyai *unit weight* dari ALWA CILACAP sebesar 0,45 – 0,75 kg/lt, *Absolute Dry Sp. Gravity* sebesar 0,75 – 1,20 kg/cm³, *Water absorption* (24 h) sebesar 16,50 – 20%, *Fineness Modulus* (FM) sebesar 5 – 7% dan *Crushing Test* 40 T sebesar 40 – 53%. Di samping itu, agregat ringan ALWA juga sudah diaplikasikan pada panel RISHA ALWA yang mempunyai berat maksimum sebesar 38,3 kg, sehingga agregat ringan ALWA dapat digunakan sebagai agregat ringan pada campuran beton [13]. Dari data teknis ALWA tersebut mempunyai potensi sebagai beton ringan yang mempunyai kuat tekan tinggi.

Farudin dan pertiwi (2019) telah melakukan penelitian untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan menyubstitusi Alwa pada agregat kasar, dimana komposisi campuran menggunakan campuran untuk beton normal dengan kuat tekan yang direncanakan sebesar 20 MPa. Persentase agregat Alwa dalam menyubstitusi agregat kasar direncanakan 0%, 6%, 8% dan 10%. Hasil yang didapatkan adalah variasi 0% sebesar 30,36 MPa, variasi 6% sebesar 25,19 MPa, variasi 8% sebesar 23,85 MPa dan variasi 10% sebesar 21,14 MPa [15]. Jika dibandingkan dengan beton normal hasil pengujian mengalami penurunan untuk beton

yang disubstitusi agregat Alwa tetapi memenuhi rencana kuat tekan 20 MPa. Dari hal itu peneliti akan melakukan penelitian dengan komposisi campuran untuk beton mutu tinggi, dimana besarnya persentase agregat ringan ALWA – Cilacap yang digunakan untuk mengganti sebagian dari agregat kasar berturut – turut sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat agregat kasar dengan benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji umur 7, 28 dan 56 hari.

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan terlebih dahulu melakukan pengujian material pembentuk beton berupa analisa ayak dari agregat kasar, halus dan ALWA. Di samping itu juga, diperlukan pengujian kadar lumpur, berat jenis kering oven, penyerapan air, berat isi agregat halus, kasar dan ALWA serta kekerasan agregat dengan tekanan 400 kN, semua data pengujian material tersebut dapat digunakan dalam membuat rancangan beton mutu tinggi dengan substitusi agregat ringan ALWA terhadap agregat kasar dengan mutu beton rencana $f_c' = 41$ MPa. Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Adapun kebutuhan benda uji dan persentase (%) substitusi agregat ringan ALWA terhadap agregat kasar seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Benda Uji Silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm

| Kode | Substitusi ALWA (%) | Benda uji berdasarkan umur | | | Jumlah (buah) |
|------|---------------------|----------------------------|---------|---------|---------------|
| | | 7 hari | 28 hari | 56 hari | |
| B 1 | 0 | 6 | 6 | 6 | 18 |
| B 2 | 5 | 6 | 6 | 6 | 18 |
| B 3 | 10 | 6 | 6 | 6 | 18 |
| B 4 | 15 | 6 | 6 | 6 | 18 |
| B 5 | 20 | 6 | 6 | 6 | 18 |

Keterangan :

- B1 : adalah beton mutu tinggi dengan substitusi agregat ALWA sebesar 0% dari agregat kasar.
- B2 : adalah beton mutu tinggi dengan substitusi agregat ALWA sebesar 5% dari agregat kasar.
- B3 : adalah beton mutu tinggi dengan substitusi agregat ALWA sebesar 10% dari agregat kasar.
- B4 : adalah beton mutu tinggi dengan substitusi agregat ALWA sebesar 15% dari agregat kasar.
- B5 : adalah beton mutu tinggi dengan substitusi agregat ALWA sebesar 20% dari agregat kasar.

Untuk mendapatkan kuat tekan dari masing-masing tipe benda uji pada Tabel 1, dilakukan pengujian tekan dengan menggunakan mesin uji tekan UTM pada umur 7, 14, 28 dan 56 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan tersebut dibuat suatu grafik sehingga dapat diketahui kuat tekan maksimum dari tipe campuran beton mutu tinggi. Di samping pengujian tekan, pada penelitian ini juga melakukan pengujian berupa penimbangan terhadap benda uji pada umur 56 hari agar dapat diperoleh data dari berat isinya.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pendahuluan

Dalam pembuatan campuran beton, baik untuk mutu beton normal maupun tinggi harus dilakukan pengujian pendahuluan terhadap material-material bahan penyusun campuran beton seperti agregat halus, agregat kasar, ALWA-Cilacap, air dan semen. Adapun pengujian pendahuluan yang dilakukan antara lain analisa ayak, kadar lumpur, berat jenis, berat isi agregat halus, agregat kasar dan pengujian kekerasan agregat dengan tekanan 400 kN untuk agregat kasar dan ALWA- Cilacap. Hasil pengujian pendahuluan akan digunakan sebagai dasar perhitungan campuran beton mutu tinggi (*Mix Design*) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian pendahuluan

| No | Jenis Pengujian | Keterangan | Hasil |
|----|-----------------------------|------------------|---------|
| 1 | Analisis Ayak Agregat Halus | Nilai FM | 2,617 |
| | | Agregat maksimum | 4,75 mm |
| 2 | Analisis Ayak Agregat Kasar | Nilai FM | 7,112 |

| No | Jenis Pengujian | Keterangan | Hasil |
|----|---|------------------|------------------------|
| 3 | Analisis Ayak Agregat ALWA | Agregat maksimum | 19 mm |
| | | Nilai FM | 6,709 |
| 4 | Kadar Lumpur Agregat | Agregat maksimum | 19 mm |
| | | Agregat Halus | 2,99 % |
| | | Agregat Kasar | 0,66 % |
| 5 | Berat jenis kering oven | Agregat ALWA | 0,19 % |
| | | Agregat Halus | 2,41 |
| | | Agregat Kasar | 2,42 |
| 6 | Penyerapan air | Agregat Halus | 1,27 |
| | | Agregat Kasar | 2,42 |
| | | Agregat ALWA | 1,27 |
| 7 | Berat isi agregat halus | Agregat Halus | 5,11 % |
| | | Agregat Kasar | 4,78 % |
| | | Agregat ALWA | 19,13 % |
| 8 | Berat isi agregat kasar | Padat | 1650 kg/m ³ |
| | | Gembur | 1400 kg/m ³ |
| 9 | Berat isi agregat ALWA | Padat | 1450 kg/m ³ |
| | | Gembur | 1230 kg/m ³ |
| 10 | Kekerasan agregat dengan tekanan 400 kN | Padat | 780 kg/m ³ |
| | | Gembur | 650 kg/m ³ |
| 10 | Kekerasan agregat dengan tekanan 400 kN | Agregat kasar | 34,02 % |
| | | Agregat ALWA | 17,63 % |

4.2 Hasil Mix Design Beton Mutu Tinggi

Mix design beton mutu tinggi dari masing-masing benda uji direncanakan menggunakan metode ACI seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Mix Design Beton Mutu Tinggi

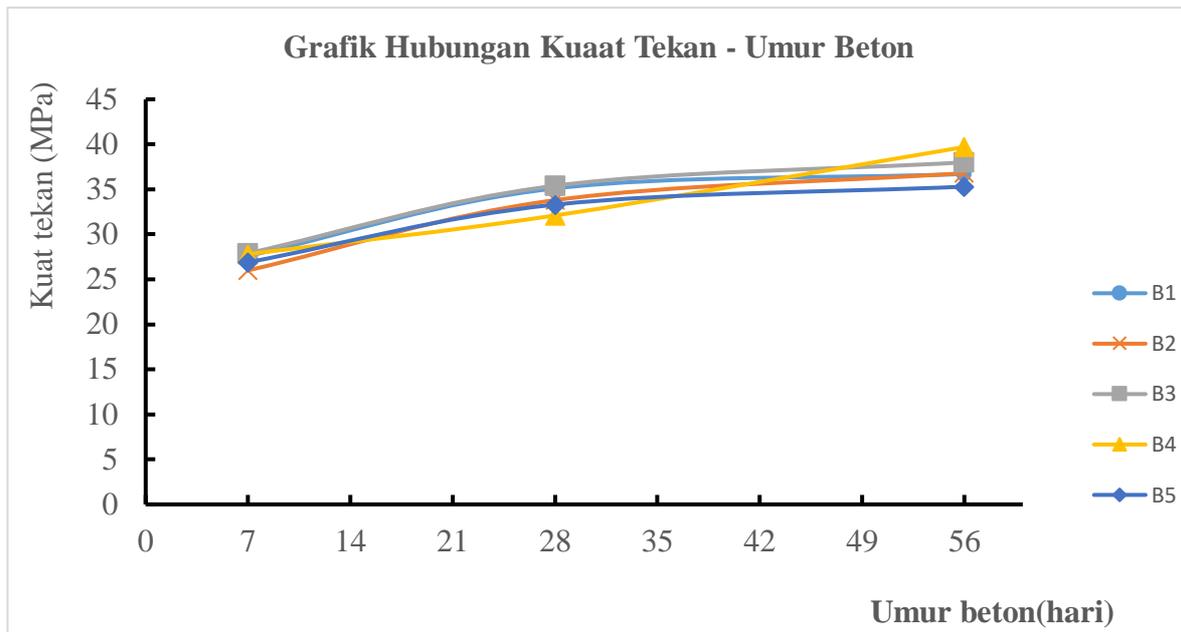
| No | Benda Uji | Berat hasil mix design (kg per m ³) | | | | |
|----|-----------|---|-----------------------|---------------------|------|--------------|
| | | Semen | Agregat Kasar/Kerikil | Agregat Halus/Pasir | Air | Agregat ALWA |
| 1 | B1 | 24,68 | 68,19 | 44,23 | 9,97 | - |
| 2 | B2 | 24,68 | 64,78 | 44,23 | 9,97 | 3,41 |
| 3 | B3 | 24,68 | 61,37 | 44,23 | 9,97 | 6,82 |
| 4 | B4 | 24,68 | 57,96 | 44,23 | 9,97 | 10,23 |
| 5 | B5 | 24,68 | 54,55 | 44,23 | 9,97 | 13,64 |

4.3 Pengujian Benda Uji Silinder

Pengujian terhadap benda uji silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dilakukan pada umur 7, 28 dan 56 hari, dengan jenis pengujiannya seperti kuat tekan dan berat isi. Hasil pengujian kuat tekan beton seperti pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 tersebut dapat juga dibuatkan grafik hubungan antara kuat tekan beton terhadap umur beton seperti pada Gambar 1.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton Umur 7,28 dan 56 Hari

| No | Tipe Benda Uji | Jumlah Benda Uji | Kuat tekan rata-rata (MPa) | | |
|----|-----------------|------------------|----------------------------|---------|---------|
| | | | 7 Hari | 28 Hari | 56 Hari |
| 1 | B1 (tanpa ALWA) | 6 | 27,6 | 35,1 | 36,7 |
| 2 | B2 (5 % ALWA) | 6 | 26,0 | 33,8 | 36,8 |
| 3 | B3 (10 % ALWA) | 6 | 27,9 | 35,4 | 38,0 |
| 4 | B4 (15 % ALWA) | 6 | 27,8 | 32,1 | 39,7 |
| 5 | B5 (20 % ALWA) | 6 | 26,9 | 33,3 | 35,3 |

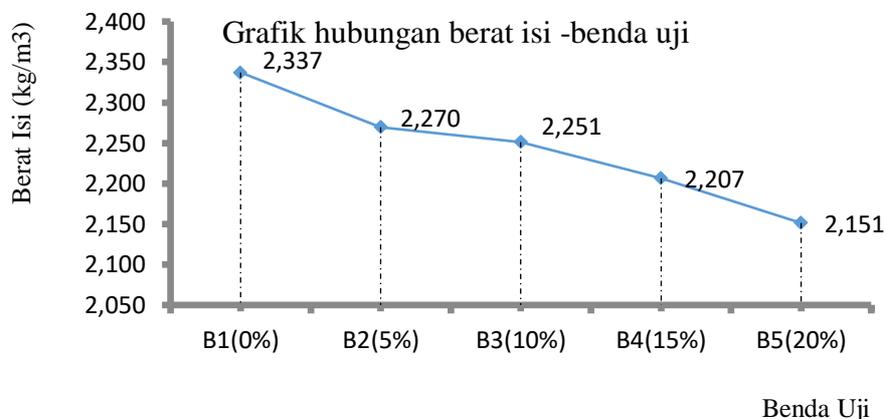


Gambar 1. Hubungan Kuat Tekan – Umur Beton

Berdasarkan Tabel 4 dan Grafik 1 di atas terlihat bahwa benda uji tipe B4 yang menggunakan ALWA-CILACAP sebesar 15 % untuk substitusi agregat kasar menghasilkan kuat tekan beton sebesar 39 MPa yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji tipe yang lainnya. Sedangkan hasil pengujian berat isi dari masing-masing benda uji seperti pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 dapat dibuatkan grafik hubungan tipe benda uji dan berat isi seperti pada Gambar 2.

Tabel 5. Berat Isi Beton

| No | Tipe benda uji | Berat isi (kg/m ³) |
|----|-----------------|--------------------------------|
| 1 | B1 (tanpa ALWA) | 2 337 |
| 2 | B2 (5 % ALWA) | 2 270 |
| 3 | B3 (10 % ALWA) | 2 251 |
| 4 | B4 (15 % ALWA) | 2 207 |
| 5 | B5 (20 % ALWA) | 2 151 |



Gambar 2. Hubungan Benda Uji – Berat Isi

Sehubungan hasil kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh benda uji yang menggunakan campuran ALWA 15% (tipe B4), maka bila dibandingkan berat isinya beton tanpa ALWA terdapat pengurangan berat sendiri sebesar 130 kg/m³.

5. KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Substitusi menghasilkan rata-rata kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton tanpa agregat ALWA sedangkan berat isi semakin kecil dengan penambahan agregat ALWA.
2. Kuat tekan beton mutu tinggi terbesar pada benda uji B4 (substitusi agregat ringan ALWA-Cilacap 15% dari agregat kasar) sebesar 39,7 MPa, dan terjadi penurunan berat isi terhadap beton tanpa ALWA sebesar 130 kg/m³.
3. Berat isi yang paling ringan adalah pada benda uji B5 (substitusi agregat ringan ALWA-Cilacap 20% dari agregat kasar) yaitu sebesar 2151 kg/m³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan dana penelitian. Dan tidak lupa juga, penulis menyampaikan terima kasih kepada Ketua Laboratorium Bahan, Ketua Kelompok Bidang Keahlian (KBK) Struktur dan Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI, "Guide for structural lightweight aggregate concrete," ACI 213R-03, vol. 1, no. 1, pp. 5–6, 2003, doi: 10.1016/0262-5075(79)90004-6.
- [2] ACI, "Report on High-Strength Concrete Reported by ACI Committee 363," ACI 363R-92, vol. 92, no. Reapproved, pp. 1–2, 1992.
- [3] S. Hedjazi, "Compressive Strength of Lightweight Concrete," IntechOpen, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88057> correlation.
- [4] F. Zulkarnain and M. Ramli, "Durability of Lightweight Aggregate Concrete Panel for Modular Housing Construction," 2nd Int. Conf. BUILT Environ. Dev. Ctries. (ICBEDC 2008), no. 979, pp. 541–551, 2008.
- [5] J. A. Bogas, M. G. Gomes, and A. Gomes, "Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method," Ultrasonics, vol. 53, no. 5, pp. 962–972, 2013, doi: 10.1016/j.ultras.2012.12.012.
- [6] D. Tripiyono, I. G. P. Raka, and Tavio, "BETON AGREGAT RINGAN DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL BATU APUNG SEBAGAI AGREGAT KASAR," Konf. Nas. Tek. Sipil 4 (KoNTekS 4), vol. 4, no. KoNTekS 4, pp. 173–180, 2010.
- [7] M. Aslam, P. Shafiqh, and M. Z. Jumaat, "Structural Lightweight Aggregate Concrete by Incorporating Solid Wastes as Coarse Lightweight Aggregate," Appl. Mech. Mater., vol. 749, no. March, pp. 337–342, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.749.337.
- [8] S. Subaşı, "The effects of using fly ash on high strength lightweight concrete produced with expanded clay aggregate," Sci. Res. Essays, vol. 4, no. 4, pp. 275–288, 2009.
- [9] H. Kasyanto, "Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dengan Aktivator Sodium Hidroksida Dan Sodium Silikat," Ind. Res. Work. Natl. Semin., vol. 3, pp. 254–259, 2012.
- [10] A. S. Banawair, G. M. Qaid, Z. M. Adil, and N. A. M. Nasir, "The strength of lightweight aggregate in concrete - A Review," IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 357, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/357/1/012017.
- [11] A. F. Bingöl and R. Gül, "Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures," Indian J. Eng. Mater. Sci., vol. 11, no. 1, pp. 68–72, 2004.
- [12] E. Riyawan and M. Olivia, "Pengaruh Gradasi Agregat Kasar Lempung Bakar pada Beton Ringan," Teknobiologi, 2013, doi: DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88057>.
- [13] K. P. U. Balitbang, "Rhisa Alwa.pdf." Loka Teknologi Permukiman, Cilacap, 2009.
- [14] N. A. Sulistyowati and J. Rakhman, "Karakteristik aplikasi bering (beton ringan) alwa pada komponen panel RISHA (rumah instan sederhana sehat)," J. Permukiman, vol. 10, no. 1, pp. 11–18, 2015, [Online]. Available: <http://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/view/2/2>.
- [15] M. R. N. Farudin and D. Pertiwi, "PENGARUH PENAMBAHAN ALWA PADA CAMPURAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PPC DITINJAU DARI KUAT TEKAN BETON," FTSP ITATS, pp. 7–13, 2019.