

Karakteristik Kuat Tekan Buis Beton Ditinjau dari Komposisi Campuran

Endang Sri Astutik*, Sri Handono Budi Prastowo, dan I Ketut Mahardika

Progam Studi Pendidikan Fisika, Universitas Jember, Jember, Indonesia, 68121

*Email : endangsriastutik866@gmail.com, srihandono.fkip@unej.ac.id, iketutmahardika202@gmail.com

Diterima (26 Juli 2021), Direvisi (30 Juni 2022)

Abstract. Research has been carried out on the characteristics of the compressive strength of concrete in terms of the composition of the mixture using firewood ash and without a mixture of firewood ash. This study aims to determine the compressive strength of concrete with the addition of firewood ash and to compare the compressive strength of concrete without the addition of wood ash using different ratios of sand. The composition of the wood ash variations added were 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the cement mass using a ratio between cement and sand of 1:4. While the composition of buis concrete without the addition of firewood ash uses a ratio of 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 and 1:6. Testing of the concrete buis sample was carried out at the age of 28 days. The test results showed that the compressive strength of the concrete sample with the addition of firewood ash was 18 MPa, 15 MPa, 17 MPa, 15 MPa and 13.5 MPa, respectively. While the compressive strength of concrete samples without the addition of firewood ash using different sand ratios, respectively, is 31 MPa, 20 MPa, 18 MPa, 15 MPa and 13 MPa. The results show that the more additional wood ash used, the lower the compressive strength value. While the sample without the addition of wood ash shows that the more cement used, the higher the value of the compressive strength. However, when viewed from an economic point of view, the optimal level of firewood ash addition is 10% of the cement mass with a compressive strength value of 17 MPa.

Keywords: concrete buis, firewood ash, compressive strength

Abstrak. Telah dilakukan penelitian mengenai karakteristik kuat tekan buis beton ditinjau dari komposisi campuran yang menggunakan abu kayu bakar dan tanpa campuran abu kayu bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan buis beton dengan penambahan abu kayu bakar dan membandingkan kuat tekan buis beton tanpa tambahan abu kayu dengan menggunakan rasio pasir yang berbeda. Komposisi variasi abu kayu yang ditambahkan yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari massa semen dengan menggunakan perbandingan antara semen dan pasir sebesar 1:4. Sedangkan komposisi buis beton tanpa tambahan abu kayu bakar menggunakan perbandingan 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 dan 1:6. Pengujian sampel buis beton dilakukan pada saat berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan sampel buis beton dengan penambahan abu kayu bakar secara berturut-turut sebesar 18 MPa, 15 MPa, 17 MPa, 15 MPa dan 13,5 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan sampel buis beton tanpa tambahan abu kayu bakar dengan menggunakan rasio pasir yang berbeda secara berturut-turut yaitu 31 MPa, 20 MPa, 18 MPa, 15 MPa dan 13 MPa. Hasil menunjukkan bahwa semakin banyak tambahan abu kayu yang digunakan maka nilai kuat tekannya menurun. Sedangkan pada sampel tanpa tambahan abu kayu menunjukkan bahwa semakin banyak semen yang digunakan maka nilai kuat tekannya semakin tinggi. Namun apabila ditinjau dari segi ekonomis, kadar optimal penambahan abu kayu bakar sebesar 10% dari massa semen dengan nilai kuat tekan 17 MPa.

Kata kunci: buis beton, abu kayu bakar, kuat tekan

PENDAHULUAN

Buis beton merupakan jenis dari bahan material atau bangunan yang banyak digunakan dalam pembuatan sumur resapan sebagai pelapis dinding tanah dirumah-rumah atau ditempat umum dan bisa juga dijadikan sebagai bahan yang digunakan untuk drainase atau saluran pembuangan air kotor [1]. Namun dengan seiring berkembangnya teknologi, buis beton juga banyak dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi tembok laut [2].

Buis beton merupakan suatu bahan konstruksi yang terbuat dari semen, agrerat halus (pasir), dan air. Berdasarkan hasil wawancara yang telah peneliti lakukan ada beberapa komposisi yang digunakan dalam pembuatan buis beton. Semakin banyak campuran semen yang digunakan buis beton semakin kuat atau baik. Menurut Widari [3] untuk membuat beton yang memiliki kualitas yang baik membutuhkan campuran semen portland supaya buis beton semakin padat dan memiliki kuat tekan yang tinggi. Namun dengan menggunakan semen yang banyak maka dapat membuat biaya pembuatan buis beton yang relatif mahal, sehingga timbul inovasi baru untuk memanfaatkan limbah abu kayu bakar sebagai pengganti sebagian semen.

Disetiap daerah terdapat industri kecil atau industri besar yang bahan bakar produksinya masih menggunakan kayu bakar. Salah satu contohnya yaitu industri yang berada di Banyuwangi seperti industri pembuatan gula merah, tahu dan lainnya. Selain itu, sebagian masyarakat yang ada di Banyuwangi juga masih menggunakan kayu bakar untuk memasak. Banyaknya limbah abu kayu yang dihasilkan jarang sekali dimanfaatkan dan seringkali dibuang begitu saja, hal ini dapat berakibat buruk bagi lingkungan apabila dilakukan secara terus menerus. Untuk mengurangi dampak tersebut, sisa abu kayu bakar dapat

dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam pembuatan buis beton.

Abu hasil pembakaran kayu apabila dicampur dengan air akan memiliki sifat yang sama seperti semen. Karena abu kayu bakar memiliki salah satu unsur yang sama dengan semen yaitu unsur silika. Sehingga abu kayu dapat dimanfaatkan sebagai campuran untuk pengganti sebagian semen [3].

Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang pembuatan buis beton geopolimer non-pasir dengan menggunakan *fly ash* (abu terbang) sebagai pengganti semen [4]. Kuat tekan yang dihasilkan dari penelitian tersebut yaitu 8 MPa dengan komposisi 1:4 untuk *fly ash* dan kerikil. Sedangkan dalam penelitian ini pembuatan buis beton dilakukan dengan menggunakan komposisi pasir (agrerat halus), semen, air dan tambahan abu kayu bakar untuk mengetahui kuat tekan pada buis beton. Hasil penelitian dari Widari [3] menunjukkan bahwa semakin banyak abu serbuk kayu yang digunakan nilai kuat tekan paving block semakin menurun.

Pada penelitian ini diteliti mengenai komposisi buis beton menggunakan abu kayu bakar terhadap kuat tekan buis beton dan membandingkan kuat tekan buis beton tanpa tambahan abu kayu bakar dengan buis beton yang menggunakan campuran abu kayu. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus yang berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm dan pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari.

Buis Beton

Buis beton merupakan bahan kontruksi yang berupa material pracetak dan sering dimanfaatkan sebagai pembuatan sumur ataupun saluran air bahkan sebagai pengaman pantai [5]. Buis beton banyak digunakan karena bahannya mudah didapatkan dan harganya yang terjangkau [2]. Alasan buis beton digunakan sebagai

pengaman pantai karena pembuatannya yang mudah dan mudah ditemukan di pasaran serta pada saat pemasangan tidak membutuhkan alat-alat yang berat sehingga dapat dilakukan oleh masyarakat setempat [6].

Pasir

Pasir merupakan salah satu contoh bahan material dengan bentuk butiran yang berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter. Warna pasir sesuai dari asal pembentukannya, pasir dibentuk dari materi silikon dioksida, namun ada di beberapa tempat seperti pantai tropis dan subtropis pasirnya terbentuk dari batu kapur dan pasir juga mempunyai rongga yang cukup besar sehingga tidak cocok untuk beberapa tanaman [7]. Pasir adalah salah satu material yang berperan penting dalam bangunan, yaitu biasanya pasir digunakan secara bersamaan dengan semen sebagai bahan perekat bangunan [8].

Syarat yang harus dimiliki oleh pasir untuk mendapatkan kekuatan yang optimal yaitu: harus bersih dengan tinggi endapan lebih dari 70%, butiran halus tidak lebih dari 5% saat melewati ayakan 0,063 mm, pasir tidak mengandung zat-zat organik yang dapat mempengaruhi kualitas beton, dan apabila pasir direaksikan dengan alkali harus negatif [9].

Semen

Semen merupakan kata yang berasal dari bahasa latin “caementum” artinya bahan perekat. Semen merupakan bahan perekat atau lem yang dapat menyatukan atau merekatkan bahan material yang lainnya hingga membentuk suatu bahan yang dapat digunakan dalam bangunan. Semen juga dapat diartikan sebagai bahan perekat yang mempunyai sifat untuk mengikat bahan-bahan padatan menjadi satu kesatuan yang kuat dan kokoh [10].

Dalam bangunan, semen merupakan bahan perekat hidrolis bangunan yang berarti semen akan menjadi perekat apabila dicampur dengan air. Secara umum ada 3 macam bahan dasar semen yaitu 70% sampai 95% terak semen atau clinker yang didapatkan dari olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi, dan tanah liat. 5% gypsum yang digunakan untuk memperlambat pengerasan. Bahan yang ketiga yaitu batu kapur, fly ash, pozzolan dan lain-lain sekitar 3% dalam kualitas Ordinary Portland Cement (OPC). Tetapi, jika kandungan bahan ketiga tersebut lebih tinggi atau maksimum sekitar 25%, maka tipe semen tersebut akan ganti menjadi Portland Composite Cement (PCC) [11].

Air

Air merupakan salah satu bahan dasar yang sangat penting pada pembuatan beton atau buis beton dengan harga termurah bahkan gratis. Air adalah zat cair yang tidak memiliki bau, tidak berwarna serta didalam air mengandung hidrogen dan oksigen [12]. Air yang digunakan dalam campuran buis beton harus bersih, tidak bercampur dengan bahan lain seperti minyak, alkali, asam atau bahan lainnya yang dapat merusak beton. Karena air yang telah tercampur dengan senyawa lain atau senyawa yang berbahaya kualitas beton dapat menurun dan bahkan dapat mempengaruhi kualitas dari beton [13].

Abu Kayu Bakar

Abu kayu bakar merupakan bahan yang berbentuk bubuk yang dihasilkan dari sisa pembakaran kayu atau material yang ditinggalkan dari proses pembakaran dari limbah industri atau rumah tangga yang berasal dari beberapa kayu kering. Abu kayu bakar hampir sama dengan abu pada umumnya dan memiliki sifat padat yang dapat menyerap sedikit air [14].

Abu kayu memiliki sifat sama seperti semen apabila dicampur dengan air yaitu bersifat pozzolanic. Komponen utama dari abu kayu yaitu silika (Si), kalsium (Ca), kalium (K) dan magnesium (Mg). Sedangkan unsur minor yang terdapat pada abu kayu yaitu aluminium (Al), besi (Fe), natrium (Na), dan mangan (Mn) [3]. Adanya abu kayu ini dapat mengurangi penggunaan jumlah semen dalam pembuatan beton dan dapat mengurangi atau membuat biaya pada pembuatan beton menjadi lebih murah [15].

Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan besar beban per satuan luas yang mengakibatkan benda uji retak atau hancur jika diberikan gaya tekan tertentu dari mesin uji tekan [16]. Kuat tekan juga dapat diartikan sebagai gambaran dari mutu atau kualitas beton [17]. Seiring dengan bertambahnya lama umur beton kuat tekan beton juga semakin bertambah, biasanya kuat tekan beton akan meningkat secara cepat hingga umur 28 hari namun setelah itu kuat tekan beton akan meningkat sangat kecil bahkan menurun [18].

Dalam menentukan kuat tekan dapat dilakukan dengan alat uji yang berbentuk silinder menggunakan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus yang menggunakan prosedur BISA-1881 Part 115; Part 116 di umur 28 hari. Nilai kuat tekan dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

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

dimana, P = tekanan (N/m^2), F = gaya tekan (N), A = luas bidang benda uji (m^2).

METODE PENELITIAN

Bahan dan alat yang dipakai dalam penelitian ini yaitu pasir, semen, air, abu kayu, ayakan, timbangan kecil, timbangan besar, pengaduk atau pencampur, cetakan buis beton dengan bentuk kubus yang berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm, penggaris

atau meteran dan alat uji kuat tekan *Compression Machine Analog ASTM C-39*.

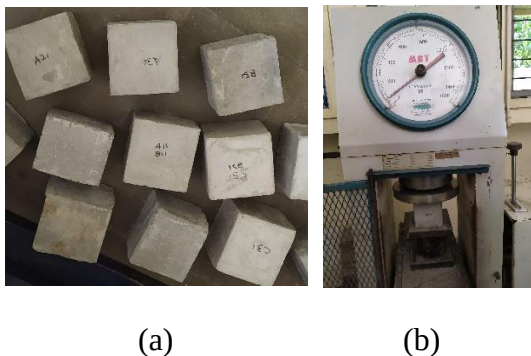
Pada penelitian ini diteliti pengaruh penambahan abu kayu terhadap kuat tekan buis beton dengan membandingkan kuat tekan buis beton tanpa tambahan abu kayu. Pengujian dilakukan pada benda uji dengan variasi penambahan abu kayu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari massa semen dimana perbandingan antara semen dan pasir sebesar 1:4. Pengujian kuat tekan pada benda uji tanpa tambahan abu kayu menggunakan variasi rasio pasir 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 dan 1:6. Faktor air semen yang digunakan dibuat sama pada setiap sampel yaitu sebesar 0,5.

Persiapan

Persiapan dilakukan dengan mencampurkan bahan-bahan yang dipakai untuk membuat buis beton, yaitu pasir yang sudah diayak, semen, air dan abu kayu bakar yang telah diayak menggunakan ayakan No. 200. Proses pencampuran ini dilakukan secara manual yaitu melakukannya sampai benar-benar semua bahan-bahan yang digunakan tercampur rata dan menjaga supaya bahan yang digunakan tidak ada yang menggumpal.

Pembentukan

Proses pembentukan dilakukan dengan menggunakan cetakan buis beton kubus yang berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm. Olesi cetakan buis beton menggunakan oli bekas, masukkan campuran bahan yang telah dibuat sedikit demi sedikit sampai terisi penuh dan padat, tunggu sampai campuran agak mengeras atau setengah mengering, lepaskan buis beton dari cetakannya. Biarkan buis beton sampai benar-benar kering dengan meletakkan buis beton diruangan terbuka serta tidak terkena sinar matahari secara langsung selama 28 hari.



Gambar 1. (a) Sampel benda uji buis beton (b) Pengujian kuat tekan benda uji buis beton

Pengujian

Uji kuat tekan benda uji buis beton dilakukan setelah 28 hari benda uji dibuat dan mengering. Alat yang digunakan untuk menguji kuat tekan yaitu *Compression Machine Analog ASTM C-39*. Nilai uji kuat tekan buis beton dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tekan Buis Beton

Pada uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui prosentase atau kadar abu kayu bakar terhadap semen. Sampel yang digunakan yaitu 15 benda uji menggunakan tambahan abu kayu bakar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dengan masing-masing sampel 3 benda uji, dan 15 sampel tanpa penambahan abu kayu bakar yang menggunakan rasio antara semen dan pasir sebesar 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 dengan masing-masing sampel 3 benda uji. Pengujian benda uji dilakukan saat berumur 28 hari. Proses pengujian kuat tekan dilakukan dengan meletakkan benda uji yang berbentuk kubus pada *Compression Machine Analog ASTM C-39* dengan kapasitas mesin sebesar 1500 kN, kemudian mesin uji kuat tekan dinyalakan sampai benda uji terlihat retak atau hancur karena tidak bisa menahan gaya beban yang diberikan oleh mesin uji kuat tekan (jarum

penunjuk pada mesin tidak bergerak kemudian bergerak turun). Sehingga, pada jarum penunjuk dapat diketahui beban maksimal (gaya tekan) yang dapat ditahan oleh benda uji. Kemudian menghitung kuat tekan benda uji dapat dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 1**. Hasil pengujian dari kuat tekan pada campuran yang menggunakan abu kayu bakar dapat dilihat pada **Tabel 1**. Untuk memperjelas hasil dari pengujian kuat tekan maka dibuat grafik pada **Gambar 2**.

Berdasarkan **Gambar 2** hasil pengujian kuat tekan benda uji dengan variasi komposisi abu kayu bakar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari massa semen didapatkan nilai kuat tekan maksimum terjadi pada benda uji A11 dengan penambahan abu kayu bakar 0% sebesar 18 MPa. Komposisi benda uji A31 dengan adanya penambahan abu kayu bakar 10% dari massa semen memiliki nilai kuat tekan yang tidak berbeda jauh dari komposisi tanpa abu kayu bakar yaitu sebesar 17 MPa. Pada benda uji A21 dan A41 dengan komposisi penambahan abu kayu bakar 5% dan 15% memiliki kuat tekan yang sama yaitu sebesar 15 MPa. Namun pada benda uji A51 dengan komposisi penambahan abu kayu bakar 20% mengalami penurunan nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 13,5 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu kayu bakar maksimal untuk memperoleh kuat tekan yang tinggi yaitu dengan prosentase 10% dari massa semen. Hal tersebut disebabkan karena material abu kayu bakar yang digunakan merupakan hasil abu yang lolos ayakan No 200 sehingga didapatkan material yang halus dan hampir menyerupai semen, sehingga pada saat proses pengadukan dan pembentukan menghasilkan benda uji buis beton yang tercampur sempurna atau homogen. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak abu kayu yang digunakan kuat tekannya semakin menurun [3].

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan Campuran 1 dengan penambahan abu kayu bakar

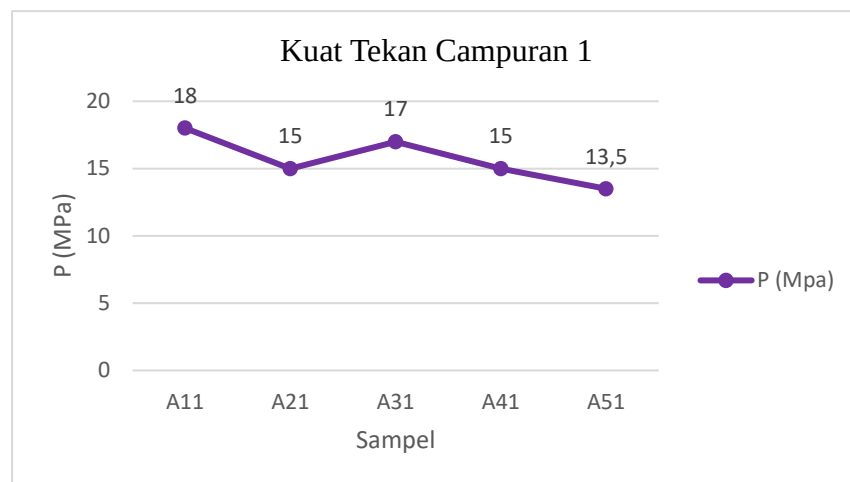
Sampel	Pasir (gram)	Semen (gram)	Abu kayu	Air (ml)	F (N)	A (m^2)	<i>Kuat Tekan Rata-Rata</i>	
							P (N/m^2)	P (MPa)
A11	1400	350	0% 0 gram	175	180000	0,01	18000000	18
A21	1400	332,5	5% 17,5 gram	175	150000	0,01	15000000	15
A31	1400	315	10% 35 gram	175	170000	0,01	17000000	17
A41	1400	297,5	15% 52,5 gram	175	150000	0,01	15000000	15
A51	1400	280	20% 70 gram	175	135000	0,01	13500000	13,5

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Campuran 2 tanpa penambahan abu kayu bakar

Sampel	Semen	Pasir	Air (ml)	F (N)	A (m^2)	<i>Kuat Tekan Rata-Rata</i>	
						P (N/m^2)	P (Mpa)
B11	1 600 gr	2 1200 gr	300	310000	0,01	31000000	31
B21	1 460 gr	3 1380 gr	230	200000	0,01	20000000	20
B31	1 350 gr	4 1400 gr	175	180000	0,01	18000000	18
B41	1 280 gr	5 1400 gr	140	150000	0,01	15000000	15
B51	1 234 gr	6 1404 gr	117	130000	0,01	13000000	13

Sedangkan data dari hasil pengujian kuat tekan pada komposisi campuran dengan menggunakan rasio semen yang sama dapat dilihat pada **Tabel 2**. Untuk lebih

memperjelas hasil uji kuat tekan maka dibuat grafik pada **Gambar 3**.

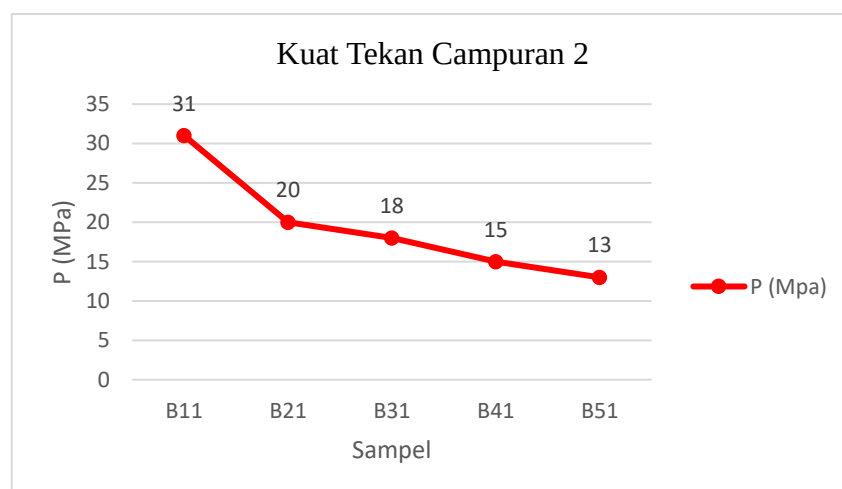


Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Campuran dengan Tambahan Abu Kayu Bakar

Berdasarkan grafik pada **Gambar 3** benda uji yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu benda uji B11 dengan perbandingan 1:2 sebesar 31 MPa, sedangkan benda uji yang memiliki nilai kuat tekan terendah terdapat pada benda uji B51 dengan perbandingan 1:6 sebesar 13 MPa. Grafik tersebut membuktikan bahwa semakin banyak pasir yang digunakan maka nilai kuat tekan yang dimiliki oleh benda uji semakin menurun. Hal tersebut disebabkan karena semakin banyak pasir yang digunakan maka rasio air semen yang digunakan semakin sedikit sehingga berakibat pada sulitnya proses pengadukan dan pembentukan serta dapat menimbulkan

rongga udara yang terdapat dalam benda uji. Benda uji yang terlalu banyak rongga udaranya akan mudah keropos dan menyebabkan nilai kuat tekan yang menurun [19].

Berdasarkan dari hasil uji kuat tekan yang sudah dilakukan pada semua benda uji dapat disimpulkan bahwa komposisi yang memiliki kuat tekan yang tinggi yaitu komposisi dengan perbandingan 1:2 sebesar 31 MPa. Namun, apabila ditinjau dari segi ekonomis komposisi perbandingan 1:4 dengan penambahan abu kayu yang baik yaitu benda uji A31 dengan nilai kuat tekan 17 MPa.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Campuran Tanpa Tambahan Abu Kayu Bakar

KESIMPULAN

Komposisi campuran buis beton berbasis abu kayu bakar yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu A11 dan A31 dengan prosentase penambahan abu kayu bakar 0% dan 10% sebesar 18 MPa dan 17 MPa. Benda uji A21 dan A41 dengan komposisi penambahan abu kayu bakar 5% dan 15% memiliki kuat tekan yang sama yaitu sebesar 15 MPa. Benda uji A51 dengan komposisi penambahan abu kayu bakar 20% nilai kuat tekannya sebesar 13,5 MPa. Semakin banyak abu kayu bakar yang digunakan sebagai pengganti semen nilai kuat tekannya semakin menurun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan dan menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Nurrochim and Y. N. Kurniadi, "Analisis Model Fisik Revetment Buis Beton. (Hal. 106-117)," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, p. 106, 2019, doi: 10.26760/rekaracana.v5i1.106.
- [2] Z. Zulkarnain and N. Anwar, "Kajian Model Fisik Pengaruh Freeboard dan Susunan Buis Beton Sebagai Pemecah Gelombang Tenggelam Ambang Rendah (Pegar) Dalam Mereduksi Gelombang," *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, p. 34, 2017, doi: 10.35334/be.v1i2.600.
- [3] L. A. Widari, Fasdarsyah, and I. Debrina, "Pengaruh Penggunaan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Pada Paving Block," *Teras J.*, vol. 5, no. 1, pp. 51–59, 2015.
- [4] Pratikto dan Indah Puspita Sari, "Beton Geopolimer Non-Pasir Untuk Buis Beton," *e-Jurnal*, vol. 14, no. 1, p. 6, 2015.
- [5] J. W. R. Ginting, E. M. Simanjuntak, I. Ayu, I. Diah, and R. Putra, "Uji Model Fisik Rayapan Gelombang Pada Revetmen Buis Beton Physical Modelling Test Of Wave Run-Up On Precast Concrete Pipe Revetment," pp. 15–24, 2021.
- [6] D. Sulaiman, *Beton dan Teknologi Pracetak Pada Bangunan Pengaman Pantai*. Yogyakarta: Deepublish, 2018.
- [7] S. Siregar, N. Jalinus, and F. Rizal, *Modul Pekerjaan Finishing Batu Beton*. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2020.
- [8] W. Wilantara, "Rancang Bangun Mesin Pengayak Pasir (Perawatan dan Perbaikan)," Thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2016.
- [9] A. Ansori, *Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013*. Surakarta: Muhammadiyah University Press, 2017.
- [10] B. Pangaribuan, *Cement Manufacturing Process*. Jakarta: Holcim Indonesia, 2012.
- [11] I. S. Priambodo, "Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kualitas Fisika dan Kimia Pada Produksi Portland Composite Cement (PCC)," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto, 2016.

- [12] S. Meidiani, A. Rajela, M. F. . Hartawan, and A. Fartawijaya, "Studi Eksperimen Penggunaan Variasi pH Air Pada Kuat Tekan Beton Normal f'_c 25 MPa," *J. BENTANG*, vol. 5, no. 2, pp. 88–94, 2017.
- [13] O. S. Balsala, H. Manalip, and B. M. M. Ointu, "Pengujian Tekan Dan Tarik Belah Beton Dengan Agregat Dari Kepulauan Aru," *J. Sipil Statik Vol.6 No.9 Sept. 2018 ISSN 2337-6732*, vol. 6, no. 9, 2018.
- [14] M. Zaenuri and Romadhon, "Stabilisasi Tanah Lendut Menggunakan Penambahan Abu Kayu Bakar dan Semen Portland Tipe 1," vol. 4, no. 2, pp. 268–275, 2019.
- [15] M. J. Indra, C. Tjondro, and H. Sugiharto, "Pemanfaatan abu limbah gergaji kayu sebagai campuran pembuatan beton," *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2013.
- [16] G. E. Untu, E. J. Kumaat, and R. S. Windah, "Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton," *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 10, pp. 703–708, 2015.
- [17] P. Ardhiantika, A. Basuki, and Sunarmasto, "Kajian kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan redaman bunyi pada panel dinding beton ringan dengan agregat limbah plastik pet," *J. MATRIKS Tek. SIPIL*, vol. 711, pp. 711–717, 2014.
- [18] F. Supriani, "Pengaruh Umur Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Akibat Penambahan Abu Cangkang Lokan," *J. Inersia*, vol. 5, no. 2, pp. 41–49, 2013.
- [19] Yusrianti, Noverma, and O. E. Hapsari, "Analisis Sifat Fisis Penyerapan Air Pada Paving Block Dengan Campuran Variasi Limbah Abu Ketel dan Limbah Botol Plastik," *Al-Ard J. Tek. Lingkung.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2019.

