

ORIGINAL ARTICLE

KOMPOSISI EFEKTIF FABA (*FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*) PADA PROSES FABRIKASI *PAVING BLOCK*

Fina Fitratun Amaliyah^{*1} · Nurmala Hayati² · Mohammad Syai³

^{1,2} (Fisika, Fakultas Sains, UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten)

³ (PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU)

Diterima: 26-02-2024 | Direvisi: 28-03-2024 | Disetujui: 02-05-2024 | Dipublikasi: 27-05-2024
Pubsains 2024

Abstrak. Telah dilakukan penelitian terkait analisis kuat tekan *paving block* menggunakan *compression machine* dengan variasi FABA (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*) yang dilakukan di PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung pada FABA dengan menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*) sehingga dapat diketahui komposisi penambahan *fly ash* dan *bottom ash* pada *paving block* yang memiliki kuat tekan sesuai standar. Penelitian ini menggunakan sampel uji *paving block* berbentuk balok berukuran panjang 21,5 cm; lebar 10,5 cm dan tinggi 8 cm dengan komposisi *Fly Ash* yaitu: 28,52%; 20%; 25,71%; 14,29%, untuk *Bottom Ash* yaitu: 17,14%; 25,71%; 20%; 31,43%, semen yang digunakan yaitu 14,29% dan abu batu 40%. Pembuatan *paving block* menggunakan alat kompres dengan mencampurkan FABA, semen, dan abu batu. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil analisis kandungan mineral FABA menggunakan ICP yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O dan MgO . *Paving block* yang dihasilkan memiliki kuat tekan yang sesuai dengan standar SNI 3-0349-1989 yaitu: 41,74 Mpa, 48,70 Mpa, 49,70 Mpa dan 57,64 MPa.

Kata kunci: *Paving Block*, *Inductively Coupled Plasma* (ICP), FABA

Abstract. Research has been carried out regarding the analysis of the compressive strength of *paving blocks* using a *compression machine* with variations of FABA (*Fly Ash* and *Bottom Ash*) at PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU. This research aims to determine the mineral content contained in FABA using ICP (*Inductively Coupled Plasma*) so that the composition of the addition of *fly ash* and *bottom ash* to *paving blocks* can be determined which has compressive strength according to standards. This research used *paving block* test samples in the form of blocks measuring 21.5 cm long; 10.5 cm wide and 8 cm high with *Fly Ash* composition, namely: 28.52%; 20%; 25.71%; 14.29%, for *Bottom Ash* namely: 17.14%; 25.71%; 20%; 31.43%, the cement used was 14.29% and stone ash 40%. Making *paving blocks* using a compress tool by mixing FABA, cement and stone ash. Based on the test results, FABA mineral content analysis results were obtained using ICP, namely SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O and MgO . The resulting *paving blocks* have compressive strengths that comply with SNI 3-0349-1989 standards, namely: 41.74 Mpa, 48.70 Mpa, 49.70 Mpa and 57.64 MPa.

Keyword: *Paving Block*, *Inductively Coupled Plasma* (ICP), FABA

PENDAHULUAN

Upaya pemerintah untuk meningkatkan perekonomian bangsa melalui peningkatan pertumbuhan sektor industri adalah hal yang baik. Namun, disamping itu juga, pemerintah wajib memperhatikan dampaknya terhadap lingkungan. Salah satu dampak negatif dari peningkatan sektor industri adalah akan semakin meningkatnya limbah yang dihasilkan. Limbah industri yang mempunyai simpanan dalam kuantitas yang besar akan menimbulkan permasalahan yang serius dalam hal pembuangan dan penyimpanan yang aman. Permasalahan ini telah mendapatkan perhatian serius baik secara nasional maupun internasional.

Pemerintah selalu berupaya untuk mengembangkan industri yang ramah lingkungan dan mengembangkan penelitian mengenai pemanfaatan dan peningkatan efisiensi limbah industri menuju penerapan teknologi material berkelanjutan. Di sisi lain, karena banyaknya penggunaan berbagai bahan utama (secara alami) untuk membangun jalan dan infrastruktur, maka keberadaan bahan utama akan semakin menipis (Susanto, Irawan, & Gunawan, 2020). Hal tersebut menunjukkan bahwa perlu adanya upaya mendapatkan material substitusi untuk menanggulangi masalah di atas. PT Indonesia Power PLTU Banten Labuan 2 OMU merupakan industri dalam bidang produksi listrik dari hasil pembakaran batu bara yang menghasilkan limbah dengan jumlah

yang sangat banyak sekitar 300-350 ton per hari (Hayati, 2023).

Limbah yang dihasilkan melalui proses pembakaran batu bara di PLTU diantaranya abu terbang (*fly ash*) yaitu abu halus yang dikeluarkan dan terbang diudara hingga jatuh ke permukaan bumi dan abu dasar (*bottom ash*) yaitu abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku ketika pembakaran batu bara berlangsung. Dengan 80-90% terdiri dari *fly ash* dan 10-20% terdiri dari *bottom ash*. Pemanfaatan *fly ash* dalam bidang konstruksi sudah cukup efisien, salah satu pemanfaatan *fly ash* yang sudah berlangsung yaitu dalam pembuatan semen dan keramik di perusahaan konstruksi Bogor (Hayati, 2023). Sehingga pemanfaatan *fly ash* mencapai angka 47% penggunaan. Sedangkan penggunaan limbah *bottom ash* masih kurang bahkan jarang. Sehingga persentase pemanfaatan *bottom ash* hanya mencapai 5.28% penggunaan (Naganathan, Mohamed & Mustapha, 2015).

Jenis limbah yang potensial untuk mensubstitusi bahan baku jalan adalah limbah batu bara. Deposit limbah abu batu bara sangat besar karena di Indonesia masih menggunakan batu bara sebagai bahan baku utama. Diperkirakan hingga tahun 2050 kontribusi batu bara sebagai sumber energi masih tinggi yaitu 31%. Selain itu, program pembangunan beberapa Listrik tenaga panas bumi dengan total kapasitas 35000 MW juga akan berdampak pada meningkatnya kuantitas limbah batu bara (Damayati, 2018).

Material fungsional menjadi yang terdepan dalam penelitian material karena kemajuan teknologi yang semakin berkembang dan kebutuhan aplikasi yang semakin spesifik (Banerjee & Tyagi, 2012). Di bidang konstruksi, aplikasi ini sering ditujukan untuk melestarikan lingkungan salah satunya yaitu dekontaminasi limbah (Li et al., 2020). *Paving block* merupakan salah satu material fungsional yang banyak digunakan sebagai bahan baku pengerasan jalan. Pekerjaan pengerasan jalan sangat penting untuk infrastruktur dasar. Karena relevansi jenis konstruksi ini memiliki konsumsi bahan mentah yang tinggi, aplikasi dalam bentuk beton dan aspal, kontak permanen dengan lingkungan luar, aplikasi untuk sarana lalu lintas kendaraan secara terus menerus, dan teknologi lantai ramah lingkungan telah muncul untuk memenuhi permintaan akan material secara berkelanjutan (Cabrera, et al., 2018). Pada cakupan

ini, perkerasan yang saling terkait misal *paving block* banyak digunakan sehingga dapat meningkatkan penggunaan limbah sebagai bahan baku (sebagai agregat atau substitusi) sesuai spesifikasi yang dibutuhkan proyek (Wang, Chin, & Xia, 2019 & Pennarasi, Soumya, & Gunasekaran, 2019).

Aspek penting lainnya adalah kota-kota semakin kedap air, terutama di negara-negara berkembang. Lapisan kedap air sebagian besar disebabkan oleh penggunaan aspal kedap air dan pengerasan jalan beton secara intensif, yang selain secara signifikan mengurangi infiltrasi air hujan ke dalam tanah, juga meningkatkan kecepatan penumpukannya. Tanah yang kedap air, ditambah dengan pertumbuhan kota yang tidak teratur dan tidak terkendali dapat menyebabkan risiko bencana banjir semakin meningkat terutama di wilayah perkotaan (Gaffin, Rosenzweig, & Kong, 2012).

Berdasarkan hal di atas, maka perlu dilakukan upaya desain material baru terkait material ramah lingkungan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Terkait tantangan bidang infrastruktur adalah besarnya volume kebutuhan bahan baku yang digunakan yang tidak sebanding dengan ketersediaannya. Penggunaan limbah sebagai bahan pengganti sebagian semen Portland telah dibahas dalam beberapa literatur relevan diantaranya dijelaskan bahwa peningkatan penggunaan suplemen rendah CO₂ (SCM: *Supplementary Cementitious Materials*) sebagai pengganti Sebagian klinker semen Portland, penggunaan klinker semen Portland lebih efisien dalam mortar dan beton (Scriveber, et al., 2018), adanya peningkatan kebutuhan semen seiring pertumbuhan populasi yang terjadi, mendorong adanya kebutuhan pengembangan pozzolan baru yang efektif melalui daur ulang bahan baku alternatif yang tepat sehingga bisa lebih menghemat biaya untuk mengembangkan lingkungan yang bersih dalam produksi semen (Katara, et al., 2020), abu serpihan kayu yang berasal dari pabrik pemanas biomassa dipelajari sebagai campuran mineral ramah lingkungan dalam desain campuran mortar dan sebagai alternatif berbiaya rendah yang ramah lingkungan dibandingkan pozzolan lain untuk produksi bahan pengikat campuran (Pavliková, 2018). penelitian tentang beton rendah karbon untuk menghasilkan paving block ramah lingkungan didesain dengan menggunakan pengikat biner abu biomassa kayu putih dan silika fume sebagai pengganti semen Portland (Teixeira, et al., 2020). Berdasarkan penelitian yang telah dipaparkan di atas,

maka sudah saatnya Indonesia mengembangkan bahan berbasis limbah untuk bisa dimanfaatkan kembali dalam berbagai macam wujud material infrastruktur yang banyak digunakan dalam pembangunan baik skala kecil maupun besar dengan memperhatikan standar material yang digunakan. Penelitian ini menyelidiki pengembangan desain material sebagai bahan baku *paving block* yang terdiri FABA, semen, dan abu batu dengan mengetahui komposisi efektif (penggunaan FABA namun tetap dengan spesifikasi yang dibutuhkan proyek). Selain itu, penelitian ini dilakukan sebagai upaya adanya pemanfaatan limbah yang dapat digunakan dalam bentuk *paving block* sehingga selain dapat mengurangi pencemaran, juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku jalan yang semakin menipis ketersediannya melalui penelitian berjudul “Komposisi Efektif FABA (*Fly Ash* dan *Buttom Ash*) pada Proses Fabrikasi *Paving Block*”.

METODE

Berdasarkan jenis dan analisisnya, jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimental kuantitatif. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang didapatkan secara langsung pada saat eksperimen di lapangan. Selain itu juga, dilakukan wawancara dengan pihak PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU. Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya ICP (*Inductively Coupled Plasma*) digunakan untuk karakterisasi limbah batu bara *fly ash* dan *bottom ash*; mesin cetakan sampel *paving block* berukuran panjang, lebar dan tinggi berturut-turut yaitu: 21,5 cm, 10,5 cm dan 8 cm; timbangan analog digunakan untuk mengukur massa dari bahan dalam pembuatan sampel *paving block*; dan *Compression Machine* digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan pada *paving block*. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah batu bara terdiri dari FABA, semen, dan abu batu. Langkah pertama yang dilakukan adalah karakterisasi limbah batu bara *fly ash* dan *bottom ash*; pembuatan *paving block* diantaranya (a) menyediakan bahan campuran *paving block* yaitu semen, abu pasir dan FABA, (b) agar tidak ada bahan lain yang dapat mempengaruhi campuran pada *paving block*, perlu dilakukannya pembersihan terhadap alat yang digunakan dalam pembuatan *paving block*, (c) campurkan semua bahan hingga homogen, (d) tuangkan adonan yang sudah dibuat kedalam mesin cetakan, kemudian ratakan, (e) *paving block* yang sudah dicetak menggunakan mesin

kemudian disimpan selama 28 hari sampai *paving block* mengeras. Lakukan langkah (a) sampai (e) dengan komposisi material berbeda Perbedaan tersebut terletak pada variasi dalam penambahan FABA pada campuran *paving block* berdasar pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Campuran Bahan [15]

Kode Sampel	Komposisi perbandingan campuran bahan			
	<i>Bottom Ash</i> (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	Semen (%)	Abu Batu (%)
I	17, 14	28, 57	14, 29	40
II	25,71	20	14, 29	40
III	20	25, 71	14, 29	40
IV	31, 43	14, 29	14,29	40

Selanjutnya dilakukan tahap pengujian menggunakan *Compression Machine* dengan langkah sebagai berikut: (a) menyiapkan *paving block* yang akan diuji masing-masing 3 sampel di setiap komposisi, (b) menghitung volume masing-masing sampel yang akan diuji, (c) meletakkan sampel pada alat uji dengan ditandai kode I, II, III dan IV, (d) mengatur jarum yang terdapat pada alat kuat tekan *Compression Machine* tepat pada posisi nol, (e) menyalakan *Compression Machine* kemudian baca jarum penunjuk beban, sambil memberikan beban tekan (F) dari atas secara sampai *paving block* tersebut patah atau hancur, (f) mencatat beban tekan hasil yang terbaca pada *Compression Machine*, sajikan ke dalam Tabel 2., (g) mengulangi langkah (c) sampai (f) dengan menggunakan bahan dan sampel *paving block* pada kode sampel komposisi yang sama sebanyak 3 kali dan lakukan pula pada sampel dengan campuran dan komposisi yang berbeda.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

Komposisi limbah batu bara		Beban tekan sampel (MPa)
<i>Bottom Ash</i> (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	
17, 14	28, 57	41,74

25,71	20	48,70
20	25, 71	49,70
31, 43	14, 29	57,64

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan proses pembuatan dan pengujian kuat tekan terhadap *paving block*, maka dilakukan karakterisasi FABA menggunakan ICP. ICP menggunakan *coupled* induksi yaitu induksi medan magnet dan medan listrik sebagai sumber energi untuk mengeksitasi elektron dari atom-atom yang ada dalam sampel. Gabungan dua buah induksi (*coupled*) ini penting dalam membentuk medan magnet berfrekuensi tinggi. Dengan demikian atom-atom dalam sampel tidak hanya tereksitasi ke satu tingkat energi elektron yang lebih tinggi, tetapi tereksitasi ke beberapa macam tingkat energi elektron yang lebih tinggi. Gabungan elektron-elektron yang tereksitasi ini akan membentuk awan-elektron yang jenuh dengan elektron-elektron atau selanjutnya disebut plasma. Jadi gabungan kedua induksi ini menimbulkan medan magnet dengan frekuensi plasma yang tinggi (Gomathi, Choudhary, & Jagannathan, 2017). Pengujian menggunakan ICP dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan mineral dari FABA tersebut, dengan mengetahui kandungan yang terdapat pada FABA, maka peneliti dengan mudah membandingkan kandungan FABA dengan kandungan semen dan pasir pada umumnya yang biasa digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan *paving block* seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Karakterisasi FABA

Parameter Uji	Hasil	
	Fly Ash (%)	Bottom Ash (%)
SiO ₂ (Silikon Dioksida)	46,62	44,04
Al ₂ O ₃ (Aluminium Oksida)	14,06	11, 34
Fe ₂ O ₃ [Besi (III) Oksida]	11,00	21,07
CaO (Kalsium Oksida)	16,43	16, 73

Na ₂ O (Natrium Oksida)	0,53	0,85
K ₂ O (Kalium Oksida)	1,00	0,09
MgO (Magnesium Oksida)	9,77	4,58

Penambahan FABA dilakukan dengan berbagai variasi. Untuk lebih jelasnya perbandingan campuran komposisi dapat dilihat pada Tabel 1. Komposisi pada Tabel 1 dipertimbangkan agar mendapatkan nilai kuat tekan yang tinggi pada saat dibentuk menjadi *paving block*. Penentuan nilai kuat tekan yang tinggi berdasarkan pada hasil uji kandungan FABA pada Tabel 2.

Selanjutnya, dilakukan pengujian kuat tekan terhadap sampel *paving block* yang telah dibuat. Kuat tekan merupakan salah satu sifat fisika yang harus dimiliki oleh *paving block* hal tersebut berpengaruh terhadap kinerja dari *paving block* itu sendiri. Kekuatan tekan merupakan kemampuan *paving block* dalam menerima beban atau gaya yang diberikan dalam persatuan luas. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan *paving block* menggunakan *compression machine* disajikan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4 Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block*

Kode Sampel	Komposisi (%)	Berat (Kg)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat tekan Rata-Rata (MPa)
I	Fly Ash 28,57; Bottom	2,70	41,74	
I	Ash 17,14; Abu Batu 40;	2,70	44,72	41,74
I	Semen 14, 29.	2,70	38,76	
II	Fly Ash 25,71; Bottom	2,90	47,71	
II	Ash 20; Abu Batu 40;	2,90	47,71	48,70
II	Semen 14, 29.	2,90	50,69	

III	Fly Ash 20; Bottom	2,70	47,71	49,70
III	Ash 25,71; Abu Batu 40;	2,70	47,71	
III	Semen 14, 29.	2,70	53,67	
IV	Fly Ash 14,29; Bottom	2,70	56,65	57,64
IV	Ash 31,43; Abu Batu 40;	2,70	59,63	
IV	Semen 14, 29.	2,70	56,65	

Tabel 4 menunjukkan adanya pengulangan uji sampel sebanyak 3 kali pada tiap sampel. Data yang diperoleh melalui pengujian menggunakan *compression machine*, yaitu berupa nilai berat pada masing-masing sampel sebagaimana telah disajikan pada Tabel 3, maka peneliti dapat menentukan pula nilai berat jenis dengan mensubstitusikan nilai berat dan volume yang diperoleh ke dalam Persamaan 1 berikut

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

(1)

Dengan Y= Variabel dependen, X= Variabel independen, β_0 =Konstanta (*Intercept*), β_1 = koefisien (*Slope*), ε = Variabel Pengganggu (*Residual*) sehingga diperoleh data berat jenis *paving block* yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai Berat Jenis *Paving Block*

Kode Sampel	Berat (N)	Volume (m ³)	Berat Jenis (N/m ³)	Berat Jenis Rata-Rata (N/m ³)
I	2,70	0,001806	1.495,02	1.495,02
I	2,70	0,001806	1.495,02	
I	2,70	0,001806	1.495,02	
II	2,90	0,001806	1.605,76	1.605,76

II	2,90	0,001806	1.605,76	1.605,76
II	2,90	0,001806	1.605,76	
III	2,70	0,001806	1.495,02	
III	2,70	0,001806	1.495,02	1.495,02
III	2,70	0,001806	1.495,02	
IV	2,70	0,001806	1.495,02	
IV	2,70	0,001806	1.495,02	1.495,02
IV	2,70	0,001806	1.495,02	

Tabel 5 menunjukkan hasil berat jenis rata-rata sampel yang dilakukan 3 kali pengulangan pengukuran pada masing-masing sampel. Nilai kuat tekan terhadap *paving block* ditentukan dengan menggunakan alat *compression machine*. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, terlebih dahulu dilakukan karakterisasi FABA menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*). ICP merupakan alat yang dapat mendeteksi kandungan yang terdapat pada sampel secara keseluruhan, selain itu ICP memiliki kemampuan analisis multi elemen, dan mampu mendeteksi seluruh unsur logam (Pavlíková, 2018) sehingga didapatkan FABA sebagai bahan baku *paving block* yang tetap berkualitas SNI (Standar Nasional Indonesia).

Selain itu pengujian terhadap FABA dilakukan dengan tujuan untuk memastikan keamanan dari kandungan yang terdapat dalam FABA sehingga layak digunakan sebagai bahan pengganti bahan utama pembuatan *paving block* yaitu semen dan pasir.

Berdasarkan hasil yang disajikan dalam Tabel 1 dimana FABA memiliki kandungan yang sesuai dengan kandungan bahan penyusun pada semen dan pasir. Secara umum bahan utama semen diantaranya terdiri dari alkali, kapur (CaO), alumina (Al₂O₃), silika (SiO₃), dan sedikit magnesia (MgO). Sedangkan unsur yang terdapat dalam pasir pada umumnya yaitu mengandung besi (Fe), silika (Si), dan kalsium atau kapur (Ca). Hasil tersebut menunjukkan bahwa hampir keseluruhan kandungan yang terdapat pada semen dan pasir itu juga dimiliki oleh FABA sehingga FABA dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti dalam pembuatan *paving block*.

Proses produksi *paving block* dilakukan dengan menggunakan mesin kompres dengan ukuran tertentu. Ukuran *paving block* yang biasa diproduksi menggunakan mesin kompres berukuran 21,5 cm, 10,5 cm, dan 8 cm, dengan variasi komposisi terdiri dari 4 buah dengan jumlah sampel dari masing-masing komposisi terdapat 12 buah sampel, sehingga total sampel yang dibuat adalah 48 buah sampel.

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan, penggunaan metode mekanis dengan menggunakan mesin kompres tersebut dapat memproduksi hingga kapasitas rata-rata 1000 buah per hari. Hal tersebut dapat mempermudah produksi dalam jumlah banyak dengan waktu yang singkat. Produksi dalam jumlah banyak tersebut dilakukan dengan tujuan agar dapat disalurkan secara merata bagi instansi atau lembaga umum yang membutuhkan dengan kisaran 5000-10.000 buah *paving block* dalam satu kali pengajuan. Selain mudah dalam proses produksi hasil yang diperoleh menggunakan mesin kompres juga seragam bentuk dan kekuatannya.

Setelah *paving block* terbentuk, langkah selanjutnya yaitu dilakukan proses pengeringan untuk menghasilkan kekuatan *paving block* yang optimal. Proses pengeringan *paving block* dapat dilakukan dengan menggunakan oven atau sinar matahari secara langsung. Selain itu, proses pengeringan dapat pula dilakukan dengan hanya mendinginkan selama waktu yang sudah ditentukan.

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan, menurut Bapak Sya'i (pihak PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU) untuk waktu proses pengeringan terhadap sampel *paving block* dapat dilakukan dalam jangka minimal 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sedangkan berdasarkan standar yang dilaksanakan oleh pihak PLTU untuk proses pemeliharaan atau pengeringan *paving block* dilakukan selama 28 hari hal ini disebabkan karena adanya pengaruh kekuatan terhadap *paving block* itu sendiri.

Adapun proses pengeringan yang dilakukan oleh peneliti yaitu dengan menjemurnya selama 28 hari, dengan tujuan agar kuat tekan yang diperoleh maksimal dan tidak adanya kecacatan mutu yang disebabkan dari proses pemeliharaan tersebut. Proses penjemuran dilakukan dengan cara mendinginkannya saja, namun demikian proses yang dilakukan tersebut juga tidak terlepas dari paparan sinar matahari hanya saja tidak secara langsung.

Setelah 28 hari proses pengeringan sudah dilakukan, maka selanjutnya dilakukan pengujian untuk menentukan nilai kuat tekan dengan menggunakan *compression machine* yang dihasilkan dari *paving block* yang sudah jadi dan layak untuk diujikan.

Setelah itu dilakukan pengujian berupa uji kuat tekan terhadap *paving block* menggunakan *compression machine*. Secara umum banyak sekali alat yang dapat digunakan untuk menentukan nilai kuat, namun peneliti memilih menggunakan *compression machine* karena merupakan alat yang dapat digunakan untuk pengujian mutu beton yang memiliki akurasi tinggi. Perlu diketahui bahwa pengujian menggunakan *compression machine* merupakan alat uji yang bersifat merusak sampel (*paving block* akan hancur sesuai dengan ketahanannya). Selain itu dengan menggunakan alat tersebut peneliti juga dapat menghasilkan kualitas kuat tekan yang akurat.

Analisis untuk menentukan nilai kuat tekan pada keempat sampel dengan komposisi yang berbeda. Dari masing-masing sampel tersebut dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada sampel dengan komposisi yang sama sehingga dapat diketahui nilai kuat tekan rata-rata pada sampel yang diuji.

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh nilai kuat tekan untuk sampel I dengan komposisi yang terdiri dari *fly ash* 28,57 %, *bottom ash* 17, 14 %, abu batu 40 %, dan semen 14, 29 % sebesar 41, 74 Mpa. Sampel II dengan komposisi *Fly Ash* 25,71 %, *Bottom Ash* 20 %, Abu Batu 40 %, Semen 14, 29% memiliki nilai kuat tekan sebesar 48,70 Mpa. Sampel III dengan komposisi *Fly Ash* 20 %, *Bottom Ash* 25,71 %, Abu Batu 40 %, Semen 14, 29% memiliki nilai kuat tekan sebesar 49,70 Mpa, dan sampel IV dengan komposisi *Fly Ash* 14,29 %, *Bottom Ash* 31,43 %, Abu Batu 40 %, Semen 14, 29% memiliki nilai kuat tekan sebesar 57,64 Mpa. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat diketahui nilai kuat tekan maksimum diperoleh dari kode sampel IV yang memiliki kuat tekan 57,64 Mpa.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan terkait analisis *paving block* dengan variasi komposisi berbeda yang telah dilakukan PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kuat tekan yang dihasilkan dari sampel *paving block* dengan masing-masing komposisi adalah

sampel I memiliki nilai kuat tekan rata-rata 41,74 MPa, sampel II nilai kuat tekan rata-rata 49,70 MPa, sampel II nilai kuat tekan rata-rata 48,70 MPa, dan sampel IV dengan nilai kuat tekan rata-rata 57,64 MPa.

2. Nilai berat jenis *paving block* yaitu untuk sampel I, III dan IV memiliki berat jenis rata-rata 1.495,02 N/m³ sedangkan untuk sampel II memiliki nilai berat jenis 1.605,76 N/m³.
3. Variasi komposisi yang menghasilkan nilai kuat tekan dengan mutu tertinggi terdapat pada kode sampel IV dengan komposisi *fly ash* 14,29 %, *bottom ash* 31,43 %, abu batu 40 %, dan semen 14,29 % dengan nilai kuat tekan rata-ratanya yaitu 57, 64 Mpa dan tergolong kedalam jenis beton ringan karena memiliki berat jenis diantara 800 N/m³-2000 N/m³.

Berdasarkan simpulan yang telah dipaparkan, maka saran yang diajukan untuk peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Waktu pengeringan atau masa penyimpanan dalam pembuatan *paving block* sebaiknya dilakukan secara bervariasi contohnya 7 hari, 14 hari dan 28 hari sehingga peneliti dapat mengetahui bahwa faktor waktu dapat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yang diperoleh.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menambah pengujian untuk menentukan sifat fisika lainnya dengan menggunakan instrumen UTM (*Universal Testing Machine*), Uji kekerasan brinell, XRF, XRD, Density dan Porositas yang dapat menentukan beberapa variabel dalam menganalisis sifat fisika pada *paving block*, dengan bekerja sama dengan BRIN dan pelaku usaha untuk meningkatkan sisi ekonominya. Sehingga didapatkan hasil yang akurat dan layak publikasi internasional.
3. Untuk variasi komposisi, peneliti selanjutnya dapat mencoba dengan variasi komposisi penambahan FABA dalam jumlah yang lebih banyak sehingga dapat mengurangi komposisi semen dan pasir. Atau dapat melakukan penelitian pembuatan *paving block* dengan komposisi 100% menggunakan FABA tanpa adanya material utamanya.

UCAPAN TERMAKASIH

Trimakasih kami ucapkan kepada Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten yang telah

mendukung hingga selesainya tulisan ini dan kepada PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk secara langsung dalam proses pembuatan, pengujian, dan fabrikasi *paving block* berbahan dasar FABA.

DAFTAR PUSTAKA

- Susanto, I. Irawan, R. R. Gunawan. (2020). *Coal Ash Waste Utilization for Environmentally Friendly Road Pavement Materials*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 448.
- Muhammad Syai, diwawancarai oleh Nurmala Hayati, Maret 2023, PT. Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan OMU.
- Naganathan S, Mohamed AY, & Mustapha KN, (2015). Performance of Brick Made Using Fly Ash and Bottom Ash. *Construction and Building Materials*. 96. 576-580.
- Damayanti (2018). Abu Batubara dan Pemanfaatannya Tinjauan Teknis Karakteristik Secara Kimia dan Toksikologinya Jurnal Teknologi dan Mineral Batubara 14(3) 213-231.
- Banerjee, S.; Tyagi, A.K. (2012). *Functional Materials: Preparation, Processing and Applications*, 1st ed.; Elsevier: London, UK. ISBN 978-0-12-385142-0.
- Li, Z.; Zhang, T.; Wang, Y.; Yue, X.; Yang, D.; Qiu, F. (2020). Waste-to-resource strategy to fabricate functionalized material from waste brick. *Sci. Total Environ*, 703, 135032.
- Cabrera, M.; Rosales, J.; Ayuso, J.; Estaire, J.; Agrela, F. (2018). Feasibility of using olive biomass bottom ash in the sub-bases of roads and rural paths. *Constr. Build. Mater*, 181, 266-275.
- Wang, X.; Chin, C.; Xia, J. (2019). Material Characterization for Sustainable Concrete Paving Blocks. *Appl. Sci*, 9, 1197.
- Pennarasi, G.; Soumya, S.; Gunasekaran, K. (2019). Study for the relevance of coconut shell aggregate concrete paver blocks. *Mater. Today Proc.*, 14, 368-378.
- Gaffin, S.R.; Rosenzweig, C.; Kong, A.Y.Y. (2012). Adapting to climate change through urban green infrastructure. *Nat. Clim. Chang.*, 2, 704.
- Scrivener, K.L.; John, V.M.; Gartner, E.M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically

- viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cem. Concr. Res.*, 114, 2–26.
- Katare, V.D.; Madurwar, M.V. (2020). Design and investigation of sustainable pozzolanic material. *J. Clean. Prod.*, 242, 118431.
- Pavlíková, M.; Zemanová, L.; Pokorný, J.; Záleská, M.; Jankovský, O.; Lojka, M.; Sedmidubský, D.; Pavlík, Z. (2018). Valorization of wood chips ash as an eco-friendly mineral admixture in mortar mix design. *Waste Manag.*, 80, 89–100.
- Muzayyanah, N. (2021). *Pemanfaatan Limbah Abu Aluminium Sebagai Substitusi Semen Dalam Pembuatan Paving Block*. 1–51.
- Teixeira, A. H. C., Junior, P. R. R. S., Silva, T. H., Barreto, R. R., Bezerra, A. C. S., (2020). Low-Carbon Concrete Based on Binary Biomass Ash–Silica Fume Binder to Produce Eco-Friendly Paving Blocks. *Materials*, 13, 1534; doi:10.3390/ma13071534.
- Syaifuddin (2018). *Pembuatan dan Pengujian Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Tulang Ikan*. [Skripsi].
- Gomathi N., Choudhary Y. S., Jagannathan S., (2017). *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, 163-177, Elsevier, United States.