

Pemanfaatan Campuran *Sludge* Electrocoagulasi dan *Fly Ash* pada Sifat Karakteristik *Paving Block*

ABDUL ROKHMAN¹, RACHMAD ARDIANTO^{2*}, DESI PUTRI¹, NAJLA ADINDA¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi PLN Jakarta, Indonesia

² Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi PLN Jakarta, Indonesia

Email: abdulrokhman@itpln.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mencoba memanfaatkan campuran limbah fly ash dan SEC (Electrocoagulation of Sludge) menjadi material yang berguna untuk digunakan sebagai bahan penyusun paving block. Selama ini, limbah SEC dari pabrik tekstil hanya dikumpulkan sebagai bahan yang tidak berguna, sehingga memanfaatkan penggunaan material limbah ini menjadi lebih penting dalam rangka pengurangan limbah padat pada lingkungan sekitar. Untuk meningkatkan kuat tekan paving block, campuran fly ash, yang merupakan bahan limbah industri yang tidak dimanfaatkan. Komposisi campuran fly ash pada nilai 20% sedang komposisi variasi SEC sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Pada masing-masing kondisi dibuat 9 benda uji dengan pembagian masing-masing 3 benda uji untuk pengujian 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi SEC makin tinggi akan mengurangi kuat tekan dan mutu paving block. Namun untuk variasi limbah SEC sebesar 5% masih dapat digunakan untuk campuran dengan target mutu pavingblock B. Penurunan nilai kuat tekan dikarenakan adanya pengaruh unsur karbon (C) dalam limbah SEC. Secara visual, Benda uji dengan kandungan SEC tinggi akan terlihat basah, dan mengalami proses pengeringan yang lama, hal ini dikarenakan SEC memiliki sifat menangkap air, dan sulit menguapkan air.

Kata kunci: *sludge, limbah tekstil, elektrokoagulasi, fly ash, pavingblock*

ABSTRACT

This research tries to utilize a mixture of fly ash waste and SEC (Electrocoagulation of Sludge) into a useful material to be used as a paving block material. So far, SEC waste from textile factories has only been collected as useless material, so making use of this waste material has become more important in order to reduce solid waste in the surrounding environment. To increase the compressive strength of paving blocks, mix fly ash, which is an unused industrial waste material. The composition of the fly ash mixture is 20%, while the SEC variation composition is 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. In each condition, 9 test objects were made, divided into 3 test objects each for 7 days, 28 days and 56 days testing. The research results show that adding a higher SEC concentration will reduce the compressive strength and quality of the paving block. However, a 5% variation in SEC waste can still be used for a mixture with a paving block quality target of B. The decrease in compressive strength is due to the influence of the carbon element (C) in SEC waste. Visually, test objects with a high SEC content will appear wet, and undergo a long drying process, this is because SEC has the property of capturing water, and is difficult to evaporate water.

Keywords: *sludge, textile waste, electrocoagulation, fly ash, paving block*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara yang saat ini masuk dalam kategori *Middle Income Countries* mempunyai pertumbuhan industri yang cukup signifikan. Salah satu industri yang cukup penting keberadaannya yaitu industri tekstil di mana industri ini memasok tekstil untuk keperluan rakyat Indonesia. Industri tekstil memainkan peranan penting dalam memberikan manfaat bagi masalah ketenagakerjaan, pendapatan fiskal dan pembangunan ekonomi. Namun, pesatnya perkembangan industri tekstil di Indonesia selama beberapa dekade terakhir juga secara langsung berdampak terhadap bertambahnya beban lingkungan yang signifikan di wilayah-wilayah pusat industri tekstil, karena pembuangan air limbah yang tercemar berat. Dalam proses pengolahan air limbah tekstil baik menggunakan teknologi konvensional (kimia-koagulasi) [1] maupun teknologi *advanced* seperti elektrokoagulasi [2], proses ini akan menghasilkan *sludge* dalam jumlah yang cukup besar. *Sludge* dari proses pengolahan air limbah industri tekstil mengandung sejumlah bahan organik beracun, bahan kimia dari koagulan yang digunakan serta logam berat [3][4].

Proses pengelolaan *sludge* yang tidak tepat seperti pengomposan maupun *landfilling* dapat mencemari lingkungan seperti air dan tanah. Saat ini proses pengelolaan *sludge* masih dikelola oleh pihak ke III yang mempunyai izin sesuai regulator dari Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup, namun sebagian proses dilakukan dengan proses kimiawi maupun dengan proses pembakaran seperti yang dilakukan di negara China [3]. Oleh karena ini proses pengelolaan *sludge* masih dibutuhkan opsi alternatif yang dapat mencapai target pengelolaan *sludge* yang baik.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengelola *sludge* adalah dengan memanfaatkan untuk campuran beton ataupun mortar untuk penggunaan sebagai bahan konstruksi. Pencampuran antara bahan *Sludge EC (Electrocoagulation)* dengan semen dapat menurunkan kandungan bahan berbahaya dengan biaya yang rendah serta operasional yang mudah [5][6]. Sistem berbasis semen secara fisik dapat mengisolasi atau secara proses kimiawi dapat memperbaiki kandungan unsur ke dalam komposit semen [7][8]. Selain itu, *sludge* dapat digunakan atau dikombinasikan dengan semen untuk menghasilkan beberapa material konstruksi ringan. Pengolahan air limbah industri tekstil, dengan menggunakan elektrokoagulasi [9], menggunakan elektroda besi sebagai *anode* selama proses elektrolisis. Dalam proses elektrokoagulasi dengan menggunakan elektroda besi menghasilkan kandungan oksida besi yang dapat digunakan sebagai pigmen. Sementara itu, ketika proses menggunakan elektroda aluminium, kandungan aluminium merupakan komponen penting dalam dari bahan semen. *Sludge* yang dihasilkan dari pengolahan proses elektrokoagulasi dengan menggunakan elektorda aluminium mengandung kandungan Aluminium yang tinggi sehingga menawarkan aplikasi potensial untuk bahan konstruksi [10]. Sementara itu berdasarkan [11] bahwa partikel *sludge* EC lebih besar daripada partikel semen. Kepadatan basah dan kering menurun dengan semakin bertambahnya jumlah lumpur EC. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa kekuatan menurun ketika lebih dari 7,5% lumpur EC digunakan. Balasubramanian, et al. [12] menjelaskan bahwa penggunaan kembali *sludge* dari pengolahan air limbah industri tekstil penambahan penggantian semen hanya dapat diizinkan untuk beton non-struktural. Kemudian Patel dan Pandey [13] telah mencoba menggunakan pengikat *Portland Pozzolan Cement (PPC)* untuk campuran beton. Kepadatan dan kekuatan tekan dari sampel beton PPC-*Sludge* ditemukan menurun drastis ketika proporsi *sludge* ditingkatkan dari 0% menjadi 70%.

Oleh karena itu berdasarkan penjelasan di atas perlu penelitian lebih detail mengenai pemanfaatan *sludge* dari proses elektrokoagulasi untuk material non beton struktural yaitu bahan *paving block*. Untuk meningkatkan kuat tekan salah satunya dengan mengkombinasi dengan limbah padat *fly ash* dari proses pembangkit sampai kadar prosentase tertentu.

Berdasarkan, pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan substitusi dicapai pada rasio air terhadap pengikat sebesar 0,45 dan rasio agregat kasar terhadap agregat total sebesar 0,6 pada substitusi 25% semen dengan *fly ash*. Pemanfaatan *fly ash* untuk dijadikan bahan substitusi semen pada *paving block* memiliki nilai kadar optimum pada konsentrasi 20% dengan hasil kuat tekan yang paling tinggi [14][15][16]. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini mencoba menggali potensial pemanfaatan *sludge EC* (SEC) dari pengolahan air limbah yang difungsikan sebagai alternatif pengelolaan dan pemanfaatan limbah SEC dan *fly ash* menjadi material konstruksi yaitu *paving block* yang belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan bahan material berupa *fly ash*, bahan SEC, agregat halus dan semen. Untuk material SEC diperoleh dari industri tekstil yang ada di Kabupaten Bandung, sedang limbah *fly ash* diperoleh dari PLTU Tanjung Jati B Kabupaten Jepara. Pengujian material meliputi gradasi dan berat jenis (untuk bahan agregat halus), berat jenis dan kandungan unsur kimiawi untuk material *fly ash* dan SEC.

2.1 Komposisi Campuran

Dari hasil pengujian bahan kemudian dilakukan pembuatan rancangan campuran untuk masing-masing variasi. Variasi campuran dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Campuran Paving Block

Variasi SEC	Mix	Semen	pasir	air	fly ash	SEC
		Kg	kg	kg	kg	kg
0	Mix 1	2,02	4,14	0,006	0,000	0,00
0	Mix 2	1,62	4,14	0,006	0,404	0,00
5%	Mix 3	1,62	3,93	0,006	0,404	0,21
10%	Mix 4	1,62	3,73	0,006	0,404	0,41
15%	Mix 5	1,62	3,52	0,006	0,404	0,62
20%	Mix 6	1,62	3,31	0,006	0,404	0,83
25%	Mix 7	1,62	3,11	0,006	0,404	1,04

2.2 Bahan Paving Block

Dalam pembuatan *paving block* pada penelitian ini diperlukan bahan penyusun antara lain *fly ash*, SEC (*Sludge Electrocoagulation*), semen (PC), pasir, air. Segala bahan yang digunakan dalam campuran harus memenuhi persyaratan yang berlaku.

2.2.1 Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai tipe F yang berasal dari PLTU Tanjung Jati B Kabupaten Jepara Jawa Tengah. Berdasarkan referensi penelitian yang ada, nilai optimum *fly ash* berapa pada angka 20% substitusi terhadap semen. Uji material *fly ash* meliputi pengujian berat jenis serta kandungan unsur kimia melalui uji SEM-EDX. Bentuk konfigurasi *microstructural* bahan *fly ash* dapat dilihat dari **Gambar 1(a)**. Komposisi kandungan unsur kimiawi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

2.2.2 Semen PCC

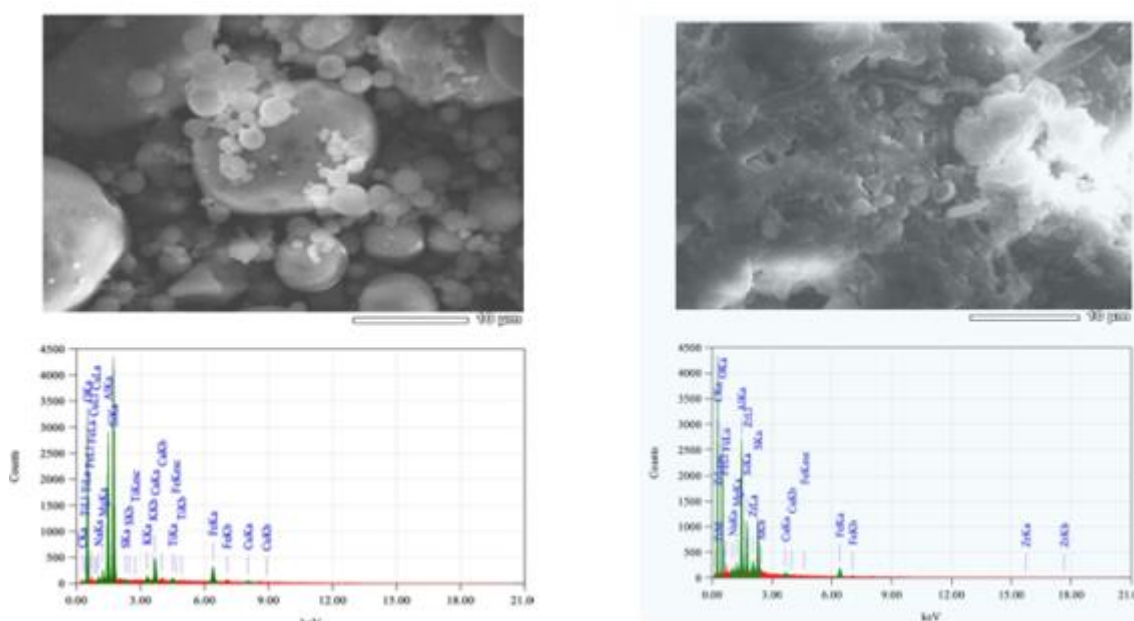
Penelitian ini memanfaatkan semen jenis portland PCC dengan merek Semen Gresik dengan kemasan per kantong 40 kg sebagai bahan utama. Campuran semen Portland merupakan bahan pengikat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen Portland dan gipsium dengan bahan anorganik lainnya. Pada penelitian ini, material semen diuji berat jenisnya.

2.2.3 Pasir

Penelitian ini menggunakan pasir Rangkas Bitung, Serang Banten yang tersedia di pasaran. Pengujian agregat halus (pasir) meliputi uji gradasi, uji kandungan lumpur dalam pasir, berat satuan serta kandungan bahan organik dalam pasir.

2.2.4 Sludge Electrocoagulation (SEC)

Material SEC berasal dari limbah industri tekstil yang ada di Kabupaten Bandung Jawa Barat. Material ini telah mengalami proses elektrokoagulasi yang menghasilkan bahan padat berupa butiran kasar menyerupai pasir. Pengujian bahan material SEC dilakukan dengan uji SEM-EDX untuk mengetahui kandungan unsur kimia dalam material. Bentuk *microstructural* dari bahan SEC dapat dilihat dari **Gambar 1(b)**. Sedangkan untuk komposisi kandungan kimiawi dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 1. (a) Hasil uji SEM-EDX *fly ash*, (b) Hasil uji SEM-EDX SEC

Dari hasil uji EDX untuk kedua material didapatkan komposisi kimiawi penyusun material sebagai berikut:

Tabel 2. Komposisi Kandungan Senyawa dalam *Fly Ash* dan SEC

Senyawa	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	CuO	ZrO ₂	C
Fly ash	0,8	1,69	24,7	47,1	0,68	0,74	4,74	1,2	8,77	1,3	0	8,21
SEC	0,28	0,51	8,73	4,14	0,2	0	0	0	2,3	0	1,53	76,2

2.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Berikut alur penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3**.

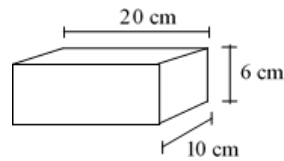
2.4 Tahapan Pengujian

Pengujian *paving block* meliputi uji tekan dan uji serapan air. Pengujian tekan dilaksanakan pada umur 7 hari, 28 hari dan 56 hari, sedangkan uji serapan air diuji pada saat umur 28 hari.

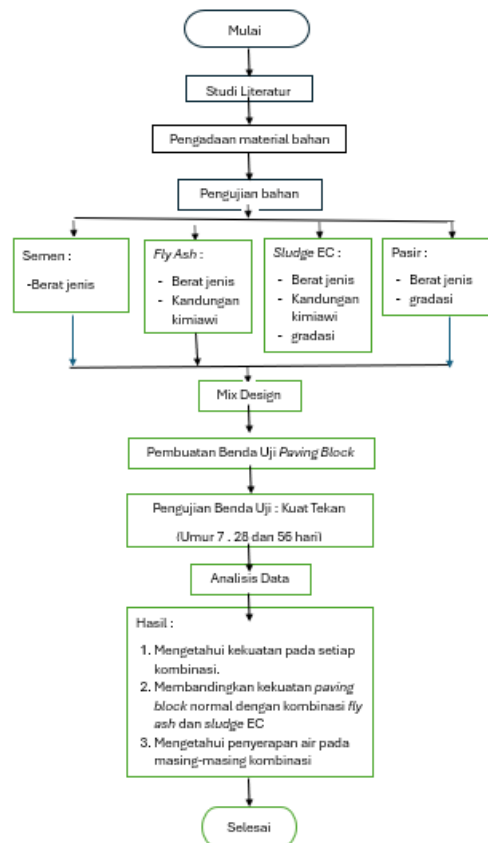
2.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pada pembuatan benda uji *paving block*, dirancang dengan variasi kadar SEC untuk substitusi sgregat halus mulai dari 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%; dengan kadar substitusi *fly ash*

terhadap semen sebesar 20% untuk semua variasi. Ukuran specimen pavingblock seperti pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 2. Spesimen benda uji paving block



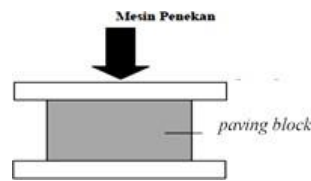
Gambar 3. Bagan alir penelitian

Jumlah benda uji yang akan dibuat untuk total keseluruhan dengan variasinya tercantum dalam **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Jumlah Benda Uji Paving Block

Variasi SEC	Mix	Semen	Pasir	Air	Fly Ash	SEC	Jumlah
		Kg	kg	kg	kg	kg	Pcs
0	Mix 1	2,02	4,14	0,006	0,000	0,00	9
0	Mix 2	1,62	4,14	0,006	0,404	0,00	9
5%	Mix 3	1,62	3,93	0,006	0,404	0,21	9
10%	Mix 4	1,62	3,73	0,006	0,404	0,41	9
15%	Mix 5	1,62	3,52	0,006	0,404	0,62	9
20%	Mix 6	1,62	3,31	0,006	0,404	0,83	9
25%	Mix 7	1,62	3,11	0,006	0,404	1,04	9

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *compression machine* dengan skema pembebanan pada **Gambar 4** berikut.



Gambar 4. Skema pembebanan

Skema pembebanan ini, posisi benda uji dimodelkan seperti pada pembebanan asli di lapangan yang diterima oleh *paving block*. Perhitungan kuat tekan seperti pada **Persamaan 1**.

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

deterangan:

- σ = kuat tekan [N/mm²];
- P = beban [N];
- A = luas penampang [mm²].

Adapun untuk pengujian serapan air, dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam air selama 24 jam, kemudian ditimbang (w_1), kemudian dimasukkan dalam oven hingga kering dan ditimbang (w_2). Perhitungan serapan air seperti pada **Persamaan 2**.

$$\text{Serapan Air} = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \quad \dots (2)$$

Untuk benda uji umur 28 hari selain dilakukan pengujian tekan, juga dilakukan uji serapan air. Setiap variasi pengujian jumlah sampel yang dibuat sebanyak 3 benda uji. Data yang didapatkan berupa kuat tekan dan serapan air pada masing-masing variasi yang dijadikan acuan menentukan mutu *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Bahan

Pengujian bahan susun material *paving block*, meliputi pengujian gradasi pasir, berat satuan pasir, berat jenis pasir. Adapun hasil pengujian bahan ditunjukkan pada **Tabel 4**.

3.2 Hasil Pengujian *Paving Block*

Hasil pengujian *paving block* berupa pengujian kuat tekan pada umur 7, 28 dan 56 hari untuk semua variasi disajikan dalam grafik. Pengujian serapan air hanya diuji pada saat umur *paving block* berumur 28 hari.

3.2.1 Pengujian Kuat Tekan

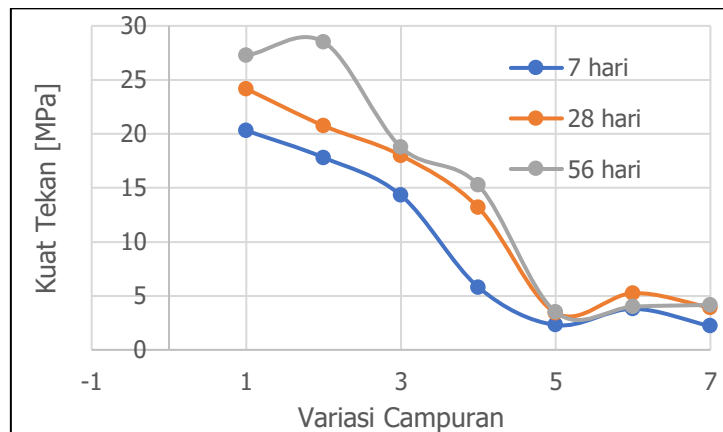
Pada **Gambar 5** dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa untuk konsentrasi SEC akan menurunkan kuat tekan *paving block* pada setiap umur pengujian.

3.2.2 Pengujian Serapan Air

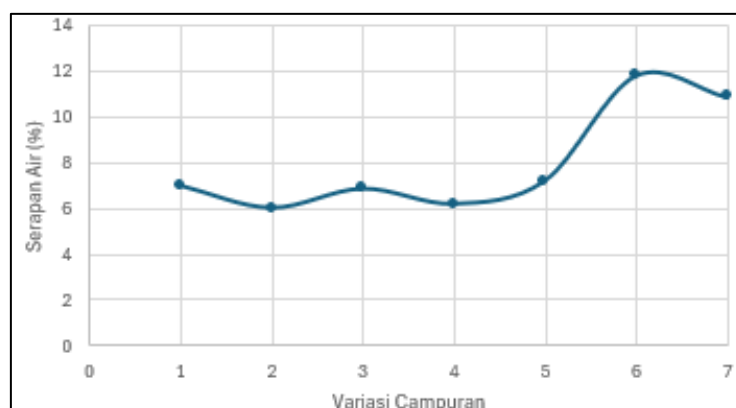
Gambar 6 menunjukkan pengujian serapan air dilakukan pada saat umur *paving block* mencapai 28 hari. Serapan air digunakan sebagai dasar penentuan mutu *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

Tabel 1. Hasil Pengujian Bahan

Pengujian	Satuan	Hasil
Semen		
Berat Jenis	gr/cm ³	2,659
Berat Isi Lepas	kg/m ³	1.031,34
Berat Isi Padat	kg/m ³	1.148,47
Agregat Halus		
Berat Jenis	gr/cm ³	2,287
Penyerapan Air	%	4,603
Berat Isi Lepas	kg/m ³	1.184,67
Berat Isi Padat	kg/m ³	1.305,74
Angka Kehalusan		3,293



Gambar 5. Grafik hubungan antara substitusi variasi campuran terhadap kuat tekan paving block



Gambar 6. Grafik hubungan antara variasi campuran terhadap serapan air

Kuat tekan paving block mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya kadar SEC dikarenakan kandungan unsur karbon (C) dalam material berakibat mengurangi kekuatan

paving block. Kandungan silika dalam SEC yang rendah tidak mampu mempengaruhi kenaikan kuat tekan. Dari pengamatan secara visual, benda uji dengan konsentrasi SEC yang tinggi akan terlihat basah sebagai akibat adanya pengaruh SEC yang bersifat menyerap air. Merujuk pada SNI 03-0691-1996; maka penggunaan limbah SEC yang dicampur dengan *fly ash* masih mampu mencapai kuat tekan 18 MPa pada umur 28 hari dengan serapan air sebesar 6,8%; sehingga mutu *paving block* yang dapat dicapai pada variasi ini dengan pemanfaatan limbah SEC yaitu pada mutu B.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, penggunaan limbah SEC untuk *paving block* akan menurunkan kuat tekan dengan semakin tingginya konsentrasi campuran. Pencampuran SEC dengan *fly ash*, pada kadar SEC 5% dapat menghasilkan dengan mutu *paving block* yang didapatkan pada mutu B.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kemdikbud atas bantuan pendanaan hibah penelitian PDP tahun 2024 melalui Kontrak Nomor 105/E5/PG.02.00.PL/2024 dan Institut Teknologi PLN yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. Verma, R. R. Dash, and P. Bhunia, "A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters," *J. Environ. Manage.*, vol. 93, no. 1, pp. 154–168, 2012.
- [2] R. Ardianto and A. Y. Bagastyo, "Personal Care Wastewater Treatment with Electro-coagulation and Electro-oxidation," in *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 125, p. 3008.
- [3] M. Lin *et al.*, "Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in textile dyeing sludge with ultrasound and Fenton processes: Effect of system parameters and synergistic effect study," *J. Hazard. Mater.*, vol. 307, pp. 7–16, 2016.
- [4] M. Sarvajith, G. K. K. Reddy, and Y. V Nancharaiyah, "Textile dye biodecolourization and ammonium removal over nitrite in aerobic granular sludge sequencing batch reactors," *J. Hazard. Mater.*, vol. 342, pp. 536–543, 2018.
- [5] M. Lasheras-Zubiate, I. Navarro-Blasco, J. I. Alvarez, and J. M. Fernández, "Interaction of carboxymethylchitosan and heavy metals in cement media," *J. Hazard. Mater.*, vol. 194, pp. 223–231, 2011.
- [6] M. A. C. Gollmann, M. M. da Silva, Â. B. Masuero, and J. H. Z. dos Santos, "Stabilization and solidification of Pb in cement matrices," *J. Hazard. Mater.*, vol. 179, no. 1–3, pp. 507–514, 2010.
- [7] L. Zampori, I. N. Sora, R. Pelosato, G. Dotelli, and P. G. Stampino, "Chemistry of cement hydration in polymer-modified pastes containing lead compounds," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 26, no. 4–5, pp. 809–816, 2006.
- [8] Q. Y. Chen, C. D. Hills, M. Tyrer, I. Slipper, H. G. Shen, and A. Brough, "Characterisation of products of tricalcium silicate hydration in the presence of heavy metals," *J. Hazard. Mater.*, vol. 147, no. 3, pp. 817–825, 2007.
- [9] V. Khandegar and A. K. Saroha, "Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—a review," *J. Environ. Manage.*, vol. 128, pp. 949–963, 2013.
- [10] K. Rajaniemi, S. Tuomikoski, and U. Lassi, "Electrocoagulation sludge valorization—a review," *Resources*, vol. 10, no. 12, p. 127, 2021.

- [11] P. Sharma and H. Joshi, "Utilization of electrocoagulation-treated spent wash sludge in making building blocks," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, pp. 349–358, 2016.
- [12] J. Balasubramanian, P. C. Sabumon, J. U. Lazar, and R. Ilangovan, "Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials," *Waste Manag.*, vol. 26, no. 1, pp. 22–28, 2006.
- [13] H. Patel and S. Pandey, "Evaluation of physical stability and leachability of Portland Pozzolona Cement (PPC) solidified chemical sludge generated from textile wastewater treatment plants," *J. Hazard. Mater.*, vol. 207, pp. 56–64, 2012.
- [14] A. Rokhman and D. Van Chairi, "Pemanfaatan Substitusi Fly Ash dan Bahan Kapur Alam untuk Peningkatan Mutu Paving Block," *J. Sipil Krisna*, vol. 8, no. 2, pp. 57–67, 2022, doi: 10.61488/sipilkrisna.v8i2.168.
- [15] A. I. N. Diana and D. Desharyanto, "Effect of addition waste bottle and fly ash variation to compressive strength environmentally friendly paving block," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1538, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1538/1/012025.
- [16] ravikant talluri joel santosh, "Engineering Manufacture of Interlocking Concrete," *Manuf. Interlocking Concr. Paving Blocks with Fly Ash Glas. Powder*, pp. 55–64, 2015.