

Inovasi lapis pondasi atas CTB (*Cement Treated Base*) menggunakan substitusi pofa dan limbah cangkang kerang hijau

Raka Aditya Pratama^{a*}, Muhammad Hilaluroyib, Asri Nurdianac, Riza Susanti^d

^{a*bcd}Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

rakaadityapratama376@gmail.com**Keywords:**

CTB, POFA, Shells, Carbon Emissions, Cement.

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: During the current administration, the construction sector, especially toll road infrastructure in Indonesia, has increased. This will increase the amount of cement production to meet construction needs. Even though the cement industry is one of the contributors to gas emissions. In addition, the plantation sector can be optimized as an alternative construction material. Such as palm shell waste (POFA), which contains the same content as cement. The fisheries sector can also be optimized as an alternative construction material. such as green mussel shells which have the same content as cement, which is pozzolanic. Based on these problems, the purpose of this research is to optimize palm oil shell waste and green mussel shells as cement substitution materials in CTB to reduce gas emissions. The method used is research and experimentation by partially substituting cement by 10% and 20% using POFA. 5% and 10% use green mussel shell waste which will later be compared with the CTB Job mix formula which complies with the general specifications by testing the compressive strength of concrete and analysis of CTB work unit prices per 1 m³. The results of this study revealed that the highest compressive strength of 5.5 MPa occurred in 20% POFA substituted CTB and 10% green mussel shells. This compressive strength is higher than Normal CTB. However, from the results of price analysis it can be seen that 20% POFA substitution CTB and 10% green mussel shells require a 3.7% higher cost than the Normal CTB price or a difference of Rp.19,792.22.

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan infrastruktur menjadi salah satu fokus pemerintah Indonesia saat ini untuk meningkatkan daya saing pasar global. Salah satu infrastruktur yang terus dibangun adalah jalan perkerasan lentur yang meliputi jalan nasional, jalan provinsi, dan jalan kabupaten/kota yang merupakan infrastruktur utama untuk mobilitas ekonomi, sosial, dan pariwisata. Hal ini akan mengalami peningkatan jumlah produksi semen untuk memenuhi kebutuhan konstruksi (Rajiman, 2015). Hal tersebut akan mengakibatkan dampak negatif yaitu tercemarnya polusi udara di sekitar pabrik (Ridha, 2013). Padahal industri semen merupakan penyumbang emisi gas dan pada tahun 2021 Indonesia akan menjadi negara penghasil gas terbesar ke-5 di dunia dengan produksi emisi gas kumulatif sebesar 102.652 GtCO₂ (BPS, 2022). Hal ini tidak sejalan dengan komitmen pemerintah yang bertujuan menjadikan Indonesia sebagai negara *Net Zero Emission* 2065 (Kementerian ESDM, 2022). Penanganan limbah di sektor perkebunan masih menjadi masalah serius, salah satunya limbah cangkang sawit yang belum dioptimalkan secara optimal. Sektor perkebunan kelapa sawit perlu dioptimalkan sebagai upaya pengurangan emisi gas di Indonesia. Selain sektor perkebunan, sektor perikanan juga belum optimal dalam penanganan limbah. Salah satu permasalahan yang terjadi adalah penumpukan limbah cangkang kerang hijau yang disebabkan oleh banyaknya peredaran kerang hijau di rumah makan *seafood*.

Dari permasalahan tersebut, yang dapat digaribawahi adalah optimalisasi limbah perkebunan yaitu limbah cangkang sawit dan limbah cangkang kerang hijau sebagai bahan substitusi semen pada lapis pondasi atas CTB konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa POFA 20% dan limbah cangkang kerang hijau 10% dapat mensubstitusi semen secara parsial pada campuran lapis pondasi atas CTB dan memiliki kuat tekan yang layak sesuai Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018. Berdasarkan penelitian terdahulu POFA 20% juga dapat

menggantikan semen pada campuran beton konvensional (Sooraj V. M., 2013) serta pada penelitian terdahulu limbah cangkang kerang hijau 10% juga dapat mensubstitusi campuran *paving block* (Handayasari, 2018). Sebab POFA dan cangkang kerang hijau memiliki kandungan senyawa yang sama dengan semen, POFA memiliki kandungan silika dioksida (SiO_2) sebesar 64,36% dan cangkang kerang hijau memiliki kandungan kalsium (CaO) sebesar 53,6%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi inovasi yang dapat mengurangi emisi gas yang dihasilkan oleh pabrik produksi semen dan mewujudkan cita-cita pemerintah menjadi negara *Net Zero Emissions 2065*.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui persentase optimum untuk mensubstitusi semen secara parsial menggunakan POFA dan limbah cangkang kerang hijau pada lapis pondasi atas CTB.
2. Mengetahui perbandingan kuat tekan CTB menggunakan substitusi POFA dan limbah cangkang kerang hijau yang optimum dengan kuat tekan CTB normal yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018.
3. Mengetahui perbandingan biaya yang diperlukan untuk pembuatan inovasi lapis pondasi atas CTB menggunakan substitusi POFA dan limbah cangkang kerang hijau per 1 m³ dengan CTB normal per 1 m³.

2. DATA DAN METODE

Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan menganalisis potensi dan masalah, selanjutnya *studi literatur* untuk menguatkan topik dan mensinkronkan permasalahan dengan penelitian sebelumnya. Selanjutnya dilakukan penelitian dengan menggunakan metode eksperimental atau *research* untuk mengembangkan suatu bahan agar mendapatkan hasil ataupun data yang menegaskan hubungan antar *variable* yang telah diamati dan membandingkan dengan produk yang telah sesuai dengan spesifikasi. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Transportasi Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro pada bulan Mei – Juni 2023. Variasi yang digunakan adalah POFA 10% dan 20% serta limbah cangkang kerang 5% dan 10%. Tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Persiapan alat dan bahan
2. Pengujian kelayakan bahan
3. Rencana *Job Mix Design*
4. Pembuatan dan perawatan benda uji
5. Pengujian kuat tekan
6. Analisis harga

Persiapan alat dan bahan

Tahap ini yaitu melakukan persiapan alat dan bahan yang diperlukan termasuk bahan tambahan yang akan digunakan yaitu POFA yang ditampilkan pada Gambar 1 dan limbah cangkang kerang hijau yang telah difurnace ditampilkan pada Gambar 2, sebelum dicampur POFA terlebih dahulu di oven untuk memunculkan kandungannya dan dilakukan penyaringan terlebih dahulu menggunakan ayakan No. 200 hingga lolos saringan tersebut. Sementara, limbah cangkang kerang hijau dapat dibersihkan hingga tidak berbau dan berminyak kemudian limbah cangkang kerang hijau dihancurkan dan akan di *furnace* hingga 1000 °C hingga bewarna putih.



Gambar 1. POFA



Gambar 2. Cangkang Kerang Hijau

Pengujian Kelayakan Bahan

Pengujian kelayakan bahan dilakukan untuk mengetahui kualitas bahan yang akan digunakan dan mengacu sesuai dengan SNI, ASTM, dan Spesifikasi Umum Jalan Jembatan Tahun 2018. Pengujian yang dilakukan pada agregat halus yaitu uji gradasi, uji kadar lumpur cucian dan kocokan. Sementara, pengujian pada agregat kasar yaitu uji gradasi dan uji abrasi.

Rencana Job Mix Design

Pada rencana campuran atau *job mix design* CTB ini mengacu pada JMF CTB Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Tuban yang mengikuti padoman dari Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018. Pada dasarnya CTB merupakan lapisan pondasi atas yang terdiri dari 95% agregat kelas A dan 5% adalah semen. Berikut merupakan *job mix design* yang terlampir terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana Job Mix Design

Variabel	Variasi A	Variasi B	Variasi C	Variasi D	Variasi E
	CTB Normal	CTB+CK 10%	CTB+POFA 20%	CTB+POFA 20%+CK 10%	CTB+POFA 10%+CK 5%
Semen (kg)	0,625	0,565	0,500	0,400	0,535
Pasir (kg)	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
Abu Batu (kg)	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
Batu Split (kg)	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600
Cangkang Kerang Hijau (kg)	0,0	0,065	0,0	0,065	0,035
POFA (kg)	0,0	0,0	0,125	0,125	0,065
Air (liter)	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600

Keterangan :

CTB : *Cement Treated Base*

CK : Cangkang Kerang

POFA : *Palm Oil Feul Ash*

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Dalam penelitian ini digunakan benda uji beton CTB silinder berukuran 15 x 30 cm dengan total 15 benda uji, pada setiap variabelnya membutuhkan 3 benda uji. Pada tahap pembuatan benda uji mengacu pada (SNI 2493 – 2011) tentang tata cara pembuatan dan perawatan beton. Berikut merupakan langkah pembuatan CTB:

1. Menyiapkan semua material yang digunakan
2. Menimbang semua material sesuai *job mix design*
3. Memasukan semua bahan termasuk bahan inovasi pada loyang besar

4. Campur dan aduk bahan material hingga merata
5. Siapkan cetakan beton silinder 15 x 30 cm
6. Masukkan CTB kedalam cetakan beton silinder hingga penuh dan padatkan menggunakan *hammer*
7. Diamkan 24 jam
8. Lepas cetakan beton
9. Masukkan kedalam bak *curing* diamkan hingga 3 – 4 hari

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian benda uji mengacu pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan 2018 oleh Kementerian PUPR. Benda uji akan dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur beton 7 hari dengan hasil kuat tekan yang disyaratkan mencapai 45 – 55 kg/cm² atau 5 Mpa.

Analisis Harga

Dalam penelitian ini juga menganalisis harga satuan pekerjaan lapis pondasi atas CTB normal per 1 m³ dan CTB variasi lainnya hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perbandingan harga CTB normal dengan CTB variasi lainnya agar dapat diketahui CTB yang memiliki harga yang efisien.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kelayakan Bahan

Berikut merupakan hasil dari pengujian material yang telah sesuai dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan Departemen Sipil dan Perencanaan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro guna mengetahui kelayakan bahan material pada Lapis Pondasi Atas CTB. Pengujiannya meliputi agregat kasar yaitu pengujian abrasi dan pengujian gradasi. Sementara, agregat halus menguji gradasi dan kadar lumpur menggunakan cucian dan kocokan, pengujian tersebut mengacu sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018 seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

1. Agregat Halus (Ex. Muntilan)

Tabel 2. Hasil Rekap Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Hasil	Standar	Referensi	Kesimpulan
<i>Fineness Modulus</i>	1,633	1,5 – 2,0	SNI 03 – 1750 – 1990	Terpenuhi
Kadar Lumpur	4%	5%	SNI 03 – 2847 – 2002	Terpenuhi

Agregat halus telah memenuhi standar gradasi dan kadar lumpur, sesuai dengan regulasi SNI dan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan 2018 yang ditampilkan pada Tabel 2. Maka dari itu layak untuk digunakan dalam campuran CTB.

2. Agregat Kasar (Ex. Ungaran)

Tabel 3. Hasil Rekap Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Hasil	Standar	Referensi	Kesimpulan
Gradasi Agregat Kasar	5,85	< 7	SNI 03 – 2461 – 2002	Terpenuhi
Abrasi / Los Angeles	30%	40%	SNI 03 – 2417 – 1991	Terpenuhi

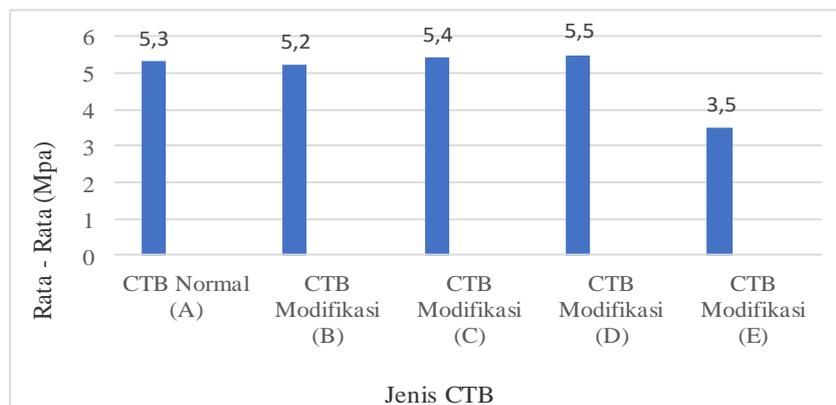
Pada penelitian yang dilakukan untuk menentukan kelayakan bahan dapat digaris bawahi bahwa agregat kasar Ex. Ungaran yang telah dianalisis dapat digunakan sebagai campuran agregat kelas A pada lapis pondasi atas CTB yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil Uji Kuat Tekan CTB

Pada penelitian ini menggunakan benda uji silinder berukuran 15 x 30 dengan jumlah benda ujinya adalah 15 benda uji atau 3 benda uji per variabelnya, umur benda uji yaitu 7 hari sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB

No	Variasi CTB	Kuat Tekan CTB			Rata - Rata Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata - Rata Kuat Tekan (Mpa)
		Mutu Beton 1 (kg/cm ²)	Mutu Beton 2 (kg/cm ²)	Mutu Beton 3 (kg/cm ²)		
1.	CTB Normal (Variasi A)	49,7	52,6	60,6	54,3	5,3
2.	CTB Modifiaksi (Variasi B)	45,7	63,6	52,6	53,9	5,2
3.	CTB Modifiaksi (Variasi C)	60,6	54,6	50,6	55,2	5,4
4.	CTB Modifiaksi (Variasi D)	54,6	60,6	52,6	55,9	5,5
5.	CTB Modifiaksi (Variasi E)	39,7	38,7	29,8	36	3,5



Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB

Diketahui bahwa CTB Variasi A sebagai CTB Normal dengan kuat tekan 5,3 Mpa lebih besar dibandingkan dengan CTB Variasi B yaitu CTB dengan modifikasi limbah cangkang kerang hijau 10% dengan kuat tekan sebesar 5,2 Mpa nilai tersebut memenuhi syarat spesifikasi umum dan dapat menggantikan semen pada CTB yang terlampir pada Tabel 4. dan Gambar 3. Hal tersebut dapat dirujuk dan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa limbah cangkang kerang hijau 10% dapat mensubstitusi semen pada campuran *paving block* dan memiliki kuat tekan sebesar 12,8 Mpa (Handayasari, 2018). Karena cangkang kerang hijau memiliki kandungan kalsium yang tinggi namun tidak memiliki kandungan silika sebagai salah satu bahan utama campuran pembuatan semen (Amin, 2017).

CTB Variasi C yaitu CTB dengan modifikasi POFA sebesar 20% rata – rata kuat tekannya lebih dari CTB Variasi A dan CTB Variasi B dengan nilai kuat tekannya sebesar 5,4 Mpa nilai tersebut memenuhi syarat spesifikasi umum dan dapat menggantikan semen pada CTB. Hal tersebut juga pernah diteliti dan disimpulkan bahwa POFA 20% dapat mensubstitusi semen pada campuran beton konvensional dengan kuat tekan 32,36 Mpa (Hamada, 2018).

CTB variasi D yaitu CTB modifikasi menggabungkan 2 bahan yaitu POFA dan cangkang kerang hijau dengan persentase optimum yaitu 20% POFA dan 10% cangkang kerang hijau memiliki hasil paling maksimal dibandingkan dengan CTB variasi lainnya, kuat tekan variasi ini sebesar 5,5 Mpa. Hal tersebut disebabkan karena kombinasi antara 2 bahan substitusi yaitu POFA dan cangkang kerang hijau memiliki kandungan yang sama dengan semen dan saling melengkapi (Amin, 2017). POFA memiliki kandungan silika dioksida (SiO_2) 64,36%. Sedangkan, cangkang kerang hijau memiliki kandungan kalsium (CaO) 53,6%. Pada CTB Variasi E yaitu CTB modifikasi POFA 10% dan cangkang kerang hijau 5% seharusnya memiliki hasil kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan variasi yang lain namun pada hasilnya justru berbanding terbalik. Hal tersebut disebabkan karena faktor *human error* pada proses pengujian, ketika saat akan melaksanakan pengujian benda uji masih tergolong basah sebab benda uji baru dikeluarkan dari bak *curing*.

Analisis Harga CTB per 1 m³

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat diketahui kebutuhan harga 1 m³ CTB Normal dengan CTB modifikasi variasi yang optimum, analisis ini berdasarkan AHSP Kabupaten Tuban Tahun 2022, berikut hasilnya yang terlampir pada Tabel 5 dan Tabel 6.

1. Analisis Harga CTB Normal

Tabel 5. Hasil Analisis Harga CTB Normal 1 m³

Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Tenaga				
Pekerja	Jam	1,0542	12.142,86	12.801,20
Tukang	Jam	0,3012	13.000,00	3.915,66
Mandor	Jam	0,1506	14.571,43	2.194,49
JUMLAH HARGA TENAGA				18.911,36
Bahan				
Semen	Kg	14,0938	1.402,00	19.759,44
Agregat A	M ³	1,2586	177.950,00	223.969,52
Air	liter	0,0060	20,00	0,12
JUMLAH HARGA BAHAN				243.729,08
Peralatan				
Wheel Loader	Jam	0,0244	463.483,02	11.314,26
Batching Plant	Jam	0,0753	694.921,26	52.328,41
Dump Truk	Jam	0,3087	270.250,34	83.436,89
Vibrator Roller	Jam	0,0054	333.302,41	1.808,87
Water Tank Truk	Jam	0,0422	247.631,86	10.442,31
Screed Paver	Jam	0,0096	413.319,81	3.952,19
Alat Bantu	Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
JUMLAH HARGA ALAT				213.282,92
JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				475.923,36
OVERHEAD & PROFIT 10% x D				47.592,34
Harga Satuan Pekerjaan				523.515,69

2. Analisis Harga CTB Variasi D (POFA 20% + Cangkang Kerang Hijau 10%)

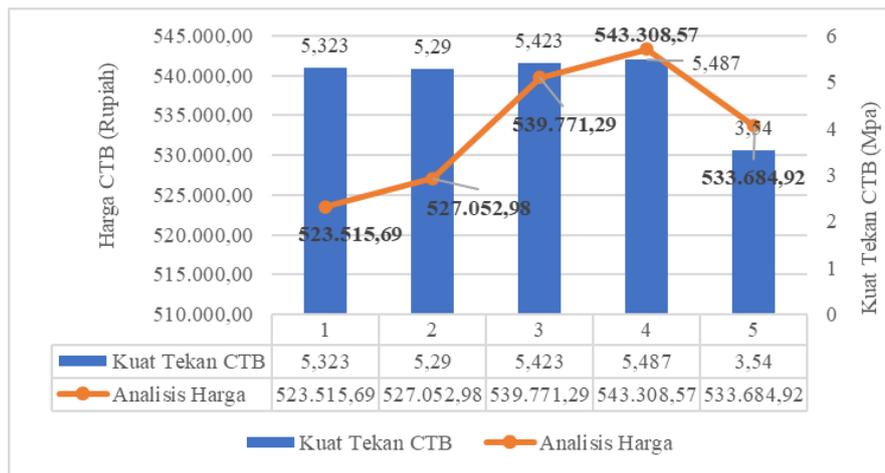
Tabel 6. Hasil Analisis Harga CTB Variasi D 1 m³

Komponen	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Tenaga				
Pekerja	Jam	1,0542	12.142,86	12.801,20
Tukang	Jam	0,3012	13.000,00	3.915,66
Mandor	Jam	0,1506	14.571,43	2.194,49
JUMLAH HARGA TENAGA				18.911,36
Bahan				
Semen	Kg	11,4813	1.402,00	16.096,71
Agregat A	M ³	1,2586	177.950,00	223.969,52
Air	liter	0,0060	20,00	0,12
Cangkang Kerang Hijau	Kg	0,8938	5.000,00	4.468,75
POFA	Kg	1,7188	10.000,00	17.187,50
JUMLAH HARGA BAHAN				257.253,85
Peralatan				
Wheel Loader	Jam	0,0244	463.483,02	11.314,26
Batching Plant	Jam	0,0753	694.921,26	52.328,41
Dump Truk	Jam	0,3087	270.250,34	83.436,89
Vibrator Roller	Jam	0,0054	333.302,41	1.808,87
Water Tank Truk	Jam	0,0422	247.631,86	10.442,31
Screed Paver	Jam	0,0096	413.319,81	3.952,19
Alat Bantu	Ls	1,0000	50.000,00	50.000,00
JUMLAH HARGA ALAT				213.282,92
JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				489.448,13
OVERHEAD & PROFIT 10% x D				48.944,81
Harga Satuan Pekerjaan				543.308,57

Dapat diketahui bahwa harga satuan pekerjaan CTB Variasi A sebagai CTB Normal yang dibutuhkan adalah Rp. 523.515,69,- terlampir pada Tabel 5. Sedangkan, Pada CTB Variasi D yaitu CTB dengan modifikasi POFA 20% dan cangkang kerang hijau 10% membutuhkan harga sebesar Rp. 543.308,57,- terlampir pada Tabel 6. Harga ini paling tinggi dibandingkan CTB variasi lainnya sebab pada variasi ini menambahkan 2 bahan lain yaitu POFA sebesar 20% dan cangkang kerang hijau 10% hal tersebut akan mempengaruhi koefisien kebutuhan bahan. Harga tersebut lebih tinggi 3,7% dibandingkan CTB Normal atau senilai Rp. 19.792,22,-.

Hasil Perbandingan Variasi Campuran CTB

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan CTB dan analisis harga satuan pekerjaan CTB yang telah dilaksanakan dan dianalisis per setiap variasinya dapat diketahui perbandingan antar variasi CTB yang efektif dan efisien. Berikut merupakan rekapan hasil perbandingan CTB yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perbandingan Variasi Campuran CTB

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa Hasil kuat tekan CTB variasi D memiliki kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 5,5 Mpa dibandingkan variasi lainnya. Hal tersebut disebabkan karena kombinasi antara 2 bahan substitusi yaitu POFA dan cangkang kerang hijau yang memiliki kandungan saling melengkapi. Hasil tersebut dapat dikuatkan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa dengan campuran POFA 20% dapat mensubstitusi semen pada beton konvensional dengan kuat tekan mencapai 32,36 Mpa (Hamada, 2018) dan dipenelitian lainnya menyatakan bahwa limbah cangkang kerang hijau 10% dapat mensubstitusi semen pada *paving block* dengan kuat tekan mencapai 12,8 Mpa (Handayasari, 2018). Hal tersebut disebabkan karena POFA memiliki persentase kandungan silika dioksida sebesar 64,36% yang optimum namun kandungan kalsium yang kurang dapat dilengkapi oleh cangkang kerang hijau yang memiliki kandungan kalsium yang tinggi sebesar 53,6%. Kandungan tersebut sangat optimal dan dapat memenuhi kebutuhan untuk menggantikan campuran semen (Amin, 2017). Namun dalam hasil analisis harga variasi D membutuhkan harga yang tinggi sebesar Rp. 543.308,57 dibandingkan variasi yang lain sebab dalam campuran harus menambahkan 2 bahan substitusi yang memiliki persentase tinggi. Hal itu akan mengakibatkan koefisien kebutuhan bahan menjadi tinggi. Selain itu bahan POFA sulit didapatkan di Pulau Jawa hal itu juga akan mempengaruhi harga pengiriman barang yang lebih mahal.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan dianalisis, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. POFA 20% + cangkang kerang hijau 10% merupakan persentase optimum untuk mensubstitusi semen secara parsial pada campuran lapis pondasi atas CTB. Hal tersebut disebabkan karena 2 bahan substitusi yaitu POFA dan cangkang kerang hijau yang memiliki kandungan saling melengkapi.
2. CTB variasi D memiliki kuat tekan beton yang tertinggi yaitu 5,5 Mpa atau 55,95 kg/cm² dibandingkan dengan variasi lainnya. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa CTB variasi D dapat mengungguli CTB Normal dan dapat memenuhi syarat kuat tekan CTB pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018.
3. Dari analisis harga satuan pekerjaan CTB dapat diketahui bahwa CTB Variasi D sebesar Rp. 543.308,57 biaya tersebut lebih tinggi 3,7% dibandingkan CTB Normal dengan selisih harga Rp. 19.792,88,-. Hal tersebut disebabkan karena adanya penambahan material pada CTB yaitu POFA dan cangkang kerang hijau dengan persentase yang cukup tinggi hal tersebut akan mempengaruhi koefisien bahan meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat-Nya, kepada kedua orang tua, kepada dosen pembimbing, dan yang terlibat dalam penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan nantinya akan bermanfaat bagi sesama.

REFERENSI

- Muldiyanto, A., Purwanto, P., Wiguna, E., & Satriawan, M. B. (2021). PENGARUH VARIASI KADAR SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON *CEMENT TREATED BASE* (CTB). *Civil Engineering, Environmental, Disaster & Risk Management Symposium (CEEDRIMS) Proceeding 2021*.
- Nika, J. W., Anisah, A., & Saleh, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau Dengan Variasi Suhu Pembakaran Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 14(1).
- Yuliana, R., Muhardi, M., & Fatnanta, F. (2014). Karakteristik Fisis dan Mekanis Abu Sawit (*palm oil fuel ash*) dalam Geoteknik (*Doctoral dissertation, Riau University*).
- Lestari, U. S., Yasruddin, F. R., & Suleh, E. (2021). *Fly Ash Utilization Analysis as A Substitute of Cement in Cement Treated Base* (CTB).
- Hamada, H. M., Jokhio, G. A., Yahaya, F. M., Humada, A. M., & Gul, Y. (2018). *The present state of the use of palm oil fuel ash (POFA) in concrete. Construction and Building Materials*, 175, 26-40.
- Gita, P. (2018). Bahan konstruksi ramah lingkungan dengan pemanfaatan limbah botol plastik kemasan air mineral dan limbah kulit kerang hijau sebagai campuran *paving block*. *Jurnal Konstruksia*, 9(2), 25-30.
- Cappenberg, H.A. (2008) 'BEBERAPA ASPEK BIOLOGI KERANG HIJAU', *Oseana*, XXXIII(1), pp. 33-40. Available at: www.oseanografi.lipi.go.id.
- Wardani, D.A.K. (2022) 'PENGARUH PEMANFAATAN SERBUK CANGKANG KERANG HIJAU (PERNA VIRIDIS L.) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON', *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, pp. 1-174.
- Abrori, Ahmad Alfian. (2015). Pemanfaatan Abu Kulit Kerang Hijau Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton. [Skripsi]. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Jonida Pone, Ahmed Ash, John Kamau dan Fraser Hydman. 2018. POFA Sebagai Pengganti Semen Pada Beton. *Department of Civil Engineering Group, Leeds Beckett University, UK. Inggris*.
- Liyana Ahmad Sofri, Muhammad Azizi Azizan, Nur Fitriah Binti Isa dan Muhammad Munsif Ahmad. 2015. Kinerja Beton Dengan POFA sebagai pengganti semen. Universitas Malaysia Perlis. Malaysia.
- M. N. M. Sidek, N. H. Hashim, S. R. Roselli, M. R. M. Nor, S. Ismail, H. M. Saman, M. F. Arshad, A. Alisibramusili dan F. Zainudin. 2018. Pemanfaatan POFA Sebagai Pengganti Semen Dengan Menggunakan Bubuk dan Teknik Likuidasi. Universiti Teknologi MARA. Malaysia.
- Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Tahun 2018.
- JMF Beton CTB Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah IV Provinsi Jawa Timur – Bali Kementerian PUPR. AHSP Kabupaten Tuban Tahun 2022.