



ISSN 2654-4482
(media online)

Jurnal

PROYEK TEKNIK SIPIL

JPTS

Vol 6

No 2

Hal 1-57

Semarang, September 2023

ISSN 2654-4482
(media online)

JURNAL

PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 6 Nomor 2 September 2023

Ketua Editor : Asri Nurdiana, ST, MT
(Editor in Chief)

Dewan Editor : Prof. Ir. Mochamad Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D.
(Editorial Board) Jati Utomo Dwi Hatmoko, S.T., M.M., M.Sc., Ph.D.
Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Purwanto, M.T., M.Eng.
Helen Gianditha Wayangkau, ST, MT
Rahmat Kurniawan, ST, MT
Rian Mantasa Salve Prastica, ST, MT

Sekretariat Redaksi : Shifa Fauziyah, ST, MT
(Managing Editor)

Layout Redaksi : Shifa Fauziyah, ST, MT
(Layout Editor)

Jurnal Proyek Teknik Sipil (Potensi) diterbitkan sejak 2018, dengan frekuensi 2 kali dalam satu tahun (Maret dan September). Redaksi Menerima karangan ilmiah tentang hasil-hasil penelitian dan survei yang erat kaitannya dengan bidang teknik sipil. Submit artikel dilakukan melalui online Journal System (OJS) dengan alamat <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>.

Penerbit :
Program Studi Diploma III Teknik Sipil

Alamat Redaksi/Penerbit:
Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro
Email : potensi@live.undip.ac.id
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telp. 081802444085

JURNAL PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 6 Nomor 2 September 2023

DAFTAR ISI

1. Observasi *Diaphragm Wall* Metode *Cut Off Wall* Sebagai Penanganan Rembesan Wilayah Waduk Cengklik
Nur Jannati Samad, Mahfuz Hudori, Amanatullah Savitri 1-11
2. Pengaruh Persentase Campuran Serat Daun Nanas dan Cangkang Kerang Darah Terhadap Inovasi Papan Partisi Penyekat Ruangan
Nurul Afifah Amalia, Sheny Widyasari, Bambang Setiabudi, Shifa Fauziyah 12-20
3. Analisis Optimasi Waktu Dan Biaya Proyek dengan Metode *Time Cost Trade Off* dan *Fast Track* pada Pekerjaan Penanganan Longsor
Nur Fitri Ashari, Raftonado Situmorang, Oryza Lhara Sari 21-29
4. Analisis Perhitungan Estimasi Biaya pada Rumah Tinggal 2 Lantai Menggunakan Material Kontainer Bekas Pakai
Alwan Adhirajasa Yoga, Abdan Mulya Syakuro 30-35
5. *Achieving Optimal Contractor Selection: An AI-Driven Particle Swarm Optimization Method*
Moh Nur Sholeh, Mik Wanul Khosiin, Asri Nurdiana, Shifa Fauziyah 36 - 42
6. Pengaruh Sosialisasi Kesadaran Berkeselamatan di Jalan dalam Membangkitkan Sikap *Safety Riding* pada Generasi z
Galih Wulandari Subagyo, Fredy Jhon Philip Sitorus, Rizka Arbaningrum, Fahreza Ananda, Olivia Helena Esterfien Lakat, Aqilla Dhaifa Anjani 43 - 48
7. Inovasi Lapis Pondasi Atas CTB (*Cement Treated Base*) Menggunakan Substitusi Pofa dan Limbah Cangkang Kerang Hijau
Raka Aditya Pratama, Muhammad Hilalurroyi, Asri Nurdiana, Riza Susanti 49 - 57

© 2023, JPTS, ISSN 2654-4482. All rights reserved.



9 772654 448002

Observasi *diaphragm wall* metode *cut off wall* sebagai penanganan rembesan wilayah Waduk Cengklik

Nur Jannati Samad^{a*}, Mahfuz Hudori^b, Amanatullah Savitri^c

^{a*bc} Universitas International Batam, Indonesia

Corresponding Author:

Email: amanatullah@uib.ac.id

Keywords:

Cengklik reservoir, seepage, foundation, diaphragm wall, boyolali.

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *Cengklik Reservoir is one of the tourist attractions in the Boyolali area. Functionally, the Cengklik reservoir is used as a water reservoir or storage area as well as a source of water for the needs of the surrounding community and to supply rice fields. Based on observations, the reservoir has decreased in function, namely seepage is found. One of the methods applied for the handling of seepage is the foundation structure in the form of a diaphragm wall. Observations were started by collecting data (pumping test data and drawings of the diaphragm wall structure). The results obtained for the total diaphragm wall foundation with a depth of 16 m with a depth of excavated soil of 16 m. Specifications for the diaphragm wall plan with a land area of 375m. Diaphragm wall (slurry wall) is a type of plastic concrete retaining wall with a foundation that has very strong rigidity, low vibration during construction, and has a waterproof function. Diaphragm wall provides less seepage effect than other methods such as secant pile. The secant pile only has the same use but differs in area. Cut off wall is a method of excavation work, surrounded by excavated land such as a guide wall. Insulation or retaining water flow on large dam foundations is usually done by the Cut of wall method. This method is suitable for excavation work which is quite deep and dense soil area*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

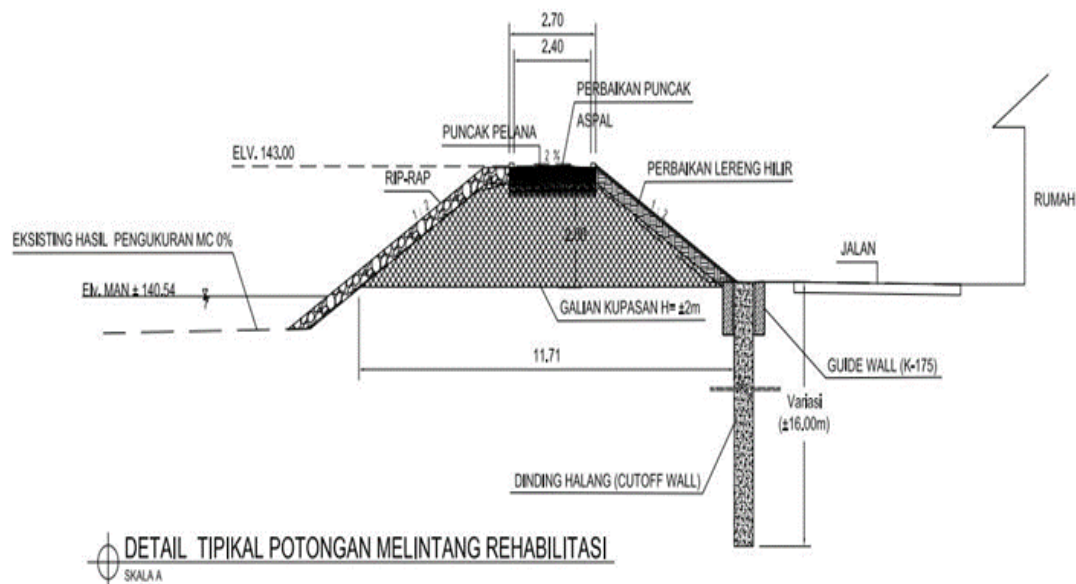
Waduk merupakan tempat penampungan air dengan fungsi sebagai sumber air kebutuhan masyarakat (BPSDM PUPR, 2017). Waduk juga merupakan *heavy construction* sehingga bendungan menyimpan potensi berbahaya dan memiliki resiko fisik ataupun fungsi (Setyawati, Najib dan Hidayatillah, 2016). Perencanaan waduk harus didesain sesuai dan dijaga terhadap penanganan rembesan yang terkendali. Jika tidak, waduk tersebut akan memiliki permasalahan terhadap penanganan rembesan. Salah satu masalah yang sering terjadi pada waduk adalah rembesan pada tubuh sisi waduk (Dharmayasa, 2018). Rembesan yang berlebihan dapat mempengaruhi terhadap keamanan waduk sendiri.

Rembesan merupakan permasalahan yang sering terjadi pada bendungan, waduk, embung, dan lain-lain. Rembesan terjadi apabila bangunan harus mengatasi beda tinggi muka air tanah dengan sebab aliran tersebut masuk melewati bangunan tersebut (Pratama, Suprijanto dan Asmaranto, 2021). Waduk Cengklik merupakan salah satu peninggalan sejarah yang berusia lebih dari 91 tahun dan destinasi wisata yang mempunyai potensi besar di Kabupaten Boyolali (Daningtias, 2022). Awal mula Waduk Cengklik difungsikan sebagai aliran sawah dan perkebunan (Yuono, 2012).

Rembesan terjadi pada waduk cengklik dikarenakan kerusakan secara fisik terjadinya kerusakan akibat retakan. Kegagalan fungsi waduk dapat mengancam jiwa masyarakat sekitar waduk tersebut dan keberlangsungan hidup warga sehari-hari yang bergantung waduk cengklik (Al-Muhaimin, 2018). Pada tahun 2018 ditemukan penurunan fungsi yaitu ditemukan rembesan (Waskito, 2016). Salah satu cara yang diterapkan dalam upaya penanganan dan perbaikan waduk tersebut adalah struktur pondasi berupa *diaphragm wall*. Yang perlu dipertimbangkan dalam pelaksanaan konstruksi vertikal bawah yaitu metode konstruksi galian dan penggunaan *diaphragm wall*. Ada macam-macam yang diperhatikan dalam metode konstruksi dan penggunaan *diaphragm wall* yakni lokasi galian, jenis tanah, kedalaman galian konstruksi vertikal bawah.

Penelitian serupa juga telah dilakukan pada Bendungan Cijurey yang mana diperlukan struktur tambahan dalam menangani rembesan yang terjadi (Kabupaten et al., 2023). Pada Hilir Bendungan Tugu, dilakukan analisis yang menyatakan bahwa *diaphragm wall* dapat berfungsi dengan baik dalam menanggapi rembesan (Baskara et al., 2018). Penelitian ini menggunakan pumping test sebagai penentuan muka air sebelum dan setelah adanya *diaphragm wall* yang memperoleh nilai elevasi air maksimal sehingga dapat menentukan tingkat rembesan yang baik dibanding penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas *diaphragm wall*. Dengan mengetahui stabilitas *diaphragm wall*, maka dapat diperoleh layak atau tidak *diaphragm wall* tersebut dalam menangani rembesan di waduk cengklik.

2. DATA DAN METODE



Gambar 1. Detail tipikal potongan melintang rehabilitasi bendungan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode kualitatif. Metode pengumpulan data yang dilaksanakan ada 2 tahap yaitu primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dengan meninjau langsung lokasi proyek, berupa dokumentasi, kondisi nyata di lapangan, dan informasi bendungan yang terdapat pada Gambar 1. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dengan mencari informasi dari sub kontraktor. Data yang dibutuhkan yaitu:

1. Data spesifikasi rencana *diaphragm wall*.
2. Data *pumping test*.
3. Data pengecoran *diaphragm wall* panel 10.

Diaphragma wall (*slurry wall*) merupakan jenis dinding penahan tanah beton plastis dengan pondasi dalam yang memiliki kekakuan yang sangat kuat, getaran yang rendah saat pengerjaan, dan memiliki fungsi kedap air (Hazel, Leman dan Iskandar, 2019). Namun ketidaksempurnaan geometris seperti kendali penggalian secara miring, dapat menyebabkan aliran air masuk melalui dinding dan terkadang

dapat menyebabkan kebocoran yang signifikan (Pan dan Fu, 2020). Sebelum mengerjakan diaphragm wall adanya pengujian pemompaan tujuannya untuk pengecekan tingkat keefektifan konstruksi dinding halang. Jika terjadi hambatan, galian *diaphragm wall* hanya boleh dibiarkan maksimal 2x24 jam (2 hari) dan harus menggunakan *air lift* sebelum pengecoran (Latif, 2021).

Metode pelaksanaan yang digunakan merupakan *Cut off wall* (Napitupulu Fatrio Berlinton, Savitri Amanatullah, 2022). *Cut off wall* merupakan metode yang dilakukan pekerjaan penggalian, dikelilingi lahan galian seperti *guide wall*. Penyekatan atau penahan aliran air pada pondasi bendungan besar biasanya dilakukan dengan metode *Cut off wall* (Heidarzadeh *et al.*, 2019). Metode ini cocok untuk pekerjaan penggalian yang cukup dalam dan luas tanah yang padat. Setelah *guide wall* terpasang, maka dilakukan penggalian dari ground level hingga kedasar galian diaphragm wall yang akan dikerjakan dari dasar galian ke atas (*bottom up*).

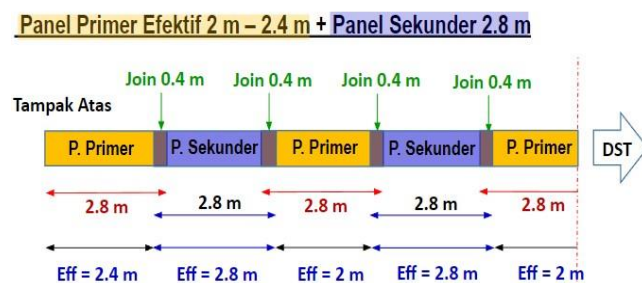
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Guide wall

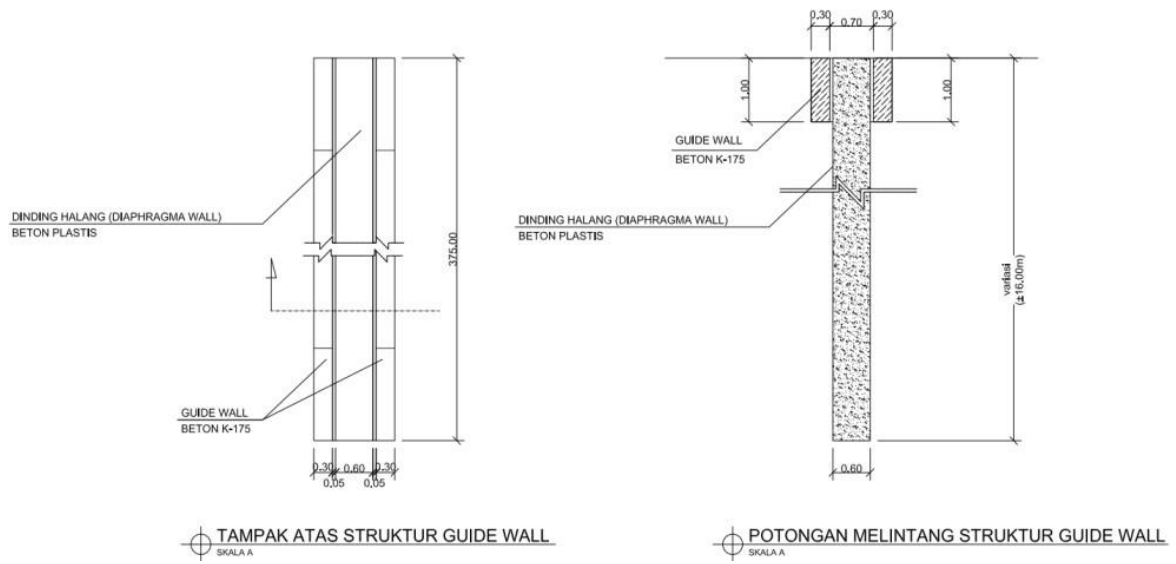
Dalam mempersiapkan lokasi untuk konstruksi *D-wall*, lokasi tersebut harus diratakan terlebih dahulu. Setelah tanah tersebut diratakan, pembangunan *guide wall* mulai bersamaan dengan mobilisasi slurry bentonite (Adam *et al.*, 2021). *Guide wall* merupakan 2 paralel *beam* beton bertulang pada sisi dinding yang berfungsi sebagai pengarah atau pemandu mesin grab dengan arahan yang baik dalam penggalian (A dan Yassin, 2012; Dehdar- Behbahani dan Parsaie, 2016). *Guide wall* menjadi acuan pendukung, pengontrolan penggalian tanah secara lurus, dan membantu posisi panel. *Guide wall* memiliki tebal 300mm, dengan parit 600mm. Sedangkan *diaphragm wall* memiliki spesifikasi *depth* variasi ± 16 m, tebal 600mm, panjang 2800mm, 156 panel, join 0.4m. *diaphragm wall* terdiri dari panel sekunder dan panel primer. Detail dari *guide wall* tersebut tertera pada Gambar 2 dan Gambar 3.

SPESIFIKASI RENCANA D-WALL:

Depth Variasi L = ± 16 m, Tebal 600 mm, 156 Panel, Sepanjang 375 m, Join 0.4 m



Gambar 2. Spesifikasi Rencana D-wall.

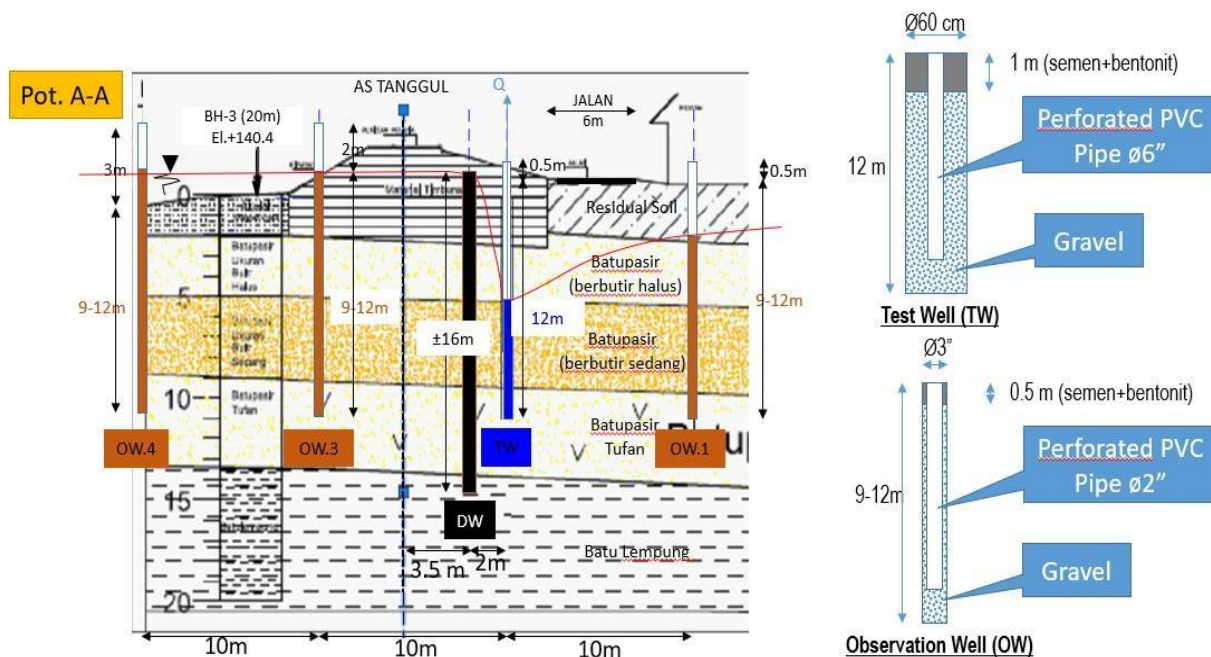


Gambar 3. Tampak atas dan samping *guide wall*.

Pumping Test

Pumping test (tes pemompaan) merupakan metode pengujian debit air dengan melakukan pemompaan dari dalam tanah melalui pumping well atau sumur bertujuan memantau pencatatan dari waktu ke waktu muka air tanah observation well dan jarak terhadap pumping well (Lorenza, 2019). Uji pemompaan ini dilakukan dengan cara memompa air tanah dari sumur *Test Well* (TW) dan mengamati penurunan seluruh muka air tanah dari sumur uji (TW) dan sumur pengamatan (OW). Selama berlangsungnya pemompaan dilakukan pembacaan debit air pada sumur uji (TW) dan pengamatan penurunan muka air tanah (*drawdown*) pada sumur uji (TW) dan sumur pengamatan (OW), serta mengamati kembahnya (kenaikan) muka air tanah setelah pemompaan dihentikan.

Pelaksanaan *pumping test* dilakukan 2 kali, dimana tahap pertama pelaksanaan pumping dilakukan sebelum pelaksanaan dinding *Diaphragm Wall* dan tahap kedua setelah pelaksanaan konstruksi dinding *Diaphragm Wall*. Pelaksanaan *Pumping test* tahap pertama dilakukan pada tanggal 27 Januari 2022 dan pelaksanaan *pumping test* tahap kedua pada tanggal 25 Maret 2022. Rencana *pumping test* ditunjukkan pada Gambar 4.

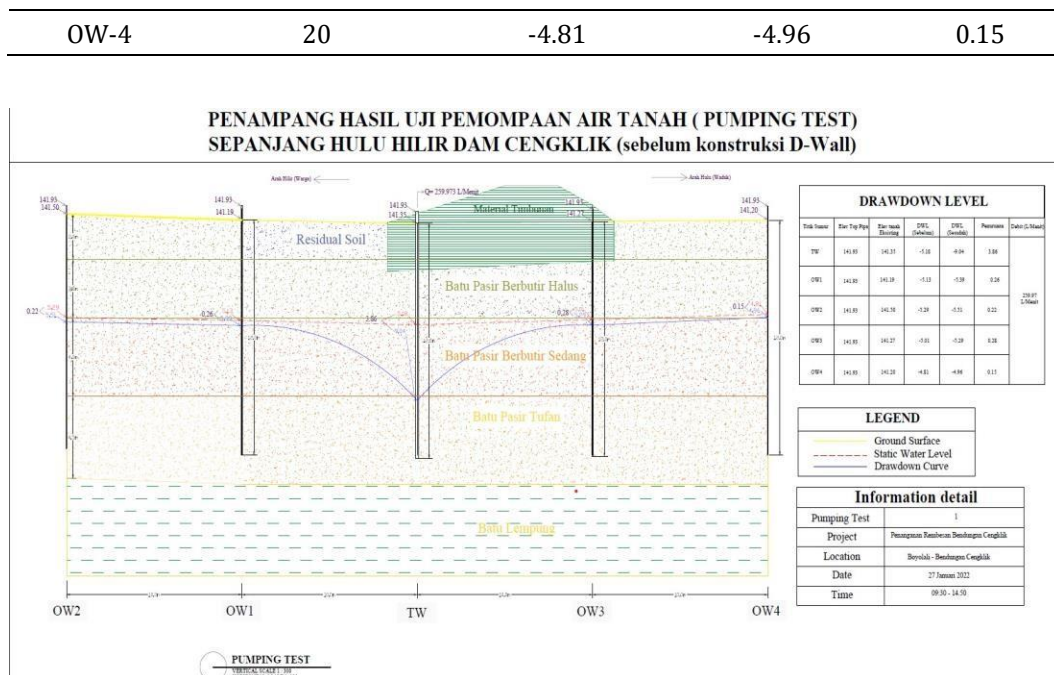


Gambar 4. Plan pumping test

Dari hasil pemompaan selama 5 jam dan pengukuran debit air dengan system sekat *V-Notch* pada Tabel 1 didapatkan debit air sebesar 259.97 liter per menit. Pembacaan muka air tanah awal cukup seragam dan dilakukan pembacaan penurunan muka air tanah selama uji pemompaan pada sumur uji (TW) dan sumur pengamatan (OW). Hasil penurunan (*drawdown*) dapat dilihat pada Tabel 1. Dilakukan juga pembacaan waktu kambuh (*recovery*) sampai keadaan kembali ke muka air semula atau sampai kondisi stabil. Hasil penampang *pumping test* juga diperoleh yang terdapat pada Gambar 5.

Tabel 1. Hasil uji pemompaan saat pra-konstruksi.

Titik	Jarak dari TW (m)	DWL		Penurunan (m)
		Sebelum (m)	Sesudah (m)	
TW	-	-5.18	-9.04	3.86
OW-1	10	-5.13	-5.39	0.26
OW-2	20	-5.29	-5.51	0.22
OW-3	10	-5.01	-5.29	0.28



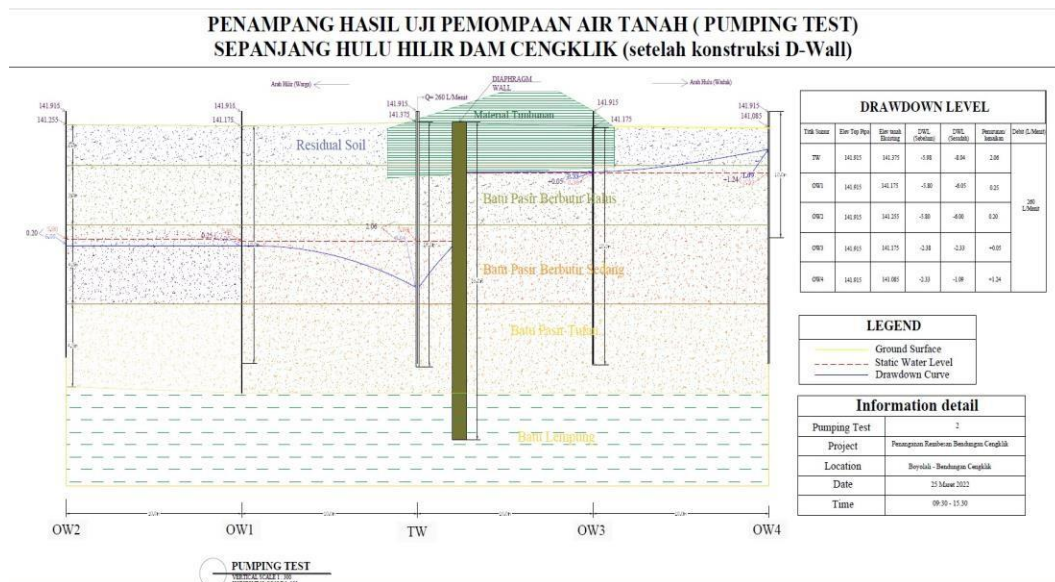
Gambar 5. Drawdown level pra konstruksi

Dari hasil pengamatan penurunan/ *drawdown* muka air tanah saat uji pemompaan tahap pertama pra konstruksidinding penghalang, didapat nilai penurunan pada sumur uji (TW) sebesar 3.86 m dan untuk sumur pengamatanmengalami penurunan cukup seragam dengan kisaran 0.15 s/d 0.28 m. Penggunaan pumping test untuk mengetahui elevasi banjir berbeda dengan analisis yang dilakukan pada rembesan waduk cijueray yang melalui metode perbedaan elevasi air normal dan elevasi air pada saat banjir yang diperoleh perbedaan elevasi sebesar 2 m (Kabupaten et al., 2023).

Pembacaan muka air tanah awal dilakukan sebelum dilakukan ujian pemompaan, dimana didapatkan perbedaan elevasi sekitar ± 3.5 m muka air tanah pada 2 lokasi sumur. Pada sumur dilokasi area Hulu (*Upstream*) lebih tinggi dari pada lokasi Hilir (*Downstream*). Selanjutnya dilakukan pembacaan penurunan muka air tanah selama uji pemompaan pada sumur uji (TW) dan sumur pengamatan (OW). Hasil penurunan (*drawdown*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Pemompaan saat Pasca Konstruksi Diaphragm wall

Titik	Jarak dari TW (m)	DWL		Penurunan(m)
		Sebelum (m)	Sesudah (m)	
TW	-	-5.98	-8.04	2.06
OW-1	10	-5.8	-6.05	0.25
OW-2	20	-5.8	-6	0.2
OW-3	10	-2.38	-2.33	0.05
OW-4	20	-2.33	-1.09	1.24



Gambar 6 Gambar drawdown level pasca konstruksi

Dari hasil pengamatan penurunan/ drawdown muka air tanah pada Gambar 6, saat uji pemompaan tahap pertama pasca konstruksi dinding penghalang, didapat nilai penurunan pada sumur uji (TW) sebesar 2.06 m dan untuk sumur pengamatan (OW) yang mengalami penurunan pada lokasi Hilir (*Downstream*) dengan akan penurunan sekitar 0.20 – 0.25 m dan untuk lokasi sumur Hulu (*Upstream*) indikasi penurunan tidak ada, dan ada indikasi kenaikan MAT.

Slurry Bentonite

Semen bentonit merupakan salah satu semen yang sering dipakai dikarenakan semen tersebut mudah beradaptasi menahan tanah ketika terjadinya pengerukan. Semen bentonit mempunyai khas seperti bubur dibuat dengan cara mencampur semen dengan air. Campuran tersebut diadopsi sebagai pengikat utama (stabilitas dinding parit pada saat *grabbing*) (Cao dan Al-Tabbaa, 2022). *Slurry* bentonite yang digunakan pada Waduk Cengklik dengan Tabel 3.

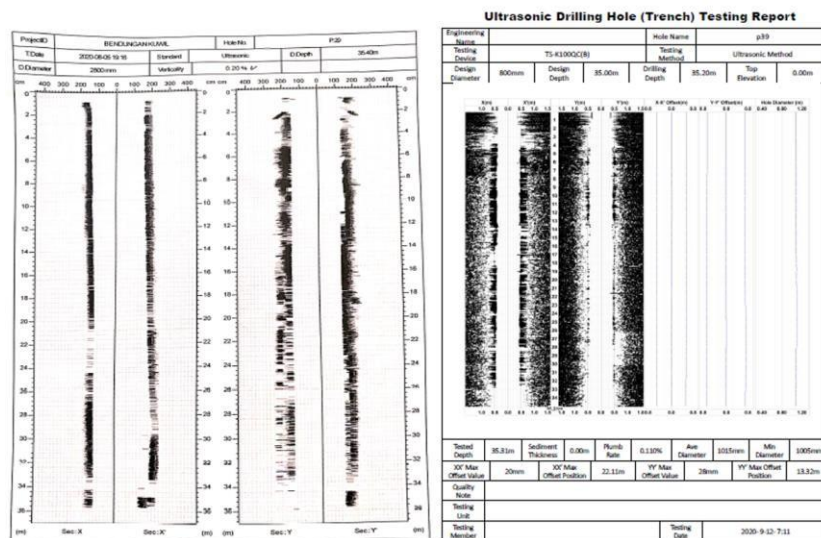
Tabel 3. Spesifikasi Campuran Bentonite waduk cengklik

PROPERTIES	BENTONITE SLURRY	
	Ketika Longsor/rembes kuat	Ketika Longsor/rembes tidak kuat
Viscositas	35 - 45 Detik	29 - 35 Detik
Density	1.04 - 1.05 g/cm ³	1.03 - 1.04 g/cm ³
Pengujian Ph	6.5 - 11	
Air & Bentonite	1000 Lt & 80 kg	1000 Lt & 50 kg

Verticality Test

Hal yang diperhatikan dalam penanganan rembesan adalah struktur proteksi galian bawah tanah yang merupakan *diaphragm wall* untuk menjaga agar tidak terjadinya rembesan. *Diaphragm wall* merupakan jenis dinding *retaining wall* sebagai struktural utama dalam suatu bangunan (Ramadhani *et al.*, 2021). Dalam memonitoring dan pengontrolan *diaphragm wall* diperlukan alat untuk memastikan parit tersebut masih terkendali. Alat koden merupakan alat verticality *diaphragm wall* dengan fungsi mengetahui kedalaman, plumb rate, dan diameter. Kedalaman galian *diaphragm wall* disesuaikan

dengan kebutuhan kedalaman *Underpass*(Gerressen dan Bi, 2019). Untuk semua panel kawasan Cengklik memiliki kedalaman bervariasi $\pm 16\text{m}$. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Verticality Test Tensense dan Samyon

Air Lift

Dalam pengecoran *diaphragm wall* tidak boleh terdapat material endapan. *Air lift* merupakan suatu rangkaian alat yang digunakan untuk memindahkan atau membawa cairan atau bubuk (cair padat) dalam teknologi berbeda menggunakan injeksi gas terkompresi(Enany, Shevchenko dan Drebenstedt, 2022)(Enany, Shevchenko dan Drebenstedt, 2021). Jenis pompa ini jarang terjadi permasalahan secara teknis seperti ketika air korosif dapat biaya tinggi, perbaikan untuk pompa konvensional dan pra perawatan air ketika tidak dapat menyaring(Enany, Shevchenko dan Drebenstedt, 2021). Untuk memastikan material endapan terangkat, perlu pengambilan material pada dasar galian menggunakan air lift. Proses *Air lift* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Air Lifted

Pengecoran

Dalam pengecoran *diaphragm wall* menggunakan beton plastis. Beton merupakan material konstruksi umum yang sering digunakan era ini(Soentpiet, Wallah dan Manalip, 2018). beton plastis terdiri dari semen, agregat, airdan bentonite. Dimana beton plastis sendiri mempunyai kapasitas deformasi yang besar dibawah muatan, impermeabilitas yang sesuai, dan kemampuan penguraian yang sangat bagus.

Dari keuntungan yang telah disebutkan, beton plastis sering dipakai diseluruh dunia dalam perbaikan bendungan dan dinding halang selama bertahun-tahun(Hu *et al.*, 2021).

Pembuatan beton plastis menggunakan *batching plan*. Pengecoran menggunakan pipa tremie tertanam sampai sesuai kedalamannya(Rohmawati dan Renovano, 2020). Pengecoran *diaphragm wall* dilakukan dengan menggunakan beton plastis dengan rata-rata *slump* 18 ± 2.5 cm. Untuk itu, sebelum dilakukan pengecoran, dilakukan *Trial Mix* Beton Plastis terlebih dahulu untuk memastikan beton yang terpasang di lapangan sesuai dengan ketentuan spesifikasi perencanaan perbaikan pondasi Waduk Cengklik. Hasil uji *Compressive Strenght Test* terdapat pada Tabel 4 dan diagram *compressive stress* terdapat pada Gambar 9.

Contoh *Diaphragm wall* panel 10, panel sekunder 7 days. Concrete (1 ~ 5 Mpa), *Method of Sampling is Cylinder Mould* diameter 10 cm and height 20 Cm, hasil *slump* 19cm.

1. Menghitung Dimensi Benda Uji
Height H (mm) = 200,00 mm Diameter, D (mm) = 100,00 mm
2. Menghitung Luas Benda Uji
Area, A (mm²) = $\pi \times r^2$
= $22/7 \times (10/2)^2$
= 78,54 cm²
3. Menghitung Volume Benda Uji
Volume, V (cm³) = $A \times H / 10$
= $78,54 \times 200 / 10$
= 1570,80 cm³
4. Menghitung Density Benda Uji
Weight = 3424 gr
Density = *Weight / Volume*
= $3424 \text{ gr} / 1570,80 \text{ cm}^3$
= 2,180 (gr/cm³)

Tabel 4. *Unconfined Compressive Strenght Test*

ELAPSED TIME	PRESURE GAUGE	LOAD P (kg)	COMPRESSION STRESS kg/cm ²	AXIAL STRAIN 1/100 mm	COMPRESSION STRAIN ϵ ($\Delta H/H$)	1 - ϵ	P x (1 - ϵ)	Correction Comp. Stress H/D kg/cm ²
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	255	255	3.247	0.5	0	1	3.247	3.247
5	510	510	6.494	1.5	0.0001	0.9999	6.493	6.493
7.5	765	765	9.74	3	0.0002	0.9999	9.739	9.739
10	1020	1020	12.987	9	0.0005	0.9996	12.981	12.981
12.5	1275	1275	16.234	14	0.0007	0.9993	16.222	16.222
15	1530	1530	19.481	20	0.001	0.999	19.461	19.461
17.5	1785	1785	22.727	32	0.0016	0.9984	22.691	22.691
18.8	1912.5	1912.5	24.351	52	0.0026	0.9974	24.287	24.287
18.8	1912.5	1912.5	24.351	75	0.0038	0.9963	24.259	24.259

Gambar 9. Diagram *compressive stress*

4. KESIMPULAN

Dari hasil pumping test nilai debit relative sama antara saat pra konstruksi dan pasca konstruksi dinding penghalang (Diafragma Wall), yaitu sebesar 260 L/menit. Hasil monitoring penurunan muka air tanah (drawdown) pada sumur pengamatan (OW) pada saat pra konstruksi menunjukkan penurunan yang relative sama kisaran 0.15 m s/d 0.28m. Hal ini mengindikasikan bahwa selama uji pemompaan semua sumur pengamatan mengalami penurunan. Hasil monitoring penurunan muka air tanah (drawdown) pada sumur pengamatan (OW) pada saat pasca konstruksi menunjukkan penurunan hanya terjadi pada sumur area hilir (Downstream) yang relative sama kisaran 0.20 m s/d 0.25 m. Dan untuk lokasi sumur area hulu (Upstream) tidak ada penurunan dan mengindikasikan kenaikan muka air tanah (MAT). Dari hasil pengujian pemompaan antara pra konstruksi dan pasca konstruksi dinding penghalang (Diafragma Wall) menunjukkan adanya tingkat keefektifan dari dinding penghalang tersebut. Maka, konstruksi dinding penghalang (Diafragma Wall) pada waduk cengklik dapat menahan elevasi air yang terjadi sehingga tidak terjadi rembesan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, Segala puji syukur bagi penulis panjatkan kehadirat tuhan yang maha Esa karna atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ini. Artikel Penelitian yang berjudul "Observasi Diaphragm wall Metode Cut Off Wall Sebagai Penanganan Rembesan Wilayah Waduk Cengklik" merupakan salah satu syarat kelulusan.

Dalam mewujudkan penelitian ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada Bapak Mahfuz Hudori, S.Si., M.Si dan Ibu Amanatullah Savitri, S.T., M.Eng sebagai dosen sekaligus pembimbing artikel ini dan juga tidak lupa pula saya mengucapkan terimakasih kepada PT. Pratama Widya Tbk yang telah memberikan data yang dibutuhkan dalam penulisan artikel. Semoga dengan adanya artikel ini dapat bermanfaat dan berkembang ilmunya bagi penulis dan para pembaca.

REFERENSI

- A, N.W.P. dan Yassin, H. (2012) "Analisa Kedalaman Maksimum Dinding Penahan Tanah Tanpa Adanya Perkuatan (Support)," *KoNTekS* 6, (November), hal. 75–84.
- Adam, D.H. *et al.* (2021) "Block 185: Slurry Diaphragm Wall Construction in Austin, TX," *ASCE*, (Ddl), hal. 233– 242.
- Al-Muhaimin, M. (2018) "Analisis Pengaruh Grouting Terhadap Pengendalian Rembesan Waduk

- Cengklik Dikabupaten Boyolali," *Universitas Dipenogoro*, hal. 1–4.
- BPSDM PUPR (2017) "Modul Analisa Stabilitas Bendungan: Perhitungan Rembesan," *Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*, hal. 109.
- Cao, B. dan Al-Tabbaa, A. (2022) "Cement and Concrete Composites," *Cement and Concrete Composites*, 131(April), hal. 104565. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104565>.
- Daningtias, W. (2022) "Pengaruh Tingkat Pendidikan Wisatawan Terhadap Perilaku Peduli Lingkungan Di Objek Wisata Waduk Cengklik Kabupaten Boyolali," *Geo Edu*, 10(1), hal. 1–12.
- Dehdar-Behbahani, S. dan Parsaie, A. (2016) "Numerical modeling of flow pattern in dam spillway's guide wall. Case study: Balaroud dam, Iran," *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), hal. 467–473. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.01.006>.
- Dharmayasa, I. (2018) "Analisis Rembesan Di Bawah Tubuh Bendungan Urugan," *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil* hal. 53–62. Tersedia pada: <https://www.ejournal.warmadewa.ac.id/index.php/paduraksa/article/view/817>.
- Enany, P., Shevchenko, O. dan Drebenstedt, C. (2021) "Experimental Evaluation of Airlift Performance for Vertical Pumping of Water in Underground Mines," *Mine Water and the Environment*, 40(4), hal. 970–979. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s10230-021-00807-w>.
- Enany, P., Shevchenko, O. dan Drebenstedt, C. (2022) "Particle Transport Velocity in Vertical Transmission with an Airlift Pump," *Fluids*, 7(3). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/fluids7030095>.
- Gerressen, F.W. dan Bi, A. (2019) "Deep and extra deep diaphragm walls - increasing demand for infrastructure in Megacities drives the requirement of increasing depth for diaphragm walls," *17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019 - Proceedings*, 2019-Septe, hal. 1–8. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0131>.
- Hazel, T., Leman, S. dan Iskandar, A. (2019) "Analisis Dinding Diafragma Dengan Penghilangan Ringslab Secara Efektif Pada Konstruksi Basement," *jurnal mitra teknik sipil*, 2(4), hal. 47–54. Heidarzadeh, M. *et al.* (2019) "Construction and performance of the Karkheh dam complementary cut-off wall: an innovative engineering solution," *International Journal of Civil Engineering*, 17(6), hal. 859–869. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s40999-018-0370-4>.
- Hu, L. *et al.* (2021) "Mathematical model of constitutive relation and failure criteria of plastic concrete under true triaxial compressive stress," *Materials*, 14(1), hal. 1–14. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/ma14010102>.
- Latif, A.A. (2021) "Tinjauan Biaya Pelaksanaan Dinding Diaphragma Pada Proyek Pembangunan Underpass Simpang Mandai Makassar," *UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR* [Preprint].
- Lorenza, A. (2019) "Pemodelan Pumping Test Sebagai Dasar Perhitungan Dewatering Pada Proyek Di Sudirman Latar belakang Steady-state flow Metode dewatering," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), hal. 161–172.
- Napitupulu Fatrio Berlinton, Savitri Amanatullah, I. (2022) "Analisis Metode Penggantian Struktur Bawah Dermaga Laut (Studi Kasus Ponton Domestik Terminal Penumpang Selat Panjang)," 5, hal. 131–139.
- Pan, Y. dan Fu, Y. (2020) "Effect of random geometric imperfections on the water-tightness of diaphragm wall," *Journal of Hydrology*, 580(July 2019), hal. 124252. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124252>.
- Pratama, R.R., Suprijanto, H. dan Asmaranto, R. (2021) "Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan Utama Pada Bendungan Semantok, Nganjuk, Jawa Timur," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(1), hal. 89–102. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.08>.
- Ramadhani, F.I. *et al.* (2021) "Perencanaan Konstruksi Diaphragm Wall Apartemen Xyz Tangerang Selatan," *Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Pakuan*, hal. 1–12. Rohmawati, N. Dan Renovano (2020) *Pelaksanaan Bored Pile*.
- Setyawati, H., Najib, N. dan Hidayatillah, A.S. (2016) "Analisis Rembesan pada Perencanaan Pembangunan Bendungan Logung," *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1(3), hal. 99–106.
- Soentpiet, B.J., Wallah, S.E. dan Manalip, H. (2018) "Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Berbasis Fly Ash Dari Pltu Amurang," *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), hal. 517–526.
- Waskito, F. (2016) "Analisis Rembesan Pada Bendungan Cengklik Menggunakan Metode Resistivitas Konfigurasi Schlumberger Dan Uji Permeabilitas Untuk Menghitung Debit Rembesan," *Youngster Physics Journal* [Preprint].
- Yuono, T. (2012) "Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi Waduk Cengklik," *neliti.com* [Preprint].

Pengaruh persentase campuran serat daun nanas dan cangkang kerang darah terhadap inovasi papan partisi penyekat ruangan

Nurul Afifah Amalia^{a*}, Sheny Widayari^b, Bambang Setiabudic, Shifa Fauziyah^d

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

Corresponding Author:

Email:

nurulafifahamalia@students.undip.ac.id

Keywords:

Cangkang Kerang Darah, Papan Partisi, Serat Daun Nanas

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Indonesia's increasing population is a crucial problem. According to the Central Bureau of Statistics (2021), Indonesia's population growth in 2020 will increase by 32.56 million people. In line with the need for housing in Indonesia, as a result the available land is decreasing, so many housing developments use partitions. However, partitions on the market still have many drawbacks. Utilization of pineapple leaf fiber as a substitute for fiber and blood clam shell waste as a substitute for cement is certainly a solution to this problem. Where pineapple leaf fiber has a carbon content such as 23.39% cellulose, 42.72% hemicellulose, and 4.03% lignin. Blood clam shells contain SiO_2 of 8.252% and CaCO_3 ranging from 66-98%. The purpose of this study was to determine the effect of the use of these two materials on the partition characteristics produced through physical tests and mechanical test. Samples were made in laboratory studies with variations of pineapple leaf fiber substitution 0%;30%;70%;100% with the number of samples for each mold size being 3 samples. Through the results of tests that have been carried out, the best variation of pineapple leaf fiber substitution is the 70% variation. This test was also carried out by comparing several commercial partitions (gypsum, kalsiboard and GRC).

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Setiap tahun pertumbuhan penduduk di Indonesia meningkat. Menurut Badan Pusat Statistik (2021), jumlah penduduk tahun 2020 meningkat dibandingkan tahun 2010 sebesar 32,56 juta jiwa. Pertumbuhan penduduk yang meningkat setiap tahun membuat permintaan akan hunian di Indonesia semakin tinggi. Dari hal tersebut tentunya lahan yang tersedia akan semakin berkurang dan berdampak kepada permasalahan alih fungsi lahan. Hadirnya permasalahan alih fungsi lahan dapat diatasi melalui pembangunan hunian dengan menggunakan konsep hunian vertikal. Saat ini bangunan gedung bertingkat cenderung menggunakan papan partisi sebagai penyekat ruangan karena mempertimbangkan berat ruangan dan praktis.

Material sekat ruangan yang ringan menjadi pilihan dibandingkan material lainnya seperti batu bata atau bata ringan karena lebih aman bagi penghuni gedung apabila terjadi gempa bumi. Menurut BMKG (2020) didapati rekaman berupa kejadian gempa bumi mencapai 57 kali di bulan Oktober tahun 2022 (Hermawan et al., 2022). Data menunjukkan berat konstruksi batu bata 250 kg per m² dan berat batu bata ringan 57,5 kg per m². Gypsum masih lebih ringan dibandingkan bata ringan, didapatkan berat dari partisi gypsum yaitu 15 kg/m². Maka, ketika terjadi gempa bumi, risiko korban akan lebih kecil dibandingkan dengan dinding batu bata. Namun, partisi Papan gypsum memerlukan perekat kertas sehingga terdapat memiliki kelemahan yaitu tidak tahan terhadap air dan benturan (Hermawan et al., 2022).

Selain papan gypsum, kalsiboard terdapat resiko pecah atau patah yang besar dan kurang bagus dalam menyaring suara. Sementara hadirnya papan GRC (Glassfibre Reinforced Concrete) yang menggunakan semen dan fiberglass sebagai bahan baku utamanya nyatanya juga justru memiliki kelemahan berupa bobotnya yang berat bahan baku serat kaca (fiberglass) dan semen yang memiliki dampak negatif lingkungan. Untuk mengurangi dampak negatif tersebut perlu dikembangkan bahan baku material penguat komposit yang ramah lingkungan, seperti natural fibre. Salah satu jenis serat alam yang mampu digunakan yaitu serat daun nanas.

Serat daun nanas mengandung senyawa seperti 23,39% selulosa, 42,72% hemiselulosa, dan 4,03% lignin. Kandungan senyawa lignin, selulosa dan hemiselulosa merupakan komponen karbon yang tinggi, sehingga sangat baik dijadikan sumber karbon yang mampu meredam suara dengan baik (Nandiyanto et al., 2020). Kerang Darah (*Anadara granosa*) mempunyai kandungan konsentrasi kalsium karbon tertinggi yakni 95,7% (Tasari, 2022). Karbon berperan penting dalam material penyerap bunyi karena dapat mengubah energi gelombang menjadi energi panas (Ramdani et al., 2019).

Sementara itu, dampak utama dari produksi semen berakibat meningkatnya polutan gas emisi CO₂ yang dapat mencemari lingkungan. Menurut data *Global Cement*, pada tahun 2021 Indonesia terdaftar sebagai produsen semen terbesar dengan posisi keenam sebesar 66 metrik ton semen yang diproduksi. Untuk menanggapi permasalahan tersebut perlu adanya pengurangan penggunaan semen dengan bahan yang memiliki kandungan yang sama dengan semen, salah satunya limbah cangkang kerang darah.

Salah satu sumber kalsium mineral terbesar adalah cangkang kerang darah yang memiliki kandungan CaCO₃ sebesar 98% (Haikal & Firdaus, 2019). Kandungan CaCO₃ ini sama dengan kandungan kalsium karbonat (CaO) yang terdapat pada bahan utama pembuatan *Portland Cement* (PC), sehingga cangkang kerang darah berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi PC. Selain itu penggunaan limbah cangkang kerang darah dapat menjadi salah satu alternatif dalam pengurangan limbah tersebut. Selain itu cangkang kerang darah memiliki kandungan silika (SiO₂) sebesar 2,852% (Andika & Safarizki, 2019) dimana kandungan tersebut mampu menghambat adanya perambatan api.

Berdasarkan dari uraian tersebut, tercetuskan solusi alternatif dinding partisi dengan memanfaatkan limbah cangkang kerang darah sebagai substitusi semen serta serat fiber alami dari serat daun nanas sebagai substitusi penguat komposit serat fiber yang diharapkan dapat menghasilkan prototipe dinding partisi yang memiliki kualitas tinggi dan ramah lingkungan, serta mengurangi permasalahan lingkungan yang ada. Tujuan Penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh persentase yang optimal dalam campuran limbah cangkang kerang darah sebagai substitusi semen dan serat daun nanas sebagai substitusi serat *fiberglass* terhadap uji daya serap air, uji kerapatan, uji pengembangan tebal, uji adsorpsi suara, uji ketahanan api dan uji kuat lentur dalam pembuatan dinding partisi dengan pembanding papan partisi *gypsum*, *kalsiboard* dan GRC (*glass reinforced cement*).

2. DATA DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen kuantitatif dengan pengujian fisik berupa uji ketebalan, kerapatan, daya serap air, pengembangan tebal, absorpsi suara, tahan api dan pengujian mekanik berupa uji kuat lentur.

Bahan Pengujian

Pada penelitian ini menggunakan beberapa bahan, meliputi: Serat daun nanas, serat *fiberglass*, cangkang kerang darah, semen instan tipe MU 200, *gypsum casting*, bubuk Al₂O₃, air, minyak bekisting, air.

Alat Pengujian

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat, meliputi: Cetakan kaca, sendok Perata, mortar, lumpang alu besi, saringan ayakan No. 200, *sieve shaker*, mesin *furnace*, neraca, *sound level meter*, gelas ukur, alat uji bakar, jangka sorong, cawan keramik, sarung tangan, loyang, kuas, sarung tangan, penggaris, gunting.

Pengolahan Serat Daun Nanas

Pengolahan serat daun nanas sebagai berikut.

1. Proses penyortiran daun nanas.
2. Merendam daun nanas dengan air untuk membusukkan zat perekat pada serat daun nanas.
3. Pengerokan pada serat nanas untuk membuang sisa zat perekat menggunakan pisau tumpul.
4. Direndam kembali sekitar 5 menit.

5. Proses pengeringan dengan menjemur serat dibawah sinar matahari selama 1 hari.

Pengolahan Cangkang Kerang Darah

Berikut cara pengolahan cangkang kerang darah:

1. Pengumpulan limbah cangkang kerang darah yang sudah tidak digunakan dan dibersihkan.
2. Proses pengeringan dengan dijemur dibawah sinar matahari selama 1 hari atau dengan menggunakan oven pada suhu 105-110°C selama 8 jam untuk menghilangkan kadar air.
3. Cangkang kerang darah dihancurkan menggunakan lumpang besi dengan panjang 1 cm.
4. Dilakukan kasinasi pada benda uji selama 4 jam dengan suhu 900°C pada mesin *furnace*
5. Lakukan penghalusan cangkang kerang darah hingga menjadi serbuk halus menggunakan mortar.
6. Menyaring serbuk cangkang kerang darah yang sudah halus menggunakan ayakan no 200 mesh (0,075 mm) selama 15 menit.

Standar Pengujian

Standar pengujian dilakukan untuk sampel yang dibuat, mengikuti standar teknis yang berlaku, yaitu ASTM E1050, ASTM D-635, JIS A 5417-1992, SNI 01-4449-2006, SNI 01-4449-2006, SNI 01-4449-2006 dengan masing-masing pengujian seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Standar Pengujian

No.	Jenis Uji	Aturan Pakai	Judul SNI
1.	Uji Absorpsi Suara	ASTM E1050	Impedansi dan Penyerapan Bahan Akustik
2.	Uji Tahan Api	ASTM D-635	Skema Laju Pembakaran Pembakaran dalam Posisi Horizontal
3.	Uji Daya Serap Air	JIS A 5417-1992	Papan Semen Partikel
4.	Uji Pengembangan Tebal	SNI 01-4449-2006	Papan Serat
5.	Uji Kerapatan	SNI 01-4449-2006	Papan Serat
6.	Uji Kuat Lentur	SNI 01-4449-2006	Papan Serat

Variasi Benda Uji

Pengujian menggunakan 72 spesimen uji. Variasi diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Ramdani Ineke (2019) dengan takaran seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mix Design* Benda Uji

No.	Dimensi (mm)	Variasi	Air (ml)	GC (gr)	Semen		Al ₂ O ₃ (gr)	Serat							
					PC (gr)	CKD (gr)		SDN (gr)	SFG (gr)						
1.	5x5x0.6	Kontrol	4,05	4,46	6,93	0,77	0	0	1,35						
		30%								4,05	6,68	0,74	0,68	0,41	0,95
		70%													
		100%													
Kontrol	16,2	17,82	27,70	3,08	0	0	5,40								
30%															
70%															
100%								5,40	0						
Kontrol	24,3	26,73	41,55	4,62	0	0	8,10								
30%															
70%															
100%								8,10	0						
Kontrol	4,86	5,35	8,31	0,92	0	0	1,62								
30%															
70%															
100%								1,62	0						

Pembuatan Benda Uji

Berikut tahapan dalam pembuatan benda uji yaitu:

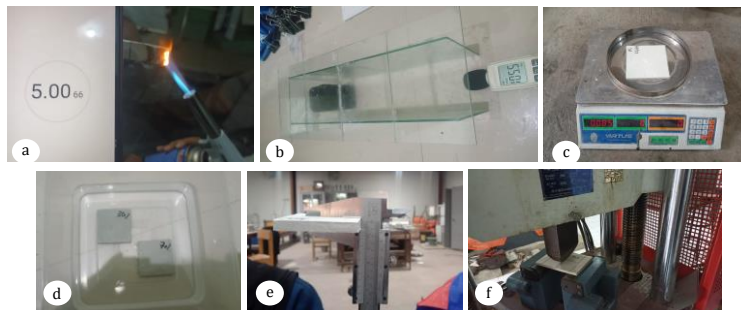
1. Melapisi cetakan dengan kertas mika kemudian diberi minyak bekisting agar memudahkan pada saat pelepasan benda uji dari cetakan.
2. Pengukuran berat komposisi campuran dan berat serat berdasarkan masing-masing variasi.
3. Dilakukan penataan serat pelapisan. Jumlah lapisan yang dipakai pada penelitian ini ialah 2.
4. Mencampurkan komposisi campuran bahan, ke dalam wadah satu persatu dan diaduk menggunakan alat pengaduk hingga homogen.
5. Tuangkan adonan yang telah tercampur secara merata dengan menyeluruh di dalam cetakan dengan ketinggian 3 mm dari dasar cetakan.
6. Letakkan lapisan serat sesuai dengan variasi campuran.
7. Menyusun kembali serat pada lapisan kedua kemudian menuang adonan hingga penuh dan diratakan menggunakan roskam.
8. Cetakan ditutup dengan kaca dan dukunci dengan klip ditiap sisinya untuk memadatkan adonan di dalam cetakan secara konstan.
9. Adonan dalam cetakan dikeringkan secara alami selama 24 jam, setelah kering cetakan dibuka seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Benda Uji Inovasi Papan Partisi

Pengujian

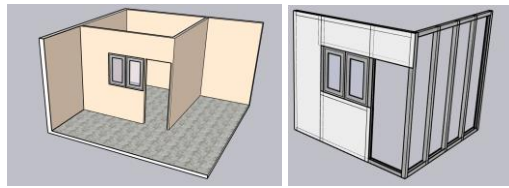
Penelitian ini menggunakan pengujian uji absorpsi suara, tahan api, daya serap air, pengembangan tebal, kerapatan dan pengujian kuat lentur. Uji absorpsi suara pada gambar 2b dilakukan guna mendapatkan nilai intensitas bunyi dari suatu bahan dengan membandingkan kekuatan dari bunyi dengan frekuensi (Hardiyanti, 2019). Pengujian ketahanan api pada gambar 2a dilakukan untuk mengetahui cepat rambat api pada papan partisi (Abdillah, 2016). Pengujian daya serap air pada gambar 2d dilakukan untuk dapat mengetahui ketahanan papan partisi pada saat menyerap air ketika secara langsung terkena air (Maail & Derlauw, 2020). Pengujian pengembangan tebal pada gambar 2c dilakukan untuk mengetahui nilai perubahan ketebalan papan partisi inovasi akibat adanya penyerapan air (Maail & Derlauw, 2020). Pengujian kerapatan pada gambar 2e dilakukan untuk mengetahui klasifikasi jenis papan serat (Ramdani et al., 2019). Pengujian kuat lentur pada gambar 2f dilakukan untuk mengetahui kemampuan dalam menahan beban terpusat pada saat sampel patah (Fathurrahman et al., 2020).



Gambar 2. (a) Uji Ketahanan Api (b) Uji Absorpsi Suara (c) Uji Pengembangan Tebal (d) Uji Daya Resap Air (e) Uji Kerapatan (f) Uji Kuat Lentur

Prototipe Partisi Inovasi

Berikut ini adalah pengaplikasian model 3 Dimensi dari papan partisi yang digunakan sebagai penyekat ruangan dalam hunian, dengan menggunakan salah satu aplikasi desain 3 dimensi yaitu *Software SketchUp* terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Model 3D Papan Partisi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Pengujian

1. Ketebalan Partisi

Berdasarkan hasil pengujian ketebalan pada Tabel 3 diperoleh data ketebalan partisi konvensional dan partisi inovasi.

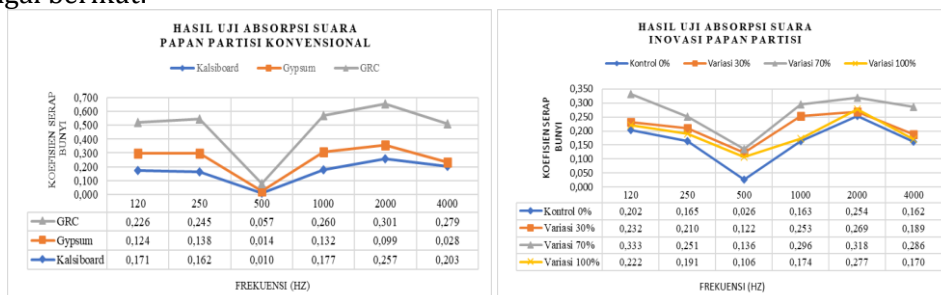
Tabel 3. Hasil Uji Ketebalan

Jenis Partisi	Tebal (mm)
Papan <i>Kalsiboard</i>	6
Papan GRC	4
Papan <i>Gypsum</i>	9
Papan Partisi Inovasi	6

xyz

2. Pengujian Absorpsi Suara

Telah dilakukan pengujian absorpsi suara berdasarkan dari ASTM E1050, sehingga diperoleh data sebagai berikut:

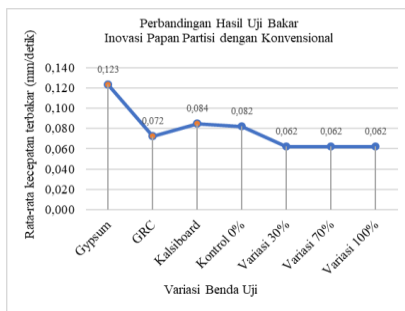


Gambar 4. Grafik Hasil Uji Absorpsi Suara

Pada gambar 4 didapatkan hasil pengujian dari benda uji papan partisi ukuran 15 x 10 cm terhadap absorpsi dengan frekuensi 120hz, 250hz, 500hz, 1000hz, 2000hz dan 4000hz, bahwa papan partisi konvensional koefisien absorpsi paling tinggi adalah GRC dan paling rendah adalah *kalsiboard*. Sementara itu, pada papan partisi inovasi yang memiliki koefisien absorpsi paling tinggi yaitu variasi 70% serta koefisien absorpsi paling rendah terdapat pada variasi 0%. Hal ini dikarenakan serat daun nanas memiliki kandungan karbon yang tinggi. Karbon berperan penting dalam material penyerap bunyi karena dapat mengubah energi gelombang menjadi energi panas (Puspitarini et al., 2014)

3. Pengujian Ketahanan Api

Telah dilakukan pengujian ketahanan api berdasarkan dari ASTM D365, sehingga diperoleh data sebagai berikut:



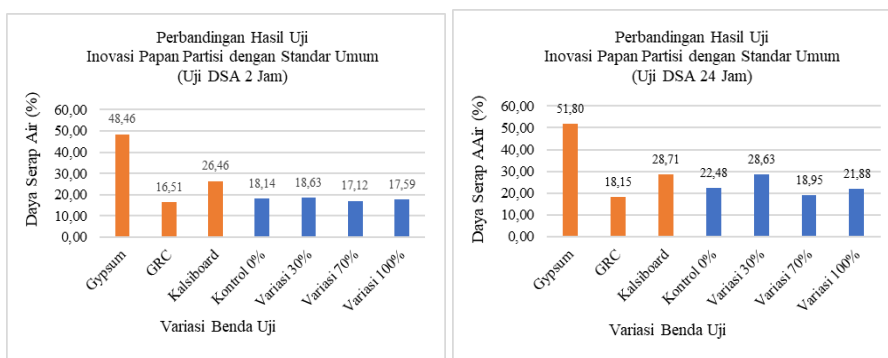
Gambar 5. Grafik Hasil Uji Tahan Bakar

Pada gambar 5 didapatkan hasil pengujian dari benda uji papan partisi ukuran 15 x 2 cm terhadap ketahanan api, bahwa dengan penambahan pengaruh serbuk Al_2O_3 sebanyak 5% dari berat rencana maka terjadi penurunan pada kecepatan laju bakar, sehingga dapat meningkatkan ketahanan papan partisi terhadap laju bakar. Benda uji papan partisi dengan variasi persentase 30%, 70%, 100% serat daun nanas memiliki sifat laju bakar lebih rendah (0,062 mm/sec) dibandingkan dengan variasi persentase kontrol 0% serat daun nanas (0,082mm/sec) dan benda uji pembandingan (papan *gypsum*, *kalsiboard* dan GRC) yang memiliki rata-rata kecepatan >0,082 mm/sec.

Papan partisi dengan kandungan senyawa SiO_2 pada variasi kontrol 0% dan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 pada variasi 30%;70%;100% memiliki kecepatan bakar rendah. Hal ini membuktikan bahwa kandungan SiO_2 yang terdapat pada cangkang kerang darah mampu menghambat adanya perambatan api/*flame retardant* (FR) papan partisi dan memiliki ketahanan bakar yang baik. Senyawa Al_2O_3 berfungsi dalam meningkatkan ketahanan nyala api, sementara senyawa SiO_2 berfungsi dalam meningkatkan sifat mekanis. Hal ini disebabkan silika merupakan senyawa yang terbentuk dari sisa senyawa silikat dengan kemampuan ketahanan suhu yang tinggi, sementara alumina adalah senyawa yang memiliki titik lebur $2030^{\circ}C$. Selama pembakaran senyawa oksida dapat berperan menjadi penyekat dan pelindung lapisan dalam menahan interaksi dengan gas O_2 .

4. Pengujian Daya Serap Air

Telah dilakukan pengujian daya serap air berdasarkan dari JIS A 5417-1992, sehingga diperoleh data sebagai berikut:



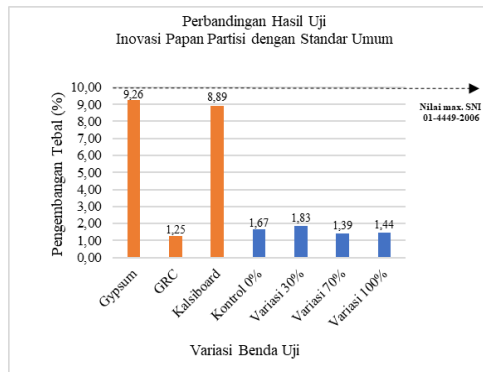
Gambar 6. Grafik Hasil Uji Daya Serap Air

Pada gambar 6 didapatkan hasil pengujian dari benda uji papan partisi ukuran 5 x 5 cm terhadap daya serap air, bahwa pada papan partisi konvensional daya serap paling tinggi yaitu sebesar 51,8% (uji dsa 2 jam) dan 48,46% (uji DSA 24 jam) adalah *gypsum* serta papan konvensional GRC memiliki daya serap paling rendah yaitu 16,51% (uji DSA 2 jam) dan 18,15% (uji DSA 24 jam). Hal ini dikarenakan papan *gypsum* berbahan dasar kapur dan pada bagian lapisan kertas pada *gypsum* mudah menyerap air. Sementara itu, pada papan partisi inovasi yang memiliki daya serap paling tinggi yaitu sebesar 18,14% (uji DSA 2 jam) dan 28,63% (uji DSA 24 jam) adalah variasi 30% serta variasi 70% memiliki daya serap paling rendah yaitu 17,12 (uji DSA 2 jam) dan 18,95 (uji DSA 24 jam). Hal ini disebabkan serat nanas memiliki sifat hidrofilik yaitu sifat bahan yang mudah melepaskan daya air dengan baik (Oktaviani & Puryati, 2020). Menurut Leão (2015) Sifat hidrofilik berkaitan dengan kandungan

selulosa, dimana kandungan selulosa yang terdapat di dalam serat daun nanas termasuk tinggi mencapai 70%-82% (Oktaviani & Puryati, 2020). Namun pada variasi 100% daya serap air menurun disebabkan ikatan antar serat nanas cenderung tidak mengikat satu sama lain yang membuat rongga pada benda uji sehingga air atau uap air lebih gampang diserap.

5. Pengujian Pengembangan Tebal

Telah dilakukan pengujian pengembangan tebal berdasarkan dari ASTM D365, sehingga diperoleh data sebagai berikut:

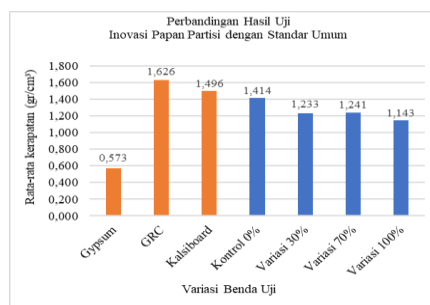


Gambar 7. Grafik Hasil Uji Pengembangan Tebal

Pada gambar 7 didapatkan hasil pengujian dari benda uji papan partisi ukuran 5 x 5 cm terhadap pengembangan tebal, bahwa papan partisi konvensional *gypsum* memiliki pengembangan tebal paling tinggi yaitu sebesar 9,26% dan terendah 1,25% adalah GRC. Sementara itu, pada papan partisi inovasi yang memiliki pengembangan tebal paling tinggi yaitu variasi 30% sebesar 1,83% serta pengembangan paling rendah terdapat pada variasi 70% sebesar 1,39%. Hal ini disebabkan dari nilai pengembangan tebal yang semakin meningkat bersamaan dengan meningkatnya nilai daya serap air pada papan serat (S, Anton 2012). Berdasarkan dari SNI 01-4449-2006, maksimal nilai pengembangan tebal pada papan serat yaitu <10% dan dari hasil papan semen berserat yang dibuat dari hasil penelitian dengan waktu pengerasan 7 hari telah memenuhi nilai batas toleransi pengembangan tebal papan semen yang ditentukan.

6. Pengujian Kerapatan

Dari pengujian kerapatan yang telah dilakukan berdasarkan dari SNI 01-4449-2006, diperoleh data sebagai berikut:

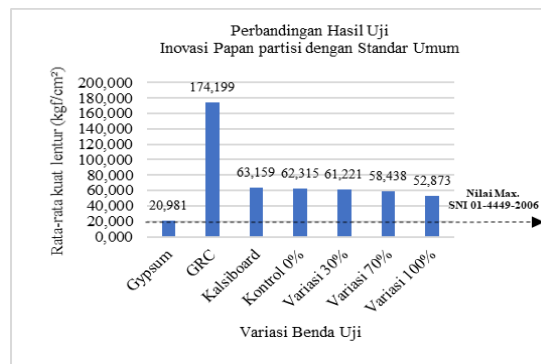


Gambar 8. Grafik Hasil Uji Kerapatan

Pada gambar 8 didapatkan hasil pengujian dari benda uji papan partisi ukuran 10 x 10 cm terhadap pengembangan tebal, bahwa papan partisi konvensional GRC memiliki nilai kerapatan paling tinggi sebesar 1,626% dan kerapatan terendah terdapat pada papan *gypsum* sebesar 0,573%. Sementara itu, pada papan partisi inovasi variasi 0% memiliki nilai kerapatan tertinggi sebesar 1,414% dan pada variasi 100% memiliki kerapatan terendah sebesar 1,143%. Hal ini disebabkan masa jenis serat *fiber* (1,32 gr/cm³) lebih besar dari serat alami yaitu serat daun nanas (0,324). Bahwa dengan bahan material yang memiliki massa jenis yang tinggi pada papan semen, maka berat dan kerapatannya akan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan papan yang terbuat dari bahan material dengan massa jenis yang rendah (Maail & Derlauw, 2020).

7. Pengujian Kuat Lentur

Dari pengujian kuat lentur yang telah dilakukan berdasarkan dari SNI 01-4449-2006, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik Hasil Uji Kuat Lentur

Pada gambar 9 didapatkan hasil pengujian dari benda uji papan partisi ukuran 15 x 10 cm terhadap kuat lentur, bahwa papan partisi konvensional GRC memiliki nilai kuat lentur paling tinggi sebesar 28,212% dan nilai kuat lentur paling rendah terdapat pada *gypsum* sebesar 16,315%. Sementara itu, papan partisi inovasi variasi 0% memiliki kuat lentur paling tinggi sebesar 22,433% dan paling rendah yaitu variasi 100% sebesar 19,034%. Hal ini disebabkan serat fiber memiliki ikatan antar serat lebih kuat daripada serat daun nanas. Dikarenakan serat fiber dihasilkan dari pabrik yang dapat membuat ikatan antar seratnya lebih teratur dan saling mengikat. Dilain hal proses penyusunan serat daun nanas dilakukan secara manual sehingga ikatan yang dihasilkan berpengaruh pada kekuatan lenturnya. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kelenturan papan seperti ikatan antar partikel, jenis papan, ukuran partikel, jumlah bahan perekat dan rongga di dalam papan (Fathurrahman et al., 2020).

4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan dari penelitian yang telah dilakukan, bahwa dengan substitusi cangkang kerang darah sebesar 10% dari berat semen dapat dikatakan merupakan kombinasi yang optimal dalam pembuatan inovasi papan partisi, sedangkan serat daun nanas sebagai serat penguat. Jumlah variasi pada serat daun nanas juga mempengaruhi karakteristik papan serat partisi antara lain kerapatan, daya serap air, pengembangan tebal, absorpsi suara, kuat lentur. Adanya penambahan serbuk Al₂O₃ sebanyak 5% juga mempengaruhi ketahanan bakar pada papan partisi. Papan partisi serat berdasarkan hasil pengujian telah memenuhi dari nilai ketentuan standar dengan nilai kerapatan melebihi nilai SNI 01-4449-2006 yaitu >0,84 g/cm³ dan diklasifikasikan sebagai papan serat kerapatan tinggi, didapatkan nilai daya serap air terbaik pada variasi 70% sebesar 17,12% (2 jam) dan 18,95% (24 jam), pada uji pengembangan tebal didapatkan nilai terbaik pada variasi 70% sebesar 1,39%, pada uji tahan api didapatkan nilai laju bakar rendah pada 3 variasi yaitu variasi 30%;70%;100%, pada uji absorpsi suara didapatkan koefisien absorpsi suara terbaik yaitu variasi 70%, pada uji kuat lentur didapatkan nilai uji kuat lentur terbaik pada variasi 0% namun pada variasi 30%;70%;100% telah melebihi nilai SNI 01-4449-2006 yaitu >15 kgf/cm².

UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa terimakasih ini ditujukan kepada Tuhan Yang Maha Esa, orangtua, dosen pembimbing, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan hasil penelitian ini. Harapannya dengan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

REFERENSI

- Abdillah, M. (2016). *Studi Material Poliester-Gypsum Berpenguat Serat Ampas Tebu Dan Bambu Betung Untuk Aplikasi Bahan Akustik Yang Tidak Mudah Terbakar*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Abdillah, R., & Safarizki, H. A. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (Anadara Granosa) Sebagai Bahan Tambah Dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.32585/modulus.v1i1.374>

- ASTM Internasional. (2019). ASTM E 1050-19. *Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System*. United States : ASTM International
- ASTM Internasional. (2022). ASTM D 635-22. *Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position*. United States : ASTM International
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat. (2021). Hasil Sensus Penduduk 2020. Jakarta Pusat : Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional. (2006). SNI 01-4449-2006. Mutu Papan Serat. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Fathurrahman, H., Neolaka, A., & Arthur, R. (2020). Perbandingan Papan Gypsum Serat Daun Nanas (*Ananas Comosus* L. Merr) Terhadap Papan Gypsum Komersil Dilihat Dari Sifat Fisis Dan Mekanis Berdasarkan Sni Spesifikasi Panel Atau Papan Gypsum 03-6384-2000. *Jurnal Pendidikan Teknik Dan Vokasional*, 3(2), 121–130. <https://doi.org/http://doi.org/10.21009/JPTV.3.2.121>
- Haikal, M., & Firdaus. (2019). Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Darah Sebagai Substitusi Semen Pada Mortar. *Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)*, 16(April), 1.
- Hardiyanti. (2019). *Pengujian Kerapatan, Kadar Air Dan Koefisien Absorpsi Papan Akustik Dengan Menggunakan Bahan Dasar Daun Lontar (Borassus Flabellifer)*. Skripsi. Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Hermawan, F., Sejati, W., Zaki, M., & Jefri, A. (2022). Estimasi Perbandingan Pekerjaan Dinding Panel GRC Dan Bata Ringan Untuk. *Sainstek E-Journal STT Pekanbaru*, 10(2), 200–205. <https://doi.org/10.35583/js.v10i2.161>
- Japanese Industrial Standar. (1992). JIS A 5417-1992. *Cement Bonded Particle Boards*. Japan: Japanese Industrial Standar.
- Leão, A.L., Cherian, B.H., Narine, S., Souza, S., Sain, M., dan Thomas, S.(2015). “*The Use of Pineapple Leaf Fibers (PALFs) As Reinforcements In Composites*”, *Biofiber Reinforcement in Composite Materials*, 211-235. <https://doi.org/10.1533/9781782421276.2.211>
- Maaail, R. S., & Derlauw, I. (2020). Sifat Fisis Dan Keunggulan Papan Semen Dari Limbah Kulit Batang Sagu. *MAKILA:Jurnal Penelitian Kehutanan*, 14(2), 87–98. <https://doi.org/10.30598/makila.v14i2.2895>
- Nandiyanto, A. B. D., Girsang, G. C. S., Maryanti, R., Ragadhita, R., Anggraeni, S., Fauzi, F. M., Sakinah, P., Astuti, A. P., Usdiyana, D., Fiandini, M., Dewi, M. W., & Al-Obaidi, A. S. M. (2020). Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste. *Communications in Science and Technology*, 5(1), 31–39. <https://doi.org/10.21924/cst.5.1.2020.176>
- Oktaviani, S., & Puryati, D. (2020). Pengaruh Penambahan Serat Daun Nanas terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Papan Semen Gypsum. *Jurnal Fisika Unand*, 9(1), 31–37. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.1.31-37.2020>.
- Puspitarini, Y., S, F. M. A., Yulianto, A., & Fisika. (2014). Koefisien Serap Bunyi Ampas Tebu Sebagai Bahan Peredam Suara. *Jurnal Fisika*, 4(2), 96–100.
- Ramdani, I. B., Pratama, J. H., Santosa, F. J., & Hartono, W. (2019). Cangkang Pila Ampullacea dan Blotong Tebu Sebagai Bahan Pembuatan Smart-Partisi. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v3i1.34721>
- S, Anton. (2012). *Pembuatan Dan Uji Karakteristik Papan Partikel Dari Serat Buah Bintaro (Cerbera manghas)*. Skripsi. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Tasari, F. T. (2022). Analisis Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) sebagai Sumber CaCO₃ pada Pembuatan Ubin Keramik Dinding. *Prisma Fisika*, 10(3), 352–359.

Analisis optimasi waktu dan biaya proyek dengan metode *time cost trade off* dan *fast track* pada pekerjaan penanganan longsor

Nur Fitri Asharia*, Raftonado Situmorang^b, Oryza Lhara Sari^c

^{a*bc} Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

raftonado.situmorang@lecturer.itk.ac.id

Keywords:

Fast Track, Optimization
Construction, Time Cost Trade Off

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *In the Grand City Balikpapan area, a residential area is planned using a WTP (Water Treatment Plant) system for clean water supply. The project is planned to be completed in 12 weeks, but there is a delay in the project work so that it requires acceleration. The required objective is to optimize the time and cost in the implementation of the acceleration project and get a method or alternative that is in accordance with the project acceleration plan. The methods used in the acceleration of the Grand City Balikpapan WTP Area Landslide Handling Work Project in order to obtain the optimal time and cost are methods called Time Cost Trade Off and Fast Track. In Time Cost Trade Off method, there are three acceleration alternatives used, namely additional working hours, additional labor and additional heavy equipment. The acceleration time obtained based on the methods and alternatives used is 60 working days. The cost needed to complete the acceleration project by using Time Cost Trade Off method on the alternative of additional working hours (overtime) is Rp 664,593,423, while on the alternative of additional labor is Rp 644,856,028. The alternative of adding heavy equipment cannot be used in accelerating this project because the scope of the project is small for the use of a lot of heavy equipment. Then for the Fast Track method, it costs Rp 611,609,685, so the method used to accelerate the project is the Fast Track method by changing the working relationship.*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi merupakan bagian penting dalam suatu pembangunan. Menurut Ervianto (2002), proyek konstruksi adalah sebuah rangkaian sistem pekerjaan karena pada setiap bagian pada kegiatan proyek akan saling berkaitan satu dengan yang lain. Untuk pelaksanaan proyek memerlukan jadwal proyek agar bisa menentukan waktu dan biaya yang dikeluarkan untuk proyek yang dijalankan. Pada area Grand City Balikpapan direncanakan hunian atau tempat tinggal menggunakan sistem WTP (*Water Treatment Plant*) untuk penyediaan air bersih. Direncanakan proyek selesai dalam 12 minggu, namun terjadi keterlambatan dalam pengerjaan proyek sehingga memerlukan percepatan. Tujuan yang diperlukan adalah untuk pengoptimalan waktu dan biaya dalam pelaksanaan proyek percepatan agar selesai sesuai dengan rencana proyek dengan metode ataupun alternatif yang optimal dan relevan dengan proyek.

Keterlambatan proyek ini dapat diatasi dengan percepatan proyek dengan waktu dan biaya yang optimal. Dalam melakukan pengoptimalan waktu dan biaya untuk percepatan proyek terdapat beberapa metode. Untuk metode yang digunakan dalam percepatan Proyek Pekerjaan Penanganan longsor area WTP Grand City Balikpapan agar mendapat waktu dan biaya optimal adalah Metode *Time Cost Trade Off* dan Metode *Fast Track*. Kedua metode ini cocok dengan kasus ini karena dapat dengan sekaligus menghitung waktu dan biaya optimal yang dibutuhkan dengan menggunakan lintasan kritis. Tujuannya untuk menghitung biaya percepatan beserta durasi waktu yang diperlukan untuk mengoptimalkan pembangunan pada proyek agar dapat meminimalisir keterlambatan dari waktu yang telah dijadwalkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa optimasi waktu dan biaya proyek dengan metode *time cost trade off* dan *fast track* pada pekerjaan penanganan longsor area WTP Grand City Balikpapan.

Time Cost Trade Off

Metode *Time Cost Trade Off* merupakan sebuah metode analisis yang digunakan untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan cara memadatkan jadwal, dengan tujuan mendapatkan proyek yang lebih menguntungkan dalam hal waktu (durasi) dan biaya. Upaya untuk mengurangi durasi proyek dilakukan dengan memprioritaskan aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis (Florensia, 2016). Dan berikut alternatif yang digunakan dalam metode ini :

1. Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Pada penambahan jam kerja merupakan perbandingan antara kuantitas pekerjaan yang dilakukan dengan sumber daya yang digunakan. Berikut adalah rumus yang digunakan dalam perhitungan produktivitas kerja lembur (Priyo,2017),

$$\text{Produktivitas harian} = \text{Volume} / \text{Waktu Normal} \quad (1.1)$$

$$\text{Produktivitas per jam} = \text{Produktivitas Harian} / \text{Jam Kerja Harian} \quad (1.2)$$

$$\text{Crash Duration} = \text{Volume} / ((\text{Jam kerja perhari} \times \text{Produktivitas Tiap jam}) + \quad (1.3)$$

$$(\text{lama penambahan jam kerja} \times \text{koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja} \times \text{produktivitas tiap jam})) \quad (1.4)$$

$$\text{Produktivitas harian setelah dipercepat} = \text{Volume} / \text{Crash Duration} \quad (1.5)$$

$$\text{Biaya lembur tenaga kerja} = 1,5 \times \text{upah sejam normal untuk penambahan jam kerja} \quad (1.6)$$

$$\text{Crash cost tenaga kerja perhari} = (\text{jam kerja perhari} \times \text{normal biaya pekerja}) + (\text{jumlah penambahan jam kerja lembur} \times \text{biaya lembur per jam})$$

2. Penambahan Tenaga Kerja

Pada proyek tentu pekerja menjadi salah satu sumber daya yang merupakan faktor penentu keberhasilannya. Berikut adalah rumus menentukan penambahan tenaga kerja,

$$\text{Kapasitas tenaga kerja} = 1 / \text{Koefisien tenaga kerja} \quad (1.7)$$

$$\text{Pekerja Tambahan} = \text{Volume} / (\text{Kapasitas tenaga kerja} \times \text{Durasi percepatan}) \quad (1.8)$$

$$\text{Biaya normal per hari} = \text{Produktivitas harian} \times \text{harga satuan upah tenaga kerja} \quad (1.9)$$

3. Penambahan Alat Berat

Dalam proyek, penggunaan alat berat merupakan kebutuhan penting untuk mendukung pekerjaan manusia sehingga dapat mencapai hasil yang diharapkan dalam waktu yang lebih efisien. Berikut adalah rumus menentukan penambahan alat berat,

$$\text{Produksi per siklus} = \text{kapasitas bucket} \times \text{factor bucket} \quad (1.10)$$

$$\text{Waktu siklus} = \text{waktu gali} + (\text{waktu putar} \times 2) + \text{waktu buang} \quad (1.11)$$

$$\text{Produksi per jam} = (\text{Produksi per siklus} \times 3600 \times \text{Efisiensi kerja}) / \text{Waktu siklus} \quad (1.12)$$

Fast Track

Metode *Fast Track* adalah metode manajemen penjadwalan proyek konstruksi yang mengadopsi pendekatan pelaksanaan aktivitas secara paralel untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek dari yang direncanakan sebelumnya. Berikut adalah langkah-langkah atau persyaratan yang harus diikuti saat menerapkan metode *Fast Track* pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis:

1. Penjadwalan harus mengikuti logika antara aktivitas-aktivitas, mempertimbangkan ketersediaan tenaga kerja, produktivitas bahan, peralatan, aspek teknis, dan anggaran yang realistis.
2. *Fast Track* hanya diterapkan pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis, terutama pada aktivitas dengan durasi yang lebih panjang.
3. Durasi minimum yang dapat di *Fast Track* adalah 2 hari atau lebih.
4. Hubungan antara aktivitas kritis yang akan di *Fast Track*:
 - Jika durasi aktivitas i < durasi aktivitas j, percepatan pada aktivitas kritis j dapat dimulai setelah aktivitas i telah selesai minimal 1 hari, dan aktivitas i harus selesai lebih dahulu atau bersamaan dengan aktivitas j.
 - Jika durasi aktivitas i > durasi aktivitas j, aktivitas j dapat dimulai jika sisa durasi aktivitas i kurang dari 1 hari dari waktu mulai aktivitas j. Kedua aktivitas tersebut dapat diselesaikan bersamaan.

5. Periksa kelebihan waktu (*float*) yang tersedia pada aktivitas non-kritis, pastikan masih memenuhi persyaratan dan tetap menjadi aktivitas non-kritis setelah dilakukan *Fast Track*.
6. Jika setelah tahap awal *Fast Track* dilakukan, jalur kritis berubah, langkah-langkah yang sama harus dilakukan pada aktivitas-aktivitas di jalur kritis yang baru.
7. Percepatan yang dilakukan sebaiknya tidak melebihi 50% dari waktu normal yang diperlukan.

Hal yang harus diperhatikan dalam pembiayaan proyek yang menggunakan metode *Fast Track* adalah tidak ada peningkatan jumlah tenaga kerja dan biaya pada setiap aktivitas, baik itu aktivitas yang berada di jalur kritis maupun yang tidak (Tjaturono, 2014).

Jalur Kritis

Metode yang paling umum digunakan dalam merencanakan dan mengawasi proyek adalah Jalur Kritis atau *Critical Path Method* (CPM). Metode ini seringkali digunakan lebih sering dibandingkan metode lain yang menggunakan prinsip pembentukan jaringan. Jalur Kritis atau CPM dapat diterapkan jika durasi pekerjaan dapat diprediksi dengan baik dan tidak terlalu bervariasi. Banyak proyek konstruksi dan industri menggunakan metode ini untuk mengatur jadwal dan mengawasi progres proyek (Levin, 1972).

Dalam melakukan analisis jalur kritis terdiri atas *forward pass* (ES dan EF) dan *backward pass* (LS dan LF) untuk menentukan jadwal waktu suatu aktivitas. ES (*Earliest Start*) adalah waktu paling awal kegiatan yang dapat dimulai dengan mengasumsikan semua kegiatan sebelumnya telah selesai. EF (*Earliest Finish*) adalah waktu paling awal dari kegiatan yang dapat selesai. Sedangkan LS (*Late Start*) adalah waktu terakhir kegiatan yang dapat dimulai sehingga tidak memperlambat waktu proyek. LF (*Late Finish*) adalah waktu paling akhir kegiatan yang dapat selesai sehingga tidak memperlambat waktu keseluruhan proyek (Heizer, 2014).

2. DATA DAN METODE

Data

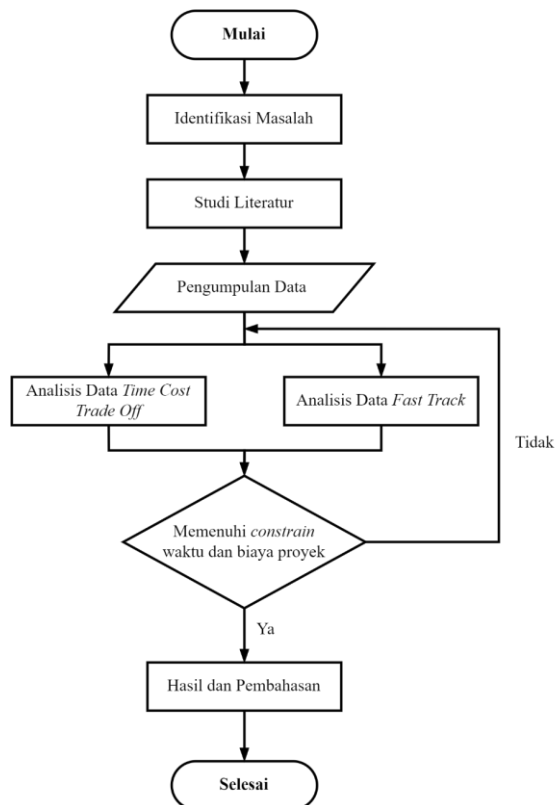
Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pengumpulan data proyek yang menjadi objek penelitian berupa RAB, *time schedule* dan kurva S pada Proyek Pekerjaan Penanganan longsor area WTP Grand City Balikpapan.

Metode

Terdapat 5 prosedur penelitian dalam metode penelitian ini dan berikut penjelasannya.

1. Identifikasi Masalah
Tahap ini dilakukan pada awal penelitian, dapat dikatakan identifikasi merupakan cara mendefinisikan masalah dalam penelitian. Dimana pada penelitian ini didapatkan hasil identifikasi masalah berupa keterlambatan proyek yang terjadi pada Proyek Pekerjaan Penanganan longsor area WTP Grand City Balikpapan.
2. Studi Literatur
Tahap ini berisi kegiatan yang berkaitan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat dari buku dan jurnal-jurnal yang terkait dengan metode yang akan digunakan dalam penelitian.
3. Pengumpulan Data
Tahap ini berisi penginputan data-data yang diperlukan dalam penelitian berupa rencana anggaran biaya (RAB), Harga satuan upah dan bahan serta Jadwal proyek atau *time schedule* (Kurva S).
4. Analisis Data
Tahap ini berisi analisis yang dilakukan oleh peneliti dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* dan metode *Fast Track* dengan program bantu. Dengan menginputkan data RAB dan *time schedule* (Kurva S) yang didapatkan untuk dianalisis ke dalam program *Microsoft Project* 2016. Setelah menyelesaikan analisis dari kedua metode yang digunakan dapat dipilih hasil analisis yang sesuai dan akan digunakan untuk proyek.
5. Hasil dan Pembahasan

Tahap ini berisi hasil analisis yang telah didapatkan disertai dengan pembahasan terkait hasil tersebut. Semua tahapan ini terdapat dalam Gambar 1 yang menampilkan diagram alir dari tahapan prosedur penelitian.

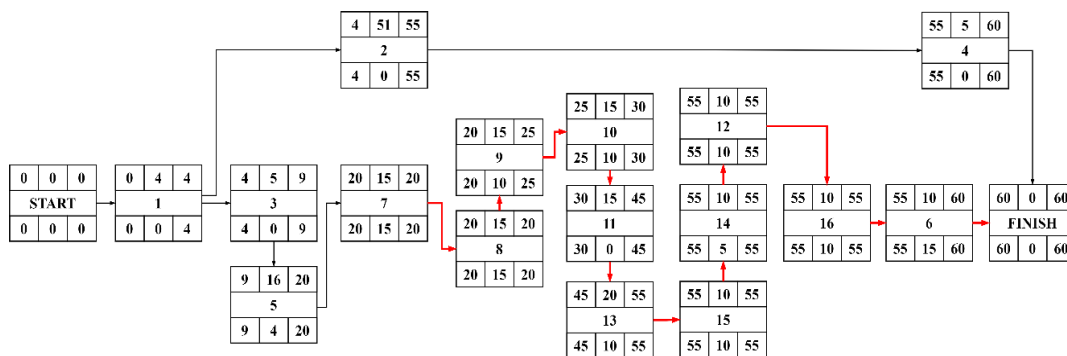


Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Prosedur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Jalur Kritis

Jalur kritis yang dipilih adalah berdasarkan pekerjaan yang masih dan akan berlangsung setelah lewat dari minggu ke-7 pekerjaan proyek. Berikut adalah jalur kritis proyek pada Proyek Pekerjaan Penanganan longsor Area WTP Grand City Balikpapan yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Jalur Kritis

Hasil Analisis Metode *Time Cost Trade Off*

Dalam percepatan proyek tentu terdapat berbagai macam bentuk kegiatan yang dapat menjadi alternatif percepatan suatu proyek tak terkecuali dalam proyek ini. Adapun alternatif yang menjadi pertimbangan dalam percepatan proyek adalah sebagai berikut:

Produktivitas Kerja Lembur

Pada alternatif ini percepatan yang menggunakan penambahan jam kerja atau lembur untuk meningkatkan produktivitas pekerja perharinya dan dalam penelitian ini melakukan penambahan jam kerja sebesar 3 jam per harinya. Berikut adalah hasil perhitungan waktu dan biaya percepatan pada tabel 1 dan 2 dengan total hasil percepatan berada pada tabel 3.

Tabel 1. *Crash Duration*

No.	Item Pekerjaan	Volume	Durasi Normal		Produktivitas Normal		Crash Duration	Crashing	Produktivitas Setelah Percepatan
			m3	Hari	Jam	m3/Hari			
1.	Pancang Ulin 10 x 10 x 400	32,60	5	40	6,52	0,81	4	1	8,23
2.	Balok ikat ulin10 x 10	765,45	5	40	153,09	19,14	4	1	193,28
3.	Pasang Papan ulin	39,17	5	40	7,83	0,98	4	1	9,89
4.	Pasangan Batu 1 : 4	59,01	5	40	11,80	1,48	4	1	14,90
5.	Plesteran 1 : 3	497,02	15	120	33,13	4,14	12	3	45,49
6.	Beton Cor 1 : 2 : 3	167,39	20	160	8,37	1,05	16	4	10,57
7.	Pemasangan Pipa PVC	176	10	80	17,60	2,20	8	2	12,36
8.	Pembesian	7117,34	10	80	711,73	88,97	8	2	898,57
9.	Memasang Bekisting	128,96	10	80	12,90	1,61	8	2	16,28
10.	Membongkar Bekisting	214,99	10	80	21,50	2,69	8	2	27,14
11.	Back Fill	281	20	160	14,05	1,76	16	4	17,74

Tabel 2. *Crash Cost*

No.	Item Pekerjaan	Durasi Lembur	Pekerja	Tukang	Kepala Tukang	Mandor	Biaya per Hari		
							Lembur	Normal	Percepatan
1.	Pancang Ulin 10 x 10 x 400	3	Rp 15.290	-	-	Rp 1.529	Rp 16.819	Rp 25.000	Rp 41.819
2.	Balok Ikat Ulin 10 x 10	3	Rp 7.370	-	-	Rp 737	Rp 8.107	Rp 12.000	Rp 20.107
3.	Pasang Papan ulin	3	Rp 32.560	-	-	Rp 3.256	Rp 35.816	Rp 53.300	Rp 89.116
4.	Pasangan Batu 1 : 4	3	Rp 99.000	Rp 49.500	-	Rp 9.900	Rp158.400	Rp252.000	Rp410.400
5.	Plesteran	3	Rp 21.120	Rp 10.560	Rp 1.045	Rp 1.045	Rp 33.770	Rp 53.910	Rp 87.680
6.	Beton Cor	3	Rp 72.600	Rp 12.100	Rp 1.210	Rp 7.260	Rp 93.170	Rp143.220	Rp 236.390
7.	Pemasangan Pipa PVC	3	Rp 2.750	-	-	Rp 275	Rp 3.025	Rp 4.500	Rp 7.525
8.	Pembesian	3	Rp 385	Rp 385	Rp 39	Rp 39	Rp 847	Rp 1.407	Rp 2.254
9.	Memasang Bekisting	3	Rp 16.500	Rp 15.000	Rp 1.650	Rp 1.650	Rp 34.800	Rp 43.650	Rp 78.450
10.	Membongkar Bekisting	3	Rp 2.200	-	-	Rp 220	Rp 2.420	Rp 3.600	Rp 6.020
11.	Back Fill	3	Rp 18.150	-	-	Rp 1.815	Rp 19.965	Rp 29.700	Rp 49.665

Tabel 3. Total Percepatan Proyek dengan Penambahan Jam Kerja

No.	Jenis Pekerjaan	Sat	Volume	Durasi Pekerjaan	Jumlah Harga
I PEKERJAAN PERSIAPAN					
1	Pengukuran + Patok	ls	1	4	Hari Rp 500.000
2	Air kerja & listrik kerja	ls	1	51	Hari Rp 1.000.000
3	Mobilisasi dan Demobilisasi	ls	1	10	Hari Rp 5.000.000
Sub Total I					Rp 6.500.000
II PEKERJAAN TANAH					
1	Galian tanah longsor	m3	481	16	Hari Rp 36.075.000
2	Back Fill	m3	281	16	Hari Rp 22.758.050
Sub Total II					Rp 58.833.050
III PEKERJAAN DPT					
1	Pancang Ulin 10 x 10 x 400	Titik	136	19	Hari Rp 37.068.282

No.	Jenis Pekerjaan	Sat	Volume	Durasi Pekerjaan		Jumlah Harga	
2	Balok ikat ulin10 x 10	m1	1.116	19	Hari	Rp	87.724.887
3	Pasang Papan ulin	m1	100	19	Hari	Rp	61.347.069
4	Pasangan Batu 1 : 4	m3	100,4	19	Hari	Rp	80.067.591
5	Plesteran 1 : 3	m2	497,02	17	Hari	Rp	50.460.276
6	Beton Cor 1 : 2 : 3	m3	167,39	16	Hari	Rp	113.785.277
7	Pemasangan Pipa PVC	Bh	264	13	Hari	Rp	12.723.186
8	Pembesian	kg	7.117,34	8	Hari	Rp	104.894.192
9	Memasang Bekisting	m2	214,99	13	Hari	Rp	33.771.117
10	Membongkar Bekisting	m2	214,99	8	Hari	Rp	17.418.496
Sub Total III						Rp	599.260.374
Sub Total I + II + III						Rp	664.593.423
JUMLAH				60	Hari	Rp	664.593.423

Penambahan Tenaga Kerja

Pada alternatif ini merupakan percepatan dengan alternatif penambahan tenaga kerja untuk mempercepat proyek didapatkan penambahan tenaga kerja sebanyak 16 orang. Berikut adalah hasil perhitungan penambahan tenaga kerja dan total waktu dan biaya hasil percepatan yang tersaji pada tabel 4 dan tabel 5.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Penambahan Tenaga Kerja

No.	Pekerjaan	Pekerja		Tukang		Kepala Tukang		Mandor		Total Tenaga Kerja Normal	Total Upah Normal	Total Tenaga Kerja Percepatan	Total Upah Percepatan
		TK	Koef.	TK	Koef.	TK	Koef.	TK	Koef.				
1.	Plesteran 1 : 3, tebal 1,5 Cm	23	0,445	12	0,223	1	0,019	1	0,019	32	Rp53.910	37	Rp 69.901
2.	Beton Cor 1 : 2 : 3	14	1,806	10	0,225	1	0,022	1	0,132	22	Rp143.220	26	Rp 190.908
3.	Pembesian	11	0,008	10	0,007	1	0,001	1	0,0007	22	Rp 1.407	23	Rp 1.659
4.	Membongkar Bekisting	10	0,041	-	-	-	-	1	0,004	11	Rp 3.600	11	Rp 4.240
5.	Back Fill	11	0,360	-	-	-	-	1	0,033	11	Rp 29.700	12	Rp 37.620
6.	Pancang Ulin 10 x 10 x 400	10	0,282	-	-	-	-	1	0,028	11	Rp 25.000	11	Rp 29.587
7.	Balok ikat ulin10 x 10	12	0,157	-	-	-	-	1	0,016	11	Rp 12.000	13	Rp 14.122
8.	Pasang Papan ulin	10	0,615	-	-	-	-	1	0,061	11	Rp 53.300	11	Rp 55.339
9.	Pasangan Batu 1 : 4	12	2,119	-	-	-	-	1	0,212	11	Rp252.000	13	Rp 190.681
10.	Pemasangan Pipa PVC	10	0,051	-	-	-	-	1	0,005	11	Rp 4.500	11	Rp 4.586
11.	Memasang Bekisting	11	0,325	1	0,155	1	0,015	1	0,033	13	Rp 3.650	14	Rp 46.404

Tabel 5. Total Percepatan Proyek dengan Penambahan Tenaga Kerja

No.	Jenis Pekerjaan	Sat	Volume	Durasi Pekerjaan		Jumlah Harga	
I PEKERJAAN PERSIAPAN							
1	Pengukuran + Patok	ls	1	4	Hari	Rp	500.000
2	Air kerja & listrik kerja	ls	1	51	Hari	Rp	1.000.000
3	Mobilisasi dan Demobilisasi	ls	1	10	Hari	Rp	5.000.000
Sub Total I						Rp	6.500.000
II PEKERJAAN TANAH							

No.	Jenis Pekerjaan	Sat	Volume	Durasi Pekerjaan	Jumlah Harga
1	Galian tanah longoran	m3	481	16 Hari	Rp 36.075.000
2	Back Fill Area Siring	m3	281	16 Hari	Rp 22.533.302
Sub Total II					Rp 58.608.302
III PEKERJAAN DPT					
1	Pancang Ulin 10 x 10 x 400	Titik	136	19 Hari	Rp 37.068.282
2	Balok ikat ulin 10 x 10	m1	1.116	19 Hari	Rp 87.649.664
3	Pasang Papan ulin	m1	100	19 Hari	Rp 61.014.087
4	Pasangan Batu 1 : 4	m3	100,4	19 Hari	Rp 73.282.631
5	Plesteran 1 : 3	m2	497,02	17 Hari	Rp 56.011.830
6	Beton Cor 1 : 2 : 3	m3	167,39	14 Hari	Rp 112.912.145
7	Pemasangan Pipa PVC	Bh	264	13 Hari	Rp 12.639.466
8	Pembesian	kg	7.117,34	8 Hari	Rp 105.058.344
9	Memasang Bekisting	m2	214,99	13 Hari	Rp 33.108.564
10	Membongkar Bekisting	m2	214,99	8 Hari	Rp 1.002.713
Sub Total III					Rp 579.747.726
Sub Total I + II + III					Rp 644.856.028
JUMLAH				60 Hari	Rp 644.856.028

Penambahan Alat Berat

Pada alternatif ini percepatan yang menggunakan penambahan alat berat untuk mempercepat pekerjaan proyek. Berikut perhitungan produksi per jam.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 281 \text{ m}^3 \\
 \text{Kapasitas Bucket} &= 0,97 \text{ m}^3 \\
 \text{Factor Bucket} &= 0,8 \text{ m}^3 \\
 \text{Efisiensi Kerja} &= 0,75 \\
 \text{Waktu Gali} &= 9,2 \text{ detik} \\
 \text{Waktu Buang} &= 7,2 \text{ detik} \\
 \text{Waktu Putar} &= 5,8 \text{ detik} \\
 \text{Produksi per Siklus} &= \text{Kapasitas Bucket} \times \text{Factor Bucket} \\
 &= 0,97 \times 0,8 \\
 &= 0,776 \text{ m}^3 \\
 \text{Waktu Siklus} &= \text{waktu gali} + (\text{waktu putar} \times 2) + \text{waktu buang} \\
 &= 9,2 + 11,6 + 7,2 \\
 &= 28 \text{ detik} \\
 \text{Produksi per Jam} &= \frac{\text{Produksi per Siklus} \times 3600 \times \text{Efisiensi Kerja}}{\text{Waktu Siklus}} \\
 &= \frac{0,776 \times 3600 \times 0,75}{28} \\
 &= 74,828 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka pada percepatan proyek ini tidak memerlukan penambahan alat berat dikarenakan dengan produksi per jam sebesar 74,828 m³/jam tentu dapat menyelesaikan seluruh pekerjaan *back fill* dengan volume sebesar 281 m³ dalam kurang dari sehari dari satu buah alat sehingga tidak memerlukan penambahan alat berat.

Hasil Analisis Metode *Fast Track*

Pada metode *Fast Track* yang perlu diketahui adalah jadwal dari setiap pekerjaan yang terdapat pada proyek. Lalu dengan menentukan jalur kritis membantu untuk mengetahui pekerjaan yang perlu diutamakan untuk dilakukan percepatan. Setelah didapatkan jalur kritis baru dapat dilakukan analisis dengan metode *Fast Track*. Berikut adalah hasil analisis percepatan durasi menggunakan metode *Fast Track* pada pekerjaan yang terdapat dalam jalur kritis terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Percepatan Durasi Menggunakan Metode *Fast Track*

Kode	Jenis Pekerjaan	Durasi	<i>Predecessors</i>	
		(Hari)	Normal	<i>Fast Track</i>
7	Pancang Ulin	5	-	-
8	Balok Ikat Ulin	5	7FS-5 days	7SS
9	Pasang Papan Ulin	5	8FS-10 days	8SS
10	Pasangan Batu	5	9FS-10 days	9SS
11	Plesteran	10	10FS	10SS
12	Beton Cor	20	14FS-5 days	14SS+5 days
13	Pemasangan Pipa	10	11FS-10 days	11SS
14	Pembesian	10	15SS+5 days	15SS
15	Pemasangan Bekisting	10	13SS	13SS
16	Pelepasan Bekisting	10	12FS-10 days	12SS+10 days
6	<i>Back Fill</i>	20	16FF	16FF

Adapun hasil dari percepatan yang dilakukan menggunakan metode *Fast Track* ini dapat membuat proyek selesai tepat waktu sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan yaitu 60 hari kerja. Percepatan dengan menggunakan metode *Fast Track* tidak memiliki penambahan jam kerja, penambahan tenaga kerja dan penambahan alat berat serta penambahan biaya pada setiap pekerjaan pada jalur kritis maupun tidak. Sehingga biaya proyek dengan menggunakan metode *Fast Track* akan tetap sama dengan biaya normal proyek. Maka biaya yang dikeluarkan untuk metode *Fast Track* adalah sebesar Rp. 611.609.685.

Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan untuk mencari waktu dan biaya yang optimal untuk percepatan Proyek Pekerjaan Penanganan longsor Area WTP Grand City Balikpapan dengan menggunakan dua metode diperoleh yaitu pada metode *Time Cost Trade Off* dan metode *Fast Track*. Pada metode pertama yaitu *Time Cost Trade Off* terdapat dua dari tiga alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai percepatan dalam proyek. Pada alternatif pertama yaitu penambahan jam kerja (lembur) dilakukan penambahan jam kerja selama 3 jam dari jam kerja normal untuk percepatan. Sehingga didapatkan waktu pengerjaan total proyek menjadi sebesar 60 hari dengan biaya total yang dikeluarkan dengan penambahan jam kerja ini sebesar Rp 664.593.423. Sedangkan pada alternatif kedua yaitu penambahan tenaga kerja, didapatkan percepatan durasi proyek sebesar 14 hari dengan menambahkan 16 tenaga kerja baru untuk ikut turut bekerja dalam proyek. Sehingga didapatkan waktu pengerjaan total proyek menjadi sebesar 60 hari dengan biaya total yang dikeluarkan dengan penambahan tenaga kerja sebesar Rp 644.856.028.

Pada metode kedua yaitu *Fast Track* dilakukan penyusunan ulang jadwal proyek dengan mengubah hubungan kerja yang awalnya tersusun seri karena memakai hubungan kerja FS (*Finish to Start*) lalu dibuat menjadi susunan paralel dengan memakai hubungan kerja SS (*Start to Start*). Dari hasil penyusunan ulang jadwal ini didapatkan durasi percepatan proyek sebesar 60 hari dengan biaya total proyek sebesar Rp 611.609.685. Sehingga dari metode ini tidak diperlukan biaya tambahan karena biaya yang dikeluarkan sama dengan biaya normal.

Berdasarkan hasil pembahasan diatas maka metode yang dapat digunakan untuk percepatan Proyek Pekerjaan Penanganan longsor Area WTP Grand City Balikpapan berdasarkan penelitian ini adalah metode *Fast Track*. Dikarenakan hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan metode ini sangat optimal mulai dari waktu yang diperoleh sama dengan durasi normal yaitu sebesar 60 hari kerja. Kemudian biaya yang dikeluarkan pun sama dengan biaya normal tanpa ada biaya tambahan.

4. KESIMPULAN

1. Biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek percepatan dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* pada alternatif penambahan jam kerja (lembur) adalah sebesar Rp 664.593.423, sedangkan pada alternatif penambahan tenaga kerja sebesar Rp 644.856.028. Kemudian untuk metode *Fast Track* diperlukan biaya sebesar Rp 611.609.685, sehingga metode

dengan biaya optimal yang dapat digunakan adalah metode *Fast Track* yang digunakan pada proyek.

2. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek setelah percepatan menggunakan dua metode yaitu *Time Cost Trade Off* dengan dua alternatif dan *Fast Track* adalah selama 60 hari, sehingga metode dengan waktu optimal yang dapat digunakan adalah kedua metode tersebut.
3. Metode yang digunakan menyelesaikan rencana percepatan proyek adalah metode *Fast Track* dengan mengubah hubungan kerja pekerjaan yang ada pada jalur kritis dari hubungan kerja FS (*Finish to Start*) lalu dibuat menjadi hubungan kerja SS (Start to Start). Selain itu metode *Fast Track* memiliki biaya dan waktu yang paling optimal dan dapat digunakan pada proyek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih pada semua pihak yang terlibat dalam penelitian dan penyusunan jurnal ini.

REFERENSI

- Florensia, M. A. (2016). "Analisis *Time Cost Trade Off* untuk Mengejar Keterlambatan Proyek". Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.
- Heizer, J., dan B. Render. 2014. "Manajemen Operasi. Salemba", Empat. Jakarta.
- Levin, R. I. dan Kirkpatrick, C. A. (1972). "Perencanaan dan Pengawasan dengan PERT dan CPM". Bhratara. Jakarta.
- Priyo, M. S. S. (2017). "Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode *Time Cost Trade Off* pada Proyek Konstruksi : Studi Kasus Proyek Jalan Bugel-Galur-Poncosari Cs. Tahap I, Provinsi D.I. Yogyakarta". *Semesta Teknika*, 20(2), 172-186.
- Tjaturono, T. (2014). "Effect of Construction Labour Group Composition on Optimal Field Labour's Productivity in Malang-East Java." *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL* 18, 13-27

Analisis perhitungan estimasi biaya pada rumah tinggal 2 lantai menggunakan material kontainer bekas pakai

Alwan Adhirajasa Yoga^{a*}, Abdan Mulya Syakuro^b

^{a*}^b Universitas Sebelas Maret, Indonesia

Corresponding Author:

Email: alwan.yoga@gmail.com

Keywords:

Container, Cost, House

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The dwindling availability of land has resulted in an increase in the price of residential houses every year, moreover cities with relatively denser populations have an increase in house prices of more than 20% each year. The design of residential houses by utilizing used containers will save material, transportation, and construction costs, so it is hoped that this alternative can be developed to become a sustainable solution. The research was conducted by designing a 2-storey container house with a building area of 172.8 m² using the SketchUp2022 software and then calculating the estimation cost analysis. The results of the estimation costs show that container house needs cost of IDR 565,476,007.90 or IDR 2,827,380.04/m² included tax. So that container house can savings of 19.22% - 43.45% when compared to the average price of conventional houses in Indonesia of IDR 4,500,000.00 - IDR 6,000,000.00 per m².*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Rata-rata harga kenaikan rumah tinggal di Indonesia sekitar 20% pertahun, jauh melebihi suku bunga bank baik biasa maupun deposito yang hanya 2% - 6% pertahun (Tanjung, 2021). Ketersediaan lahan yang semakin menipis menjadi faktor utama terus meningkatnya harga rumah tinggal, terlebih kota-kota besar dengan angka pertumbuhan penduduk tinggi seperti Kota Jakarta memiliki angka kenaikan harga rumah tinggal bisa lebih dari 20% pertahun. Semakin naiknya harga rumah tinggal akan berdampak bagi kalangan masyarakat tertentu, untuk rumah subsidi saja harga yang ditawarkan sekitar Rp 150,000,000.00 juta hingga Rp 250,000,000.00 juta dengan luas bangunan tak lebih 25 m². Rancangan rumah tinggal dengan memanfaatkan kontainer bekas akan menghemat biaya material, transportasi, hingga proses konstruksi. Dengan metode pemasangan modular, proses konstruksi dapat dilakukan jauh lebih cepat dari rumah tinggal konvensional.

Kontainer merupakan bahan yang biasa digunakan untuk mengangkut keperluan komoditas yang didesain untuk tetap kering didalamnya/kedap air, tahan terhadap cuaca ekstrim, dan mampu menahan guncangan (Artha, 2016). Material ini berbahan dasar baja yang memiliki modulus elastisitas 200.000 MPa sehingga dengan kondisi tersebut, proses desain tak lagi memerlukan struktur tambahan. Proses desain hanya menentukan beban maksimal yang dapat diterima kontainer. Pertimbangan yang digunakan dari penggunaan kontainer bekas adalah : biaya yang murah, waktu pengerjaan cepat, mudah diangkut dan dimodifikasi, telah teruji kekuatan bahannya, tahan terhadap cuaca panas dan hujan, dan dapat disusun hingga 12 tumpukan, serta meminimalisir resiko terhadap bencana (Febrina & Pranoto, 2018). Disisi lain penggunaan material kontainer juga memiliki beberapa kerugian, yaitu : memiliki biaya investasi yang tinggi dan sumberdaya yang dibutuhkan harus cukup terampil dan memiliki wawasan luas mengingat alternatif ini masih sedikit diaplikasikan (Trissan & Agustia, 2021). Dengan menggunakan pendekatan rekayasa sipil dan arsitektur membuat desain rumah kontainer menjadi solusi ekonomis dari harga rumah tinggal yang terus naik serta layak dan nyaman untuk dihuni.

2. DATA DAN METODE

Dalam proses mendesain atau merencanakan rumah tinggal kontainer, desain dibuat menggunakan software SketchUp untuk mendapatkan volume pekerjaan yang akan digunakan untuk perhitungan estimasi biaya konstruksi. Estimasi biaya terdiri atas : material, alat, dan pekerja yang dihitung menggunakan metode Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Kontainer yang akan digunakan adalah jenis kontainer 20ft dan 40ft dengan dimensi luar panjang(m) x lebar(m) x tinggi(m) adalah 6 x 2,4 x 2,9 dan 12 x 2,4 x 2,9. Hasil dari perhitungannya akan dibandingkan dengan rata-rata biaya pembangunan rumah konvensional di Indonesia. Dalam proses merencanakan desain rumah tinggal kontainer, terdapat beberapa poin penting untuk dipertimbangkan, yaitu :

a. Perencanaan pondasi agar tahan terhadap gempa

Perencanaan pondasi wajib dilakukan agar nantinya saat alternatif ini diaplikasikan dapat digunakan secara berkelanjutan serta tahan terhadap guncangan maupun penurunan tanah akibat beban bangunan. Kontainer tidak hanya diletakkan diatas permukaan tanah melainkan perlu merencanakan jenis pondasi yang sesuai dengan kebutuhan (Anugrah dan Erny, 2013).

b. Material peredam panas dan suara

Kontainer merupakan material yang terbuat dari logam serta tidak didesain mampu meredam suara, mengingat kontainer bukanlah material yang akan dirancang sebagai hunian. Maka dari itu perlu untuk merencanakan material peredam panas dan suara sehingga nyaman saat digunakan. Pemilihan lapisan mineral wool dan aluminium foil yang diletakkan pada dinding utama dapat menjadi salah satu pilihan dalam meredam panas dan suara yang bising (A. Hafizh, 2009).

c. Modifikasi panel untuk ruang masuk udara dan cahaya

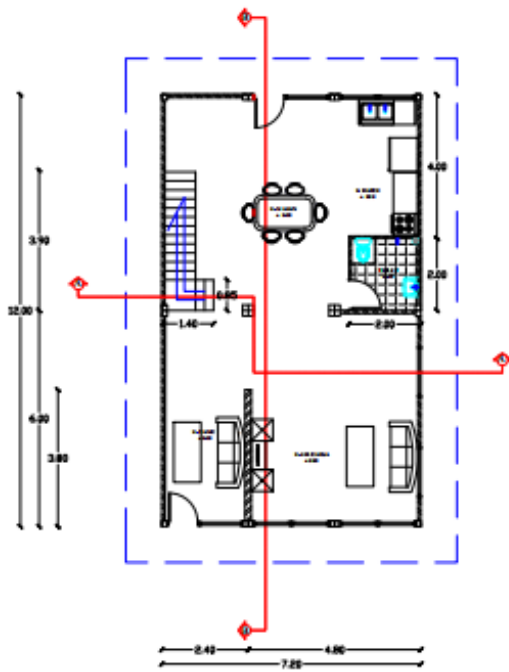
Kontainer didesain cukup rapat ditiap panelnya, maka dari itu saat proses perencanaan perlu untuk memodifikasi panel-panel tersebut untuk dijadikan pintu, jendela, dan ventilasi sebagai ruang masuk udara dan cahaya agar hunian tidak mudah lembab dan menjaga suhu udara.

d. Lapisan/cat tahan karat

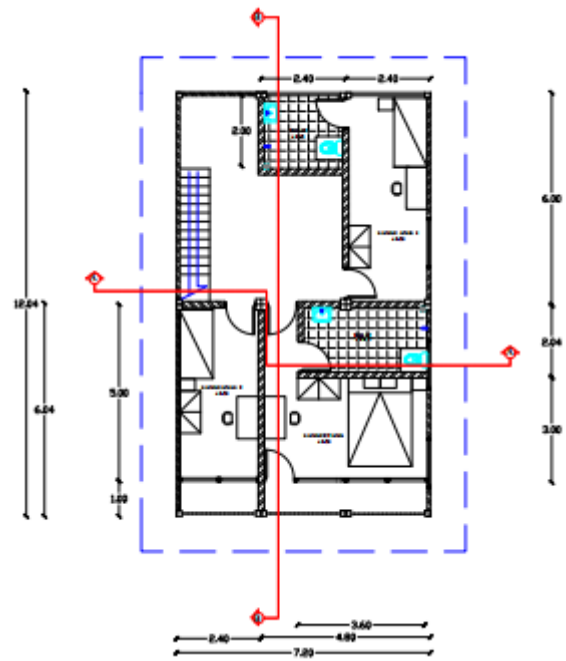
Sebelum digunakan, panel-panel kontainer terlebih dahulu dilapisi cat tahan karat sebelum pengecatan lapisan akhir agar material tahan terhadap korosi udara ataupun perubahan iklim. Penggunaan cat tahan karat akan menambah masa pemakaian dan tahan terhadap cuaca.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian berfokus pada perhitungan estimasi biaya rumah tinggal dengan memanfaatkan material kontainer bekas pakai untuk kemudian dibandingkan dengan rata-rata harga rumah tinggal konvensional di Indonesia. Tahap pertama yaitu mendesain rumah tinggal 2 lantai dengan luas 172.8 m² menggunakan *software* SketchUp dan AutoCad untuk mendapatkan volume pekerjaan. Gambar (1), (2), (3), (4) berikut merupakan hasil dari desain yang telah dibuat meliputi gambar denah dan tampak:



Gambar 1. Denah lantai 1



Gambar 2. Denah lantai 2



Gambar 3. Tampak depan



Gambar 4. Tampak 45°

Tabel 1. Spesifikasi rumah kontainer

No.	Uraian	Deskripsi	Volume
1	Pondasi	Batu kali 1SS:4PP	15.36 m ³
2	Kontainer	20ft 6 pcs & 40ft 3pcs	Ls
3	Dinding	Sandwich panel 20mm	69.53 m ²
4	Peredam panas dan suara	Mineral wool + alumunium foil	52.28 m ²
5	Lantai	Kayu parquet 5mm	172.8 m ²
6	Atap	Spandel galvalum 0,44 mm	131.13 m ²

Setelah proses desain dan penyusunan spesifikasi rumah kontainer terlihat pada tabel 1 selesai, dilakukan perhitungan estimasi biaya menggunakan metode Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Volume pekerjaan didapatkan dari tahap desain dan harga satuan pekerjaan dari tiap-tiap item pekerjaan didapatkan dan diolah oleh peneliti dari berbagai sumber yang dapat dipertanggungjawabkan seperti terlihat pada tabel 2. Berikut merupakan hasil dari perhitungan volume, harga satuan, dan rekapitulasi estimasi biaya rumah kontainer:

Tabel 2. Volume dan Harga Satuan Pekerjaan

No	Uraian	Volume	Harga Satuan
1	Pekerjaan Pendahuluan		
	Pembersihan lokasi	1 Ls	Rp 1,000,000.00
	Pasang 1m bowplank	66 m	Rp 3,391,971.00
	Pasang papan nama kegiatan	1 Ls	Rp 400,000.00
2	Pekerjaan Tanah		
	Galian 1m ³ tanah pondasi	29.18 m ³	Rp 2,114,380.80
	Urugan 1m ³ tanah kembali	9.73 m ³	Rp 514,611.20
	Urugan 1m ³ tanah peninggian lantai	47.52 m ³	Rp 8,118,506.88
	Urugan 1m ³ pasir bawah pondasi	3.48 m ³	Rp 420,589.56
3	Pekerjaan Pondasi		
	Pasang 1m cerucuk diameter 8-10 cm	44.00 m	Rp 7,774.86
	Pasangan 1m ³ pondasi batu kali 1SS:4PP	15.361 m ³	Rp 1,056,836.89
4	Pekerjaan Beton		
	1m ³ lantai kerja mutu 9.8 MPa	4.32 1m ³	Rp 1,094,801.48
	1m ³ Sloof 15/20	1.15 m ³	Rp 6,963,540.95
5	Pekerjaan Dinding		
	Pasang 1m ² rangka baja ringan	52.28 m ²	Rp 180,000.00
	Pasang 1m ² sandwich panel + insulation	104.56 m ²	Rp 65,975.27
6	Pekerjaan Lantai		
	Pasang 1m ² kayu parquet	172.8 m ²	Rp 218,543.13
7	Pekerjaan Atap dan Plafon		
	Pasang 1m ² rangka atap baja ringan	131.13 m ²	Rp 185,000.00
	Pasang 1m ² penutup atap genteng metal	131.13 m ²	Rp 116,506.50
8	Pekerjaan Kusen, Pintu, dan Jendela		
	Pasang 1m ³ kusen pintu	0.18 m ³	Rp 13,309,668.75
	Pasang 1m ³ kusen jendela	0.13 m ³	Rp 13,309,668.75
	Paang 1m ² daun pintu	10.05 m ²	Rp 688,683.25
	Pasang 1m ² daun jendela	3.85 m ²	Rp 688,683.25
	Pasang 1bh kunci pintu + handle	7 bh	Rp 300,000.00
	Pasang 1bh engsel pintu	21 bh	Rp 83,644.68
	Pasang 1bh engsel jendela	14 bh	Rp 56,904.88
	Pasang 1bh grendel jendela	7 bh	Rp 72,409.75
	Pasang 1m ² kaca bening t=5 mm	7.06 m ²	Rp 133,842.18
9	Pekerjaan Pengecatan		
	Pengecatan 1m ² kusen pintu dan jendela	10.32 m ²	Rp 66,182.50
	Pengecatan 1m ² daun pintu dan jendela	83.37 m ²	Rp 66,182.50

10 Pekerjaan Listrik dan Sanitasi		
Pasang titik lampu	12 bh	Rp 185,000.00
Pasang lampu LED 11 W	12 bh	Rp 65,000.00
Pasang stop kontak	10 bh	Rp 50,000.00
Pasang Kabel NYY 2 x 2.5 mm	150 m	Rp 43,750.00
Pasang kloset jongkok	4 bh	Rp 653,135.60
Pasang floor drain wc	4 bh	Rp 102,838.75
Pasang kran air 1/2"	6 bh	Rp 225,975.00
Instalasi air bersih pipa PVC 3/4"	1 bh	Rp 250,000.00
Instalasi air kotor pipa PVC 3"	1 bh	Rp 300,000.00
Pembuatan sumur bor + pompa air	1 bh	Rp 1,300,000.00
Septictank	1 bh	Rp 3,000,000.00

Setelah dilakukan perhitungan volume dan harga satuan pekerjaan diperoleh biaya konstruksi rumah kontainer seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi estimasi biaya rumah kontainer

No.	Uraian	Jumlah
1	Kontainer dan biaya kirim	Rp 330,000,000.00
2	Pekerjaan pendahuluan	Rp 4,792,972.00
3	Pekerjaan tanah	Rp 11,168,088.44
4	Pekerjaan pondasi	Rp 16,575,108.58
5	Pekerjaan beton	Rp 12,751,541.56
6	Pekerjaan dinding	Rp 16,308,774.23
7	Pekerjaan lantai	Rp 37,764,252.00
8	Pekerjaan atap dan plafond	Rp 39,536,547.35
9	Pekerjaan kusen, pintu, dan jendela	Rp 19,679,929.11
10	Pekerjaan pengecatan	Rp 6,200,638.43
11	Pekerjaan Listrik dan sanitasi	Rp 19,292,247.40
Total		Rp 514,069,098.09
PPN 10%		Rp 51,406,909.81
Total + PPN 10%		Rp 565,476,007.90
Harga per m²		Rp 2,827,380.04

Tabel 4 terlihat perbandingan harga rumah tinggal kontainer dan rumah tinggal konvensional. Rumah tinggal kontainer menghemat biaya konstruksi sebesar 19.22 % - 43.45 %.

Tabel 4. Perbandingan estimasi biaya rumah tinggal kontainer dan konvensional

Rumah Tinggal Kontainer (m²)	Rumah Tinggal Konvensional (m²)
Rp 2,827,380.04	Rp 3,500,000.00 - Rp 5,000,000.00 (Tanjung, 2018)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan analisis estimasi biaya yang telah dilakukan dengan mendesain rumah tinggal 2 lantai dengan luas bangunan 172.8 m² yang memanfaatkan material kontainer membutuhkan biaya sebesar Rp 565,476,007.90 atau Rp 2,827,380.04/m². Jika hasil tersebut dibandingkan dengan

rata-rata harga rumah tinggal konvensional di Indonesia sebesar Rp 3,500,000.00 - Rp 5,000,000.00 per m² maka alternatif rumah kontainer dapat mendapatkan persentase penghematan sebesar 19.22 % - 43.45 %. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat dikembangkan baik untuk penelitian maupun menjadi solusi berkelanjutan yang dapat direalisasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- A. Hafizh et al, Aluminium dan pengaruh paduannya. Bogor. 2009.
- Anugrah, P. dan Erny, H., (2013). Desain Pondasi Tahan Gempa Sesuai SNI 03-1762-2002 dan SNI 03-2847-2002. Andi Offset: Yogyakarta.
- Artha, N. J. (2016). Mengenal Petikemas / Kontainer.
- Febrina, S., & Pranoto, T. (2018, October). Alternatif Penggunaan Kontainer Bekas Menjadi Ruang Bangunan di Jawa Timur. In *Seminar Nasional Seni dan Desain 2018* (pp. 120-127). State University of Surabaya. <https://media.neliti.com/media/publications/266857-alternatif-penggunaan-kontainer-bekas-me-873b97e0.pdf>
- Tanjung, Asriman. (2018, Oktober 19). Kenaikan Nilai Properti Selalu Di Atas Suku Bunga Perbankan. Diakses Pada 26 Mei 2022. <https://asriman.com/kenaikan-nilai-properti-di-atas-suku-bunga-perbankan>
- Trissan, W., & Agustia, M. (2021). Design of Container Use as an Alternative Housing with Futuristic Modern Architecture Concept. *PARENTAS: Jurnal Mahasiswa Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 7(1), 24-31. <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/pts/article/view/2980>

Achieving optimal contractor selection: an AI-driven particle swarm optimization method

Moh Nur Sholeh^{ab*}, Mik Wanul Khosiin^{cd}, Asri Nurdiana^b, Shifa Fauziyah^b

^a Department of Civil and Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

^b Department of Civil and Planning, Vocational School, Diponegoro University, Indonesia

^c Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taiwan

^d Department of Civil Engineering, UPN Veteran East Java, Indonesia

Corresponding Author:

Email: mns@live.undip.ac.id

Keywords:

artificial intelligence, contractor selection, optimization, PSO

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Contractor selection plays a vital role in project management, where factors such as cost, quality, and time must be carefully considered. This study presents an innovative approach to optimize contractor selection using an AI-driven method based on Particle Swarm Optimization (PSO). The objective is to achieve the best possible selection of contractors by considering multiple criteria simultaneously. Real-world data on cost estimates, quality scores, and project times are collected and normalized for fair comparison. The PSO algorithm is utilized to search for the optimal combination of contractors that minimizes cost, maximizes quality, and minimizes project time. The proposed weighted objective function evaluates the performance of each contractor based on the selected criteria. The results demonstrate the effectiveness of the AI-driven PSO method in achieving optimal contractor selection. The findings highlight the potential of using AI techniques for decision-making in project management, enabling project stakeholders to make informed and data-driven contractor selection decisions. This research contributes to the growing body of knowledge on AI applications in project management and provides practical insights for project managers and stakeholders involved in contractor selection processes.

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. INTRODUCTION

In the realm of project management, one critical decision that profoundly influences project success is the selection of the right contractor. The contractor selection process entails evaluating multiple essential criteria, including cost, quality, and time, to identify the most suitable contractor for a given project (Cheaitou et al., 2019; El-khalek et al., 2019; Fauziyah et al., 2020). However, conventional methods relying on manual evaluations or subjective decision-making have shown limitations in achieving optimal outcomes (Polat, 2016). Fortunately, recent advancements in artificial intelligence (AI) and optimization techniques present exciting opportunities to revolutionize contractor selection (Ahmad et al., 2021; Dwivedi et al., 2021).

As of the current state of the art, the incorporation of AI-driven methods in contractor selection has gained considerable attention in the project management domain. Recent studies have explored various AI techniques, such as machine learning algorithms, genetic algorithms, and fuzzy logic-based approaches, to optimize contractor selection processes further (Huynh-The et al., 2023; Pan & Zhang, 2023). Machine learning models have been employed to predict contractor performance based on historical project data, enabling more informed decisions. Genetic algorithms have been utilized to optimize contractor portfolios, maximizing project outcomes while considering budget constraints and resource availability (El-Abbasy et al., 2016). Additionally, fuzzy logic-based models have been applied to handle the imprecision and uncertainty in decision-making, ensuring a more robust and reliable contractor selection process (Bagherian-Marandi et al., 2021; Islam et al., 2017). Despite these advancements, the utilization of Particle Swarm Optimization (PSO) as an AI-driven method for contractor selection, as proposed in this study, represents a novel and promising approach that offers unique advantages in simultaneously considering multiple criteria and achieving optimal contractor combinations.

To address the challenges faced by traditional approaches, this study introduces a groundbreaking approach to contractor selection by leveraging an AI-driven method based on Particle Swarm Optimization (PSO). Inspired by the collective behavior of bird flocking or fish schooling, PSO is a powerful population-based optimization algorithm that has proven effective in various problem domains (Wang et al., 2018). Its simplicity, effectiveness, and ease of implementation have made PSO a popular choice in optimization tasks, such as function optimization, parameter tuning, and neural network training. However, successful utilization of PSO hinges on carefully tuning parameters and selecting an appropriate fitness function tailored to the specific problem at hand (Cazzaniga et al., 2015; Del Ser et al., 2019).

The primary objective of this study is to achieve the best possible contractor selection by simultaneously considering cost, quality, and time criteria. Real-world data on cost estimates, quality scores, and project times are collected and normalized to ensure a fair and unbiased comparison (Uysal & Sonmez, 2023). By formulating the contractor selection as an optimization problem, the AI-driven PSO algorithm navigates the search space to identify the optimal combination of contractors that minimizes costs, maximizes quality, and reduces project time.

To evaluate the performance of each contractor comprehensively, a weighted objective function is employed, enabling the algorithm to capture the relative importance of cost, quality, and time in the selection process. By judiciously assigning weights to each criterion, the algorithm can iteratively improve contractor selection and identify the most advantageous choices.

The present research contributes significantly to the field of AI applications in project management, providing stakeholders with a systematic and data-driven approach to contractor selection. This approach empowers decision-makers with the tools to make informed choices, enhancing project outcomes and overall success. Furthermore, the study sheds light on the immense potential of AI techniques, particularly PSO, in tackling intricate decision-making problems within project management.

In the subsequent sections, we elaborate on the methodology used, detail the dataset utilized for experimentation, present the results of the contractor selection process, and discuss the practical implications and valuable insights derived from this pioneering research.

2. MODEL FRAMEWORK

Real-world data on contractors was collected, including cost estimates, quality scores, and project times, in the context of lean construction. The data collection process focused on gathering essential information related to contractors' performance and project outcomes (Wibowo et al., 2020). The dataset was carefully curated to ensure an accurate representation of the contractors' characteristics and performance. In this study, sample data from contractors and their cost, quality, and time performance were used. The contractor selection process is illustrated in Figure 1.

Step 1: data collection

Real-world data on contractors was collected, including cost estimates, quality scores, and project times. The dataset was carefully curated to ensure an accurate representation of the contractors' characteristics and performance. In this study, sample data from contractors and their cost, quality, and time performance were used.

Step 2: data preprocessing

The collected data was normalized using the range normalization method, scaling the values between 0 and 1. This normalization allowed for fair comparison across different criteria.

Step 3: objective function formulation

A weighted objective function was formulated to evaluate the performance of each contractor. The cost, quality, and time criteria were assigned appropriate weights to reflect their relative importance in the selection process. The objective function aimed to balance these criteria and guide the optimization process effectively.

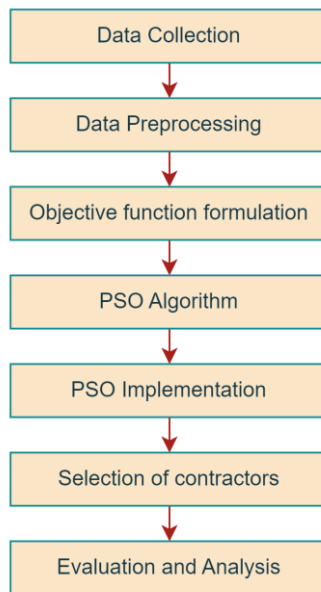


Figure 1. Contractor selection process

The objective function used for the contractor selection process is formulated as a weighted sum of the normalized cost, quality, and project time values. Let n be the total number of contractors considered for selection, and let $C(i)$, $Q(i)$, and $T(i)$ represent the normalized cost, quality score, and project time, respectively, for contractor i .

The objective function can be expressed as:

$$\text{objectiveValue} = wC * \sum(C(i) * \text{selected}(i)) + wQ * \sum(Q(i) * \text{selected}(i)) + wT * \sum(T(i) * \text{selected}(i)) \quad (1)$$

where $\text{selected}(i)$ is an indicator function that takes a value of 1 if contractor i is selected and 0 otherwise. In this equation, the weights wC , wQ , and wT represent the relative importance assigned to the cost, quality, and project time criteria, respectively. These weights can be adjusted based on the specific requirements and priorities of the project.

Step 4: particle swarm optimization (PSO) algorithm

The particle swarm optimization (PSO) algorithm, inspired by collective behavior observed in nature, was used to optimize the contractor selection process. The algorithm was initialized with parameters such as the number of particles and maximum iterations.

Step 5: PSO implementation

The PSO algorithm was implemented using the particleswarm function in MATLAB. The objective function, dimensions, lower and upper bounds, swarm size, and maximum iterations were specified. The PSO algorithm then explored the search space of contractor selections to find the optimal combination that minimized cost, maximized quality, and minimized project time.

Step 6: selection of contractors

The selected contractor indices were obtained based on the final position of the particles from the PSO optimization. These indices corresponded to the contractors chosen as part of the optimal combination. The contractors associated with these selected indices were identified. If no contractor indices were selected, it was concluded that none of the contractors met the optimization criteria.

Step 7: evaluation and analysis:

The effectiveness of the AI-driven PSO method in achieving optimal contractor selection was evaluated. A comparison was made between the selected contractors and the original dataset to

analyze improvements in cost, quality, and project time. Sensitivity analyses were conducted to assess the impact of changing weights or optimization parameters on the selection outcome.

The methodology was implemented using MATLAB and its built-in PSO optimization algorithm. The code execution took place on a computer with specified hardware resources. It is important to acknowledge certain limitations of the methodology. These may include factors such as data availability and quality, subjective weight assignments, or potential biases that could impact the results.

3. DISCUSSION

The contractor selection process commenced with the collection of real-world data from contractors, including cost estimates, quality scores, and project times (Table 1). The dataset was carefully curated to ensure an accurate representation of the contractors' characteristics and performance. Table 1 provides a comprehensive overview of the contractors' cost estimates, quality scores, and project times, facilitating a clear and concise representation of the information. This table served as a valuable reference for the subsequent contractor selection process and the analysis of the results obtained from the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm.

Table 1. Contractor data

No.	Contractor name	Cost estimate (USD)	Quality score (1-10)	Project time (days)
1	Contractor A	5000	8	30
2	Contractor B	6000	9	28
3	Contractor C	5500	7	32
4	Contractor D	4800	9	29
5	Contractor A	5000	8	30

The parameter values chosen for this study were based on common practices and can be adjusted to suit the specific needs and characteristics of the contractor selection problem. Table 2 provides a comprehensive summary of the PSO parameters used, facilitating replication and understanding of the experimental setup. These parameters played a crucial role in the optimization process, enabling the PSO algorithm to converge towards an optimal solution for contractor selection.

Table 2. PSO parameters

Parameter	Value
Number of Particles	5
Number of Iterations	10
Cognitive Weight (c1)	1.0
Social Weight (c2)	1.0

After running the PSO algorithm with the specified parameters, the algorithm converged to a solution. The objective values for all possible combinations of contractors were calculated to assess their performance in terms of cost, quality, and project time. Each combination represents a specific selection of contractors, where a value of 1 indicates that the corresponding contractor is selected and a value of 0 indicates that the contractor is not selected.

Table 3 presents the objective values for each combination of contractors, providing insights into their performance. The "Combination" column represents a specific selection of contractors, where each digit (0 or 1) corresponds to the selection status of a contractor. For example, "0 0 0 0" indicates that none of the contractors were selected, while "1 1 1 1" indicates that all contractors were selected.

Table 3. Objective values for contractor combinations

No.	Combination	Objective Value	No.	Combination	Objective Value
1	0 0 0 0	0.00	9	1 0 0 0	0.33
2	0 0 0 1	0.35	10	1 0 0 1	0.68
3	0 0 1 0	0.49	11	1 0 1 0	0.83
4	0 0 1 1	0.84	12	1 0 1 1	1.18
5	0 1 0 0	0.80	13	1 1 0 0	1.13
6	0 1 0 1	1.15	14	1 1 0 1	1.48
7	0 1 1 0	1.29	15	1 1 1 0	1.62
8	0 1 1 1	1.64	16	1 1 1 1	1.98

The "Objective Value" column represents the overall performance metric for each combination. This value is calculated based on the weighted objective function, which takes into account the normalized cost estimates, quality scores, and project times of the selected contractors. A lower objective value indicates a more favorable selection, as it represents a combination that achieves a better balance between cost, quality, and project time.

For instance, in Table 3, the combination "0 0 0 0" has an objective value of 0.00, indicating that selecting none of the contractors results in the most favorable overall performance. On the other hand, the combination "1 1 1 1" has an objective value of 1.98, suggesting that selecting all contractors yields a less optimal performance compared to other combinations.

By analyzing the objective values in Table 3, it becomes possible to identify combinations that offer better overall performance in terms of cost, quality, and project time. These combinations can guide the decision-making process in selecting contractors that best meet the project requirements and priorities.

The results obtained from the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm are presented in Fig. 2, which displays the convergence curve over 100 iterations. The objective value starts at an initial value of 10 at iteration 1 and gradually decreases, reaching convergence at iteration 35 with an objective value of 0.

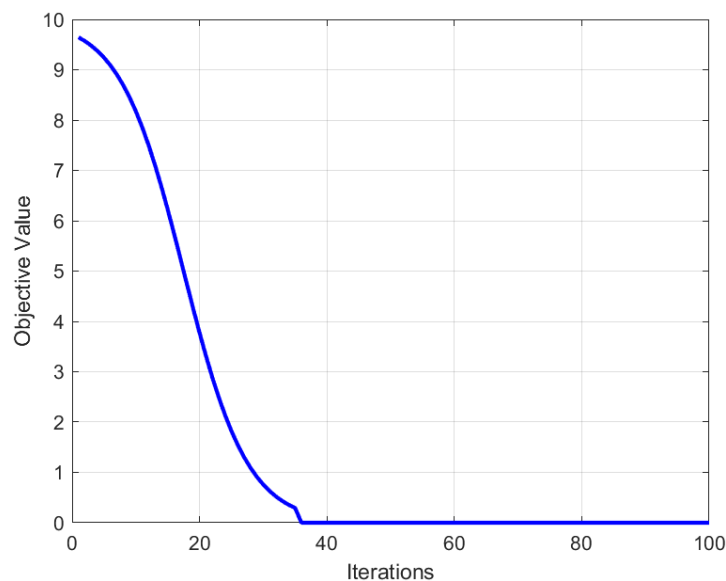


Figure 2. Convergence curve for the objective value in contractor selection optimization

Fig. 2 demonstrates the effectiveness of the PSO algorithm in efficiently exploring the search space and locating the optimal solution. The smooth convergence curve indicates a gradual reduction in the

objective value with each iteration, showcasing the PSO algorithm's ability to converge towards the optimal solution.

These results enable the identification of combinations with lower objective values, indicating better overall performance in terms of cost, quality, and project time. Combinations with lower objective values can guide the decision-making process in selecting contractors that best meet the project requirements and priorities.

The effectiveness of the PSO algorithm in selecting contractors that achieve a balance between cost, quality, and project time is demonstrated by these results. The selected contractor(s) are expected to provide a favorable outcome in terms of project performance and cost-effectiveness.

4. CONCLUSION

Contractor selection is a critical aspect of project management, requiring careful consideration of factors such as cost, quality, and time. In this study, we propose an innovative approach that leverages an AI-driven method based on Particle Swarm Optimization (PSO) to optimize contractor selection. The objective is to achieve the best possible combination of contractors by simultaneously considering multiple criteria.

To ensure fair comparison, real-world data on cost estimates, quality scores, and project times are collected and normalized. The PSO algorithm is then employed to search for the optimal solution that minimizes cost, maximizes quality, and minimizes project time. The proposed weighted objective function enables the evaluation of each contractor's performance based on the selected criteria.

The results of our study demonstrate the effectiveness of the AI-driven PSO method in achieving optimal contractor selection. By leveraging AI techniques, project stakeholders can make informed and data-driven decisions when selecting contractors. The findings highlight the potential of AI applications in project management, particularly in the context of contractor selection.

This research contributes to the growing body of knowledge on AI applications in project management. It provides practical insights for project managers and stakeholders involved in contractor selection processes. By embracing AI-driven methods, decision-makers can enhance the accuracy and efficiency of contractor selection, leading to improved project outcomes. In conclusion, the integration of AI techniques, specifically the PSO algorithm, offers significant benefits in optimizing contractor selection. This research underscores the importance of incorporating advanced technologies into project management practices, paving the way for more informed and effective decision-making processes.

REFERENSI

- Ahmad, T., Zhang, D., Huang, C., Zhang, H., Dai, N., Song, Y., & Chen, H. (2021). Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125834.
- Bagherian-Marandi, N., Ravanshadnia, M., & Akbarzadeh-T, M.-R. (2021). Two-layered fuzzy logic-based model for predicting court decisions in construction contract disputes. *Artificial intelligence and law*, 1-32.
- Cazzaniga, P., Nobile, M. S., & Besozzi, D. (2015). The impact of particles initialization in PSO: parameter estimation as a case in point. 2015 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB),
- Cheaitou, A., Larbi, R., & Al Housani, B. (2019). Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 68, 100620.
- Del Ser, J., Osaba, E., Molina, D., Yang, X.-S., Salcedo-Sanz, S., Camacho, D., Das, S., Suganthan, P. N., Coello, C. A. C., & Herrera, F. (2019). Bio-inspired computation: Where we stand and what's next. *Swarm and Evolutionary Computation*, 48, 220-250.
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., Duan, Y., Dwivedi, R., Edwards, J., & Eirug, A. (2021). Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging

challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, 101994.

- El-Abbasy, M. S., Elazouni, A., & Zayed, T. (2016). MOSCOPEA: Multi-objective construction scheduling optimization using elitist non-dominated sorting genetic algorithm. *Automation in Construction*, 71, 153-170.
- El-khalek, H. A., Aziz, R. F., & Morgan, E. S. (2019). Identification of construction subcontractor prequalification evaluation criteria and their impact on project success. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 217-223.
- Fauziyah, S., Sholeh, M., & Nurjihad, F. (2020). Design of Sustainable Construction Through Value Engineering of an Automated People Mover System Project. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Huynh-The, T., Pham, Q.-V., Pham, X.-Q., Nguyen, T. T., Han, Z., & Kim, D.-S. (2023). Artificial intelligence for the metaverse: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 117, 105581.
- Islam, M. S., Nepal, M. P., Skitmore, M., & Attarzadeh, M. (2017). Current research trends and application areas of fuzzy and hybrid methods to the risk assessment of construction projects. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 112-131.
- Pan, Y., & Zhang, L. (2023). Integrating BIM and AI for smart construction management: Current status and future directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(2), 1081-1110.
- Polat, G. (2016). Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 1042-1054.
- Wang, D., Tan, D., & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: an overview. *Soft computing*, 22, 387-408.
- Wibowo, M. A., Sholeh, M. N., & Rizkyawan, A. (2020). Lean construction: Evaluation of waste and carbon footprint in construction project. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,

Pengaruh sosialisasi kesadaran berkeselamatan di jalan dalam membangkitkan sikap safety riding pada generasi z

Galih Wulandari Subagyo^{a*}, Fredy Jhon Philip Sitorus^b, Rizka Arbaningrum^c, Fahreza Ananda^d, Olivia Helena Esterfien Lakat^e, Aqilla Dhaifa Anjani^f

^{abc} Department of Civil Engineering, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

^{def} Center for Urban Studies, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

Corresponding Author:

Email: galih.wulandari@upj.ac.id

Keywords:

Traffic, accident, Safety

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *In fact, traffic accidents are a routine occurrence in the world and are one of the biggest causes of death in the world. Based on data obtained by WHO, traffic accidents cause 1.2 million deaths per year in low and middle income countries. 1000 deaths per year for under the age of 25 in the world so that traffic accidents are the highest cause of death for the category of children and adolescents in the age range of 5 to 29 years. However, one thing that is of concern is how to change the societal paradigm of traffic behavior so as to foster a culture of safety, especially from an early age. One of the strategic steps is through outreach to students from Kindergarten, Elementary, Middle School to SMA/SMK levels. The community service program is carried out at Pembangunan Jaya Middle School, located on Jl. Bintaro Utama 3A Pondok Karya Village, Pondok Aren sub-district, South Tangerang city. In socialization activities carried out at the initial stage and at the final stage by distributing pretest and posttest, of course this serves to find out the understanding of the material conveyed by the resource persons. Data processing from pretest and posttest results using IBM SPSS assistance by testing several testers. Of course, it is hoped that the results of the test will show understanding from the students of SMP Pembangunan Jaya so that later it can raise awareness about improving safety. Based on the results of the paired samples t test analysis using IBM SPSS in Figure 5, $p = 0.00$ ($p < 0.05$), so that H_a is accepted and H_0 is rejected, meaning that there is a significant influence on the socialization activities to raise awareness on road safety in Generation Z especially on the theme of Attitude towards Safety Riding.*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Dalam faktanya kecelakaan lalu lintas merupakan kejadian yang rutin terjadi di dunia dan menjadi salah satu penyebab kematian terbesar di dunia. Berdasarkan data yang diperoleh oleh WHO, kecelakaan lalu lintas menyebabkan kematian sebesar 1,2 juta per tahun di negara berpendapatan rendah dan menengah. 1000 kematian per hari bagi di bawah usia 25 tahun di dunia sehingga kecelakaan lalu lintas menjadi penyebab tertinggi kasus kematian untuk kategori anak-anak dan remaja pada rentang usia 5 sampai 29 tahun. Pada kawasan Asia Tenggara, kecelakaan lalu lintas menimbulkan korban jiwa sebanyak 316.000 orang setiap tahunnya yang memberikan kontribusi 25% dari total kematian secara global akibat kecelakaan lalu lintas (WHO, 2015).

Mayoritas kecelakaan lalu lintas melibatkan pejalan kaki, pesepeda, pengendara motor roda dua dan penumpang angkutan umum. Banyak faktor yang menyebabkan kecelakaan, namun secara umum faktor manusia, faktor kendaraan dan faktor jalan serta faktor alam merupakan faktor utama penyebab kecelakaan (Heply and Siahaan, 2022). Sedangkan salah satu faktor penyebab kecelakaan lalu lintas didominasi oleh faktor manusia dimana pelanggaran terhadap aturan lalu lintas merupakan awal dari terjadinya kecelakaan. Umumnya pelanggaran yang terjadi adalah pelanggaran batas kecepatan, penggunaan helm, sabuk pengaman (*safety belt*) dan kursi pengaman anak dan pengaruh alkohol. Selain itu, faktor kurangnya pengetahuan dan pengalaman juga menjadi salah satu faktor penyebab kecelakaan di usia remaja yang cenderung mengambil perilaku berisiko yang meningkatkan risiko terlibat dalam kecelakaan (Yeh and Chang, 2009).

Strategi dalam upaya melindungi anak-anak terhadap lalu lintas dapat dilakukan dengan perencanaan infrastruktur yang berkeselamatan dan ramah bagi golongan *nonmotorized* seperti pejalan kaki dan pesepeda. Namun satu hal yang menjadi perhatian adalah bagaimana mengubah paradigma masyarakat terhadap perilaku berlalu lintas sehingga menumbuhkan budaya berkeselamatan khususnya dari usia dini. Perlu adanya program pendampingan yang efektif bagi kelompok usia rentan terhadap kecelakaan lalu lintas khususnya bagi kelompok usia yang baru memiliki SIM (Rahman *et al.*, 2021). Salah satu langkah strategi adalah melalui sosialisasi terhadap siswa dari tingkat TK, SD, SMP hingga SMA/SMK sebagai pengguna jalan (Shofiah *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan di targetkan untuk mengetahui kesadaran berkendara khususnya pada generasi z, dimana pada generasi tersebut pada saat ini berada pada tingkat SMP.

Kegiatan ini dilakukan di SMP Pembangunan Jaya yang berlokasi di Jl. Bintaro Utama 3A Kelurahan Pondok Karya kecamatan Pondok Aren kota Tangerang Selatan. Lokasi SMP Pembangunan Jaya dipilih untuk melakukan kegiatan ini karena berada di jalan dengan lalu lintas yang sangat padat dan tingkat kepemilikan kendaraan yang tinggi, selain hal tersebut beberapa faktor yang menjadikan lalu lintas padat yaitu jalan tersebut berada pada kawasan perkotaan yang terdiri dari perkantoran, sekolah, rumah sakit hingga pusat perbelanjaan. Penelitian ini penting dilakukan karena meningkatnya jumlah pengendara kendaraan khususnya bagi usia setingkat SMP, dimana pada usia tersebut adalah rentan usia yang belum mendapatkan izin berkendara dan masih sangat membutuhkan kesadaran terkait keselamatan lalu lintas.

Dalam kegiatan sosialisasi dilakukan pada tahap awal dan di tahap akhir dengan menyebarkan *pretest* dan *posttest*, tentunya hal tersebut berfungsi untuk mengetahui pemahaman akan materi yang di sampaikan oleh narasumber. Proses pengolahan data dari hasil *pretest* dan *posttest* menggunakan bantuan IBM SPSS dengan menguji beberapa pengujian yaitu : pengujian deskriptif, pengujian validitas, pengujian reliabilitas, pengujian normalitas dan pengujian paired. Hasil dari pemahaman peserta sosialisasi ini diharapkan mampu meningkatkan kesadaran (*awareness*) terhadap peningkatan keselamatan sebagai salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan, yaitu kota dan pemukiman yang berkelanjutan. Adapun salah satu targetnya adalah pada tahun 2030 akan tersedianya akses terhadap sistem transportasi yang aman, terjangkau, mudah diakses dan berkelanjutan untuk semua, meningkatkan keselamatan lalu lintas, terutama dengan memperluas jangkauan transportasi umum, dengan memberi perhatian khusus pada kebutuhan mereka yang berada dalam situasi rentan, perempuan, anak, penyandang difabilitas dan orang tua.

2. DATA DAN METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode *literature review* karena akan di analisis dari kegiatan yang dilakukan terhadap topik atau pertanyaan terhadap suatu bagian dari keilmuan, yang berarti dari berbagai preseden *literature* diambil esensinya dan dibandingkan dari segi judul, pendekatan, tujuan, dan hasilnya.

Pengujian Deskriptif

Tujuan utama analisis statistik deskriptif untuk memberikan gambaran mengenai variable-variabel yang digunakan, seperti nilai minimum, nilai maksimum, rata-rata dan standar deviasi pada masing-masing penelitian. Analisis statistik deskriptif menunjukkan gambaran kondisi dan karakteristik jawaban responden untuk masing-masing konstruk atau variabel yang diteliti. Analisis deskriptif dilakukan dengan menyajikan data ke dalam tabel distribusi frekuensi, menghitung nilai rata-rata, skor total, dan tingkat pencapaian responden (TCR), serta menginterpretasikannya. Analisis statistik deskriptif bertujuan untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data sehingga dapat disajikan dalam tampilan yang lebih baik (Ghozali, 2018).

Pengujian Validitas

Validitas berhubungan dengan suatu peubah mengukur apa yang seharusnya diukur. Validitas dalam penelitian menyatakan derajat ketepatan alat ukur penelitian terhadap isi sebenarnya yang diukur. Uji validitas adalah uji yang digunakan untuk menunjukkan sejauh mana alat ukur yang digunakan dalam suatu mengukur apa yang diukur (Ghozali, 2018). Uji validitas digunakan untuk mengukur sah, atau

valid tidaknya suatu kuesioner. Suatu kuesioner dikatakan valid jika pertanyaan pada kuesioner mampu untuk mengungkapkan sesuatu yang akan diukur oleh kuesioner tersebut.

Pengujian Reliabilitas

Reliabilitas menunjuk pada suatu pengertian bahwa instrumen yang digunakan dalam penelitian untuk memperoleh informasi yang digunakan dapat dipercaya sebagai alat pengumpulan data dan mampu mengungkap informasi yang sebenarnya dilapangan (Sitinjak and Sugiarto, 2006). Reliabilitas adalah alat untuk mengukur suatu kuesioner yang merupakan indikator dari peubah atau konstruk. Suatu kuesioner dikatakan reliabel atau handal jika jawaban seseorang terhadap pernyataan adalah konsisten atau stabil dari waktu ke waktu. Reliabilitas suatu test merujuk pada derajat stabilitas, konsistensi, daya prediksi, dan akurasi. Pengukuran yang memiliki reliabilitas yang tinggi adalah pengukuran yang dapat menghasilkan data yang reliabel (Ghozali, 2018).

Pengujian Normalitas

Uji normalitas adalah untuk melihat apakah nilai residual terdistribusi normal atau tidak. Model regresi memerlukan normalitas pada nilai residualnya bukan pada masing-masing variabel penelitian. Uji normalitas dilakukan untuk menguji apakah variabel bebas/independent/(X) dan variabel terikat/dependen/(Y) dalam model regresi memiliki distribusi normal atau tidak, Juliandi (2014).

Pengujian Paired

Menurut (Priyatno, 2018), uji t sampel berpasangan atau uji Paired Samples *T Test* digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata antara dua kelompok data yang berpasangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan kegiatan terlebih dahulu dilakukan *pretest* kepada siswa dan siswi SMP Pembangunan Jaya yang akan terlibat dalam kegiatan untuk mengetahui kemampuan awal yang dimiliki oleh mereka terkait dengan Sikap terhadap *safety riding*.

Tabel 1. Data Hasil Pretest Sikap Terhadap *Safety Riding*

	N	Min	Max	Mean	Std.D
<i>Pretest</i>	32	45	65	57.23	5.26

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata hasil pretest pada kegiatan sosialisasi membangkitkan kesadaran berkeselamatan di jalan pada generasi z terutama pada tema sikap terhadap *safety riding* pemahaman siswa dan siswi SMP Pembangunan Jaya sebesar 57.23, dengan dengan standar deviasi 5.26, sementara nilai maximal yang diperoleh sebesar 65 dan nilai minimum sebesar 45.

Tabel 2. Data Hasil *Posttest* Sikap Terhadap *Safety Riding*

	N	Min	Max	Mean	Std.D
<i>Posttest</i>	32	50	69	61.12	3.68

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata hasil posttest pada kegiatan sosialisasi membangkitkan kesadaran berkeselamatan di jalan pada generasi z terutama pada tema sikap terhadap *safety riding* pemahaman siswa dan siswi SMP Pembangunan Jaya sebesar 61.12, dengan dengan standar deviasi 3.68, sementara nilai maximal yang diperoleh sebesar 69 dan nilai minimum sebesar 50.

Dari hasil kuisisioner terhadap peserta sosiasisali diperoleh 32 responden Berdasarkan Gambar 1, uji reliabilitas diperoleh bahwa nilai Cronbach's alpha pada *pretest* sebesar 0.643 dan *posttest* sebesar 0.696. Maka dapat dikatakan bahwa seluruh item reliabel dan seluruh tes secara konsisten memiliki reliabilitas yang tinggi.

Reliability Statistics (pretest)

Cronbach's Alpha	N of Items
,643	14

Reliability Statistics (posttest)

Cronbach's Alpha	N of Items
------------------	------------

,696	14
------	----

Gambar 1. Hasil Uji reliabilitas

Pada uji validasi , hasil suatu instrument dapat dikatakan valid apabila nilai korelasi $R_{hitung} > R_{tabel}$ dan *level of significance* (α) sebesar 0,05. Pada pengujian ini, instrument menggunakan sampel sebanyak 32 orang dengan R_{tabel} yang didapatkan yaitu sebesar 0,349 sesuai pada **Tabel 3** dan uji validitas dilakukan menunjukkan bahwa seluruh atribut pertanyaan adalah valid karena $R_{hitung} > R_{tabel}$.

Tabel 3. Hasil Uji Validasi

Atribut	Pretest		Posttest		Keterangan
	R_{hitung}	R_{tabel}	R_{hitung}	R_{tabel}	
X1	0.333	0,349	0.398	0,349	tidak valid
X2	0.219	0,349	0.558	0,349	tidak valid
X3	0.552	0,349	0.216	0,349	tidak valid
X4	0.431	0,349	0.489	0,349	valid
X5	0.599	0,349	0.574	0,349	valid
X6	0.453	0,349	0.498	0,349	valid
X7	0.726	0,349	0.576	0,349	valid
X8	0.655	0,349	0.482	0,349	valid
X9	0.335	0,349	0.546	0,349	valid
X10	0.312	0,349	0.638	0,349	valid
X11	0.415	0,349	0.458	0,349	valid
X12	0.214	0,349	0.271	0,349	tidak valid
X13	0.348	0,349	0.289	0,349	tidak valid
X14	0.314	0,349	0.210	0,349	tidak valid

Sebelum dilakukan uji paired test, data perlu di uji untuk mengetahui apakah data tersebut dapat terdistribusi dengan normal atau tidak yaitu dengan menggunakan uji normalitas dengan menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*.

		Unstandardized Residual
N		94
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000000
	Std. Deviation	4.20350495
Most Extreme Differences	Absolute	.089
	Positive	.050
	Negative	-.089
Test Statistic		.089
Asymp. Sig. (2-tailed)		.062 ^c

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.
- c. Lilliefors Significance Correction.

Gambar 2. Hasil Uji Normalitas

Data dapat dikatakan normal apabila nilai *sig. Kolmogorov-Smirnov* $> 0,05$. Menurut **Gambar 2**, hasil pengujian normalitas menunjukkan bahwa nilai *sig. (2-tailed)* adalah 0.062 sehingga dapat disimpulkan bahwa data terdistribusi secara normal. Kemudian membandingkan rata-rata kedua kelompok untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara rata-rata dua kelompok yang memiliki pasangan dengan menggunakan uji *T-test*, hipotesis pada pengujian ini adalah sebagai berikut :

- H_a : pengaruh yang bermakna pada kegiatan pengaruh sosialisasi kesadaran berkeselamatan di jalan dalam membangkitkan sikap safety riding pada generasi Z
- H_o : tidak terdapat pengaruh yang bermakna pada kegiatan pengaruh sosialisasi kesadaran berkeselamatan di jalan dalam membangkitkan sikap safety riding pada generasi Z

Berdasarkan hasil analisis uji *paired samples t test* menggunakan IBM SPSS pada Gambar 5, didapatkan $p = 0,00$ ($p < 0,05$), sehingga H_a di terima dan H_o di tolak artinya terdapat pengaruh yang bermakna pada kegiatan.

Pair 1	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
PRETEST 1 - POSTEST 1	-4.309	5.787	.597	-5.494	-3.123	-7.219	93	.000

Gambar 3. Hasil Uji T-Test

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa para siswa dan siswi SMP Pembangunan Jaya mempunyai peningkatan pemahaman setelah dilakukannya kegiatan sosialisasi membangkitkan kesadaran berkeselamatan di jalan pada generasi z, terbukti dengan hasil pengujian dari Paired Sampel yang mana pada Sikap terhadap *Safety Riding* mempunyai derajat kepercayaan 94% hasil uji statistik didapatkan $p = 0,00$ ($p < 0,05$).

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini didanai melalui kegiatan penelitian Hibah Universitas Pembangunan Jaya dengan no. 10/PER-P2M/UPJ/11.22 Tahun Anggaran 2022. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Pembangunan Jaya dan SMP Pembangunan Jaya yang telah memfasilitasi kegiatan sosialisasi membangkitkan kesadaran berkeselamatan di jalan pada generasi Z.

REFERENSI

- Dinas Perhubungan Republik Indonesia. (2005). Kamus besar keselamatan lalu lintas. Jakarta: Dinas Perhubungan RI.
- Ghozali, I. (2018) *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 25*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Hendrati, I. N., & Ayu, K. W. (2013). Kajian penerapan safety riding pada pengguna sepeda motor. *Jurnal Transportasi*, 13(3), 189-198.
- Heply, S.A. and Siahaan, D.Z. (2022) 'Analisis Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Tanjung Pinang Iskandar, N.M. (2016). Keselamatan Berkendara Sepeda Motor Siswa Smkn 3 Pekalongan Tahun Ajaran 2015 / 2016.
- Kepulauan Riau', *Aufklarung: Jurnal Pendidikan*, 2(3), pp. 200–214.
- Kusmawan, D. (2021). Peningkatan Awareness , Pengetahuan Dan Sikap Dalam Keselamatan Berkendara (Safety Riding) Untuk Murid Smkn 2 Kota Jambi. 2(4), 913–920. <https://doi.org/10.31949/jb.v2i4.1343>
- Permatasari, A. (2018). Gambaran Perilaku Keselamatan Berkendara Pada Pelajar Sma Dua Mei Ciputat Timur Tahun 2017 Skripsi.
- Priyatno, D. (2018) *SPSS : panduan mudah olah data bagi mahasiswa dan umum*. Yogyakarta: Andi.
- Rahman, M.A. et al. (2021) 'Understanding the contributing factors to young driver crashes: A comparison of crash profiles of three age groups', *Transportation Engineering*, 5(November 2020), p. 100076. doi:10.1016/j.treng.2021.100076.
- Setyowati, D. L., & Ramdan, I. M. (2020). Penyuluhan tentang Safety Riding pada Siswa Sekolah Menengah Pertama Yayasan Pendidikan Samarinda (YPS). 11(2), 196–201.
- Shofiah, S. et al. (2023) 'ROAD SAFETY GO TO SCHOOL SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN', 4(2), pp. 2136–2140.
- Sitinjak, T. and Sugiarto (2006) *Lisrel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Syaputra, E. M., Rahmawati, A., & Nurbaeti, T. S. (2020). Sosialisasi Keselamatan Berkendara (Safety Riding) pada Siswa TK Mutiara DWP Indramayu. 2(September), 0–4.
- Tamrin, S. B. M., Quek, K. F., Haniff, J., Loo, P. L., & Haron, N. (2018). Factors influencing unsafe motorcycle riding behaviour among adolescents in Malaysia. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 18(3), 0–0. Retrieved from http://www.mjphm.org.my/mjphm/index.php?option=com_content&view=article&id=140
- Truelove, V., Chliaoutakis, J., & Papadakaki, M. (2015). Road traffic crashes among young adult motorcyclists: A systematic review of risk and protective factors. *Aggressive Behavior*, 41(5), 394-409. doi:10.1002/ab.21620

- Twisk, D. A., Bos, N. M., & Stomph, M. H. (2014). The effect of safety education on the safety behaviour of young motorcyclists: A systematic review and meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 191-207.
- Wahyuningsih, I., & Ramdana, S. (2020). Pengetahuan dan Perilaku Safety Riding Siswa SMA. 14(4), 564-572.

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

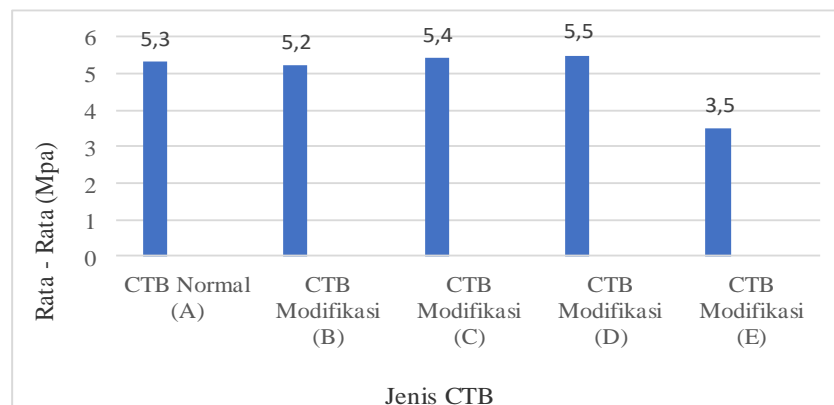
Pada penelitian yang dilakukan untuk menentukan kelayakakan bahan dapat digaris bawahi bahwa agregat kasar Ex. Ungaran yang telah dianalisis dapat digunakan sebagai campuran agregat kelas A pada lapis pondasi atas CTB yang ditunjukkan pada Tabel 3.

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 bahawa 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%)

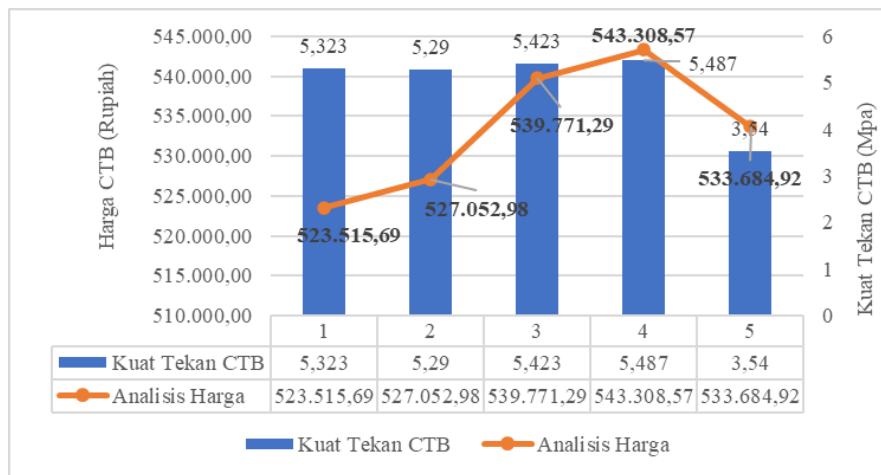
Tabel 6. Hasil Analisis Harga CTB Variasi D 1 m³

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.