



ISSN 2654-4482
(media online)

Jurnal

PROYEK TEKNIK SIPIL

JPTS

Vol 7

No 2

Hal 1-60

Semarang, September 2024

ISSN 2654-4482
(media online)

JURNAL

PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 7 Nomor 2 September 2024

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

Dewan Editor : Prof. Ir. Mochamad Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D.
(Editorial Board) Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Purwanto, M.T., M.Eng.
Helen Gianditha Wayangkau, ST, MT
Amanatullah Savitri, ST, M.Eng
Tri Sudiby, S.T., M.Sc.

Sekretariat Redaksi : Fardzanela Suwanto, ST, MSc, PhD
(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 :
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Alamat Redaksi/Penerbit:
Departemen Sipil dan Perencanaan, 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 7 Nomor 2 September 2024

DAFTAR ISI

1. Kajian Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Daerah pada Pelaksanaan KPBU Availability Payment (AP)
Henro, Iris Mahani, Eliza Rosmaya Puri 1 – 10
2. Desain Rancang Bangun Pelubang Tanah untuk Biopori Berbasis Sensor Ultrasonic
Helena Wilhelmina Manalu, Hervianna Indira Kusuma Riandara, Muhammad Firdaus Khadavy, Zunanik Mufidah 11 – 19
3. Pengaruh Substitusi Campuran Limbah Abu Sekam Padi dan Bottom Ash terhadap Kuat Lentur dan Rembesan Air pada Pembuatan Genteng Beton
M. Ade Zidni, Putri Dynanti, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi 20 – 28
4. Analisis pengelolaan air limbah domestik
Bimo Putro Rahdianto, Rizka Arbaningrum..... 29 - 38
5. Analisis Geometrik Lokasi Rawan Laka di Jalan Lingkar Sumpiuh, Banyumas
Agung Hari Wibowo, Ari Widyatmoko, Achmad Effendi.....39 – 47
6. Pemanfaatan Limbah Bambu dan Ampas Tebu sebagai Campuran Substitusi Serat dalam Pembuatan Plafon GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*)
Muhammad Ridho Rahmadi, Muhammad Naufal Adi, Shifa Fauziah, Riza Susanti 48 – 56
7. Pengaruh Abu Limbah Kulit Durian sebagai Bahan Substitusi Semen pada Paving Block
Arifka Farah Husna, Vian Dito Apriliawan, Shifa Fauziah, Hartono 57 – 60

© 2022, JPTS, ISSN 2654-4482. All rights reserved.



9 772654 448002

Kajian Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Daerah pada Pelaksanaan KPBU Availability Payment (AP)

Henro ^{a*}, Iris Mahani ^b, Eliza Rosmaya Puri ^c

^{a*,b,c} Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No 10 Bandung

Corresponding Author:

Henro

Email: sauthenro.civil@gmail.com

Keywords:

infrastructure, availability payment, regulations, governance, public street lightning

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The current Local Government is currently focusing on sustainable infrastructure development to provide quality infrastructure facilities to the community. Responding to this condition, the Local Government really needs clear funding sources and well-targeted infrastructure projects. Public Private Partnerships (PPP) is an infrastructure financing innovation that can be implemented by Local Governments, where one of the investment return schemes is Availability Payment. However, based on PPP Books for 2010-2022, only 1 project was successful (8.3%). Many projects are unsuccessful due to the lack of PPP nodes, clear regulations and support from stakeholders, which is the Local Government Governance itself. This research began by conducting a review of several literatures, then conducting interviews to adapt this governance to the characteristics of local government in Indonesia. Furthermore, the indicators that have been obtained will later become a reference for assessing the readiness of Local Government Governance in implementing the PPP Availability Payment. And the results of the analysis that there are 5 indicators of Local Government Governance readiness in the implementation of the Availability Payment, Government Maturity, Social Policy Framework, Institutional Capacity, Legal & Regulatory Environment, and Project Delivery. Furthermore, the results of the assessment show that the Madiun Regency government is more prepared than the Bandung City government in implementing the Availability Payment PPP project in the Public Street Lighting sector.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Substansi pilar Visi Indonesia tahun 2045 terhadap pemerintahan daerah masih berfokus untuk pemerataan pertumbuhan ekonomi di tiap-tiap wilayah negeri ini. Demi terwujudnya Pembangunan Infrastruktur yang merata di daerah, maka membutuhkan sumber keuangan yang kuat juga dari Pemerintahan Daerah tersebut. Untuk itu Pemerintah Indonesia mengusulkan adanya paradigma baru dalam pendanaan infrastruktur (Bappenas, 2018) dengan menjadikan APBN/APBD sebagai sumber daya terakhir. Pemerintah kemudian mendorong peran swasta melalui skema Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha (KPBU).

Skema KPBU atau secara umum dikenal sebagai skema Public-Private Partnerships (PPP) merupakan kerjasama antara Pemerintah dan Badan Usaha dalam Penyediaan Infrastruktur untuk kepentingan umum (Perpres No 38 Tahun 2015). Skema KPBU dapat dibedakan berdasarkan jenis pengembalian investasi pihak swasta yaitu pembayaran dari pengguna berdasarkan pada pungutan atas pemakaian layanan (user charge / user payment) dan pembayaran oleh Pemerintah berdasarkan ketersediaan layanan (Availability Payment/ AP). Berdasarkan data Public Private Partnership (PPP) Books yang sudah terbit dari tahun 2010 – 2022, dari 12 proyek KPBU AP di daerah, hanya terdapat 1 proyek (8,3%) yang sudah terlaksana hingga ke tahap construction, yaitu proyek Penerangan Jalan Umum (PJU) yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Madiun. Adapun penyebab keberhasilannya yaitu adanya peraturan daerah khusus yang dibuat, koordinasi yang baik antar stakeholder, dan mempunyai willingness yang tinggi, yang merupakan bentuk dari tata kelola pemerintahan tersebut.

Tata Kelola yang baik (Good Governance) adalah pengelolaan terhadap penyelenggaraan pemerintah baik nasional maupun daerah, yang mencakup aspek ekonomi, sosial, politik, dan

kelembagaan. Hal ini melibatkan pengalaman partisipasi dari pemerintah dalam menjalankan KPBU, support dari stakeholder, institutional, kelayakan finansial dan juga transparan. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk bisa menentukan indikator-indikator kesiapan Tata Kelola Pemerintah Daerah pada pelaksanaan KPBU AP yang akan ditinjau dari beberapa lembaga dan komisi ekonomi internasional yang mengkaji pembiayaan infrastruktur, yaitu The World Bank Group, United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), dan Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP). Setelah indikator didapatkan, kemudian akan dilakukan asesmen kesiapan tata kelola dan area stakeholder Pemerintah Daerah itu sendiri dengan objek proyek KPBU AP sektor Penerangan Jalan Umum (PJU) di Kota Bandung dan Kabupaten Madiun.

2. DATA DAN METODE

2.1 Kajian Indikator Tata Kelola berdasarkan Literatur

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pendekatan kualitatif dan kuantitatif dan bersifat deskriptif. Tahap awal yang dilakukan yaitu melakukan kajian terkait KPBU availability payment daerah berdasarkan literatur-literatur baik dari dalam maupun luar negeri dan undang-undang yang berlaku. Selanjutnya melakukan kajian terhadap tata kelola yang baik (good governance) berdasarkan lembaga dan komisi ekonomi internasional The World Bank Group, United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), dan Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP). Kemudian melakukan matriks terhadap indikator-indikator yang terpilih dari sumber-sumber tersebut untuk mendapatkan indikator yang memiliki kesamaan karakteristik terkait tata kelola pemerintah.

2.2 Penyesuaian Indikator dengan Budaya Pemerintahan Daerah

Hasil indikator-indikator yang terpilih nanti akan dilakukan penyesuaian dengan budaya pemerintah daerah Indonesia sendiri, yaitu dengan cara melakukan wawancara kepada pihak-pihak yang terlibat pada proyek Penerangan Jalan Umum (PJU) Kota Bandung dan Kabupaten Madiun, Pemerintah Pusat, dan para pakar KPBU. Adapun bentuk penyesuaian tersebut yaitu dengan melakukan filter dari transkrip wawancara dan klausa yang terdapat pada peraturan / undang-undang terkait KPBU, sehingga akan terpilih indikator kesiapan tata kelola pemerintah daerah. Selanjutnya melakukan klasifikasi terhadap indikator-indikator yang terpilih berdasarkan kesamaan karakteristiknya untuk dibagi menjadi indikator dan subindikator.

2.3 Analisa Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Daerah

Kemudian langkah selanjutnya yaitu membuat kuesioner yang akan menjadi alat bantu asesmen kesiapan tata kelola pemerintah daerah Kota Bandung dan Kabupaten Madiun dengan rujukan indikator dan subindikator pada tahapan sebelumnya. Para responden akan diberikan beberapa pertanyaan dan parameter-parameter yang akan membantu responden dalam memberikan nilai. Scoring menggunakan skala likert (1-5) :

- 5 : Very Good
- 4 : Good
- 3 : Moderate
- 2 : Fair
- 1 : Poor

Kemudian melakukan analisis terhadap hasil penilaian dari responden dengan menggunakan metode weighted average untuk mendapatkan nilai terakhir, yang selanjutnya dikelompokkan kesiapannya menjadi 5 aspek sesuai dengan interval score yang didapat, yaitu Sangat Siap, Tidak Siap, Cukup Siap, Siap, dan Sangat Siap.

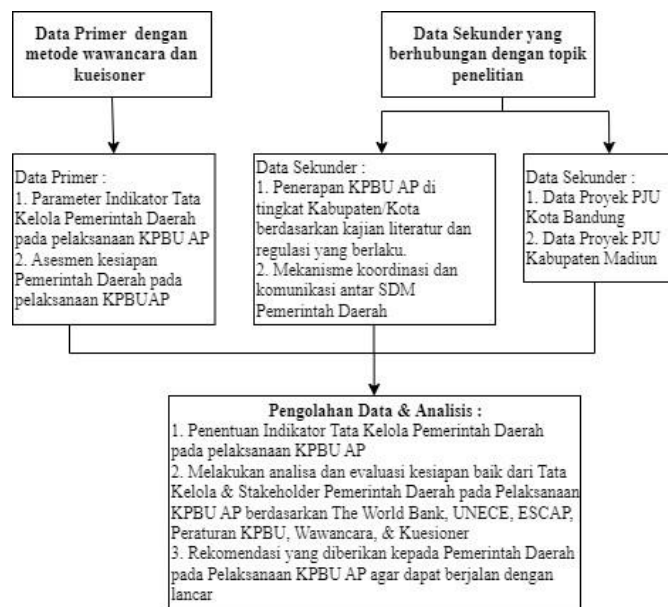
2.4 Analisa Kesiapan Stakeholder area Pemerintahan Daerah

Hal yang sama juga dilakukan untuk penilaian kesiapan stakeholder area, para responden akan diberikan beberapa pertanyaan dan parameter-parameter yang akan membantu responden dalam

memberikan nilai, dengan menggunakan Manual Project Screening Tool of Bhutan dan skala likert (1-4):

- 4 : Strongly Agree
- 3 : Agree
- 2 : Disagree
- 1 : Strongly Disagree

Kemudian melakukan analisis terhadap hasil penilaian dari responden dengan menggunakan metode weighted average untuk mendapatkan nilai terakhir, yang selanjutnya dikelompokkan kesiapannya menjadi 5 aspek sesuai dengan interval score yang didapat, yaitu Sangat Siap, Tidak Siap, Cukup Siap, Siap, dan Sangat Siap. Selain itu, penulis juga memberikan rekomendasi kepada pihak terkait untuk kesiapan tata kelola pemerintahan daerah kedepannya.



Gambar 1. Flowchart sumber & analisis data penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Subindikator Tata Kelola Pemerintahan Daerah

Hasil kajian yang dilakukan terhadap tata kelola pemerintahan daerah pada pelaksanaan KPBUP AP berdasarkan lembaga dan komisi ekonomi internasional yaitu :

1. Terdapat 22 subindikator berdasarkan The World Bank Group
2. Terdapat 41 subindikator berdasarkan UNECE
3. Terdapat 28 subindikator berdasarkan ESCAP.

Dari total 91 subindikator tersebut, dilakukan proses matriks berdasarkan karakteristik yang sama dan kemudian disesuaikan dengan budaya pemerintah daerah melalui wawancara dan peraturan / undang-undang yang berlaku, sehingga akan didapat subindikator terpilih, seperti contoh dibawah ini :

Tim **Simpul KPBUP** menjadi hal yang dibutuhkan agar perencanaan proyek KPBUP AP dapat berjalan.

Perpres No 38 Tahun 2015 Pasal 44 tentang **Simpul KPBUP**

Petikan Wawancara

[00:12 - 00:21] bisa di alokasikan ada berapa persen atau berapa rupiahnya, itu kan sesuai dengan tahapan perencanaan yang sudah disusun oleh Tim Simpul.

Gambar 2. Proses penyesuaian subindikator dengan wawancara dan peraturan

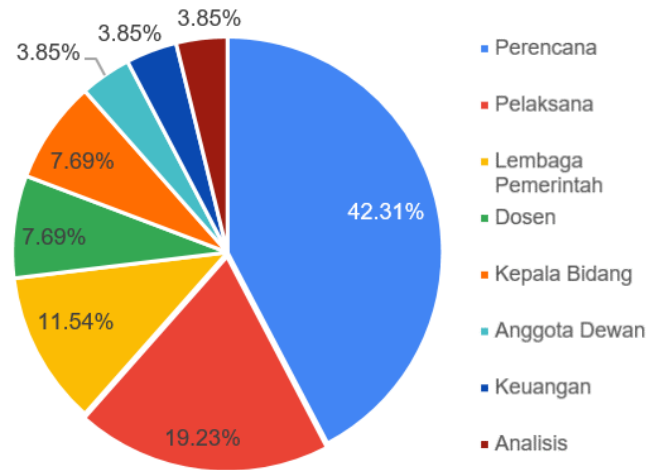
Dan berikut adalah hasil subindikator dan indikator tata kelola pemerintahan daerah yang dapat digunakan sebagai rujukan asesmen kesiapan pada tahapan selanjutnya :

Tabel 2. Subindikator & Indikator Tata Kelola Pemerintahan Daerah

No.	Subindikator	Indikator
1	Tingkat Pertumbuhan Ekonomi Daerah	<i>Government Maturity</i>
2	Rasa Optimis dalam menjalankan KPBU AP	
3	Kecepatan dalam beradaptasi terhadap mekanisme yang baru	
4	Kondisi sektor keuangan daerah	
5	Status kepemilikan Asset dan bentuk jaminan hukumnya	
6	Status Kebijakan yang berlaku bagi pihak yang terlibat	<i>Social Policy Framework</i>
7	Pembagian Wewenang/Tanggung Jawab	
8	Dampak Kebijakan terhadap Kelayakan Proyek	
9	Bentuk dukungan dan kriteria yang jelas terhadap Pembiayaan Infrastruktur	
10	Status dukungan politik	
11	Pandangan Masyarakat terhadap Pembangunan Infrastruktur dengan KPBU AP	<i>Legal and Regulatory Environment</i>
12	Bentuk Kompensasi terhadap Masyarakat yang terdampak	
13	Status Dasar Hukum yang berlaku kepada BUP	
14	Bentuk Regulasi dan Kebijakan yang berlaku	
15	Ketersediaan Peraturan terkait Pengelolaan Lingkungan	
16	Level pemahaman personil PJKP akan aspek Hukum, Keuangan dan Teknis	<i>Institutional Capacity</i>
17	Ketersediaan tim khusus yang paham akan mekanisme KPBU	
18	Kondisi Kapasitas Tim Teknis Proyek	
19	Ketersediaan <i>Support</i> dari Instansi maupun Lembaga di Pemerintah Pusat	
20	Kejelasan dalam Pembagian Resiko	
21	Prosedur dan Transparansi pada setiap tahapan KPBU	<i>Project Delivery</i>
22	Ketersediaan Informasi Tahapan KPBU kepada peserta Lelang	
23	Proses Tender yang Transparan dalam Implementasinya	
24	Ketersediaan Informasi Kriteria Seleksi BUP	
25	Ketentuan Persyaratan Kinerja kepada para Sponsor	
26	Mekanisme Pemutusan Kontrak Kerjasama	
27	Bentuk penyelesaian sengketa antar <i>stakeholders</i>	
28	Ketersediaan Lembaga/Instansi yang Kompeten dalam Proses Banding.	

Tahapan selanjutnya yaitu melakukan analisa perhitungan kesiapan pemerintahan daerah Kota Bandung dan Kabupaten Madiun pada pelaksanaan KPBU AP melalui kuesioner yang sudah diisi oleh responden. Responden pada penelitian ini merupakan pihak-pihak yang terlibat langsung pada proyek PJU Kota Bandung dan Kabupaten Madiun (Bappelitbang, Bappeda, Dinas Perhubungan, Dinas Pekerjaan Umum dan DPRD). Selain itu responden juga berasal dari Pemerintah Pusat (Bappenas,

DJPPR Kemenkeu, PT. PII, PT. SMI), Lender (Bank Mandiri) dan para pakar KPBU (dosen dan penyedia jasa). Adapun sebaran profesi dari responden penelitian ini yaitu :



Gambar 3. Sebaran Profesi Responden Penelitian

3.2 Analisa Kesiapan Tata Kelola dan *Stakeholder area* Pemerintahan Kota Bandung

Adapun hasil analisa kesiapan tata kelola dan kesiapan *stakeholder area* dari Pemerintahan Kota Bandung ditampilkan pada tabel 3 dan 4 dibawah ini :

Tabel 3. Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Kota Bandung

No.	Indikator	Hasil Analisa
1	<i>Government Maturity</i>	Cukup Siap
2	<i>Social Policy Framework</i>	Tidak Siap
3	<i>Legal and Regulatory Framework</i>	Cukup Siap
4	<i>Institutional Capacity</i>	Tidak Siap
5	<i>Project Delivery</i>	Cukup Siap

Berikut ini adalah hasil analisis kesiapan tata kelola dari Pemerintahan Kota Bandung:

1. *Government Maturity* (Cukup Siap).

Karena belum pernah sama sekali ada *succes story* implementasi KPBU AP di Kota Bandung, sehingga Pemerintah Daerah masih dalam proses meraba untuk memulai menjajaki skema ini. Selain itu, Pemerintah Kota Bandung memerlukan waktu yang cukup lama untuk menjalankan suatu skema baru pembiayaan infrastruktur. Semenjak sudah dicantumkannya proyek PJU Kota Bandung di *PPP Books* pada tahun 2022, tidak ada progress sama sekali hingga saat ini, dimana status proyeknya masih pada tahapan FS (*Feasibility Study*).

2. *Social Policy Framework* (Tidak Siap).

Berdasarkan hasil wawancara ke beberapa pihak terkait, DPRD Kota Bandung menolak terhadap anggaran proyek PJU Kota Bandung, karena biaya yang diajukan terlalu besar. Selain itu tidak adanya koordinasi yang intens antar pihak yang terlibat menjadikan ketidakjelasan pembagian wewenang dan tanggung jawab.

3. *Legal and Regulatory Framework* (Cukup Siap).

Tidak adanya regulasi khusus yang dibuat oleh Pemerintah Daerah saat itu bersama *stakeholder* lainnya dalam pelaksanaan Proyek PJU ini, sehingga menjadikan status hukum pun tidak kuat. Pengakuan hukum menjadi salah satu aspek yang harus ditinjau terkait kesiapan tata kelola pemerintahan daerah pada pelaksanaan KPBU AP.

4. *Institutional Capacity* (Tidak Siap).

Pihak yang terlibat pada tahap perencanaan proyek PJU di Kota Bandung hanya 2 orang saja, belum sampai terbentuk tim KPBU yang solid dan menetap. Selain itu adanya keragu-raguan dari insititutional itu sendiri, dimana tidak adanya inisiasi untuk meminta bantuan dari Pemerintah Pusat terkait *capacity building*, menandakan *willingness* mereka terbilang rendah terhadap proyek ini.

5. *Project Delivery* (Cukup Siap).

Dari aspek teknis sendiri sudah sangat detail, terkait dengan proyek Penerangan Jalan Umum Kota Bandung, hal ini terdapat pada Dokumen Pra Studi Kelayakan yang terbit pada Juli 2017. Namun yang menjadikan indikator ini cukup siap, dikarenakan proyek ini belum sampai ke tahap pelelangan, sehingga tidak ada tolak ukur dari aspek proses tender, tidak ada kontrak dengan BUP, dan jaminan hukumnya.

Tabel 4. Kesiapan *Stakeholder area* Pemerintahan Kota Bandung

No.	<i>Stakeholder area</i>	Hasil Analisa
1	<i>Government</i>	Tidak Siap
2	<i>Project</i>	Cukup Siap
3	<i>Market</i>	Cukup Siap

Berikut ini adalah hasil analisis kesiapan stakeholder dari Pemerintahan Kota Bandung:

1. *Government* (Tidak Siap).

Menurut beberapa *stakeholder* dari pemerintah daerah maupun juga pemerintah pusat, proyek Penerangan Jalan Umum (PJU) Kota Bandung ini telah diidentifikasi dan disertakan dalam rencana sektoral, makanya sudah masuk dalam PPP Books dari tahun 2022. Namun dari *government* sendiri tidak siap untuk menjalankan proyek ini, hal ini dikarenakan belum ada pengalaman sebelumnya dan lebih memilih metode selain KPBU AP. Selain itu, tim simpul KPBU yang belum terbentuk mengindikasikan dari pemerintah sendiri cuma sebagian saja yang terorganisir, hal ini juga disebabkan karena tidak ada kebijakan yang berlaku pada sektor ini tetapi tanggung jawab lembaga di sektor ini dapat didefinisikan. *Ownership* dan *willingnes* dari *government area* juga masih belum utuh dan optimal, sehingga persepsi pun berbeda yang menjadi hambatan pelaksanaan proyek ini.

2. *Project* (Cukup Siap).

Pada dasarnya sudah ada studi pendahuluan yang dilakukan oleh Pak Ridwan Kamil selaku Walikota Bandung saat itu dengan informasi yang lengkap sebelum melaksanakan proyek ini. Selain itu terkait aspek Teknik Proyek pun sudah ada dan tercantum sangat jelas pada Dokumen Pra Studi Kelayakan yang terbit pada Juli 2017 oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU) Kota Bandung. Dimana didalam dokumen tersebut sudah ada analisa pertimbangan, spesifikasi teknis dan juga rincian biaya proyek yang akan dikerjakan. Selain itu, untuk ketersediaan lahan pun terjamin, tidak sulit bagi Badan Usaha Pelaksana (BUP) nantinya terkait akses ke lahan yang akan dikerjakan. Namun kondisi ini belum menyatakan bahwa dari *project* sendiri cukup siap untuk menjalankan KPBU AP, hal ini dikarenakan status proyek ini belum sampai ke pelelangan Badan Usaha Pelaksana (BUP), sehingga tidak ada regulasi maupun hukum yang terbentuk.

3. *Market* (Cukup Siap).

Dikarenakan belum adanya regulasi/peraturan daerah khusus yang terbentuk, hal ini juga yang membuat masih cukup siap saja dari area *stakeholder* ini. Sangat diperlukan adanya regulasi dan jaminan hukum kedepannya, sehingga pihak eksternal tertarik untuk berinvestasi atau support proyek ini dapat berjalan. Selain itu, ketidaksepahaman dari PJPK sendiri menjadikan pihak luar melihat adanya ketidakseriusan dari Pemerintah Kota Bandung untuk mengerjakan proyek ini, hal ini juga berdampak keengganan mereka bisa membantu pemerintah untuk menyelesaikan proyek ini.

3.3 Analisa Kesiapan Tata Kelola dan *Stakeholder area* Pemerintahan Kabupaten Madiun

Adapun hasil analisa kesiapan tata kelola dan kesiapan *stakeholder area* dari Pemerintahan Kabupaten Madiun pada tabel 5 dan 6 dibawah ini :

Tabel 5. Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Kabupaten Madiun

No.	Indikator	Hasil Analisa
1	<i>Government Maturity</i>	Siap
2	<i>Social Policy Framework</i>	Sangat Siap
3	<i>Legal and Regulatory Framework</i>	Sangat Siap
4	<i>Institutional Capacity</i>	Sangat Siap
5	<i>Project Delivery</i>	Sangat Siap

Berikut ini adalah hasil analisis kesiapan tata kelola dari Pemerintahan Kota Madiun:

1. *Government Maturity* (Siap).

Pemerintah Kabupaten Madiun melakukan *bench mark* kepada pemerintah daerah lain untuk proyek serupa dalam implementasi KPBU AP, yaitu Pemerintah Kota Bandung dan Kota Surakarta, hal ini yang membuat mereka optimis bisa menjalankan skema pembiayaan ini. Selain itu, tidak butuh waktu lama bagi Pemerintah Kabupaten Madiun dalam beradaptasi terhadap skema baru pembiayaan infrastruktur. Hal ini terbukti dengan berjalan suksesnya proyek PJU ini hingga pada Agustus 2023 bisa beroperasi.

2. *Social Policy Framework* (Sangat Siap).

Dukungan penuh dari DPRD didapat Pemerintah Kabupaten Madiun dalam mengerjakan Proyek PJU ini, hal ini dapat terjadi karena keseriusan dan komunikasi yang baik dilakukan, hingga merangkul DPRD untuk meminta persetujuan proyek ini ke Pemerintah Pusat. Selain itu penentuan tahapan awal yang matang pada proyek PJU di Kabupaten Madiun, dengan deskripsi proyek yang jelas, mendukung kepada pembagian wewenang dan tanggung jawab yang jelas kepada pihak yang terlibat. *Effort* yang dilakukan tidak main-main, sehingga Pemerintah Pusat melihat adanya keseriusan yang dilakukan terhadap proyek ini.

3. *Legal and Regulatory Framework* (Sangat Siap).

Tim simpul KPBU di Pemerintah Kabupaten Madiun memang membuat beberapa regulasi khusus terkait pelaksanaan Proyek PJU ini, sehingga hal ini membuat proyek yang dikerjakan relevan dengan peraturan yang berlaku. Adapun regulasi tersebut :

- Perjanjian Penjaminan No 005/P-KPBU/DRU/0922
- Perjanjian Regres No PJKP : 134.34/19/402.011/2022
- Perjanjian Kerjasama No BUP : 006/PKS/TTMT/DIR/IX/2022

Dalam regulasi yang sudah dibuat oleh Pemerintah Kabupaten Madiun, menjadikan *stakeholder* merasa "aman" dan "*confidence*" untuk bisa menjalankan proyek ini.

4. *Institutional Capacity* (Sangat Siap).

Sudah terbentuk tim KPBU dari tahap Perencanaan di Kabupaten Madiun, yang sudah melibatkan Bappeda dan Dinas Perhubungan. Dengan sudah terlibatnya banyak pihak dari tahap awal, ini juga mendukung akan samanya persepsi terkait KPBU AP. Selain itu *institutional* Pemerintah Daerah Kabupaten Madiun memiliki *willingness* yang tinggi terhadap proyek ini, sehingga loyalitas mereka pun tinggi.

5. *Project Delivery* (Sangat Siap).

Prosedur tahapan KPBU AP sudah terdefinisi dengan baik dari awal, sehingga informasi terkait proyek pun tersampaikan dengan baik kepada Badan Usaha Pelaksana (BUP). Dimana tercantum dalam Perjanjian Kerja Sama (PKS) antara PJKP dengan PT. Tritunggal Madiun Terang (Perjanjian Kerjasama No BUP : 006/PKS/TTMT/DIR/IX/2022).

Selain itu, tahapan proses lelang dengan BUP terdefinisi dengan sangat jelas, sesuai dengan dokumen pengadaan yang sudah disepakati.

Tabel 6. Kesiapan *Stakeholder area* Pemerintahan Kabupaten Madiun

No.	<i>Stakeholder area</i>	Hasil Analisa
1	<i>Government</i>	Sangat Siap
2	<i>Project</i>	Siap
3	<i>Market</i>	Siap

Berikut ini adalah hasil analisis kesiapan stakeholder dari Pemerintahan Kota Madiun:

1. *Government* (Sangat Siap).

Jika ditinjau dari *government* sendiri, Pemerintah Kabupaten Madiun sangat siap untuk menjalankan Proyek KPBU AP, bahkan untuk kedepannya apabila ada lagi proyek-proyek serupa. Hal ini dibuktikan dengan keseriusan dan komitmen tinggi dari Pemerintah Daerah sendiri, mulai dari inisiasi awal, penyamaan persepsi, pembentukan tim simpul KPBU, merangkul anggota dewan dan selalu melibatkan mereka dalam setiap tahapan yang ada, memastikan setiap stakeholder aman yang dijamin dalam Peraturan Daerah dan Perjanjian Kerjasama baik kepada Pemerintah Pusat maupun juga ke Badan Usaha Pelaksana (BUP).

2. *Project* (Siap).

Dikarenakan sudah adanya komitmen tinggi diawal pelaksanaan KPBU AP ini, terbentuk juga kontrak kerjasama dengan Badan Usaha Pelaksana (BUP), sehingga segala bentuk hak dan kewajiban disepakati bersama pada kontrak kerjasama tersebut. Selain itu, dikatakan siap juga dari *stakeholder area* ini, sudah sangat terinci dengan jelas dari aspek teknis proyek yang akan dikerjakan, baik dari jumlah lampu yang akan terpasang, besaran lumennya, dan dampak kepada sekitar. Dan juga sangat rinci terkait berapa biaya yang akan dianggarkan menyesuaikan dengan spesifikasi teknis yang diajukan oleh BUP.

3. *Market* (Siap).

Dikarenakan sudah adanya regulasi/peraturan khusus yang dibuat oleh tim simpul KPBU, menjadikan Pemerintah Kabupaten Madiun siap menjalankan KPBU AP. Selain itu, komitmen dan loyalitas tinggi yang ditunjukkan oleh tim simpul KPBU, membuat Pemerintah Pusat tertarik untuk membantu hingga proyek ini selesai.

3.4 Rekomendasi Tata Kelola Pemerintahan Daerah kedepannya pada Pelaksanaan KPBU AP

Rekomendasi yang bisa penulis berikan terkait pelaksanaan KPBU AP di Pemerintah Daerah diantaranya yaitu :

1. Pemerintah daerah hendaknya memppperkuat dari sisi Regulasi dan Kebijakan terlebih dahulu. Melakukan peninjauan terhadap peraturan-peraturan yang berlaku saat itu dan melakukan cek terhadap kondisi aktual proyek KPBU AP.
2. Meningkatkan *willingness* dan *ownership* terhadap proyek infrastruktur KPBU AP yang akan dikerjakan.
3. Konsistensi dalam melakukan *capacity building* kepada *stakeholder* yang terlibat proyek KPBU AP, sehingga akan menyamakan kompetensi dan persepsi.
4. Melakukan *benchmark* kepada institusi / pemerintah lain, evaluasi, kemudian ditindaklanjuti dan diinformasikan kepada *stakeholder* terkait.
5. Sangat diperlukan kerapihan inventarisasi asset Pemerintah Daerah. Hal ini akan sangat membantu dalam proses identifikasi kebutuhan fisik dari suatu proyek infrastruktur, agar tepat sasaran dan berkualitas pelayanannya.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Kajian Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Daerah pada Pelaksanaan KPBU *Availability Payment* (AP) adalah sebagai berikut :

1. Terdapat 5 indikator Tata Kelola Pemerintahan Daerah pada Pelaksanaan KPBU AP diantaranya yaitu:
 - *Government Maturity*
 - *Social Policy Framework*
 - *Institutional Capacity*

- *Legal and Regulatory Environment*
- *Project Delivery*

2. Hasil evaluasi Kesiapan Tata Kelola & *Stakeholder area* Pemerintahan Daerah pada Pelaksanaan KPBU AP :

- Pemerintah Kota Bandung
Terhadap indikator tata kelola, cukup siap terkait *Government Maturity, Legal and Regulatory Environment, & Project Delivery*) dan tidak siap terkait *Social Policy Framework* dan *Institutional Capacity*. Sedangkan terhadap *stakeholder area* sendiri, cukup siap pada area Project & Market, tidak siap pada area *Government*.
- Pemerintah Kabupaten Madiun
Terhadap indikator tata kelola, sangat siap terkait *Social Policy Framework, Legal and Regulatory Environment, Institutional Capacity, & Project Delivery*. Sedangkan terhadap *stakeholder area* sendiri, sangat siap pada area *government*, dan siap pada area *Project & Market*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat yang dilimpahkan-Nya, sehingga dapat menyelesaikan penyusunan Karya Tulis berupa Tesis yang berjudul "Kajian Kesiapan Tata Kelola Pemerintahan Daerah pada Pelaksanaan KPBU *Availability Payment (AP)*". Terima kasih kepada Ibu Iris Mahani dan Ibu Eliza Rosmaya Puri yang telah membimbing penulis dalam keberjalanan penelitian ini mulai dari perencanaan, pelaksanaan penelitian, hingga saat ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah terlibat dalam penyusunan penelitian, sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Penulis menyadari dalam penyusunan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis akan menerima segala bentuk kritik maupun saran yang bersifat membangun.

REFERENSI

- Aijaz, R. (2010). Capacity building of municipal functionaries for good governance in Uttarakhand, India. *Habitat International*, 34(4), 386-391.
- Asian Development Bank. (2014). *Public-private partnership handbook* (pp. 3-4).
- Armenakis, A. A., Harris, S. G., & Mossholder, K. W. (1993). Creating readiness for organizational change. *Human Relations*, 46, 681-703.
- Aziz, A., & Abdelhalim, K. (2017). Comparative analysis of P3 availability payments in the USA and Canada. In *Advances in public-private partnerships* (pp. 560-573). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Bailey, S. J. (1999). *Local government economics: Principles and practice*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Brinkerhoff, J. M. (2002). Government-NGO partnership: A defining framework. *Public Administration and Development*, 22(1), 19-30.
- Brinkerhoff, J. M. (2007). Partnership as a means to good governance: Toward an evaluation framework. In P. Glasbergen, F. Biermann, & A. P. J. Mol (Eds.), *Partnerships, governance and sustainable development: Reflections on theory and practice* (pp. 68-89). Edward Elgar.
- Brinkerhoff, D. W., & Brinkerhoff, J. M. (2011). Public-private partnerships: Perspectives on purposes, publicness, and good governance. *Public Administration and Development*, 31, 2-14.
- ESCAP. (1999). *Public-private partnerships readiness assessment*. United Nations.
- Giglio, J. M., & Friar, J. H. (2017). An evaluation of availability-based payments for US public-private partnerships. *Journal of Business and Economics*, 10(2), 2155-7950.
- Japan International Cooperation Agency. (2017). *Basic concept of availability payment and case study in Japan*.
- Koppenjan, J. F. M., & Enserink, B. (2009). Public-private partnerships in urban infrastructures: Reconciling private sector participation and sustainability. *Public Administration Review*, 69, 284-296.
- Krishna, A. (2003). Partnerships between local governments and community-based organizations: Exploring the scope for synergy. *Public Administration and Development*, 23(4), 361-371.
- Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa. (2018). Nomor 29 tentang tata cara pelaksanaan pengadaan badan usaha kerjasama pemerintah dengan badan usaha dalam penyediaan infrastruktur.
- Peraturan Menteri Keuangan. (2016). Nomor 8 tentang petunjuk pelaksanaan penjaminan infrastruktur dalam proyek kerjasama pemerintah dengan badan usaha.
- Peraturan Menteri Keuangan. (2016). Nomor 260 tentang tata cara pembayaran ketersediaan layanan pada proyek kerjasama pemerintah dengan badan usaha dalam rangka penyediaan infrastruktur.
- Peraturan Menteri Keuangan. (2018). Nomor 73 tentang fasilitas dalam rangka penyiapan dan pelaksanaan transaksi proyek kerjasama pemerintah dan badan usaha dalam penyediaan infrastruktur.

- Peraturan Presiden. (2010). Nomor 78 tentang penjaminan infrastruktur dalam proyek kerjasama pemerintah dengan badan usaha yang dilakukan melalui badan usaha penjaminan infrastruktur.
- Peraturan Presiden. (2014). Nomor 75 tentang percepatan penyediaan infrastruktur prioritas.
- Peraturan Presiden. (2015). Nomor 38 tentang kerjasama pemerintah dengan badan usaha dalam penyediaan infrastruktur.
- Rohimat. (2018). Public-private partnership (PPP) with the availability payment scheme in the development of North Circle Road of Cilegon City. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(1).
- Seliga, J., Paasman, B., & Jansen, B. (2011). Availability payment public-private partnerships for port projects.
- Struktur Organisasi Pemerintah Kota Bandung. (2023, April 16). Retrieved from <https://ppid.bandung.go.id>
- UNESCAP. (2020, December 12). What is good governance? Retrieved from <https://www.unescap.org/sites/default/files/goodgovernance.pdf>
- World Bank. (2011). PPP arrangements/types of public-private partnership agreements. Washington, D.C.
- World Bank. (2014). Public-private partnerships reference guide: Version 2.0.

Desain rancang bangun pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor ultrasonic

Helena Wilhelmina Manalu^a, Hervianna Indira Kusuma Riandara^{a*}, Muhammad Firdaus Khadavy^a, Zunanik Mufidah^a

^a Teknik Biosistem, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

Corresponding Author*:

Email:

hervianna.121310056@student.itesra.ac.id

Keywords:

Biopore, Flood, Ultrasonic

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Floods often occur during the rainy season, causing significant losses to many residents. Soil that can no longer absorb water will result in water accumulation, which then forms puddles known as floods. Insufficient infiltration holes are one of the factors contributing to floods. Biopores can serve as an alternative flood prevention method, as they facilitate water absorption into the soil while also being conducive to compost production. This research aims to design a soil drilling tool for biopores as part of flood prevention efforts. An ultrasonic sensor-based soil drilling tool for biopores offers an innovative solution to flood-related issues. Ultrasonic sensors are utilized to accurately determine the appropriate depth for creating biopores. This is crucial because biopores created at incorrect depths may not function optimally in channeling water into the soil. Ultrasonic sensors enable precise measurement of soil depth without the need for manual excavation. This allows users of the tool to identify ideal locations for biopore creation without causing excessive environmental damage to the surrounding area.

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Banjir sering sekali terjadi saat datang musim hujan, hal tersebut membuat banyak warga yang mengalami kerugian. Tanah yang tidak dapat lagi menampung air akan menyebabkan penumpukan air, penumpukan tersebut kemudian menjadi genangan air yang disebut banjir (Yohana et al., 2017). Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) mencatat, 1.678 rumah warga di 13 desa yang berada di Lampung Selatan terendam banjir pada tanggal 28 Oktober 2022 dan Pusat Pengendalian Operasi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melaporkan terdapat bencana banjir setinggi 50-100 cm merendam 19 unit rumah di desa Hajimena kecamatan Natar yang menyebabkan 19 kepala keluarga terkena dampak banjir tersebut pada tanggal 24 Februari 2024. Banjir juga merupakan salah satu tantangan bagi petani karena dapat menyebabkan terjadinya gagal panen. Lubang resapan yang masih kurang adalah salah satu faktor penyebab terjadinya banjir. Biopori dapat menjadi alternatif pencegah banjir, dimana biopori berfungsi untuk meresap air ke dalam tanah sekaligus dapat diolah untuk pembuatan kompos (Karuniastuti, 2014).

Biopori dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu biopori alam dan biopori buatan. Biopori yang berasal dari alam merupakan biopori yang terbentuk akibat aktivitas mikroorganisme pada tanah seperti pergerakan cacing atau pergerakan dari akar tumbuhan. Biopori buatan merupakan biopori yang dibuat oleh manusia yang biasanya berbentuk silindris dengan ukuran diameter 10 – 30 cm dan kedalaman hingga 100 cm (Karuniastuti, 2014). Biopori efektif untuk mencegah banjir, namun pembuatan biopori membutuhkan tenaga dan waktu terutama pada proses pembuatan lubangnya. Lubang biopori biasanya dibuat menggunakan alat pengebor tanah, Alat ini memerlukan tenaga yang bervariasi, bergantung pada kekerasan tanah, dan harus diukur diameter, kedalaman serta jarak antar lubang biopori tersebut sehingga memerlukan waktu yang lumayan lama. Kemajuan teknologi mendorong inovasi untuk membuat alat-alat canggih yang dapat menunjang kehidupan manusia. Penggunaan mikrokontroler seperti Arduino banyak diterapkan karena memiliki keunggulan dari segi ekonomi dan fungsi. Alat – alat berbasis sensor tentunya akan lebih memudahkan kita dalam melakukan pekerjaan sehingga dengan adanya alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor ini diharapkan dapat menjadi solusi mengatasi kasus banjir tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang alat pelubang tanah untuk biopori sebagai salah satu upaya pencegahan banjir.

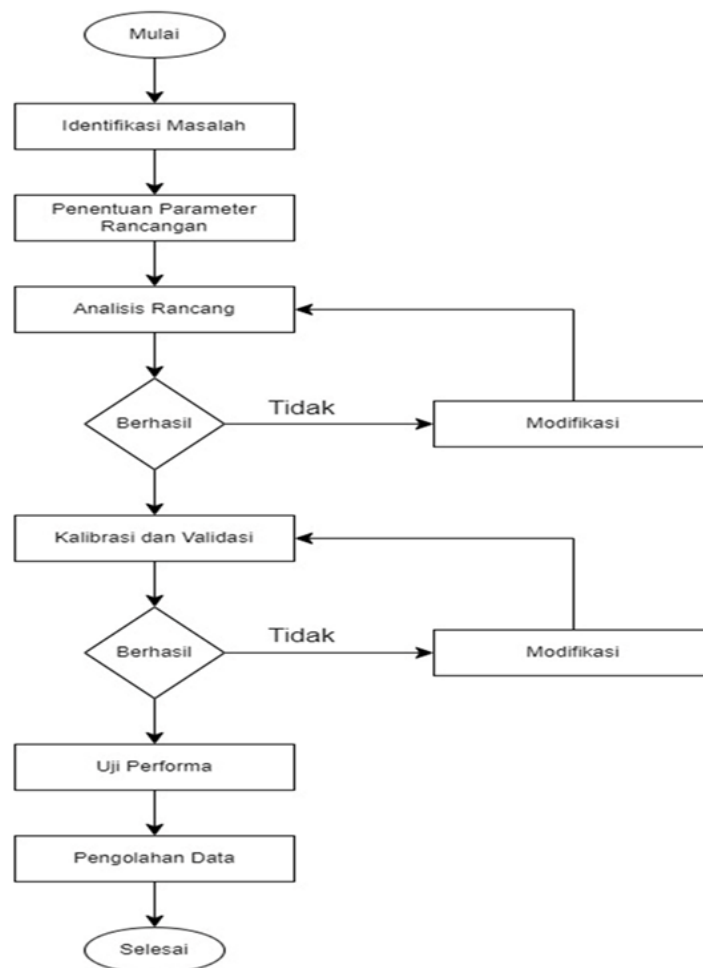
2. DATA DAN METODE

2.1. Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, laptop, aplikasi *thinker cad*, aplikasi *solidwork*, las listrik, gerinda, arduino uno, sensor *ultrasonic*, lcd dan *i2c*, meteran dan perkakas lainnya. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, besi *hollow*, *steinless steel 304*, keramik, kabel jumper, ban troli, as roda, elektroda, gir, rantai dan kotak pelindung arduino. Peralatan yang digunakan dalam pembuatan alat pelubang biopori yaitu peralatan perbengkelan yang umum digunakan. Peralatan untuk pengambilan data dan pengolahan data yaitu stopwatch, alat tulis, laptop, dan smartphome. Peralatan perbengkelan yang utama digunakan diantaranya las listrik, palu, meteran, gerinda, asahan batu, kertas amplas, jangka sorong dan perkakas lainnya yang disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan.

2.2. Tahapan penelitian

Penelitian ini dilaksanakan bertahap dan sistematis, diimplementasikan berdasarkan identifikasi dan perumusan permasalahan, berdasarkan permasalahan tersebut, dikembangkan sebuah penyelesaian masalah sehingga mampu melakukan perancangan desain pada pelubang biopori. Perancangan yang dinyatakan berhasil dapat dilanjutkan ke kalibrasi dan validasi sensor. Sensor yang sudah dikalibrasi dan validasi dilanjutkan ke pengambilan data untuk melakukan uji performansi alat tersebut. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3. Identifikasi masalah

Identifikasi masalah merupakan serangkaian kegiatan dalam mendapatkan informasi – informasi tentang berbagai masalah yang dihadapi pengguna sehubungan dengan pembuatan lubang biopori. Permasalahan yang dialami pengguna adalah alat yang masih belum memiliki sistem pengukuran jarak antar biopori dan masih dibawa dengan cara menentengnya selama bekerja sehingga keterbatasan tenaga manusia membuat produktifitas lubang tidak maksimal. Rancangan alat diperlukan agar mampu meningkatkan produktivitas lubang biopori.

2.4. Penentuan parameter rancangan

Penentuan parameter rancangan merupakan kelanjutan dari fase sebelumnya, dimana peneliti harus menetapkan kriteria agar alat pelubang biopori mampu bekerja sesuai dengan fungsinya. Fase ini menghasilkan rancangan fungsional dan rancangan struktural. Rancangan fungsional adalah untuk mengetahui fungsi utama dari alat pelubang biopori dan fungsi komponen pendukungnya. Rancangan struktural adalah untuk mengetahui bentuk dan dimensi dari alat pelubang biopori secara keseluruhan.

2.5. Analisis rancangan

Perancangan alat perlu diperhatikan kriteria rancangan. Kriteria alat yang akan dirancang adalah sebagai berikut:

- 1) Mampu melakukan pengukuran jarak dengan akurat dan hasil lubang sesuai dengan standar biopori
- 2) Memberi bentuk rangka yang kokoh dan stabil sehingga dapat memberikan keamanan dan ergonomika dari pengguna
- 3) Mudah dan aman dalam pengoperasian
- 4) Perawatan dan perbaikan mesin mudah

Adapun kriteria alat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria alat

Kriteria <i>Must</i>	Kriteria <i>Want</i>
Pengukuran jarak harus akurat	Aman dan mudah bagi operator
Hasil lubang harus sesuai standar biopori	Mudah dalam perawatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Rancangan fungsional

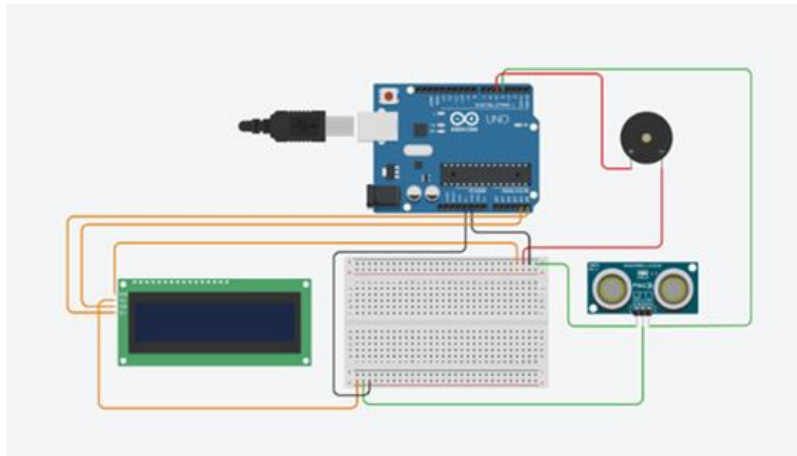
Alat pelubang biopori dirancang untuk dapat mengukur jarak dengan menggunakan sensor ultrasonic dengan akurat. Fungsi dari setiap bagian alat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan fungsional

No	Fungsi Utama	Komponen
1	Mengatur dan menjadi pusat dari sensor	Arduino Uno
2	Mengukur jarak dan memberikan sinyal <i>input</i> ke Arduino	<i>Ultrasonic</i> HC-SR04
3	Memberikan <i>display</i> dari hasil pengukuran jarak	LCD + I2C
4	Memberikan tanda berupa suara sebagai <i>output</i> dari Arduino	<i>Buzzer</i>
5	Sebagai penopang alat utama dan komponen pendukung	Rangka
6	Sebagai penggerak dari alat	Gir dan Rantai
7	Sebagai komponen utama untuk melubangi tanah	Mata Bor

3.2. Rancangan struktural

Bagian utama dari alat ini adalah mata bor, dimana mata bor dibuat single yang berputar. Mata bor harus mampu mendorong dan menekan tanah sehingga tanah dapat dilubangi. Mata bor harus kuat, tidak mudah terdeformasi dan patah. Material mata bor yang digunakan adalah *stainless steel* 304 dengan ujung matanya menggunakan keramik sehingga dapat menahan panas akibat fraksi yang ditimbulkan. Bagian pendukung utama pada alat ini adalah Arduino dan sensor *ultrasonic* HR-SR04, dimana *ultrasonic* sebagai memberikan *input* berupa sinyal pengukuran jarak kepada arduino dan arduino akan memberikan sinyal ke *buzzer* untuk berbunyi yang menandakan bahwa jarak sudah akurat untuk memulai pelubangan tanah. Skematik dari alat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik

3.4. Coding sensor HC-SR04

Sistem kerja yang digunakan untuk menjalankan sistem kerja menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04 memerlukan sebuah mikrokontroler yakni Arduino untuk mengontrol dan membaca data dari sensor. Berikut merupakan codingan yang digunakan untuk menjalankan sistem kerja yang disalurkan sensor HC-SR04 :

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // GANTI 0x3F Ke 0x27 jika LCD tidak muncul
#include <HC-SR04>
HC-SR04 (4, HC-SR04); //Pin, Jenis HC-SR04
int powerPin = 3; // untuk pengganti VCC/5vOLT
int alaram = 5;
int HC-SR04 = 4;
int val = 0;
void setup(){
  lcd.init();
  // Print a message to the LCD.
  lcd.backlight();
  // jadikan pin power sebagai output
  pinMode(powerPin, OUTPUT);
  pinMode(alaram, OUTPUT);
  // default bernilai LOW
  digitalWrite(powerPin, LOW);
  Serial.begin("Distance: ");
}
void loop(){
  digitalWrite(powerPin, HIGH);

  long durasi = pulseIn (HC-SR04, HIGH);
  float jarak = duration * 0.034 / 2;
```

```

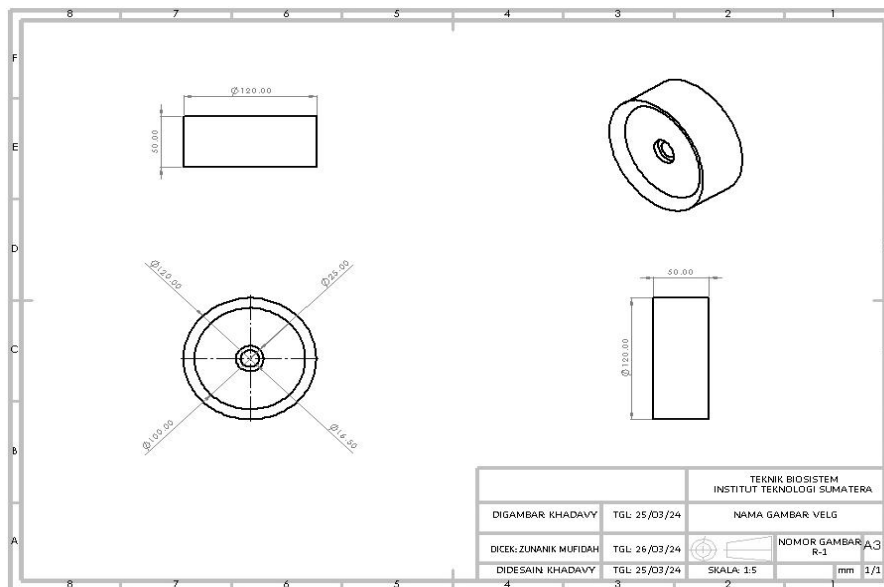
Serial.print(10, 0);
Serial.print(" ");
Serial.print(10, 0);
Serial.print(jarak);
Serial.println(" cm");

if (jarak <= 100)
{
  if(jarak = 100)
  {
    digitalWrite(alaram, LOW); //buzzer mati
  }

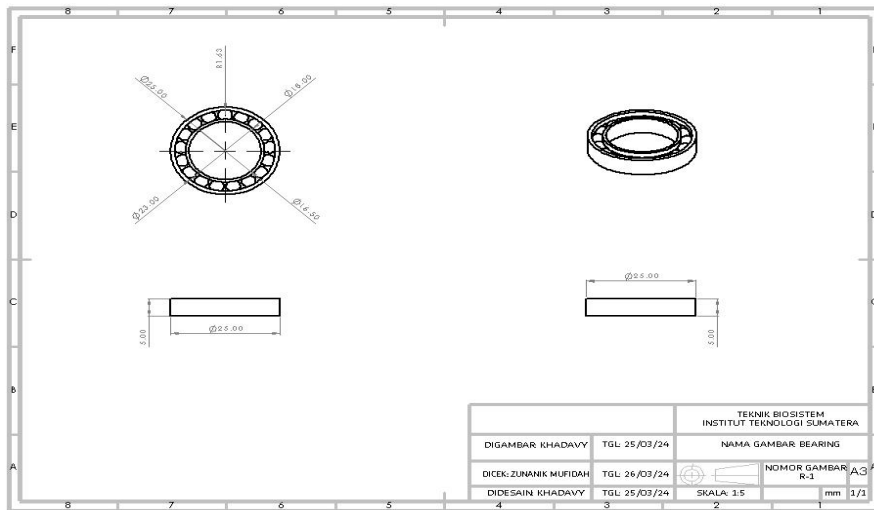
  if(jarak =100)
  {
    digitalWrite(alaram, HIGH);
  }
}
delay(100);
}
    
```

3.5. Desain komponen Chassis

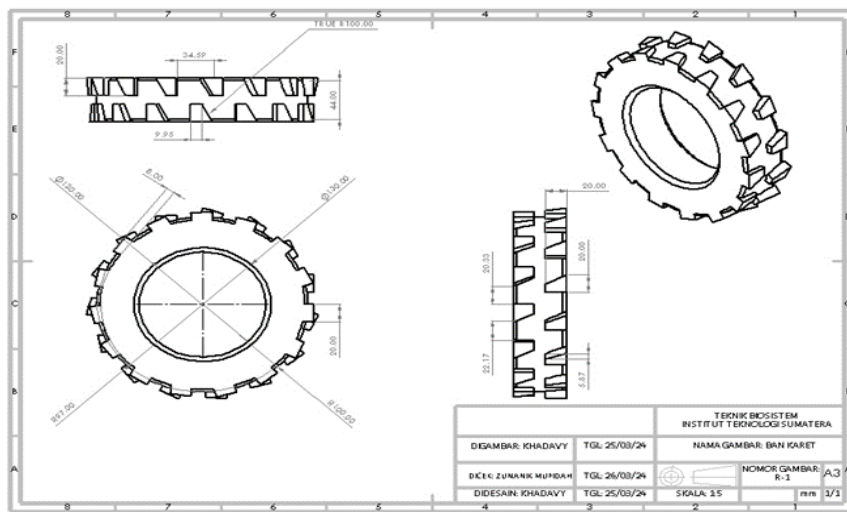
Desain komponen *chassis* (rangka) pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic* memegang peranan penting dalam mengoptimalkan kinerja dan kehandalan alat. Desain *chassis* pada alat pelubang tanah untuk biopori diposisikan dan diintegrasikan dengan sensor ultrasonic yakni HC-SR04 secara optimal. Berikut merupakan desain komponen *chassis* pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic*.



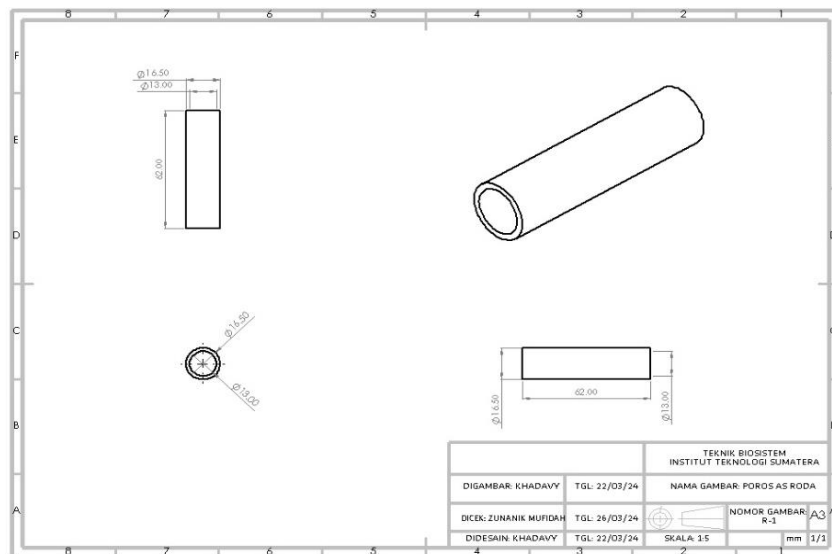
Gambar 3. *Velg* pada alat pelubang tanah biopori berbasis sensor *ultrasonic*



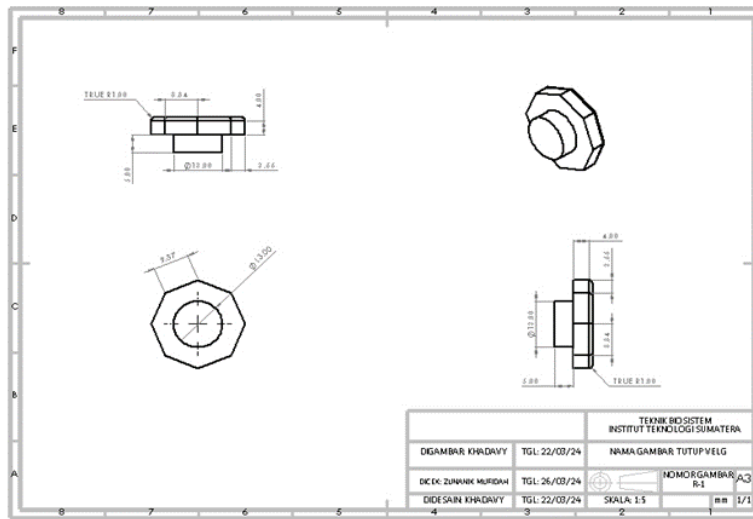
Gambar 4. Bearing pada alat pelubang tanah biopori berbasis sensor *ultrasonic*



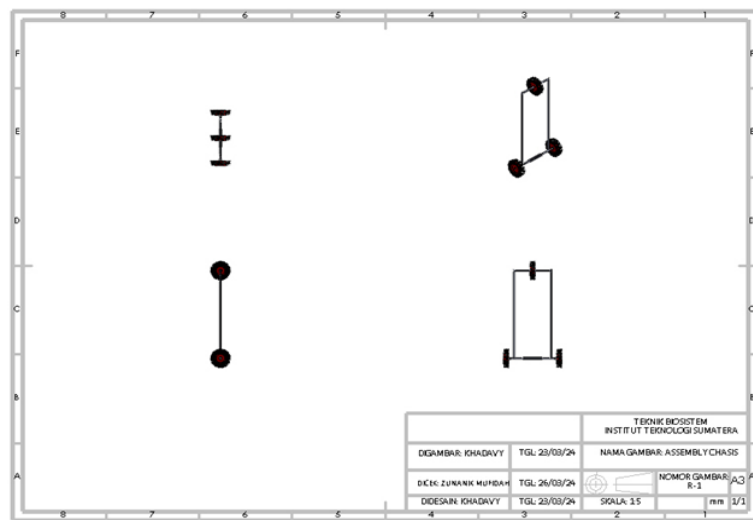
Gambar 5. Ban karet pada alat pelubang tanah biopori berbasis sensor *ultrasonic*



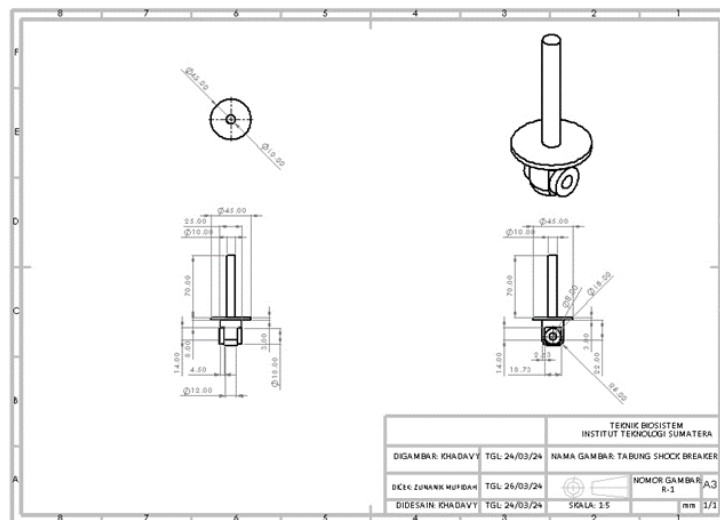
Gambar 6. Poros as roda pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic*



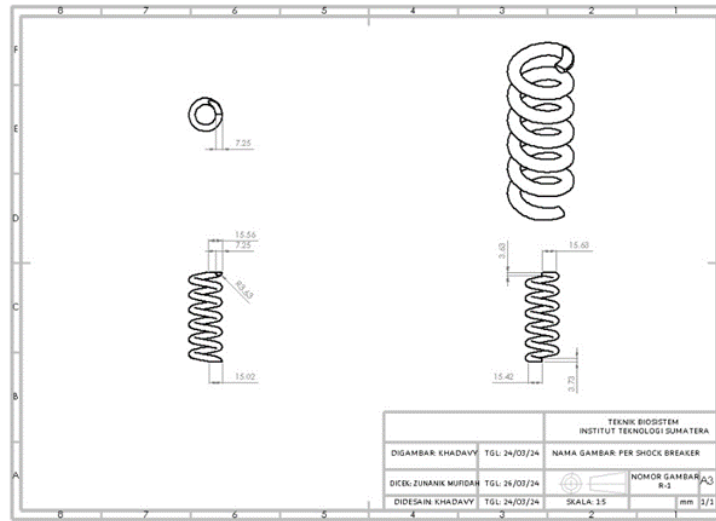
Gambar 8. Kerangka Chassis pada alat pelubang tanah biopori berbasis sensor *ultrasonic*



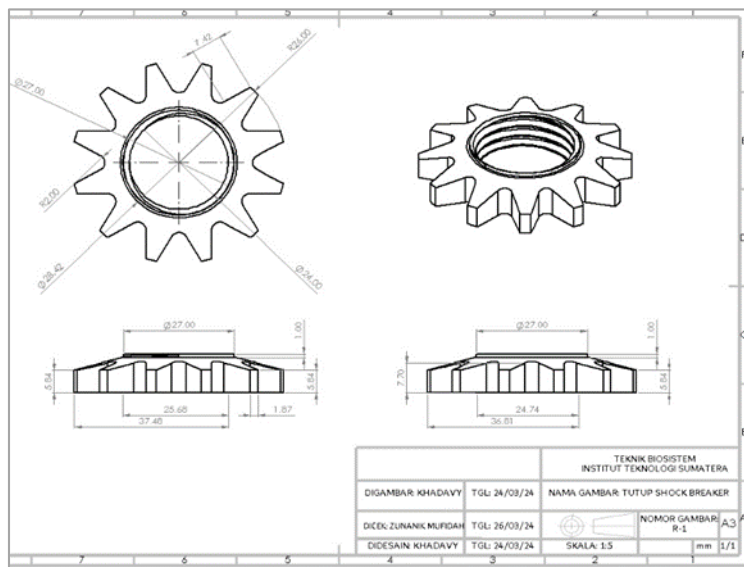
Gambar 9. *Assembly* Chassis pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic*



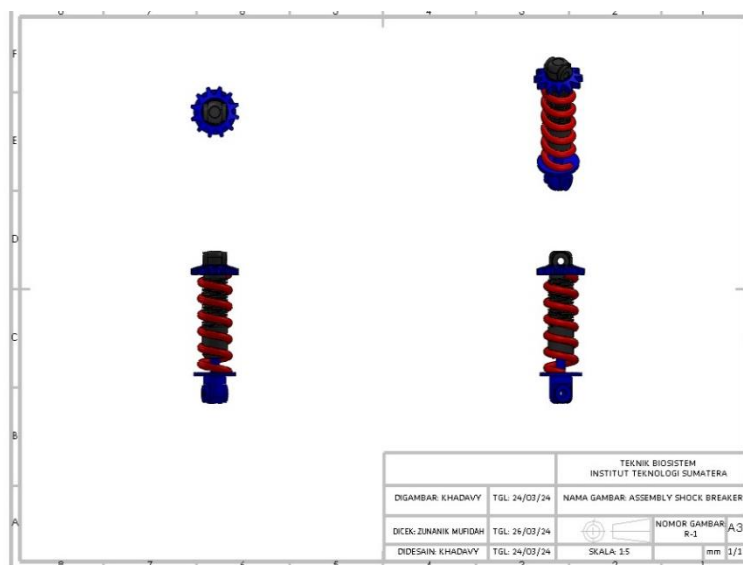
Gambar 11. Badan *shock breaker* pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic*



Gambar 12. Per shock breaker pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor ultrasonic



Gambar 13. Tutup shock breaker pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor ultrasonic



Gambar 14. Assembly shock breaker pada alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor ultrasonic

4. KESIMPULAN

Alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic* menjadi solusi inovatif untuk mengatasi kasus banjir. Sensor *ultrasonic* digunakan untuk menentukan kedalaman yang tepat dalam membuat biopori secara akurat. Hal ini penting karena biopori yang dibuat dengan kedalaman yang tidak tepat akan tidak berfungsi secara optimal untuk mengalirkan air ke dalam tanah. Sensor *ultrasonic* dapat digunakan untuk mengukur kedalaman tanah secara akurat tanpa perlu menggali secara manual. Hal ini memungkinkan pengguna alat untuk menentukan lokasi yang ideal untuk membuat biopori tanpa merusakkan berlebihan pada lingkungan sekitar. Dengan demikian, pengembangan alat pelubang tanah untuk biopori berbasis sensor *ultrasonic* menjadi solusi yang menarik untuk membantu mengatasi masalah banjir. Keunggulan teknologi sensor *ultrasonic* dalam presisi dan efisiensi dapat meningkatkan efektivitas biopori sebagai bagian dari strategi pengelolaan air urban yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi berharga dalam penyelesaian jurnal ini. Terima kasih kepada Ibu Zunanik Mufidah atas arahan, bimbingan, dan dukungan teknisnya yang telah memperkaya konten karya ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada kolega dan rekan penelitian atas diskusi dan umpan balik yang berharga. Tidak lupa, terima kasih kepada keluarga dan teman-teman atas doa dan semangat mereka yang telah memberikan motivasi tambahan selama proses penulisan. Tanpa dukungan semua pihak yang disebutkan, penyusunan jurnal ini tidak akan tercapai dengan baik. Sekali lagi, terima kasih atas kontribusi yang luar biasa dari semua pihak yang terlibat.

REFERENSI

- Fatmawati, K., Sabna, E., & Irawan, Y. (2020). Rancang bangun tempat sampah pintar menggunakan sensor jarak berbasis mikrokontroler Arduino. *Riau Journal of Computer Science*, 6(2), 124–134.
- Juanita, J., & Eka, K. I. (2023). Pelatihan teknologi biopori untuk penanggulangan permasalahan banjir dan sampah di Kecamatan Tambak. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(3), 250–255.
- Karuniastuti, N. (2014). Teknologi biopori untuk mengurangi banjir dan tumpukan sampah organik. *Swara Patra: Majalah Ilmiah Ppsdm Migas*, 4(2).
- Mudra, I. W., & Surbakti, S. (2016). Kajian drainase sistem biopori di Kelurahan Tanjungrejo Kecamatan Sukun Kota Malang. *Spectra*, 14(28).
- Nadyawan, A. H. (2021). Aplikasi sensor ultrasonic HC-SR04 pada robot anti penghalang. *Sinarfe7*, 4(1), 306–312.
- Setiawan, D., Pranata, A., Ramadhan, P. S., & Azanuddin, A. (2021). Simulasi alat pintu otomatis kereta api menggunakan sensor ultrasonic berbasis microcontroller. *Journal of Science and Social Research*, 4(2), 147–154.
- Setiawan, E., Budianto, M. B., Hanifah, L., & Saadi, Y. (2020). Pemanfaatan lubang biopori sebagai sarana konservasi dan retensi air di lingkungan pemukiman perkotaan. *Prosiding Seminar Nasional Ippemas*, 1(1), 534–537.
- Yohana, C., Griandini, D., & Muzambeq, S. (2017). Penerapan pembuatan teknik lubang biopori resapan sebagai upaya pengendalian banjir. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat Madani (JPMM)*, 1(2), 296–308.

Pengaruh substitusi campuran limbah abu sekam padi dan *bottom ash* terhadap kuat lentur dan rembesan air pada pembuatan genteng beton

M. Ade Zidni^a, Putri Dynanti^{a*}, Asri Nurdiana^a, Bambang Setiabudi^a

^a Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Corresponding Author*:

Email: putridynanti08@gmail.com

Keywords:

Bottom ash, concrete roof, fly ash

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *Indonesia's environmental problems in agriculture and electric power generation have led to the use of rice husk ash and bottom ash for roof construction materials such as concrete roof tiles. Concrete roof tiles in Indonesia are still one of the roof coverings that require high costs and have a heavy mass; the addition of rice husk ash and bottom ash, which have pozzolanic content and have a small specific gravity, is expected the SNI requirements qualify. The research method is quantitative experimental, which observes the effect of variables based on SNI. The composition of the concrete roof tile mixture is one cement, three sand, 0,35 water, and the percentage of rice husk ash and bottom ash. Rice husk ash against sand: bottom ash against cement, A 0%: 0%, B 5%: 10%, C 2.5%: 10%, and D 5%: 7.5%. Quality tests of rice husk ash and bottom ash for manufacturing concrete roof tiles based on SNI 0096:2007 are bending load tests, water seepage tests, water absorption tests, quality of appearance, and size. The results of the average bending load test on A = 1446,19 N, B = 1622,58 N, C = 1559,67 N, and D = 1530,79 N. Results of water seepage test on A, B, C, and D is no water drops. Test result of water absorption on A = 8,376%, B = 6,265%, C = 5,200%, and D = 6,400%. In conclusion, rice husk ash and bottom ash can improve the value of bending load, reduce water seepage, reduce water absorption, and protect the environment by reducing waste.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Produksi padi Indonesia mengalami peningkatan dengan total produksi padi dari tahun 2020 hingga 2022 yaitu 163.813.475,46 ton (BPS, 2023). Peningkatan produksi padi juga meningkatkan sisa – sisa proses pertanian dari hasil produksi padi. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah padi dapat menjadi sumber masalah karena dapat menjadi penyebab pencemaran lingkungan (Sari, 2023). Limbah abu sekam padi memiliki sifat pozzolan yaitu material silika reaktif yang dapat berkombinasi dengan kapur pada temperatur biasa yang membentuk majemuk dan tidak mudah larut yang akan menambah daya ikat partikelnya (Apriansyah, Hasim, Marwadi, & Chalid, 2022). Pozzolan adalah bahan yang bereaksi dengan kapur dan air untuk membentuk senyawa pengikat seperti semen, sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton dan memanfaatkan limbah industri. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM) konsumsi batu bara untuk pembangkit listrik mengalami kenaikan 60% pada tahun 2022 dengan volume realisasi hingga juli 2022 adalah 72,9 ton (ESDM, 2022). *Bottom ash* adalah jenis bahan sisa yang dihasilkan selama pembakaran batubara atau bahan bakar padat lainnya di pembangkit listrik atau boiler industri yang terdiri dari campuran bahan anorganik seperti mineral, lempung, logam, serta sejumlah karbon yang tidak terbakar serta memiliki tingkat porositas yang lebih tinggi.

Permasalahan lingkungan tersebut memunculkan gagasan untuk memanfaatkan limbah abu sekam padi dan limbah hasil pembakaran batu bara berupa *bottom ash* untuk kebutuhan bahan konstruksi atap yaitu genteng beton yang ditinjau sisi positif dan kandungannya dalam memanfaatkan limbah abu sekam padi dan *bottom ash*. Sebagai salah satu komponen penting pada pembangunan rumah adalah genteng yang berfungsi untuk melindungi rumah dari hujan dan panas. Menurut SNI 0096:2007 genteng beton merupakan campuran antara semen portland dengan agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan pigmen yang digunakan sebagai atap. Genteng beton harus memiliki sifat yang baik, seperti daya serap air minimum, rembesan air minimum, dan tidak menghantarkan panas agar tidak terjadi kebocoran dan dapat

berfungsi dengan baik (Mushabikkah, 2007).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis manfaat limbah abu sekam padi dan *bottom ash* sebagai bahan campuran genteng beton, menganalisis pengaruh limbah abu sekam padi dan *bottom ash* sebagai campuran genteng keramik berdasarkan hasil pengujian sifat tampak, ukuran, kerataan, beban lentur, rembesan air (*impermeabilitas*), penyerapan air (*porositas*), pada setiap variasi. Serta membandingkan dari segi biaya antara genteng beton normal dengan genteng beton yang ditambahkan limbah abu sekam padi dan *bottom ash*.

2. DATA DAN METODE

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Metode kuantitatif eksperimen dilakukan secara langsung dan objektif di laboratorium. Selain studi kuantitatif eksperimental, penelitian ini juga menggunakan metode pengumpulan data studi pustaka (*library research*), yaitu metode pengumpulan informasi melalui jurnal maupun literatur yang berkaitan dengan rumusan masalah.

2.2. Pengujian kelayakan material

Pengujian kelayakan material adalah pengujian yang dilakukan guna mengetahui apakah material yang digunakan sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan standar. Pengujian material dilakukan terhadap agregat halus. Pengujian gradasi dilakukan untuk menentukan ukuran dengan mematuhi standar SNI 03-1972-1990 menurut SNI ini gradasi pasir untuk campuran beton berada pada modulus halus butir 1,5–3,8% dan memeriksa kandungan lumpur sesuai dengan SK-SNI-S-04-1989-F. Menurut standar tersebut, agregat halus tidak boleh melebihi 5%, apabila memiliki kadar lumpur diatas 5%, maka perlu mencuci agregat halus tersebut. Agregat halus dilakukan 2 pengujian, yaitu uji saringan dan kadar lumpur. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian dari pengujian agregat halus diuraikan pada Tabel 1. Berdasarkan pengujian agregat halus yang telah dilakukan, pasir yang digunakan pada penelitian memenuhi syarat SNI acuan.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil	SNI Acuan	Syarat	Keterangan
Uji Saringan	3,22%	SNI 03-1972-1990	1,5% - 3,8%	Memenuhi
Uji KadarLumpur	3,09%	SK-SNI-S 04-1989-F	Maksimum 5%	Memenuhi

Sebelum dipakai untuk bahan tambah pada pengujian, abu sekam padi dan *bottom ash* yang ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2 diolah terlebih dahulu. Abu sekam padi dikeringkan lalu dibersihkan dan kemudian dihaluskan, dan dilakukan penyaringan dengan saringan No.100, sedangkan untuk *bottom ash*, dihancurkan menggunakan palu, lalu dihaluskan menggunakan mortir & stamper hingga lolos saringan No.200.



Gambar 1. Abu sekam padi



Gambar 2. *Bottom ash*

2.3. Job mix design

Mix design yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 semen: 3 pasir: 0,35 air. Abu sekam padi disubstitusikan sebagai campuran pasir dan *bottom ash* disubstitusikan sebagai campuran semen pada pembuatan genteng beton. Untuk kebutuhan abu sekam padi dan *bottom ash* yang dipakai dalam membuat genteng beton dengan variasi A menggunakan 0% abu sekam padi: 0% *bottom ash*, variasi B menggunakan 5% abu sekam padi: 10% *bottom ash*, variasi C menggunakan 2,5% abu sekam padi: 10% *bottom ash*, dan variasi D menggunakan 5% abu sekam padi: 7,5% *bottom ash*. Penggunaan abu sekam padi di substitusikan terhadap berat pasir, sedangkan penggunaan *bottom ash* di substitusikan terhadap berat semen. Selain itu pengujian berat jenis semen, pasir, air, abu sekam padi, dan *bottom ash* juga dilakukan sebagai ketetapan yang digunakan pada *job mix design*. Adapun hasil perancangan *job mix design* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mix design proportion*

Material	A	B	C	D
Semen (g)	459,38	413,44	413,44	424,92
<i>Bottom Ash</i> (g)	0,000	81,95	81,95	61,46
Pasir (g)	1543,50	1466,33	1504,91	1466,33
Abu Sekam Padi (g)	0,000	116,87	58,43	116,87
Air (ml)	514,5	514,5	514,5	514,5
Sampel (buah)	9,000	9,000	9,000	9,000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis mutu

Pengujian hasil mutu bertujuan untuk kualitas genteng beton yang layak digunakan dari segi fisik. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 0096:2007. Berikut adalah hasil pengujian mutu berupa sifat tampak, ukuran, dan kerataan. Dari tabel 3 didapatkan hasil pengujian sifat tampak dilakukan dengan pengamatan visual terhadap benda uji terhadap retak, kehalusan dan warna. Dari pengujian didapatkan hasil yang sama untuk pengujian retak dan kehalusan benda uji terhadap semua variasi yang menurut SNI 0096:2007 genteng beton harus memiliki permukaan atas yang halus, tidak terdapat keretakan atau cacat yang lain yang berakibat kurang maksimalnya fungsi genteng beton. Namun dari segi warna terdapat perbedaan pada masing – masing benda uji, variasi A memiliki warna abu – abu kecokelatan, variasi B memiliki warna abu – abu pekat, variasi C memiliki warna putih keabu – abuan, dan variasi D memiliki warna abu - abu. Dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi dan *bottom ash* mempengaruhi warna pada genteng beton, hal ini disebabkan karena pigmen yang pekat dan kuat pada bahan tersebut dan hal ini tidak mempengaruhi fungsi genteng beton, perbedaan warna pada terjadi karena variasi persentase campuran limbah abu sekam padi dan *bottom ash* yang berbeda – beda. Adapun hasil pengujian sifat tampak rata - rata disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian sifat tampak rata - rata

No.	Variasi	Retak	Kehalusan	Warna
1	A	Tidak ada	Halus	Abu – abu Kecokelatan
2	B	Tidak ada	Halus	Abu – abu Pekat
3	C	Tidak ada	Halus	Putih Keabu – abuan
4	D	Tidak ada	Halus	Abu - abu

Hasil pengujian ukuran terhadap mutu dapat dilihat pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapatkan pada pengujian ukuran genteng beton variasi A, B, C, dan D telah memenuhi semua syarat SNI 0096:2007. Pada pengujian ukuran ini dapat dilihat bahwa tidak banyak perbedaan ukuran antara genteng beton konvensional dan genteng beton dengan campuran abu sekam padi dan *bottom ash*, hal ini disebabkan karena tiap variasi menggunakan ukuran cetakan yang sama dan perhitungan *job mix design*

setiap variasi yang dihitung sesuai ukuran volume ukuran tiap variasi adalah sama yaitu 1470 m³.

Tabel 4. Pengujian ukuran

No.	Bagian yang diuji	A	B	C	D
1	Tebal bagian rata (mm)	13,33	12,67	12,67	12,67
	Penumpangan (mm)	13,33	12,67	12,67	12,67
2	Panjang kaitan (mm)	33,67	33,33	33,67	33,00
	Lebar kaitan (mm)	13,67	14,33	13,67	13,67
	Tinggi kaitan (mm)	12,67	11,33	11,67	12,00
3	Penumpangan lebar (mm)	45,00	44,67	45,33	44,67
	Kedalaman alur (mm)	28,30	29,00	28,00	28,33
	Jumlah alur (mm)	2,00	2,00	2,00	2,00

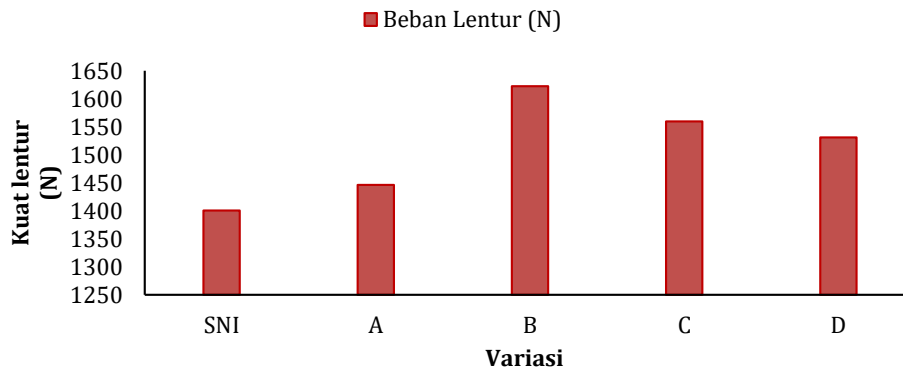
Hasil pengujian kerataan genteng beton dapat dilihat pada Tabel 5, pengujian kerataan dilakukan dengan meletakkan genteng beton pada permukaan yang rata lalu permukaan bawah di cek menggunakan baja pipih ukuran 3 mm. Pada semua variasi mulai dari genteng beton konvensional hingga genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash* memiliki kerataan yang tidak lebih dari 3 mm sehingga kerataan genteng beton sudah memenuhi SNI 0096:2007.

Tabel 5. Pengujian kerataan

No.	Variasi	Kerataan
1	A	Kurang dari 3 mm
2	B	Kurang dari 3 mm
3	C	Kurang dari 3 mm
4	D	Kurang dari 3 mm

3.2. Analisis beban lentur

Pengujian beban lentur pada genteng beton dilakukan saat beton telah berumur 28 hari dan diuji dengan 5 sampel sesuai SNI 0069:2007 dari masing masing variasi genteng beton konvensional dan variasi genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*. Hasil pengujian beban lentur pada genteng beton dapat dilihat pada gambar 4. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai kuat lentur terdapat pada variasi B dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* merupakan nilai kuat lentur tertinggi dengan nilai lentur rata - rata adalah 1622,58 N, sedangkan nilai kuat lentur terendah terdapat pada variasi A dengan substitusi 0% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dengan nilai lentur rata - rata adalah 1446,19 N. Variasi D dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 7,5% *bottom ash* memiliki nilai lentur rata- rata adalah 1530,79 N pada genteng beton substitutisi abu sekam padi dan *bottom ash*. memiliki nilai kuat lentur genteng beton substitusi terendah tetapi masih bisa digunakan sebagai penutup atap karena telah memenuhi syarat SNI 0096:2007 dengan nilai kuat lentur minimal adalah 1400 N. Adapun nilai kuat lentur disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai kuat lentur

3.4. Penyerapan air (porositas)

Pengujian penyerapan air pada genteng beton dilakukan terhadap dua benda uji pada masing – masing variasi mulai dari variasi genteng beton konvensional hingga variasi genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*. Menurut SNI 0096:2007 penyerapan air maksimal pada genteng beton adalah 10% dari berat kering genteng beton. Pengujian penyerapan air (*porositas*) pada genteng beton dapat dilihat pada tabel 6. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis perhitungan penyerapan air didapatkan nilai penyerapan air minimal terjadi pada variasi C dengan substitusi 2,5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* memiliki nilai penyerapan air adalah 5,200% Sedangkan nilai penyerapan air maksimal terjadi pada variasi A dengan substitusi 0% abu sekam padi dan 0% *bottom ash* yang memiliki nilai penyerapan air yaitu 8,375% Dapat disimpulkan bahwa genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash* memiliki nilai *porositas* lebih kecil dari genteng beton konvensional, sehingga abu sekam padi dan *bottom ash* dapat minimalisasi penyerapan air pada genteng beton. Adapun hasil pengujian porositas disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai porositas

Sampel Benda Uji	Porositas (%)
A	8,375
B	6,265
C	5,200
D	6,400

3.5. Rembesan air (impermeabilities)

Pengujian rembesan air (*impermeabilities*) dilakukan terhadap 2 buah benda uji yang telah berumur 28 hari pada masing – masing variasi konvensional dan dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*. Menurut SNI 0096:2007 tidak boleh ada tetesan air pada genteng beton dalam waktu 20 jam ± 5 menit. Pengujian rembesan air dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan pengujian dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi tetesan air selama 20 jam ± 5 menit pada genteng beton konvensional dan genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*.

Tabel 7. Pengujian impermeabilitas

Sampel Benda Uji	Impermeabilities
A	Tidak ada tetesan air
B	Tidak ada tetesan air
C	Tidak ada tetesan air
D	Tidak ada tetesan air

3.6. Biaya material

Biaya material berdasarkan website Dinas PU Bina Marga dan Cipta Kerja di Kota Semarang Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi Edisi Ke-1 Tahun 2023 untuk ukuran 1 buah genteng beton. Biaya material untuk genteng A konvensional dapat dilihat pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 8 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng konvensional (A) adalah sebesar Rp. 3.499,97.

Tabel 8. Analisis harga genteng beton A

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,46	Kg	1.400,00	644,00
Pasir	1,54	Kg	833,00	1.282,82
Air	0,52	L	333,00	173,16
Alat (10%)				350,00
Upah (30%)				1049,99
Total				3.499,97

Selanjutnya, adalah biaya material inovasi genteng beton dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dijelaskan pada Tabel 9. Berdasarkan Tabel 9 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng B adalah sebesar Rp. 3.286,12.

Tabel 9. Analisis harga genteng beton B

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,41	Kg	1.400,00	574,00
Pasir	1,47	Kg	833,00	1.224,51
Air	0,52	L	333,00	173,16
ASP	0,12	Kg	0,00	0,00
BA	0,08	Kg	0,00	0,00
Alat (10%)				328,61
Upah (30%)				985,84
Total				3.286,12

Selanjutnya, adalah biaya material inovasi genteng beton dengan substitusi 2,5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dijelaskan pada Tabel 10. Berdasarkan Tabel 10 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng C adalah sebesar Rp. 3.341,65.

Tabel 10. Analisis harga genteng beton C

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,41	Kg	1.400,00	574,00
Pasir	1,51	Kg	833,00	1.257,83
Air	0,52	L	333,00	173,16
ASP	0,06	Kg	0,00	0,00
BA	0,08	Kg	0,00	0,00
Alat (10%)				334,16
Upah (30%)				1002,50
Total				3.341,65

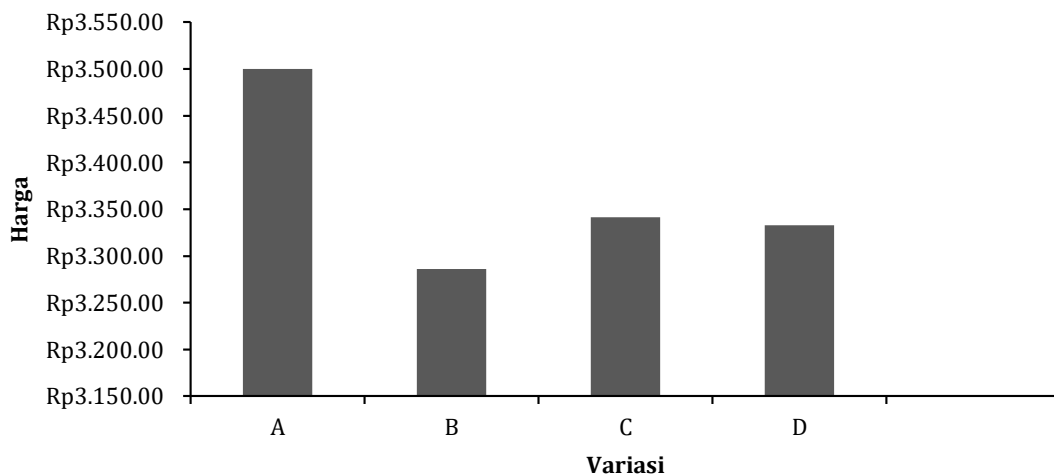
Selanjutnya, adalah biaya material inovasi mortar dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 7,5%

bottom ash dijelaskan pada Tabel 11. Berdasarkan Tabel 11 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng D adalah sebesar Rp. 3.332,78.

Tabel 11. Analisis harga genteng beton D

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,43	Kg	1.400,00	602,00
Pasir	1,47	Kg	833,00	1.224,51
Air	0,52	L	333,00	173,16
ASP	0,12	Kg	0,00	0,00
BA	0,06	Kg	0,00	0,00
Alat (10%)				333,28
Upah (30%)				999,83
Total				3.332,78

Dari perhitungan kebutuhan biaya produksi tiap variasi dapat disimpulkan bahwa harga produksi genteng beton konvensional mengeluarkan biaya sebesar Rp. 3.499,97 untuk 1 buah genteng. Sementara hasil perhitungan biaya produksi 1 buah genteng beton untuk variasi genteng beton dengan campuran abu sekam padi dan *bottom ash* lebih murah karena terjadi penekanan sebesar Rp 213,85 terhadap genteng beton variasi B karena merupakan genteng beton dengan harga produksi paling rendah. Hal tersebut disebabkan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash* pada campuran yang menyebabkan penggunaan semen dan pasir berkurang. Sehingga genteng beton variasi B mempunyai harga yang lebih rendah dari genteng beton konvensional. Perbandingan harga setiap variasi genteng beton dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan harga

3.7. Perbandingan variasi genteng beton

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan didapatkan hasil pengujian yang dilaksanakan sesuai SNI 0096:2007 yaitu pengujian mutu (sifat tampak, bentuk, dan kerataan), pengujian beban lentur, pengujian penyerapan air (*porositas*), dan pengujian rembesan air (*impermeabilitas*). Pada pengujian mutu didapatkan hasil bahwa abu sekam padi dan *bottom ash* tidak mempengaruhi bentuk dan kerataan dari genteng beton, akan tetapi *bottom ash* mempengaruhi sifat tampak berupa warna pada genteng beton, hal ini disebabkan karena *bottom ash* memiliki pigmen warna yang pekat.

Pengujian terdahulu (Rachman, 2015) menghasilkan kuat lentur maksimal terjadi pada campuran 10% abu batu terbang (*fly ash*) dan 20% abu sekam padi dimana abu batu dan abu sekam padi di substitusikan terhadap semen. Pada penelitian ini abu sekam padi di substitusikan terhadap pasir dan

bottom ash di substitusikan terhadap semen, sehingga menghasilkan kuat lentur maksimal pada variasi B yaitu 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash*. Abu sekam padi dan *bottom ash* adalah bahan-bahan pozzolanik, yang berarti memiliki kemampuan alami untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan selama hidrasi semen Portland. Reaksi ini membentuk kekuatan ikatan yang kuat, menghasilkan struktur beton yang padat dan kuat.

Pada pengujian terdahulu (Arbiansyah, 2016) resapan air minimal pada genteng terjadi pada substitusi 5% abu sekam padi dan 7,5% batu apung, dalam penelitian ini resapan air minimal berada pada 2,5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash*. Pada penelitian ini *bottom ash* berperan penting dalam meminimalisir resapan air yang terjadi pada genteng karena mengandung silika, yang dapat berperan dalam mengisi pori-pori genteng beton dan membentuk produk hidrasi yang lebih padat, dan dapat membatasi pergerakan air melalui genteng beton (Oktaviani, 2021).

Pengujian rembesan air (*impermeabilities*) selama 20 jam + 5 menit, dari pengujian didapatkan hasil bahwa tidak terdapat tetesan air selama 20 jam + 5 menit pada semua variasi. Abu sekam padi dan *bottom ash* memiliki sifat pozzolana yaitu mampu mereaksikan dengan kalsium hidroksida dalam beton dan membentuk komponen kuat tambahan, yaitu kalsium silikat hidrat (Oktaviani, 2021).

Tabel 12. Rekapitulasi hasil pengujian

Pengujian	A	B	C	D
Sifat tampak	Halus, tidak retak, warna abu kecokelatan	Halus, tidak retak, warna abu pekat	Halus, tidak retak, warna putih ke abuan	Halus, tidak retak, warna abu - abu
Ukuran	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007
Kerataan	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007
Beban lentur	1446,19 N (Memenuhi SNI 0096:2007)	1622,58 N (Memenuhi SNI 0096:2007)	1559,67 N (Memenuhi SNI 0096:2007)	1530,79 N (Memenuhi SNI 0096:2007)
Penyerapan Air	8,375% (Memenuhi SNI 0096:2007)	6,265% (Memenuhi SNI 0096:2007)	5,200% (Memenuhi SNI 0096:2007)	6,400% (Memenuhi SNI 0096:2007)
Rembesan Air	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan hasil sebagai berikut:

- 1) Hasil pengujian kuat lentur, pengujian daya serap air, dan pengujian rembesan air didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Nilai terbaik dari uji kuat lentur berada di variasi B dengan nilai kuat lentur 1622,58 N, sedangkan nilai terendah berada pada variasi A dengan nilai kuat lentur 1446,19 N
 - b. Nilai terbaik pada uji daya serap air berada pada variasi C dengan nilai daya serap air 5,200%, sedangkan nilai terendah berada pada variasi A dengan nilai daya serap air 8,375%
- 2) Berdasarkan penelitian dan hasil pengujian, didapatkan biaya pembuatan untuk 1 buah genteng beton konvensional A adalah Rp. 3.499,97 Sedangkan harga genteng beton terbaik berada pada variasi B dengan persentasi 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dengan harga produksi Rp. 3.286,12 Genteng beton dengan variasi B selain memiliki biaya produksi yang rendah juga menghasilkan genteng beton dengan nilai kuat lentur maksimal diantara variasi lainnya.

Penggunaan limbah abu sekam padi dan *bottom ash* sebagai substitusi sebagian semen pada pembuatan genteng beton terbukti meningkatkan kekuatan lentur dan kemampuan daya serap air genteng menjadikannya alternatif material yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Tuhan YME, dosen pembimbing, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan hasil penelitian. Diharapkan penelitian ini dapat berguna bagi pembaca sebagai salah satu sumber literatur.

REFERENSI

- Alfian. (2010). Pengaruh penambahan pasir mutilan terhadap kualitas genteng keramik di Kecamatan Boja, Kabupaten Kendal. Skripsi Sarjana, Universitas Negeri Semarang.
- Apriansyah, Hasim, A., Marwadi, A., & Chalid, N. I. (2022). Studi eksperimental kuat tekan bata merah dengan variasi penambahan abu sekam padi. *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, 1(2), 1–12.
- Arbiansyah, R. (2016). Pengaruh pemanfaatan abu sekam padi dan batu apung terhadap karakteristik tanah liat tradisional. Skripsi Diploma, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2022, August 10). Realisasi batubara untuk kelistrikan capai 72,94 juta ton. Retrieved from <https://esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/semester-i-2022-realisasi-batubara-untuk-kelistrikan-capai-7294-juta-ton>.
- Musabbikah, M., & Putro, S. (2007). Variasi komposisi bahan genteng soka untuk mendapatkan daya serap air yang optimal. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 8(2).
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). SK-SNI-S-04-1989-F spesifikasi bahan bangunan bagian A (bahan bangunan bukan logam). Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1972-1990 metode pengujian slump beton. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2007). SNI 0096: 2007 genteng beton.
- Oktaviani, T. (2021). Pemanfaatan bottom ash sebagai substitusi sebagian agregat halus pada mortar semen. Skripsi Diploma, Politeknik Negeri Jakarta.
- Rachman, F. (2015). Pengaruh abu sekam padi dan abu batu pada pembuatan genteng beton. Skripsi Sarjana, Universitas Jember.
- Sari, A. M. (2023). Pengertian, macam, dan manfaat limbah padi. Medan: Fakultas Peranian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Retrieved from <https://faperta.umsu.ac.id/2023/05/09/pengertian-macam-dan-manfaat-limbah-padi/>.

Analisis pengelolaan air limbah domestik

Bimo Putro Rahdianto^a, Rizka Arbaningrum^a

^a *Departement of Civil Engineering, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia*

Corresponding Author*:

Email:

rizka.arbaningrum@upj.ac.id

Keywords:

Domestic Wastewater, Water Treatment, STP

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: A sewage treatment plant (STP) functions to treat household, community, and industrial waste, which has been known for a long time. Most of the STPs are permanently installed. Usually, the wastewater first flows through the biological treatment stage and then ends at the retreatment stage. XYZ University is one of the universities in South Tangerang. Currently, the STP of XYZ University needs to be operating optimally. This research function is to design the STP for tower A Universitas XYZ to meet the Minister of Environment Regulation No. 68 2016 requirements regarding the quality standards of domestic wastewater. Domestic liquid waste generated by Tower A, XYZ University, is 234,576 m³/day. To manage the waste, an aerobic, anaerobic wastewater treatment plant is planned, which consists of equalization, pre-settling tanks, anaerobic tanks, aerobic tanks equipped with filter media, and final settling tanks. From the STP management, it is estimated that the quality of domestic wastewater will be BOD₅ 5,515 mg/l, COD 17,136 mg/l, and TSS 0.648 mg/l.

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Air merupakan elemen yang sangat penting untuk kehidupan makhluk hidup di bumi baik hewan, tumbuhan, dan manusia. Semua makhluk hidup memerlukan air untuk membantu metabolisme yang ada di dalam tubuh. Fungsi air juga merupakan zat yang sangat dibutuhkan untuk menjalankan aktifitasnya sehari-hari tidak seorangpun dapat bertahan hidup lebih dari 4-5 hari tanpa minum air (Dwiyono, 2016, p. 1). Pesatnya perkembangan era industrialisasi dan aktivitas manusia menyebabkan penggunaan air yang berlebihan. Hal ini menurunkan kualitas air bersih, ditambah dengan banyaknya limbah yang mencemari sumber air. Air limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia antara lain berupa limbah industri yang dihasilkan dari segala aktifitas industri dan limbah rumah tangga yang dihasilkan dari segala aktifitas rumah tangga.

Pelaksanaan pembangunan pada saat ini harus mempunyai wawasan lingkungan hidup, tidak terlepas dari adanya tindak lanjut sarana dan prasarana pengolahan lingkungan. Dampak negatif pada umum nya terjadi karena limbah padat dan cair yang dapat mengganggu kegiatan operasional, namun jika pengolahan kurang baik dan air tercemar oleh limbah akan mencemari lingkungan sekitar (Ahmad, 2012, p. 1).

Universitas XYZ merupakan salah satu perguruan tinggi di Indonesia. Universitas XYZ memiliki 2 gedung yaitu Gedung A dan Gedung B. Gedung B terdiri dari 8 lantai dan telah memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Pengolahan air limbah di Gedung B menggunakan sistem anaerob. Selama ini pengolahan limbah di gedung B cukup baik. Berbeda dengan kondisi yang terjadi di Gedung A. Pada Gedung A Universitas XYZ memiliki IPAL yang digabung bersama IPAL gedung B, jika tidak segera dianalisis dan direncanakan maka limbah yang berasal dari Gedung A dan gedung B dapat mencemari lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan analisis pengelolaan air limbah domestik di Gedung A Universitas XYZ.

IPAL berfungsi untuk mengolah limbah rumah tangga, komunitas dan industri telah dikenal sejak lama. Sebagian besar IPAL dipasang secara permanen biasanya air limbah pertama-tama mengalir melalui tahap kemudian tahap *biological treatment* (pengolahan biologis) dan berakhir pada tahap *retreatment*. Dengan menggunakan IPAL aerob dan anaerob diharapkan sungai dan lingkungan di sekitar Universitas XYZ terbebas dari pencemaran air limbah kususnya domestik.

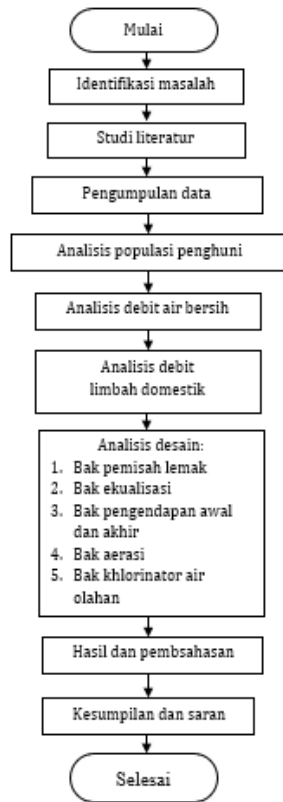
2. DATA DAN METODE

2.1. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan observasi langsung di Gedung A Universitas XYZ. Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer dan sekunder. Data primer terdiri dari debit air kotor, lokasi gedung. Debit air kotor diperoleh dari perhitungan dan lokasi gedung diperoleh dengan survey lokasi. Data sekunder terdiri dari data kondisi bangunan di lapangan, populasi pengguna bangunan, dan pembacaan meteran air. Data kondisi bangunan serta pembacaan meteran didapatkan dengan pengambilan data dengan pihak bagian umum Universitas XYZ, dan untuk data populasi didapatkan dengan pengambilan data dengan pihak Biro pendidikan dan HRD Universitas XYZ.

2.2. Metode pelaksanaan

Dalam identifikasi masalah, langkah pertama yang harus dilakukan adalah merumuskan masalah yang ada. Rumusan masalah menjadi sangat penting karena akan membantu dalam mengarahkan langkah-langkah penelitian selanjutnya. Setelah merumuskan masalah, hal lain yang perlu ditentukan adalah tujuan, batasan dan asumsi dalam penelitian dengan tujuan agar dapat menjalankan model dengan benar. Setelah mendapatkan identifikasi masalah yang jelas dan rinci, langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur. Studi pustaka penting untuk dilakukan untuk menganalisis data. Proses observasi ini peneliti dapat mengamati kondisi di lapangan untuk menunjang hasil penelitian. Pada observasi ini peneliti meninjau kondisi lapangan untuk memperkirakan luas dan keadaan lingkungan. Ketika semua data telah terkumpul langkah selanjutnya adalah menghitung menghitung jumlah penghuni gedung dengan menggunakan data yang telah diberikan pihak Biro Pendidikan serta HRD Universitas XYZ. Selanjutnya menghitung debit air bersih dengan menggunakan data yang telah diberikan oleh pihak bagian umum Universitas XYZ. Debit air bersih dapat digunakan untuk mencari debit air kotor atau limbah domestik pada objek penelitian. Limbah domestik adalah limbah yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari di rumah tangga, seperti sisa air mandi, mencuci, dan memasak, serta limbah dari kantor atau tempat komersial. Limbah ini biasanya berupa limbah cair yang mengandung bahan organik dan kimia. Nilai debit air buangan atau limbah domestik ini digunakan untuk perhitungan bak pada IPAL (Bak Pemisah Lemak, Bak Ekualisasi, Bak Pengendap Awal, Bak Anaerob, Bak Aerob, Bak Pengendap Akhir). Setelah mendapatkan semua ukuran bak yang diperlukan. Tahap selanjutnya adalah mendesain IPAL dengan menggunakan aplikasi AutoCAD. Tahap terakhir adalah kesimpulan dan saran. Adapun bagan alir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Populasi total pengguna gedung

Jumlah penghuni, penulis menggunakan data yang telah didapatkan dengan wawancara langsung dengan pihak pengelola gedung. Tabel 1 merupakan data jumlah penghuni

Tabel 1. Pemakaian air bersih gedung

Penggunaan Gedung	Pemakaian Air	Satuan
Karyawan	69	Orang
Dosen	83	Orang
Mahasiswa	2314	Orang
Total	2466	Orang

3.2. Analisis debit air limbah domestik

Volume air buangan penghuni didapat dari debit total pemakaian air bersih penghuni dikalikan dengan 80%. Berikut perhitungan untuk mengetahui volume debit air limbah domestik:

$$\begin{aligned}
 a &= Q_t \times 80\% \\
 &= 11.3 \text{ m}^3/\text{hari} \times 80\% \\
 &= 9.04 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai debit air limbah domestik perhari sebesar 9.04 m³/hari atau 0.377 m³/jam atau 0.00628 m³/menit.

3.3. Volume bak pemisah lemak

Di dalam bak pemisah lemak direncanakan:

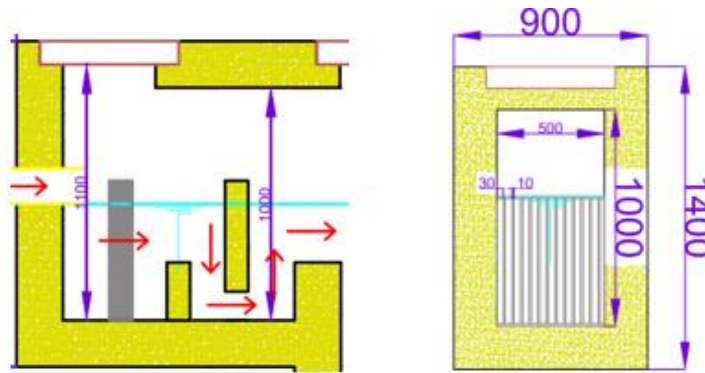
$$\begin{aligned}
 \text{Waktu tinggal} &= 30 \text{ menit} \\
 \text{Debit air limbah domestik} &= 9,04 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,377 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 0,00628 \text{ m}^3/\text{menit}
 \end{aligned}$$

Volume bak yang diperlukan = (waktu tinggal/24) x debit air limbah
 = (0,5/24) x 9,04
 = 0,1883 m³

Dimensi bak:

Panjang = 1 m
 Lebar = 0,5 m
 Kedalaman air = 0,5 m
 Tinggi ruang bebas = 0,5 m
 Tinggi = 1 m
 Volume efektif = 0,25 m³ > 0.1883 m³ (ok)
 Volume bak = 0,5 m³

Adapun ilustrasi bak pemisah dan potongan bak pemisah lemak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bak pemisah lemak dan potongan bak pemisah lemak

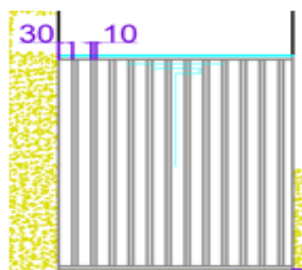
3.4. Desain bar screen

Bar Screen berfungsi untuk menyaring sampah dari padatan kasar seperti plastik, daun dan sampah besar lainnya yang terbawa aliran air limbah domestik sebelum masuk ke unit pengolahan.

Di dalam bar screen direncanakan:

Lebar bukaan = 0.03 m = 3 cm
 Lebar batang bar screen = 0.01 m = 1 cm
 Jumlah bukaan = $\frac{0.5 \text{ m}}{(0.03 \text{ m} + 0.01 \text{ m})}$
 = 12.5 = 13 bukaan
 Jumlah batang = 13 - 1 = 12 batang

Adapun ilustrasi bar screen ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bar screen

3.5. Desain bak evakuasi

Bak ekualisasi berfungsi untuk tempat menampung air limbah agar bersifat homogen serta mencegah fluktuasi debit pada bak pengolahan selanjutnya. Di dalam bak ekualisasi direncanakan:

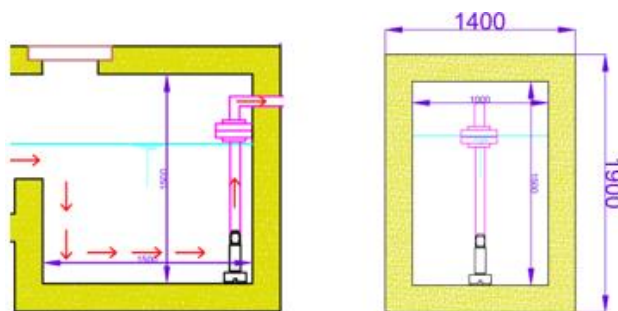
Waktu tinggal = 3 jam

$$\begin{aligned} \text{Debit air limbah domestik} &= 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0.377 \text{ m}^3/\text{jam} = 0.00628 \text{ m}^3/\text{menit}. \\ \text{Volume bak yang diperlukan} &= \frac{\text{waktu tinggal}}{24} \times \text{Debit Air Limbah} \\ &= \frac{3}{24} \text{ hari} \times 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1.13 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensi bak evakuasi:

Panjang	= 1.5 m
Lebar	= 1 m
Kedalaman air	= 1 m
Tinggi ruang bebas	= 0.5 m
Tinggi	= 1,5 m
Volume efektif	= 1.5 m ³ > 1.13 m ³ (ok)
Volume bak	= 2.25 m ³
Tebal dinding	= 20 cm

Adapun ilustrasi *bar screen* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bak evakuasi dan potongan bak evakuasi

3.6. Desain bak pengendap awal

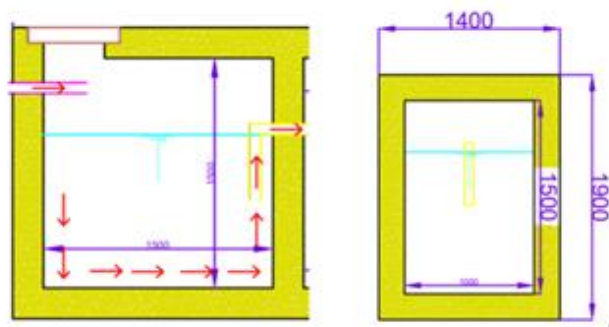
Bak pengendap awal berfungsi untuk mengurangi partikel padat yang tersuspensi dalam air limbah dengan cara mengendapkan pada bak selama waktu tertentu. Sehingga volume bak pengendap awal yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \text{Volume bak yang diperlukan} &= \frac{\text{waktu tinggal}}{24} \times \text{Debit Air Limbah} \\ &= \frac{3}{24} \text{ hari} \times 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1.13 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensi bak:

Panjang	= 1,5 m
Lebar	= 1 m
Kedalaman air	= 1 m
Tinggi ruang bebas	= 0,5 m
Tinggi	= 1,5 m
Volume efektif	= 1,5 m ³ > 1.13 m ³ (ok)
Volume bak	= 2,25 m ³
Tebal dinding	= 20 cm

Adapun ilustrasi *bar screen* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bak pengendap awal dan potongan bak pengendap awal

3.7. Desain bak anaerob

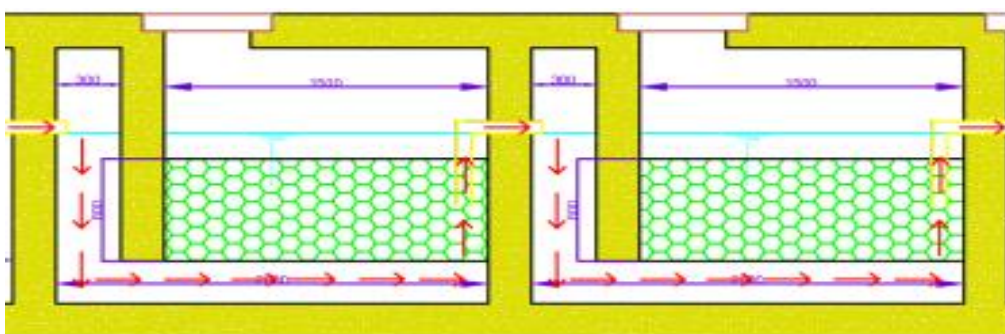
Bak anaerob ini direncanakan terdiri dari beberapa kompartemen dan juga dilengkapi dengan yang media filter sarang tawon dengan tipe crossflow. Di dalam bak anaerob direncanakan :

- Waktu tinggal = 8 jam
- Debit air limbah domestik = 9.04 m³/hari.
- Temperatur = 20°C
- BOD_{inlet} = 245 mg/l
- COD_{inlet} = 560 mg/l
- TSS_{inlet} = 160 mg/l
- Volume bak yang diperlukan = $\frac{\text{waktu tinggal}}{24} \times \text{Debit Air Limbah}$
- = $\frac{8}{24}$ hari x 9.04 m³/hari
- = 3,013 m³

Dimensi bak anaerob:

- Panjang = 4 m
- Lebar = 1 m
- Kedalaman = 1 m
- Tinggi ruang bebas = 0,5 m
- Tinggi = 1,5 m
- Volume efektif = 4 m³ > 3,013 m³ (ok)
- Volume bak = 6 m³
- Tebal dinding = 20 cm

Adapun ilustrasi *bar screen* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bak anaerob

3.8 Desain bak aerob

Pada bak aerob dilengkapi dengan media filter dan blower udara sebagai aerator. Bak aerob filter ini mempunyai efisiensi 75% - 95%. Desain bak aerob adalah sebagai berikut:

$$\text{Vol media filter} = \frac{Q \times S_o}{\text{Beban BOD}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9.04 \times 0.032}{2} \\
 &= 0.145 \text{ m}^3 \\
 \text{Vol Bak Aerob} &= \frac{100}{50} \times \text{vol media filter} \\
 &= \frac{100}{50} \times 0.145 \text{ m}^3 \\
 &= 0.29 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan bak aerob memiliki dua ruang, sehingga:

1) Ruang media filter

Panjang	= 0,75 m
Lebar	= 0,5 m
Kedalaman	= 1 m
Tinggi ruang bebas	= 0,5 m
Tinggi	= 1,5 m
Volume efektif	= 0,375 m ³ > 0,145 m ³ (ok)
Volume bak media filter	= 0,5625 m ³
Tebal dinding	= 20 cm

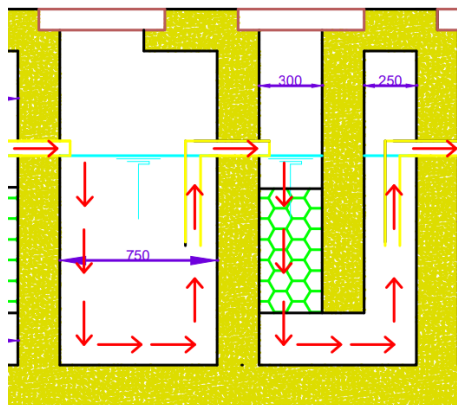
2) Ruang aerasi

Panjang	= 0.75 m
Lebar	= 0.5 m
Kedalaman	= 1 m
Tinggi ruang bebas	= 0.5 m
Tinggi	= 1.5 m
Volume efektif	= 0.375 m ³
Volume ruang aerasi	= 0.5625 m ³
Tebal dinding	= 20 cm

3) Total volume efektif

$$\begin{aligned}
 \text{Volume total} &= 0.5625 + 0.5625 = 1.125 \text{ m}^3 > 0.29 \text{ m}^3 \text{ (ok)} \\
 \text{Waktu tinggal} &= \frac{\text{volume efektif bak aerob}}{Q \text{ limbah}} \times 24 = \frac{1.125}{9.04} \times 24 = 2.98 \text{ jam} \approx 3 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Adapun ilustrasi *bar screen* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bak aerob

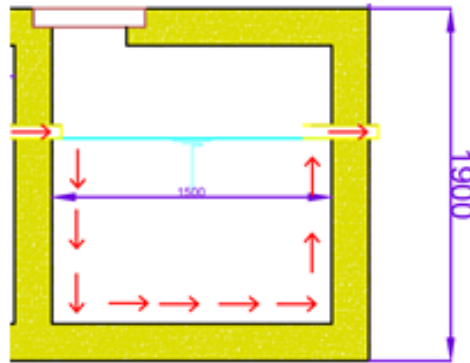
3.9. Desain bak pengendap air

Desain bak pengendap akhir diharapkan dapat mengendapkan 85% padatan TSS serta menyisihkan 15% material organik.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak yang diperlukan} &= \frac{\text{waktu tinggal}}{24} \times \text{Debit Air Limbah} \\
 &= \frac{3}{24} \text{ hari} \times 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} = 1.13 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dimensi bak Pengendap Akhir :

- Panjang = 1.5 m
 - Lebar = 1 m
 - Kedalaman air = 1 m
 - Tinggi ruang bebas = 0,5 m
 - Tinggi = 1.5 m
 - Volume efektif = $1.5 \text{ m}^3 > 1,13 \text{ m}^3$ (ok)
 - Volume = 2.25 m^3
 - Tebal dinding = 20 cm
- Adapun ilustrasi *bar screen* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Bak pengendap akhir

3.10. Analisis penurunan kadar limbah domestik

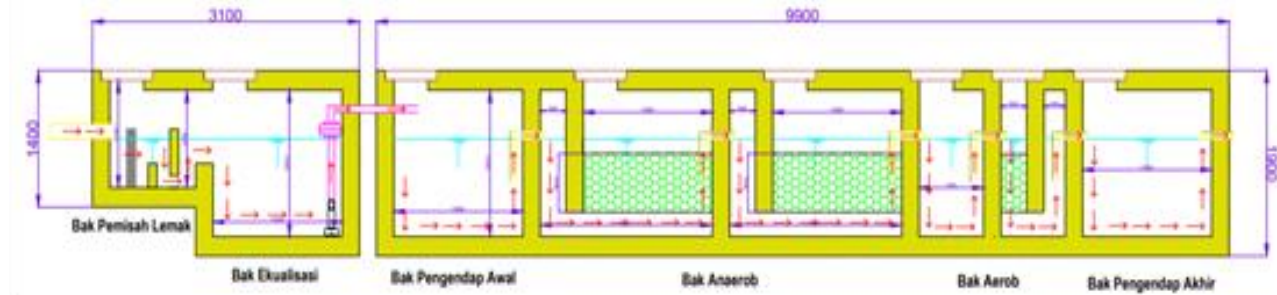
Setelah melakukan perhitungan penghematan air maka kita dapat melihat kategori kualitas effluent dan perkiraan efisiensi tiap-tiap ruang IPAL diantaranya disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Penurunan kandungan BOD, COD, dan TSS dari tiap proses pengelolaan

No	Bangunan Pengelolaan		Satuan	BOD	COD	TSS
1	Bak Pengendap Awal	Reduksi	Kg/hari	0.9492	2.1696	1.0848
			Kg/jam	0.03955	0,0904	0,0452
		Inlet	mg/liter	350	800	400
		Outlet	mg/liter	245	560	160
2	Bak Anaerob	Reduksi	Kg/hari	1.9269	4.1512	1.2511
			Kg/jam	0,0803	0,173	0,0521
		Inlet	mg/liter	245	560	160
		Outlet	mg/liter	31.85	100.8	21.6
3	Bak Aerob	Reduksi	Kg/hari	2.2419	0.7232	0.2025
			Kg/jam	0,0934	0,0301	0,0084
		Inlet	mg/liter	31.85	100.8	21.6
		Outlet	mg/liter	6.37	21.16	4.32
4	Bak Pengendap Akhir	Reduksi	Kg/hari	0.0864	0.2733	0.331
			Kg/jam	0,0036	0,0114	0,0138
		Inlet	mg/liter	6.37	21.16	4.32
		Outlet	mg/liter	5.415	17.136	0.648

Tabel 3. Perbandingan kandungan BOD, COD, dan TSS dengan baku mutu

Parameter	Kadar (mg/l)	Baku Mutu (mg/l)
BOD	5.515	30
COD	17.136	100
TSS	0.648	30



Gambar 9. Skema IPAL

4. KESIMPULAN

Kadar air limbah domestik Universitas XYZ mengalami reduksi. BOD, COD, dan TSS yang semula bernilai 350 mg/l, 800 mg/l, dan 400 mg/l tereduksi sampai 5.515 mg/l, 17.136 mg/l, dan 0.648 mg/l. Ketiga parameter tersebut berada di bawah nilai parameter baku mutu SNI maka desain serta ukuran IPAL tipe anaerob dan aerobik penelitian ini telah sesuai dengan standar baku mutu. Pengelolaan air limbah domestik yang baik sangat penting untuk menjaga lingkungan dan kesehatan. Dengan penerapan teknologi pengolahan yang tepat, pencemaran air dapat dikurangi secara efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak Universitas XYZ yang senang tiasa memberikan bantuan serta informasi yang diperlukan dalam penelitian.

REFERENSI

- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2017). Perubahan atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.12/Menlhk-II/2015 tentang Pembangunan Hutan Tanaman Industri (Nomor Menlhk/Setjen/Kum.1/2).
- Ahmad, M. (2019). Redesain sistem pengolahan air limbah pada sewage treatment plant (STP) untuk peningkatan kualitas air limbah di Central Park Mall Jakarta (Doctoral dissertation). Retrieved from <http://unugha.ac.id>
- Agusnar, H. (2008). Analisa pencemaran dan pengendalian pencemaran.
- Amri, K., & Wesen, P. (2015). Pengolahan air limbah domestik menggunakan biofilter anaerob bermedia plastik (bioball). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2), 55-66.
- Anandita, S. H. (2019). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pada rumah pemotongan ayam (RPA) Y di wilayah Sleman, Yogyakarta (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Arismunandar, W., & Tsuda, K. (1993). Motor diesel putaran tinggi. Jakarta, Indonesia: Pradnya Paramita.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). SNI 03-7065-2005. Tata cara perencanaan sistem plambing.
- Budiatma, A., & Sholichin, M. (2019). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) terpusat di Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 2(2), 41.
- Dwiyono. (2016). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah domestik sistem lumpur aktif di Gedung Trans Mart. Retrieved from <http://teknik.usni.ac.id/jurnal/yusriani.pdf>
- Eviati, S., & Sulaeman, M. (2009). Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk. Bogor, Indonesia: Balai Penelitian Tanah.
- Gumilar, G. (2011). Perencanaan plumbing air bersih dan air kotor (Studi Kasus Gedung Kantor Administrasi Bandara Adi Soemarmo Surakarta).
- Hartaja, D. R. K., & Setiadi, I. (2016). Design planning wastewater treatment plant of nata de coco industry with the activated sludge process. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 9(2).
- Juwana, J. S. (2004). Panduan sistem bangunan tinggi. Jakarta, Indonesia: Erlangga.
- Metcalf, L. (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse. Metcalf & Eddy Inc.
- Mohammadi, H., Sabzali, A., Gholami, M., Dehghanifard, E., & Mirzaei, R. (2012). Comparative study of SBR and extended aeration activated sludge processes in the treatment of high-strength wastewaters. *Desalination*, 287, 109-115.
- Morimura, T., & Noerbambang, S. M. (2000). Perancangan dan pemeliharaan sistem plambing. Jakarta, Indonesia: PT Pradnya Paramita.
- Siregar, S. A. (2005). Instalasi pengolahan air limbah. Yogyakarta, Indonesia: Kanisius.
- Sasse, L. (1998). DEWATS: Decentralised wastewater treatment in developing countries. Bremen, Germany: BORDA.

- Satiti, E. (2011). Identifikasi dan karakterisasi limbah cair serta evaluasi instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pasar tradisional.
- Sofiana, A. I., Utomo, B., & Sudarto, S. (2018). Evaluasi instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Universitas Sebelas Maret Surakarta. *Matriks Teknik Sipil*, 6(1).
- Umum, P. M. P., & Indonesia, P. R. R. (2017). Penyelenggaraan sistem pengelolaan air limbah domestik (Nomor 04/PRT/M).
- Wanggay, P. A. (2013). Analisa perhitungan kebutuhan air bersih dan air kotor.
- Yulistyorini, A., Camargo-Valero, M. A., Sukarni, S., Suryoputro, N., Mujiyono, M., Santoso, H., & Tri Rahayu, E. (2019). Performance of anaerobic baffled reactor for decentralized wastewater treatment in urban Malang, Indonesia. *Processes*, 7(4), 184.

Analisis geometrik lokasi rawan laka di Jalan Lingkar Sumpiuh, Banyumas

Agung Hari Wibowo^{ab}, Ari Widyatmoko^b, Achmad Effendi^b

^{a*} Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI, Indonesia

^b Anggota Himpunan Pengembang Jalan Indonesia (HPJI) Jawa Tengah, Indonesia

Corresponding Author*:

Email: agungundaris@gmail.com

Keywords:

Geometric, safety, accident prone location

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Safety roads are closely related to geometric design, which includes road function, speed design, superelevation, and alignment. This paper is a geometric study to realize a safe road on Sumpiuh Ring Road, Banyumas Regency, Central Java. The locus of this research is the PI-2 and PI-3 bends located at STA. 22+213 to 22+348 are two opposing bends close to each other. The existing measurement shows that the road cross-section's transverse slope at the peak of the PI-2 bend is 2.00%, while at PI-3, it is 0.70%. With a 60 km/hour speed, the driver will have difficulty controlling his vehicle due to centrifugal force. Such conditions make this location prone to accidents. From the analysis results, a transverse slope of 7.75% is required for PI-2 and 6.45% for PI-3. Construction adjustments need to be made to meet the needs of this superelevation design. The form of mitigation that can be done is by adding signs and road facilities such as guardrails, traffic signs such as chevron signs, speed reduction signs, rumble strips, and speed humps. This is intended to reduce accidents and fatalities at the location.

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan jalan berkeselamatan telah menjadi topik yang banyak dibahas dalam diskusi penyelenggaraan jalan, mulai dari perilaku pengendara, desain geometrik dan kecepatan, hingga kebutuhan rambu lalu-lintas. Jalan berkeselamatan adalah jalan yang memberikan rasa aman kepada pengguna jalan (Hanan et al., 2011), dengan kata lain jalan berkeselamatan merupakan jalan yang menjamin keselamatan bagi pengguna jalan (Pandey, 2013). Aspek keselamatan harus dijadikan target utama oleh penyelenggara jalan, baik pada saat perencanaan teknis maupun saat proses pelaksanaan di lapangan. Hal ini tertuang dalam Pasal 23 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu-Lintas Dan Angkutan Jalan yang menyatakan bahwa penyelenggara jalan berkewajiban memberikan rasa aman bagi pengguna jalan. Dalam perencanaan teknis ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat keselamatan jalan diantaranya adalah kecepatan rencana, kendaraan rencana, serta desain geometrik dari jalan itu sendiri. Ketiga komponen ini seringkali menjadi faktor terjadinya kecelakaan lalu-lintas disamping faktor perilaku pengemudi.

Oktopianto et al. (2023) dalam penelitiannya yang berjudul Permodelan Kondisi Geometrik Jalan Terhadap Potensi Kecelakaan Lalu-lintas mengungkapkan bahwa terdapat korelasi sangat kuat antara parameter geometrik jalan terhadap kejadian kecelakaan. Sementara Siahaan (2020) mengemukakan bahwa kejadian kecelakaan banyak disebabkan oleh kondisi geometrik di bawah standar. Dua penelitian di tersebut menjelaskan bahwa desain geometrik menjadi faktor tingkat keselamatan jalan. Kondisi tikungan memiliki risiko kecelakaan 150 hingga 400 kali lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lurus (Manggala et al., 2015). Kejadian kecelakaan pada daerah tikungan tidak terlepas dari kecepatan kendaraan yang melintas dengan keadaan geometrik tikungan itu sendiri. Purwanto et al. (2015) memberikan gambaran bahwa kecelakaan pada tikungan dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan yang melintas, radius tikungan, serta kemiringan melintang pada puncak tikungan. Hasil penelitian ini diperkuat oleh Pujiastutie (2006) yang menyampaikan bahwa semakin besar sudut tikungan maka semakin besar pula resiko terjadinya kecelakaan lalu lintas atau laka lant. Menyimak beberapa penelitian terdahulu yang telah disampaikan, terdapat pengaruh cukup kuat antara kondisi geometrik jalan dengan tingginya kejadian laka. Berdasarkan keterkaitan tersebut, penulis melakukan analisis kondisi geometrik pada titik rawan laka di Jalan Lingkar Sumpiuh.

Lokasi rawan laka di Jalan Lingkar Sumpiuh berada pada STA. 22+213 s/d 22+348 merupakan dua tikungan berlawanan yang saling berdekatan. Titik koordinat awal tinjauan adalah -7,61001595; 109,38794555 dan titik akhir tinjauan berada pada -7,61004662; 109,38971703. Menurut informasi warga setempat, sering terjadi laka di lokasi tersebut (Surat Kepala Balai BBPJK Jawa Tengah - DI Yogyakarta, Nomor: UM0102-Bb7/511, Tanggal 25 Juni 2024). Salah satu contoh kejadian adalah kecelakaan yang melibatkan Truck Isuzu NKR 71 E2-2 dengan Mobil Toyota Inova pada Hari Senin 24 Juni 2024 Pukul 05.00 WIB (Laporan Dan Kronologi Kejadian Kecelakaan, 2024), dimana dilaporkan bahwa truck yang berjalan dengan kecepatan sedang dari arah barat ke timur keluar lajur, sehingga menghantam Toyota Innova yang berjalan dari arah berlawanan. Beberapa kejadian laka juga terjadi sebelum dan setelahnya di lokasi yang sama.

Penelitian ini merupakan kajian analisis mengenai geometrik jalan pada titik rawan laka pada Ruas Jalan Lingkar Sumpiuh, Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lokasi rawan laka di Jalan Lingkar Sumpiuh dari sisi geometrik jalan, yakni antara kesesuaian eksisting dengan kebutuhan desain geometrik berdasarkan hasil analisis dan sesuai dengan aturan yang berlaku. Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan kajian di lokasi rawan laka untuk dapat dijadikan pertimbangan dalam perencanaan perbaikan geometrik dalam rangka menekan angka kejadian laka di lokasi tersebut.

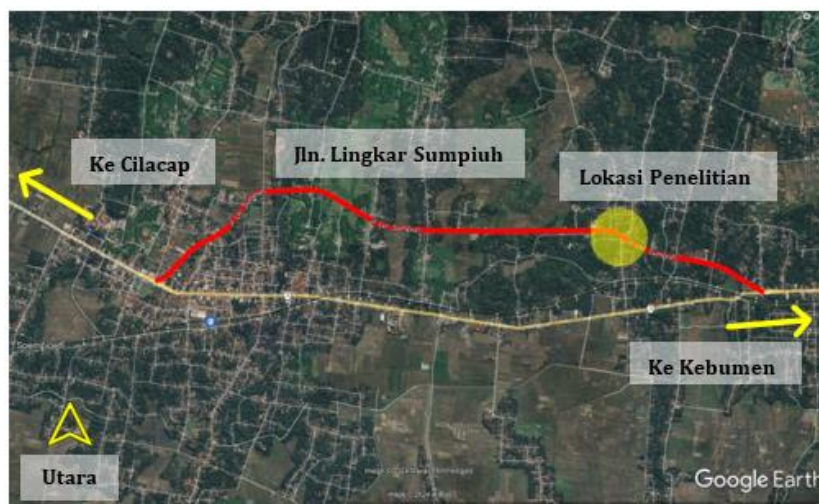
2. DATA DAN METODE

2.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah evaluasi ulang bentuk geometrik di tikungan PI-2 dan PI-3 dengan parameter masukan sesuai dengan fungsi Jalan Lingkar Sumpiuh sebagai Jalan Arteri Primer sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2023 Tentang Persyaratan Teknis Dan Perencanaan Teknis Jalan. Acuan yang digunakan adalah Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 20/SE/Db/2021 Tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan dan beberapa sumber lain yang relevan. Batasan penelitian diberikan dengan tidak mengakomodir perubahan trase alinyemen horizontal karena tersedianya lahan di lapangan. Keterbatasan lahan mempengaruhi desain ulang tikungan dengan membatasi opsi pelebaran jalan atau perubahan geometri tikungan. Sehingga tinjauan pada penelitian ini lebih mengarah pada kemiringan melintang jalan untuk mengakomodir gaya sentrifugal kendaraan.

2.2. Jalan Lingkar Sumpiuh

Jalan Lingkar Sumpiuh memiliki panjang 5,04 km dengan fungsi jalan arteri primer (Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 430/KPTS/M/2022 Tentang Penetapan Ruas Jalan Dalam Jaringan Jalan Primer Menurut Fungsinya Sebagai Jalan Arteri Primer Dan Jalan Kolektor Primer-1), dan terletak di wilayah administratif Kabupaten Banyumas. Peta situasi Jalan Lingkar Sumpiuh dan titik kajian lokasi rawan laka ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jalan Lingkar Sumpiuh dan lokasi penelitian (Google Earth, 2020)

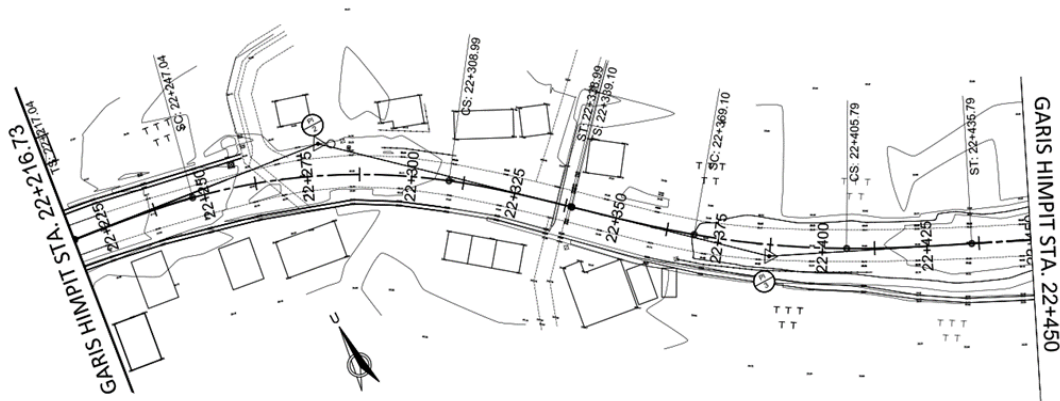
Mengacu pada Permen PUPR Nomor 5 Tahun 2023, persyaratan teknis Jalan Lingkar Sumpiuh sebagai ruas jalan dalam sistem jaringan jalan primer ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan teknis jalan arteri primer (Permen PUPR No. 5 Th. 2023)

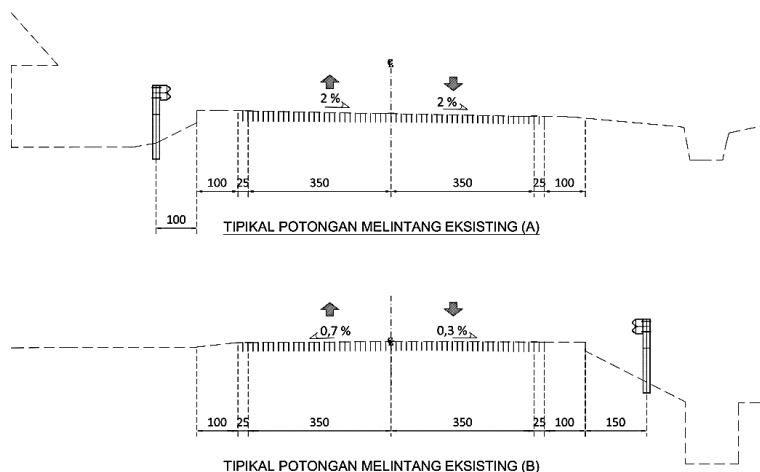
Fungsi Jalan	Arteri
Tipe Jalan	2/2 TT
Lebar Lalu Lintas ($V_D \leq 80$ km/jam)	7,00 m
Kapasitas Rencana (Maksimum)	26.400 SMP/Hari
Kecepatan Rencana	60 – 80 km/jam
Lebar Bahu ($V_D \leq 80$ km/jam)	1,00 m
Kemiringan Melintang Daerah Normal	2,00 – 3,00%
Superelevasi Maksimum	8,00%
Kelandaian Memanjang Maksimum	6,00%

2.3. Lokasi Rawan Laka di Jalan Lingkar Sumpiuh

Pengukuran topografi dilakukan untuk mendapatkan radius, profil memanjang, penampang melintang eksisting, serta gambaran situasi di sekitar lokasi penelitian. Hasil pengukuran topografi diperlihatkan pada Gambar 2. Hasil pengukuran menunjukkan dua tikungan yang berhimpit, yaitu pada titik potong PI-2 dan PI-3. Tikungan PI-2 memiliki radius 150 m sedangkan tikungan PI-3 memiliki radius sebesar 220 m. Lebar total perkerasan jalan diukur adalah 7,50 m dimana lebar lajur lalu-lintas pada masing-masing arah adalah 3,50 m. Terdapat bahu jalan berpenutup dengan lebar 1,00 m pada sisi kanan maupun kiri. Gambar penampang melintang jalan pada puncak tikungan PI-2 dan PI-3 ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Hasil Pengukuran Eksisting Jalan Lingkar Sumpiuh STA. 22+217 s/d 22+450 (Core Team P2JN Prov. Jateng, 2024)



Gambar 3. Penampang Melintang Puncak Tikungan 2 (Gambar A) dan 3 (Gambar B)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis dan data teknis tikungan pada lokasi tinjauan

Terdapat dua macam tikungan yang dapat digunakan dalam perencanaan geometrik, yakni full circle (F-C) dan spiral-circle-spiral (S-C-S). Pemakaian jenis tikungan diprioritaskan adalah F-C dan kemudian S-C-S (SE Dirjen Bina Marga No. 20/SE/Db/2021 Th. 2021). Tidak semua lengkung dapat dibuat F-C, hanya lengkung dengan radius besar dan sudut tikungan kecil yang dapat menggunakan model F-C, sebaliknya tikungan tajam dengan radius kecil dan sudut tikungan besar membutuhkan lengkung peralihan untuk mencapai kemiringan desain pada daerah superelevasi. Superelevasi adalah kemiringan melintang jalan di tikungan yang dirancang untuk membantu kendaraan tetap stabil saat melaju. Dengan menaikkan sisi luar tikungan lebih tinggi dari sisi dalam, gaya sentrifugal yang terjadi saat kendaraan berbelok dapat dikompensasi, sehingga mengurangi risiko tergelincir atau kecelakaan. Sukirman (1999) memberikan manfaat adanya lengkung peralihan pada alinyemen horizontal, diantaranya adalah (1) pengemudi dapat dengan mudah mengikuti jalur yang telah tersedia, (2) memungkinkan perubahan kemiringan pada lereng normal ke arah superelevasi desain secara berangsur-angsur, (3) menambah keamanan dan kenyamanan bagi pengemudi, dan (4) menambah keindahan dengan menghilangkan kesan “patah” antara bagian lurus dengan daerah superelevasi. Berdasarkan hasil pengukuran topografi, dua tikungan yang ditinjau memiliki model S-C-S. Dilihat dari fungsi jalan dan keadaan eksisting, berikut adalah data teknis pada tikungan PI-2 dan PI-3 yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Geometri Tikungan PI-2 dan PI-3 sesuai Pengukuran Lapangan

	PI-2 (S-C-S)	PI-3 (S-C-S)	Keterangan
Station	22+279,59	22+387,73	
X (easting)	322232.022	322315.027	
Y (northing)	9158575.9641	9158501.8477	
d	S83° 21' 33"E	S48° 14' 16"E	Sudut Datang
β	35.1213	17.3693	Sudut Tikungan
R	150 m	220 m	Radius
V	60 km/jam	60 km/jam	Jalan Arteri Primer
e _{maks}	8,00%	8,00%	Jalan Arteri Primer
Lc	61,95 m	36,69 m	
Ls 1	30,00 m	30,00 m	
Ls 2	30,00 m	30,00 m	
L Total	121,95 m	96,69 m	
Eksisting	2,00%	0,70%	Hasil Pengukuran

3.2. Tinjauan Radius Minimum (R_{min}) dan Derajat Lengkung Maksimum (D_{maks})

Radius minimum merupakan lengkung tertajam dari sebuah tikungan yang besarnya dipengaruhi oleh nilai kemiringan desain pada puncak tikungan tertajam yang diperbolehkan (e_{maks}), gaya gesek maksimum pada arah melintang yang dipengaruhi oleh gaya sentrifugal (f_{maks}), dan kecepatan desain (V). Perhitungan R_{min} dapat ditentukan dengan persamaan (1), sementara untuk derajat kelengkungan maksimum (D_{maks}) dapat dihitung dengan persamaan (2), sedangkan nilai derajat lengkung faktual dapat dihitung dengan persamaan (3) (Sukirman, 1999).

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(e_{maks} + f_{maks})} \dots\dots\dots (1)$$

$$D_{maks} = \frac{181913,53(e_{maks} + f_{maks})}{v^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$D_{faktual} = \frac{1432,39}{R_{faktual}} \dots\dots\dots (3)$$

Nilai f_{maks} diambil sebesar 0,15 untuk kecepatan 60 km/jam dengan kemiringan melintang maksimum 8% (Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021). Dari perhitungan menggunakan persamaan 1 maka diperoleh radius minimum sebesar 123,25 m ≈ 125 m, sementara dari persamaan 2 diperoleh derajat kelengkungan maksimum sebesar 11,62°. Besaran radius dan derajat kelengkungan di tikungan PI-2 maupun PI-3 telah memenuhi kriteria R_{faktual} > R_{min} dan D_{faktual} < D_{maks}. Adapun kontrol radius terhadap radius minimum disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kontrol radius terhadap radius minimum

	PI-2 (S-C-S)	PI-3 (S-C-S)	Keterangan
V	60 km/jam	60 km/jam	Jalan Arteri Primer
e _{maks}	8,00%	8,00%	Jalan Arteri Primer
f _{maks}	0,15	0,15	PDGJ, 2021
R _{min}	125 m	125 m	Radius Minimum
R _{faktual}	150 m	220 m	Radius Terpasang
D _{maks}	11,62°	11,62°	Derajat Lengkung Maksimum
D _{faktual}	9,55°	6,51°	Derajat Lengkung Terpasang
Kontrol	R _{faktual} > R _{min} , OK! D _{faktual} < D _{maks} , OK!	R _{faktual} > R _{min} , OK! D _{faktual} < D _{maks} , OK!	Memenuhi kriteria

3.3. Tinjauan desain tikungan

Perhitungan nilai e dapat dihitung dengan persamaan (4), dimana komponen pembentuknya yakni D_{faktual}, D_{maks}, dan e_{maks} diperoleh dari Tabel 3 (Subkhan, 2019). Hasil perhitungan dengan persamaan (4) menghasilkan nilai e pada tikungan PI-2 sebesar 7,75% sementara pada tikungan PI-3 didapatkan nilai e sebesar 6,45%.

$$e = \frac{-e_{maks} D^2}{D_{maks}^2} + \frac{2 e_{maks} D}{D_{maks}} \dots\dots\dots (4)$$

Hasil pengukuran menunjukkan kemiringan melintang jalan pada puncak tikungan PI-2 adalah 2,00%, sementara untuk PI-3 adalah 0,70%. Keduanya tidak memenuhi kebutuhan nilai e sesuai Persamaan 4 seperti yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kontrol e_{terpasang} terhadap e_{desain}

	PI-2 (S-C-S)	PI-3 (S-C-S)	Keterangan
V	60 km/jam	60 km/jam	Jalan Arteri Primer
R	150 m	220 m	R _{faktual}
e _{maks}	8,00 %	8,00 %	Permen No. 5 Th. 2023
D _{maks}	11,62°	11,62°	Tabel 3
D _{faktual}	9,55°	6,51°	Tabel 3
e	7,75 %	6,45 %	Persamaan (4)
e _{eksisting}	2,00 %	0,70 %	Hasil Pengukuran
Kontrol	e _{eksisting} < e, Tdk OK!	e _{eksisting} < e, Tdk OK!	Tidak memenuhi

Kontrol dilakukan pula terhadap panjang lengkung spiral yang dalam desain eksisting adalah 30 m untuk tikungan PI-2 dan PI-3. Kontrol dilakukan terhadap persamaan 5 berdasarkan waktu tempuh 3 detik, persamaan 6 berdasarkan rumus modifikasi SHORTT, dan persamaan 7 tentang pencapaian landai relatif (Rahmat & Lubis, 2016), serta angka LS minimum pada Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021.

$$L_s = \frac{V}{3,6} x t \dots\dots\dots (5)$$

$$L_s = 0,022 x \frac{V^3}{RC} - 2,727 x \frac{V x e}{C} \dots\dots\dots (6)$$

$$L_s = (e + e_n) B m_{maks} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

- t = waktu tempuh (Bina Marga = 3 Detik)
- R = radius tikungan
- C = perubahan percepatan (m/detik³); Bernilai 1 s/d 3 m/detik³ (Sukirman, 1999); atau dapat diambil 1,2 m/detik³ (Pedoman Desain Geometrik Jalan, 2021)
- e = superelevasi desain
- e_{maks} = superelevasi maksimum
- e_n = kemiringan normal
- B = Lebar lajur

m_{maks} = Landai relatif maksimum berdasarkan bina marga, untuk $V = 60$ km/jam, maka $m_{maks} = 125$ (Sukirman, 1999)

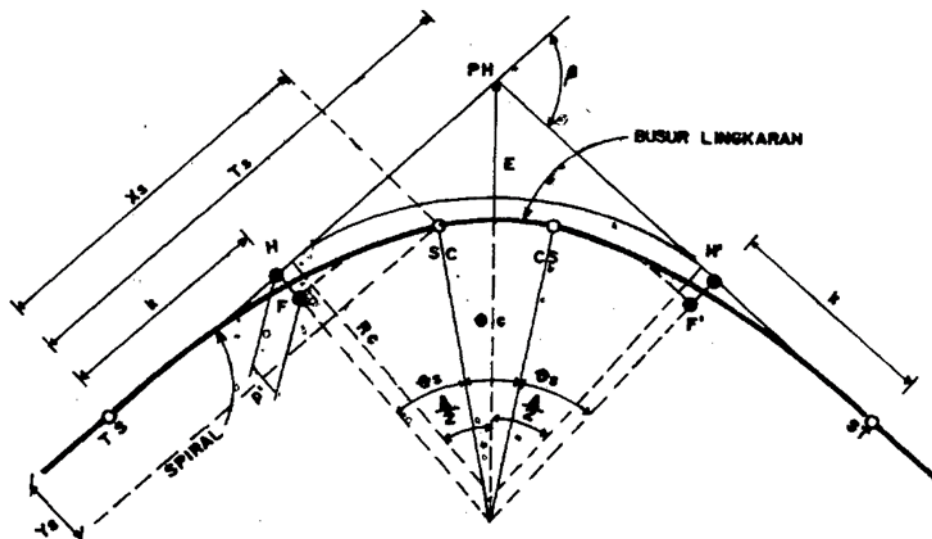
Tabel 5. Kontrol panjang lengkung spiral

	PI-2 (S-C-S)	PI-3 (S-C-S)	Keterangan
V	60 km/jam	60 km/jam	Permen No. 8 Th. 2023
R	150 m	220 m	Pengukuran Eksisting
C	1,20 m/detik ³	1,20 m/detik ³	PDGJ Tahun 2021
e	7,75 %	6,45 %	Tabel 4
e_{maks}	8,00 %	8,00 %	Permen No. 5 Th. 2023
e_n	2,00 %	2,00 %	Permen No. 5 Th. 2023
B	3,50 m	3,50 m	Pengukuran Eksisting
m_{maks}	125	125	Untuk V 60 km/jam
LS 1	50,00 m	50,00 m	Persamaan 5 (waktu tempuh 3 detik)
LS 2	15,84 m	9,20 m	Persamaan 6 (modifikasi SHORTT)
LS 3	42,64 m	36,98 m	Persamaan 7 (landai relatif)
LS 4	46,00 m	41,00 m	PDGJ Tahun 2021
LS Dipakai	30,00 m	30,00 m	LS Desain
Kontrol	LS dipakai hanya memenuhi rumus modifikasi SHORTT yang didasarkan pada perubahan gaya sentrifugal dari kemiringan melintang pada daerah lurus (e_n) menuju kemiringan melintang pada daerah superelevasi (e)		

Dalam kondisi ideal, panjang lengkung spiral akan dipilih nilai paling besar dari LS 1, LS 2, LS 3, dan LS 4. Namun karena keterbatasan lahan serta pertimbangan trase eksisting, nilai diambil untuk LS adalah 30,00 m di kedua tikungan (PI-2 dan PI-3). Nilai ini dianggap masih relevan karena lebih besar dari nilai LS berdasarkan rumus modifikasi SHORTT yang didasarkan pada perubahan gaya sentrifugal.

3.4. Parameter lengkung alinyemen horizontal dan diagram superelevasi

Ilustrasi gambar lengkung S-C-S ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Lengkung Spiral-Circle-Spiral Simetris (Sukirman, 1999)

Sukirman (1999) menyatakan parameter lengkung horizontal yang terdapat pada Gambar 4 dihitung menggunakan beberapa Persamaan 6 sampai dengan Persamaan 15.

$$\theta_s = \frac{L_s 90}{\pi Rc} \dots\dots\dots (6)$$

$$\theta_c = \beta - 2 \theta_s \dots\dots\dots (7)$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360} 2 \pi Rc \dots\dots\dots (8)$$

$$L = L_c + 2 L_s \dots\dots\dots (9)$$

$$p = \frac{L_s^2}{6 L_c} - Rc (1 - \cos \theta_s) \dots\dots\dots (10)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40 Rc^2} - Rc \sin \theta_s \dots\dots\dots (11)$$

$$E_s = (Rc + p) \sec \frac{1}{2} \beta - Rc \dots\dots\dots (12)$$

$$T_s = (Rc + p) \tan \frac{1}{2} \beta + k \dots\dots\dots (13)$$

$$x_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 Rc} \right) \dots\dots\dots (14)$$

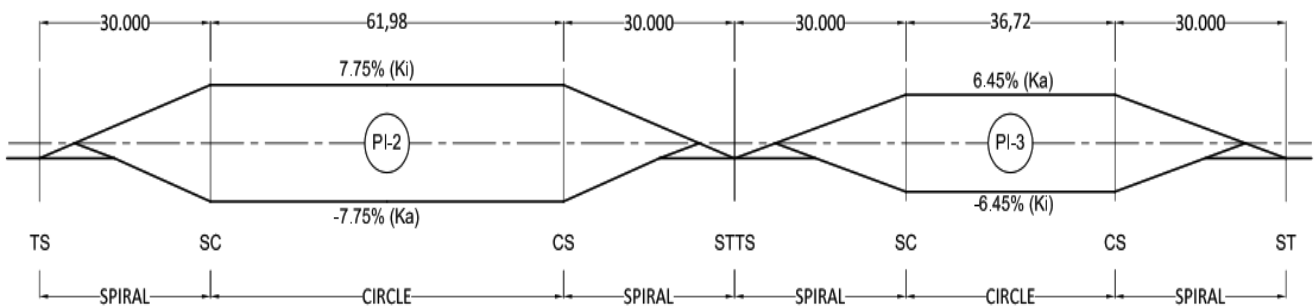
$$y_s = \frac{L_s^2}{6 Rc} \dots\dots\dots (15)$$

Dengan menggunakan kecepatan rencana 60 km/jam, superelevasi maksimum 8,00%, panjang LS 30,00 m, dan edesain sesuai tabel 4, maka hasil perhitungan parameter bentuk lengkung untuk tikungan PI-2 dan PI-3 sesuai dengan persamaan 6 s/d 15 ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan parameter lengkung

	PI-2 (S-C-S)	PI-3 (S-C-S)	Keterangan
V	60 km/jam	60 km/jam	Permen No. 8 Th. 2023
β	35.1213°	17.3693°	Sudut Tikungan
R	150 m	220 m	Pengukuran Eksisting
e_{maks}	8,00 %	8,00 %	Permen No. 5 Th. 2023
e_n	2,00 %	2,00 %	Permen No. 5 Th. 2023
e	7,75 %	6,45 %	Tabel 4
B	3,50 m	3,50 m	Pengukuran Eksisting
L_s	30,00 m	30,00 m	LS Desain
L_c	61,98 m	36,72 m	Persamaan 8
L	121,98 m	96,72 m	Persamaan 9
θ_s	5,73°	3,90°	Persamaan 6
θ_c	23,67°	9,56°	Persamaan 7
p	1,67 m	3,57 m	Persamaan 10
k	15,03 m	15,02 m	Persamaan 11
E_s	9,08 m	6,17 m	Persamaan 12
T_s	63,03 m	49,17 m	Persamaan 13
x_s	25,50 m	26,93 m	Persamaan 14
y_s	1,00 m	0,68 m	Persamaan 15

Berdasarkan hasil perhitungan komponen tikungan yang ditampilkan dalam Tabel 6, Gambar 5 adalah diagram superelevasi pada PI-2 dan PI-3.



Gambar 5. Diagram superelevasi PI-2 dan PI-3

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diambil dari artikel mengenai kesesuaian geometrik jalan dengan lokasi rawan laka di Jalan Lingkar Sumpiuh Kabupaten Banyumas ini diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Jalan Lingkar Sumpiuh memiliki fungsi sebagai Jalan Arteri dalam jaringan Primer.
- 2) Persyaratan teknis yang digunakan dalam perencanaan adalah untuk kelas Jalan Arteri Primer dengan tipe 2/2 TT yang memiliki kecepatan rencana minimum 60 km/jam, lebar lajur minimal 3,50 m, dan kemiringan melintang maksimum 8,00%. Parameter ini yang kemudian dijadikan dasar dalam menganalisis tikungan di daerah rawan laka Jalan Lingkar Sumpiuh, yakni PI-2 dan PI-3.
- 3) Dari hasil perhitungan diperoleh nilai kemiringan melintang pada puncak tikungan PI-2 adalah 7,75% dan di PI-3 adalah 6,45%, sementara di lokasi pekerjaan kemiringan melintang pada dua lokasi tikungan ini berturut-turut adalah 2,00% dan 0,70%. Ketidaksihesuaian ini menyebabkan kendaraan cenderung akan keluar lajunya akibat adanya gaya sentrifugal yang terjadi. Pengemudi akan kesulitan mengendalikan kendaraannya jika melintas di tikungan PI-2 dan PI-3 dengan kecepatan 60 km/jam.
- 4) Panjang lengkung spiral masih belum memenuhi Pedoman Desain Geometrik Jalan 2021, namun panjang lengkung spiral telah mengakomodir panjang minimum dari rumus modifikasi SHORTT yang berdasarkan gaya sentrifugal. Hanya saja mungkin pengemudi akan merasa kurang nyaman karena panjang minimum berdasarkan waktu tempuh 3 detik dan landai relatif tidak tercapai.

Rekomendasi yang dapat diberikan terkait kesimpulan penelitian serta isu jalan berkeselamatan adalah sebagai berikut:

- 1) Perbaikan geometrik
Rekonstruksi jalan Lingkar Sumpiuh di lokasi rawan laka STA. 22+213 s/d 22+348 perlu dilakukan. Kegiatan rekonstruksi dimaksudkan untuk penyesuaian kemiringan melintang untuk memberikan perlawanan terhadap gaya sentrifugal kendaraan di tikungan PI-2 dan PI-3. Penyesuaian yang dimaksud adalah memberikan kemiringan melintang sebesar 7,75% pada puncak tikungan PI-2 dan 6,45% pada puncak tikungan PI-3. Penyesuaian kemiringan melintang juga dilakukan pada daerah lengkung spiral sehingga perubahan gaya sentrifugal kendaraan akibat perubahan kemiringan melintang dapat diakomodir secara berangsur-angsur.
- 2) Tindakan Preventif dan Mitigasi
Perbaikan geometrik dan rekonstruksi tentunya membutuhkan biaya yang cukup besar. Hal lain yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan mitigasi berupa penanganan preventif, misalnya penambahan rambu chevron, rambu tikungan ganda, rambu penurunan kecepatan, penambahan pita pengaduh (*rumble strip*) dan atau *speed hump* di sebelum tikungan, serta rel pengaman di sisi luar tikungan. Penambahan rambu dan prasarana pelengkap jalan ini semata-mata sebagai upaya dalam mengurangi angka kecelakaan pada lokasi tersebut serta fatalitas yang terjadi. Namun upaya ini hanya bersifat *temporary*, sedangkan untuk mewujudkan jalan berkeselamatan yang sesungguhnya maka perbaikan geometrik mutlak dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada PPK Perencanaan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jawa Tengah beserta Core Team P2JN Tahun Anggaran 2024 atas perkenannya isu evaluasi geometrik terkait jalan berkeselamatan di Jalan Lingkar Sumpiuh ini dijadikan tulisan. Kegiatan ini semata-mata untuk pembelajaran serta tambahan wawasan mengenai geometrik jalan dan jalan berkeselamatan bagi pembacanya.

REFERENSI

- Core Team P2JN Prov. Jateng. (2024). Pengukuran lapangan jalan lingkar Sumpiuh STA. 22+217 - 22+450.
- Hanan, S. A., King, M. J., & Lewis, I. M. (2011). Understanding speeding in school zones in Malaysia and Australia using an extended theory of planned behaviour: The potential role of mindfulness. *Journal of The Australasian College of Road Safety*, 22(2), 56–62.
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 430/KPTS/M/2022 tentang penetapan ruas jalan dalam jaringan jalan primer menurut fungsinya sebagai jalan arteri primer dan jalan kolektor primer-1.
- Kepala Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah. (2024). Lampiran surat Kepala Balai Besar Pelaksanaan

Jalan Nasional Jawa Tengah - DI Yogyakarta Nomor: UM0102-Bb7/511 tanggal 25 Juni 2024 perihal undangan koordinasi dan tinjauan lapangan lokasi kecelakaan lingkaran Sumpiuh: Laporan dan kronologi kejadian kecelakaan.

- Manggala, R. J., Purwanto, D., & Indriastuti, A. K. (2015). Studi kasus faktor penyebab kecelakaan lalu-lintas pada tikungan tajam. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 462–470. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- Oktopianto, Y., Phahlevi Marwanto, R., & Rukman. (2023). Pemodelan kondisi geometrik jalan terhadap potensi kecelakaan lalu lintas. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 7(3), 352–362.
- Pandey, S. V. (2013). Mewujudkan jalan yang berkeselamatan. *Tekno Sipil*, 11(59), 30–41. <https://doi.org/10.35793/jts.v11i59.4305>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2023). Nomor 5 Tahun 2023 tentang persyaratan teknis dan perencanaan teknis jalan.
- Pujiastutie, E. T. (2006). Pengaruh geometrik jalan terhadap kecelakaan lalu-lintas di jalan tol (studi kasus tol Semarang dan tol Cikampek) [Thesis, Universitas Diponegoro]. <http://eprints.undip.ac.id/15504/>
- Purwanto, D., Indriastuti, A. K., & Basuki, K. H. (2015). Hubungan antara kecepatan dan kondisi geometrik jalan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan lalu lintas pada tikungan. *Jurnal Ilmu Dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, 21(2), 83–90. <https://doi.org/10.14710/mkts.v21i2.11234>
- Rahmat, H., Hendri, & Lubis, F. (2016). Evaluasi tikungan pada STA. 40+100 di ruas jalan Simpang Lago - Sekijang Mati. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 2(2), 77–94. <https://doi.org/10.31849/siklus.v2i2.338>
- Siahaan, J. (2020). Analisis pengaruh geometrik jalan dengan tingkat kecelakaan lalu-lintas akibat perilaku pengendara (studi kasus ruas jalan lintas Minas KM 33) [Undergraduate thesis, Universitas Islam Riau]. <https://repository.uir.ac.id/8351/>
- Subkhan, M. F. (2019). Evaluasi dan perencanaan ulang desain geometrik jalan berdasarkan standar Bina Marga pada ruas jalan Dadaprejo Kota Batu. *Prokons: Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 79–84.
- Sukirman, S. (1999). *Dasar-dasar perencanaan geometrik jalan*. Penerbit Nova.
- Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 20/SE/Db/2021 tentang pedoman desain geometrik jalan. (2021).
- Undang-Undang Republik Indonesia. (2009). Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.

Pemanfaatan limbah bambu dan ampas tebu sebagai campuran substitusi serat dalam pembuatan plafon grc (*glassfibre reinforced cement*)

Muhammad Ridho Rahmadi^{a*}, Muhammad Naufal Adi^a, Shifa Fauziyah^a, Riza Susanti^a

^a Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Corresponding Author*:

Email:

muhridho.rahmadi@gmail.com

Keywords:

ceilings, organic waste, affordable costs, bending modulus strength, density value

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The demand for ceilings in Indonesia continues to rise in line with large-scale infrastructure renovations to support domestic economic growth post-pandemic. Ceilings serve a vital function as heat absorbers, ensuring rooms do not become overly warm. On another note, the utilization of waste in Indonesia remains considerably low, leading to environmental pollution and disruptions to the ecosystem. Among the waste that can be repurposed for building material innovations are bamboo and sugarcane, the latter being one of the primary ingredients for making sugarcane sugar (*Saccharumofficinarum*). This research aims to devise an innovative substitute for fiberglass ceiling material that is both cost-effective and eco-friendly. This study encompasses variations such as A, B, C, D, and E. The fiber proportions for variation A are 100% glass fiber, B is 60% glass fiber and 40% bamboo fiber, C is 80% glass fiber and 20% sugarcane fiber, D is 60% glass fiber, 30% bamboo fiber, and 10% sugarcane fiber. E is 60% glass fiber, 10% bamboo fiber, and 30% sugarcane fiber. The expected outcome of this research is an innovative, eco-friendly, and more affordable ceiling material substitute. Simultaneously, it aims to take concrete steps to minimize environmental impact. The findings reveal that variation D, with proportions of 60% glass fiber, 30% bamboo fiber, and 10% sugarcane fiber, scored the highest in terms of flexural modulus strength at 38,787 kg/cm², a density value of 1.65 gr/cm³, and had a production cost that was IDR 189.00 cheaper compared to variation A or the conventional ceiling.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Permintaan kebutuhan plafon di Indonesia semakin lama semakin meningkat dengan adanya pembenahan besar-besaran infrastruktur untuk menunjang peningkatan perekonomian dalam negeri pasca pandemi. Pembangunan gedung bertingkat seperti apartemen, mall, dan perkantoran membuat tingginya permintaan papan langit-langit atau yang biasa dikenal dengan plafon. Plafon sendiri memiliki manfaat sebagai penyerap panas agar tidak langsung terasa pada ruangan. Tetapi bermacam-macam plafon tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Plafon berbahan PVC misalnya, memiliki kelebihan dalam hal tingkat kekakuan yang tinggi sehingga tidak mudah lembab dan rusak karena air (Karuniastuti, 2013). Tetapi kekurangan dari plafon ini adalah mudah terbakar karena terbuat dari plastik yang jika dilakukan pemasangan lampu pijar maka dapat mudah terbakar. Sedangkan yang terakhir adalah plafon dari material GRC, plafon ini dapat dikatakan lebih unggul dari plafon lainnya karena material penyusun yang terbuat dari serat kaca (Saputra, 2017). Serat kaca yang tidak mudah ditembus air membuat plafon tersebut dapat meminimalisir adanya kebocoran jika terjadi kebocoran pada atap sehingga plafon ini tidak mudah rusak (Hidayat, 2021). Sebaliknya plafon ini memiliki kekurangan dari segi mahal biaya produksi membuat harga penjualan biasanya lebih mahal daripada plafon berbahan gypsum yang cenderung lebih murah. Kekurangan tersebut menjadi landasan dari penelitian yang akan dibuat ini.

Pada hal lain, Pemanfaatan limbah di Indonesia masih terbilang sangat kurang yang berdampak tercemarnya lingkungan maupun mengganggu jalannya ekosistem. Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan yaitu, bambu dan tebu. Tebu merupakan bahan dasar dari proses pembuatan gula tebu (*Saccharumofficinarum*). Dalam pengolahan, pabrik gula dapat menghasilkan serat tebu yang telah diekstraksi sebesar 35-40% dari berat tebu itu sendiri yang akan digiling (Indriyani & Sumiarsih, 1992).

Sedangkan bambu biasanya ditemukan pada industri perajin perabotan rumah tangga. Bambu yang tidak sesuai ukuran rencana pembuatan sebuah perabotan cenderung tidak dipakai kembali karena kekuatannya dirasa tidak optimal lagi untuk menjadi sebuah perabotan. Limbah tersebut direncanakan untuk menggantikan bahan serat kaca dalam pembuatan plafon GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) inovasi ini.

Kesamaan sifat dari serat kaca dan limbah tersebut dapat dilihat dari penyusun serat dalam bambu dan tebu seperti selulosa dan lignin. Kedua serat ini menjadi penting karena memberikan sifat dan tipikal yang hampir sama dengan serat kaca. Pada bambu didapati terkandung selulosa sebesar 50-55% lebih banyak dari kayu (Saputra, 2017). Sedangkan tebu terkandung selulosa sebesar 26-43% dan lignin sebesar 13-22% (Alfianti & Wardhono, 2019). Yang kedua yaitu, sifat yang dapat menyerap air dan tidak mudah tertembus air menjadi faktor lain yang juga menjadi salah satu syarat dari papan langit-langit atau plafon. Yang terakhir adalah mempunyai kerapatan atau densitas yang hampir sama diantara serat kaca dengan serat bambu dan tebu. Dari sifat-sifat tersebut bisa dikatakan susunan dari serat kaca tidak jauh berbeda dari serat bambu dan tebu yang lebih murah jika dibanding serat kaca. Oleh karena itu, penelitian ini akan mensubstitusi serat kaca dengan serat bambu dan tebu sekaligus dengan tujuan dapat mengurangi penggunaan serat kaca lebih signifikan. Dengan begitu diharapkan dapat mengurangi penggunaan serat kaca yang mengakibatkan turunnya biaya produksi dari pembuatan plafon GRC itu sendiri.

2. DATA DAN METODE

2.1. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, menggunakan metode studi literatur dari jurnal ataupun naskah publikasi dan metode eksperimental. Penggunaan limbah sebagai bahan substitusi serat kaca atau *fiberglass* diambil melalui kajian dan literasi jurnal-jurnal terkait yang dapat mendukung penelitian ini. Untuk bahan-bahan pembuatan plafon inovasi menggunakan acuan SNI terkait. SNI menggunakan standar SNI 01-4449-2006.

2.2. Pengujian kelayakan material

Sebelum digunakan sebagai bahan pembuatan benda uji atau sampel plafon inovasi ini. Pengujian atau pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui layak tidaknya material yang akan digunakan untuk membuat sebuah benda uji. Tentu bahan terbaik diharapkan akan menjadi benda uji yang baik pula. Bahan dilakukan pengujian sesuai standar-standar SNI terkait yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian material

No.	Bahan	Pengujian	Referensi
1	Semen	Kemasan	SNI 15-2049-2004
		Butiran	SNI 15-2049-2004
2	Pasir	Kadar lumpur	SK SNI-S-04-1989-F
3	Air	Penglihatan	PBI-1971

2.3. Job mix design

Mix design yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mix design proportion*

Variasi	Persentase			Jumlah Benda Uji
	<i>Fiberglass</i> %	Bambu %	Ampas Tebu %	
A	100	0	0	9
B	60	40	0	9
C	80	0	20	9
D	60	30	10	9
E	60	10	30	9

Rencana desain campuran yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya dan

SNI. Rencana campuran juga disesuaikan dengan ukuran benda uji maupun variasi tiap sampelnya. Pada penelitian ini membuat beberapa variasi yaitu, variasi A, B, C, D, dan E. Dengan proporsi serat A 100% serat kaca, B 60% serat kaca 40% serat bambu, C 80% serat kaca 20% serat tebu, D 60% serat kaca 30% 10% serat tebu, dan E 60% serat kaca 10% serat bambu 30% serat tebu. Dengan komposisi campuran yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi rencana campuran

No.	Dimensi (mm)	Variasi	Air (ml)	PC (gr)	PS (gr)	Serat		
						SFG (gr)	SB (gr)	ST (gr)
1	5 x 5 x 0,6	A	8,1	27	27	1,35	0	0
		B				0,81	0,54	0
		C				1,08	0	0,27
		D				0,81	0,405	0,135
		E				0,81	0,135	0,405
2	10 x 10 x 0,6	A	32,4	54	54	5,4	0	0
		B				3,24	2,16	0
		C				4,32	0	1,08
		D				3,24	1,62	0,54
		E				3,24	0,54	1,62
3	5 x 20 x 0,6	A	32,4	54	54	5,4	0	0
		B				3,24	2,16	0
		C				4,32	0	1,08
		D				3,24	1,64	0,54
		E				3,24	0,54	1,64

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil pengujian material

Pengujian bahan-bahan pada penelitian ini meliputi uji visual dan tes laboratorium. Pengujian juga menggunakan referensi SNI yang telah diuraikan diatas. Hasil pemeriksaan bahan yang telah dilakukan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pemeriksaan bahan

No.	Bahan	Pengujian	Hasil	Standar	Referensi	Keterangan
1	Semen	Kemasan	Tidak robek dan cacat	Tidak terbuka, tidak robek dan kering	SNI 15-2049-2004	Memenuhi
		Butiran	Tidak terjadi gumpalan pada butiran semen	Tidak menggumpal	SNI 15-2049-2004	Memenuhi
2	Pasir	Kadar lumpur	3,6%	< 5%	SK SNI-S-04-1989-F	Memenuhi
3	Air	Penglihatan	Tidak berbau, jernih, tidak terdapat bahan-bahan lain	Jernih, tidak berbau, dan tidak terkandung bahan-bahan lain	PBI-1971	Memenuhi

3.2. Hasil pengujian kerapatan

Setelah melalui proses pengeringan dan perawatan benda uji dilakukan pengujian dengan menggunakan acuan standar SNI 01-4449-2006. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari. Pada pengujian kerapatan menggunakan benda uji dengan dimensi 10x10 cm. Kemudian didapatkan hasil pengujian kerapatan yang disajikan pada Tabel 5.

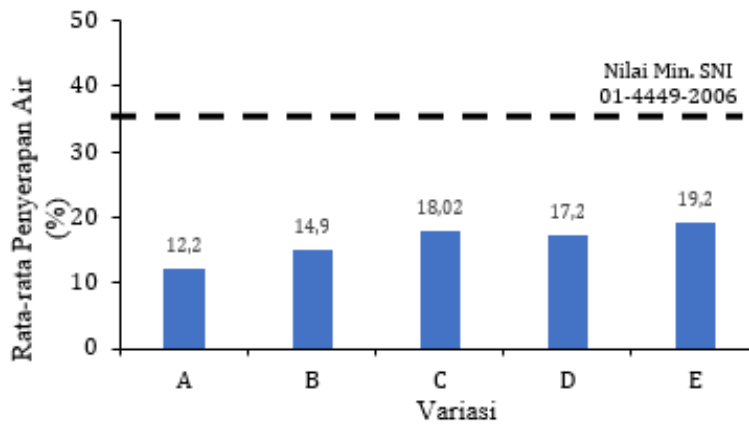
Tabel 5. Rekapitulasi hasil pengujian kerapatan

Variasi	Kode Sampel	Massa (gr)	Volume (cm ³)	Kerapatan (gr/cm ³)	Rata-rata Kerapatan (gr/cm ³)	Nilai Minimal SNI 01-4449-2006
A	A1	68,7	60	1,14	1,3	>0,84 gr/cm ³
	A2	79,7	60	1,32		
	A3	86,4	60	1,44		
B	B1	93	60	1,55	1,55	
	B2	85,8	60	1,43		
	B3	100,8	60	1,68		
C	C1	72,8	60	1,21	1,34	
	C2	82,1	60	1,36		
	C3	88,1	60	1,47		
D	D1	97	60	1,61	1,65	
	D2	98,9	60	1,64		
	D3	102	60	1,7		
E	E1	95,4	60	1,59	1,62	
	E2	96,6	60	1,61		
	E3	99	60	1,65		

Tabel 5 merupakan hasil pengujian kerapatan yang telah dilakukan, diketahui bahwa benda uji yang telah dilakukan pengujian ini sudah sesuai dengan ketentuan standar persyaratan SNI 01-4449-2006 tentang papan serat, lalu pada semua variasi papan plafon konvensional maupun inovasi memiliki nilai kerapatan > 0,85 % dan terklafikasi sebagai papan serat kerapatan tinggi. Papan plafon yang memiliki nilai kerapatan paling rendah ada pada papan plafon konvensional variasi A, sedangkan papan plafon yang memiliki nilai kerapatan paling tinggi diperoleh papan plafon inovasi variasi D. Hal ini dikarenakan penambahan serat bambu dan ampas tebu pada komposisi bahan penyusun serta pengurangan penggunaan serat *fiber* pada papan plafon inovasi variasi D, dibanding dengan papan plafon konvensional variasi A yang menggunakan serat *fiber* sepenuhnya. Secara umum, dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya volume serat, nilai kerapatan meningkat, yang berarti ikatan antara matriks dan serat meningkat (Tarkono & Ali, 2015). Sehingga dengan melakukan perbandingan nilai kerapatan tersebut maka papan plafon inovasi variasi D memiliki nilai kerapatan yang baik dan lolos dalam nilai minimum standar SNI 01-4449-2006 tentang papan serat.

3.4. Hasil pengujian penyerapan air

Setelah melalui proses pengeringan dan perawatan benda uji dilakukan pengujian dengan menggunakan acuan standar SNI 01-4449-2006. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari. Pada pengujian kerapatan menggunakan benda uji dengan dimensi 10x10 cm. Berikut adalah hasil dari pengujian dan disajikan pada Gambar 1.

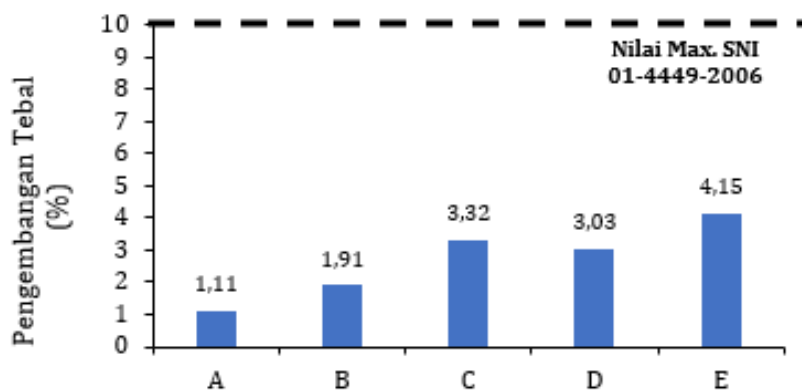


Gambar 1. Hasil pengujian penyerapan air

Berdasarkan Gambar 1 maka dapat disimpulkan bahwa penyerapan air paling tinggi terdapat pada variasi E dengan nilai sebesar 19,2%, sedangkan variasi A yang merupakan benda uji konvensional memiliki nilai penyerapan air paling rendah dengan nilai sebesar 12,2%. Papan plafon yang memiliki nilai penyerapan air paling tinggi adalah papan plafon inovasi variasi E, sedangkan papan plafon yang memiliki nilai penyerapan air paling rendah adalah papan plafon konvensional variasi A. Hal ini dikarenakan pengaruh substitusi komposisi bahan penyusun pada papan plafon tersebut di mana papan plafon inovasi variasi E tersusun dari ampas tebu sebanyak 30% dari kebutuhan serat papan plafon itu tersendiri yang memiliki kemampuan menyerap air lebih banyak pada papan plafon, lain hal dengan papan plafon konvensional variasi A yang tidak terdapat serat ampas tebu di dalamnya melainkan terdiri dari sepenuhnya serat *fiber*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Darmono, 2011) mengindikasikan bahwa semakin besar jumlah serat tebu yang terdapat pada komposisi bahan, semakin meningkat pula kemampuan serat tersebut dalam menyerap air. Berdasarkan riset yang dilakukan oleh (Oedijono, 1991), hemiselulosa dikenal memiliki sifat yang memungkinkannya menyerap air dengan efisien, bersifat elastis, dan memiliki permukaan kontak yang luas di antara molekul-molekulnya. Ketika hemiselulosa terkena air, ia cenderung mengembang sebab memiliki sifat yang menarik air atau hidrofilik. Karakteristik ini yang terdapat pada ampas tebu memfasilitasi peningkatan dalam pengembangan tebal. Sehingga dengan melakukan perbandingan nilai penyerapan air tersebut maka papan plafon inovasi variasi E memiliki sifat penyerapan air yang tinggi tetapi masih dalam nilai maksimum standar SNI 01-4449-2006 tentang papan serat.

3.5. Hasil pengujian pengembangan tebal

Setelah melalui proses pengeringan dan perawatan benda uji dilakukan pengujian dengan menggunakan acuan standar SNI 01-4449-2006. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur tujuh hari. Pada pengujian kerapatan menggunakan benda uji dengan dimensi 10x10 cm. Hasil pengujian lalu disajikan pada Gambar 2.

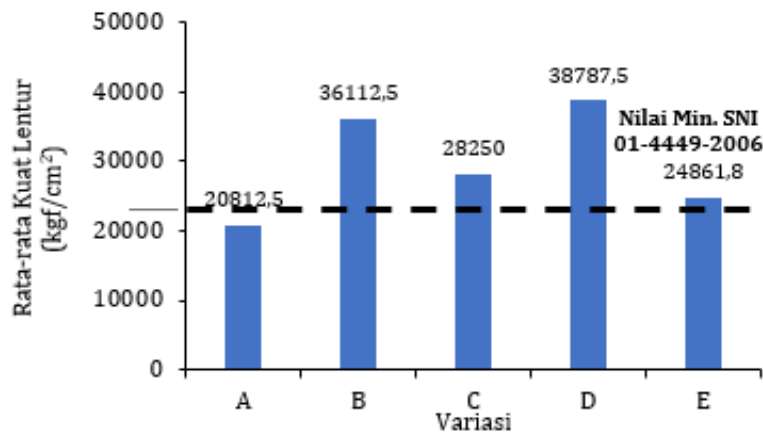


Gambar 2. Hasil pengujian pengembangan tebal

Berdasarkan Gambar 2 maka dapat disimpulkan bahwa yang mengalami pengembangan tebal paling tinggi terdapat pada variasi E dengan nilai sebesar 4,15%, sedangkan variasi A yang merupakan benda uji konvensional mengalami pengembangan tebal paling rendah dengan nilai sebesar 1,11%. Berdasarkan dari data hasil pengujian penyerapan air yang telah dilakukan, diketahui bahwa benda uji yang telah dilakukan pengujian ini sudah sesuai dengan ketentuan standar persyaratan SNI 01-4449-2006 tentang papan serat, lalu pada semua papan plafon konvensional maupun inovasi memiliki nilai pengembangan tebal < 10%. Pada penelitian ini ditemukan juga salah satu komponen penyusun yang mempengaruhi pengembangan tebal pada plafon GRC inovasi ini salah satunya adalah kandungan hemiselulosa yang terkandung pada ampas tebu. Menurut penelitian (Oedijono, 1991), Molekul hemiselulosa memiliki kemampuan menyerap air dengan baik, bersifat fleksibel, dan memiliki area kontak antarmolekul yang luas. Hemiselulosa cenderung membengkak saat bersentuhan dengan air karena bersifat hidrofilik. Kandungan yang dimiliki oleh ampas tebu ini memungkinkan peningkatan pengembangan tebal. Sehingga dengan melakukan perbandingan nilai pengembangan tebal tersebut maka papan plafon inovasi variasi E memiliki sifat penyerapan air yang tinggi tetapi masih dalam nilai maksimum standar SNI 01-4449-2006 tentang papan serat.

3.6. Hasil pengujian keteguhan lentur modulus patah

Setelah melalui proses pengeringan dan perawatan benda uji dilakukan pengujian dengan menggunakan acuan standar SNI 01-4449-2006. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari. Pada pengujian kerapatan menggunakan benda uji dengan dimensi 5x20 cm. Lalu didapatkan hasil pengujian kuat lentur yang dapat dilihat pada Gambar 3.

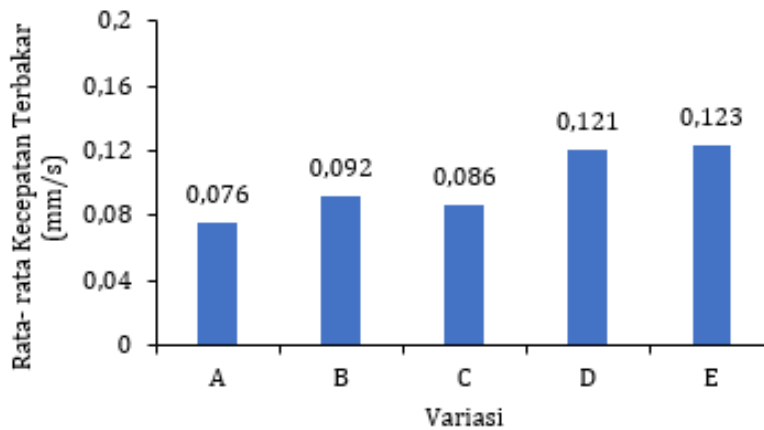


Gambar 3. Hasil rekapitulasi uji kuat lentur

Berdasarkan Gambar 3 maka dapat disimpulkan bahwa yang memiliki nilai kuat lentur paling tinggi terdapat pada variasi D dengan nilai sebesar 38.787,5 kgf/cm², sedangkan variasi A yang merupakan benda uji konvensional memiliki nilai kuat lentur paling rendah dengan nilai sebesar 15.295,4 kgf/cm². Variasi D memang memiliki persentase serat bambu yang lebih besar karena bambu memiliki selulosa yang tinggi membantu meningkatkan kuat lentur dari plafon inovasi variasi tersebut. Menurut (Sulardjaka et al., 2020) serat selulosa yang berasal dari serat alami apapun bisa digunakan sebagai bahan penguat saat menciptakan komposit. Maka dari itu serat selulosa yang tinggi membantu meningkatkan daya lentur dari papan plafon inovasi untuk variasi D. Sehingga disimpulkan variasi D memiliki kuat lentur terbaik dan sesuai dengan SNI 01-4449-2006.

3.7. Hasil pengujian ketahanan api

Setelah melalui proses pengeringan dan perawatan benda uji dilakukan pengujian dengan menggunakan acuan standar SNI 01-4449-2006. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari. Pada pengujian kerapatan menggunakan benda uji dengan dimensi 5x5 cm. Lalu didapatkan hasil pengujian kuat lentur yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil rekapitulasi pengujian ketahanan api

Berdasarkan Gambar 4 maka dapat disimpulkan bahwa yang memiliki sifat menghantarkan api paling cepat terdapat pada variasi E dengan nilai sebesar 0,123 mm/s, dibandingkan variasi A yang merupakan benda uji konvensional memiliki rata-rata kecepatan terbakar paling rendah dengan kecepatan sebesar 0,076 mm/s. Menurut penelitian yang dilakukan (Manihuruk & Siagian, 2015) diketahui bahwa nilai ketahanan api terbaik terdapat pada komposisi serat 1,5% dengan orientasi serat searah sebesar 0,0418 mm/sec. Disimpulkan bahwa untuk ketahanan terhadap nyala api, penambahan serat tidak menghasilkan hasil yang optimal, sehingga dengan melakukan perbandingan nilai ketahanan api tersebut maka papan plafon inovasi variasi C memiliki sifat ketahanan api yang kurang baik.

3.8. Hasil analisis perbandingan biaya

Perbandingan biaya dilakukan untuk mengetahui berapa besar biaya produksi pembuatan plafon GRC inovasi yang dibuat dan dibandingkan dengan pembuatan plafon GRC konvensional. Perbandingan harga dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan harga antar variasi

No.	Variasi	Ukuran	Total Biaya Produksi (Rp)
1	A	5x5x0,6	823,50
2	B	5x5x0,6	189,00
3	C	5x5x0,6	202,50
4	D	5x5x0,6	189,00
5	E	5x5x0,6	189,00

Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa selisih harga variasi D yang menjadi inovasi dari penelitian ini lebih terjangkau biaya produksinya dari plafon variasi A yang menjadi plafon konvensional pada penelitian ini. Namun memiliki harga yang sama jika dibandingkan dengan variasi B yang menjadi variasi terbaik dari penelitian terdahulu. Sehingga biaya produksi variasi D dapat disimpulkan lebih terjangkau dalam pembuatan plafon GRC inovasi.

3.9. Rekapitulasi hasil pengujian

Setelah melakukan pengujian-pengujian berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil pengujian

Jenis Pengujian	SNI 01-4449-2006	Sampel Uji				
		A	B	C	D	E
Uji Kerapatan (gr/cm ³)	> 0,85	1,3	1,55	1,34	1,65	1,62

Jenis Pengujian	SNI 01-4449-2006	Sampel Uji				
		A	B	C	D	E
Uji Penyerapan Air (%)	< 30	12,2	14,9	18,02	17,2	19,2
Uji Pengembangan Tebal (%)	< 10	1,11	1,91	3,32	3,03	4,15
Uji Kuat Lentur (kgf/cm ²)	> 20.000	20.812	36.112	28.250	38.787	24.862
Uji Ketahanan Api (mm/s) ASTM D635-22	< 75	0,076	0,092	0,086	0,121	0,123

Setelah melakukan pengujian maka dapat disimpulkan, variasi D yang diharapkan menjadi variasi inovasi terbaik lolos dalam beberapa pengujian dan lebih unggul pada beberapa pengujian. Salah satu yang diunggulkan adalah dalam pengujian kuat lentur, variasi D memiliki nilai 38.787 kgf/cm². Nilai ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan variasi A atau plafon GRC konvensional. Tetapi dalam pengujian penyerapan air, variasi A memiliki daya serap paling kecil dibandingkan variasi D tetapi meskipun begitu variasi D tetap memenuhi standar SNI 01-4449-2006. Oleh karena itu, setelah melalui uraian diatas maka variasi D telah memenuhi standar SNI dan bisa menjadi bahan substitusi variasi A atau plafon GRC konvensional.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian uji dan menganalisis hasilnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Papan plafon inovasi variasi D, yang terdiri dari 60% serat kaca, 10% ampas tebu, dan 30% serat bambu, menunjukkan karakteristik optimal. Variasi ini memiliki kerapatan 1,65 gr/cm³, kuat lentur 38.787 kgf/cm², dan ketahanan api 0,121 mm/sec. Hasilnya, kualitas papan ini lebih unggul dibandingkan dengan papan plafon GRC konvensional.
- 2) Penggantian serat kaca dengan serat bambu meningkatkan kerapatan dan kuat lentur papan plafon GRC, sementara penggunaan serat ampas tebu meningkatkan penyerapan air dan pengembangan tebal. Namun, penambahan serat ampas tebu dan bambu mempercepat laju rambat api pada plafon. Inovasi papan plafon GRC memenuhi standar SNI 01-4449-2006, dengan variasi E menunjukkan penyerapan air tertinggi (19,2%) dan pengembangan tebal tertinggi (4,15%), sedangkan variasi D memiliki kuat lentur terbaik sebesar 38.787 kgf/cm².
- 3) Biaya produksi untuk papan plafon inovasi (variasi D dan E) adalah Rp. 189, sedangkan papan plafon konvensional (variasi A) berbiaya Rp. 823,50 untuk ukuran yang sama. Ini menghasilkan perbandingan harga 1:4,36, yang berarti satu papan plafon konvensional setara dengan harga empat papan plafon inovasi. Maka substitusi serat kaca dengan serat bambu dan ampas tebu membuat papan plafon GRC menjadi lebih ekonomis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Tuhan YME, dosen pembimbing, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan hasil penelitian ini. Diharapkan penelitian ini dapat berguna bagi pembaca sebagai salah satu sumber literatur.

REFERENSI

- Alfianti, J., & Wardhono, A. (2019). Penggunaan serat ampas tebu sebagai bahan pengganti serat fibreglass pada pembuatan campuran plafon GRC (glassfibre reinforced cement) terhadap uji kuat lentur, uji kuat tekan, dan uji resapan air. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, April, 5–24.
- Darmono, S. (2011). Pengaruh penambahan serat ampas tebu giling manual dan giling pabrik terhadap kualitas eternit. *Inersia*, 1.
- Hidayat, M. N. (2021). Studi kuat tekan beton dengan bahan tambah serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen.
- Indriyani, Y. H., & Sumiarsih, E. (1992). Pembudidayaan tebu di lahan sawah dan tegalan. Penebar Swadaya.
- Karuniastuti, N. (2013). Bahaya plastik terhadap kesehatan dan lingkungan.
- Manihuruk, R., & Siagian, H. (2015). Pembuatan dan karakteristik komposit bermatriks poliester tak jenuh dengan filler serat batang pisang. *Jurnal Einstein*, 3(02), 22–29.
- Oedijono. (1991). Beberapa pertimbangan untuk memanfaatkan bagasse dari pabrik gula untuk pembuatan pulp

kertas. Selulosa, 2, 1-15.

Saputra, R. D. (2017). Penggunaan potongan serat bambu ori sebagai bahan pengganti glassfiber pada pembuatan campuran panel dinding GRC (glassfiber reinforced cement) terhadap uji kemampuan mekanis. *Rekayasa Teknik Sipil Nomor 03/Rekat/17, 3*, 238-247.

Sulardjaka, S., Nugroho, S., & Ismail, R. (2020). Peningkatan kekuatan sifat mekanis komposit serat alam menggunakan serat enceng gondok. *Teknik*, 41, 27-39.

Tarkono, T., & Ali, H. (2015). Pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap sifat mekanik eternit yang ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi*, 8.

Pengaruh abu limbah kulit durian sebagai bahan substitusi semen pada paving block

Arifka Farah Husna^a, Vian Dito Apriliawan^a, Shifa Fauziyah^a, Hartono^a

^aTeknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Universitas Diponegoro, Semarang

Corresponding Author*:

Email: arifkafarah@gmail.com

Keywords:

paving block, durian peel waste, compressive strength, water absorption.

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The paving block is a building material consisting of Portland cement, aggregate, water, and additional materials. Paving blocks are used on sidewalks, driveways, parks, parking lots, and office and educational complexes. However, cracks and breaks are common, even in everyday use. The solution to increase the durability of paving blocks is to add durian peel ash to the mixture. The use of durian skin ash, apart from strengthening the material, also helps reduce the accumulation of waste in durian cultivation areas such as Gunungpati, where usually the durian skin is only burned, thereby accumulating rubbish that can pollute the environment and threaten health. Durian skin, rich in silica, cellulose, and lignin and low in starch, can be used as a substitute for cement in making paving blocks. This research used an experimental method with compressive strength and absorption tests at various percentages of durian skin ash composition, namely 0%, 7%, 9%, 11%, and 13%. The compressive strength results at 28 days with the optimum composition was obtained for durian skin ash of 9%, with a compressive strength value of 22.805 MPa and an absorption capacity of 5.030%.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Paving block disebut juga *concrete block* ataupun *cone block* adalah hasil bahan bangunan yang dibuat dari semen *Portland* yang dicampur agregat beserta air, yang telah ditambahkan bahan lain tanpa membuat kualitas *paving block* berkurang. *Paving block* bukan sekadar untuk menyelimuti permukaan jalan, namun bisa untuk bermacam-macam kebutuhan, baik untuk kebutuhan sederhana hingga aplikasi kebutuhan khusus.

Pemilihan memanfaatkan limbah kulit durian menjadi salah satu upaya dalam perlindungan lingkungan pada menumpuknya sampah yang tidak dimanfaatkan secara optimal dengan melakukan pembakaran begitu saja oleh masyarakat sehingga menimbulkan kerugian pada lingkungan. Kawasan budidaya buah durian di wilayah Gunungpati. Meski berdampak positif bagi perekonomian, namun juga berdampak negatif yaitu menumpuknya serpihan kulit durian yang dibuang begitu saja oleh pedagang dan konsumen.

Menurut (Fuad, Djohan and Saputra, 2014). kulit durian kaya akan selulosa (50%-60%) dan lignin (5%) serta rendah pati (5%), sehingga dapat ditunjukkan bahwa bahan ini dapat digunakan sebagai bahan campuran bata beton. Selain itu, menurut penelitian (Anjelia, 2023) kandungan silika (SiO_2) yang terdapat pada abu kulit durian sebesar 31,486%, maka dari itu yang menjadikan abu kulit durian cocok sebagai substitusi semen karena memiliki senyawa yang sama seperti pada semen.

Dengan memanfaatkan kandungan limbah abu dari kulit durian, dapat disimpulkan bahwa berpotensi menjadi bahan campuran semen untuk pembuatan *paving block*. Melalui inovasi ini, diharapkan dapat mengatasi permasalahan kurang optimalnya pemanfaatan limbah kulit durian.

2. DATA DAN METODE

2.1. Pengujian kelayakan material

Pengujian kelayakan material adalah proses untuk memastikan bahwa suatu material sesuai dengan spesifikasi standar yang berlaku. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus. Menurut SNI-03-2847-2002 agregat halus adalah pasir alami yang terbentuk dari disintegrasi batuan secara alami atau pasir yang dihasilkan dari industri pemecah batu dengan ukuran butir maksimal 5,0 mm. Agregat halus harus mengandung lumpur tidak lebih dari 5% dari berat keringnya. Jika kandungan lumpur melebihi batas 5%, pasir harus dicuci.

2.2. Pembuatan rancangan campuran

Mengacu pada pedoman SNI 03-0691-1996 dan hasil survei di lokasi pembuatan paving block konvensional, penelitian ini menggunakan perbandingan campuran 1 PC : 5 PS dengan FAS (Faktor Air Semen) 0,4. Selanjutnya, konversi dilakukan antara perbandingan volume paving block dan berat jenis material untuk menentukan massa setiap bahan yang diperlukan. Berdasarkan analisis perhitungan, diperoleh kebutuhan bahan untuk pembuatan satu unit paving block, yaitu 1,498 kg semen, 7,490 kg pasir, dan 599 ml air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Paving block dengan campuran abu kulit durian adalah inovasi dalam pembuatan *paving block*. Inovasi ini memiliki keunggulan berupa nilai kuat tekan yang lebih tinggi dan lebih ekonomis dibandingkan dengan *paving block* konvensional. Penggunaan abu kulit durian sebagai substitusi sebagian semen mengurangi kebutuhan semen, meningkatkan kekuatan *paving block*, dan membantu mengurangi limbah kulit durian.

3.1. Pengujian kuat tekan

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan pada *paving block*, perbandingan antara *paving block* konvensional dengan *paving block* yang menggunakan tambahan abu kulit durian menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tekan pada *paving block* dengan inovasi abu kulit durian. Adapun hasil dari pengujian kuat tekan *paving block* pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan pada *paving block*

No	Job mix Benda Uji	Kuat Tekan Rata-Rata <i>Paving Block</i> (Mpa)		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	0% Abu Kulit Durian	10,12	14,93	16,97
2	7% Abu Kulit Durian	11,97	18,43	20,95
3	9% Abu Kulit Durian	13,26	20,07	22,81
4	11% Abu Kulit Durian	9,41	15,46	17,56
5	13% Abu Kulit Durian	10,72	16,8	19,1

Dapat disimpulkan bahwa penambahan abu kulit durian sebesar 9% menghasilkan nilai kuat tekan paving block yang lebih tinggi dibandingkan dengan paving block normal, dengan peningkatan sebesar 5,838 MPa. Oleh karena itu, persentase 9% mencapai hasil yang optimal dengan nilai kuat tekan tertinggi di antara semua persentase lainnya, yaitu 22,805 MPa.

Penelitian ini dengan penelitian oleh Ratnaningsih (2021) yang memanfaatkan abu tempurung kelapa pada substitusi semen untuk *paving block* yang memiliki kandungan selulosa dan lignin seperti pada kandungan kulit durian. Abu kulit durian hanya membutuhkan 9% untuk hasil 22,805 Mpa dan daya serap 5,030% sedangkan abu tempurung kelapa membutuhkan 10% untuk hasilnya 15,25 MPa dan daya serap 5,25%. Jika dilihat dari hasilnya penggunaan abu kulit durian memiliki hasil kuat tekan dan daya serap yang lebih bagus untuk substitusi semen pada *paving block* dibanding dengan substitusi abu tempurung

kelapa.

3.2. Pengujian daya serap

Pengujian penyerapan air dilaksanakan guna mengetahui kadar air yang terserap paving block sesudah umur 14 hari. Dilakukannya perendaman air selama 24 jam dan ditimbang berat basah dari benda uji tersebut. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu 110 derajat selama 24 jam sampai penimbangan beratnya selisih < 0,2% serta penimbangan berat kering. Perbandingan daya serap antara paving block konvensional dengan paving block inovasi mengalami peningkatan pada paving block inovasi dengan hasil rata-rata yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian daya serap

No	Job mix Benda Uji	Daya Serap Rata-Rata Paving Block (Mpa)
		10 Hari
1	0% Abu Kulit Durian	5,187%
2	7% Abu Kulit Durian	5,135%
3	9% Abu Kulit Durian	5,03%
4	11% Abu Kulit Durian	5,304%
5	13% Abu Kulit Durian	5,211%

Uji penyerapan air paving block abu kulit durian persentase 0%; 7%; 9%; 11%; dan 13% masuk dalam mutu B (SNI 03-0691-1996). Sedangkan kualitas terbaik penyerapan air pada paving block berada pada persentase abu kulit durian 9% yaitu sebesar 5,030%.

3.4. Analisis perkiraan harga

Adapun hasil dari analisis perbandingan antara paving block konvensional dengan paving block yang menggunakan tambahan abu kulit durian menunjukkan adanya penurunan harga pada paving block dengan inovasi abu kulit durian, berikut tabel analisis perhitungan harga.

Tabel 3. Analisis perkiraan harga

Paving Holland Konvensional					
No	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Semen	0,499	kg	1.450,00	723,55
2	Air	0,200	L	-	-
3	Pasir	2,497	kg	173,33	432,81
4	Abu Kulit Durian	0	gr	-	-
Total Biaya/Benda Uji				Rp	1.156,36
Total Biaya/1 m2				Rp	52.442,40

Tabel 4. Analisis perkiraan harga variasi optimum

Paving Holland Variasi 9%					
No	Bahan	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Semen	0,454	kg	1.450,00	658,30
2	Air	0,200	L	-	-
3	Pasir	2,497	kg	173,33	432,81
4	Abu Kulit Durian	0,045	gr	-	-
Total Biaya/Benda Uji					Rp 1.091,11
Total Biaya/1 m ²					Rp 49.483,22

Berdasarkan analisis biaya pada Tabel 3 dan Tabel 4 pembuatan *paving block* konvensional membutuhkan biaya sebesar Rp 52.442,40. Sedangkan *paving block* dengan inovasi variasi optimum di 9% membutuhkan biaya sebesar 49.483,22. Maka dapat disimpulkan bahwa pembuatan *paving block* inovasi sangat efisien biaya dibandingkan *paving block* konvensional.

4. KESIMPULAN

Hasil yang didapat dari pengujian tersebut yaitu pada pengujian kuat tekan paving block untuk abu kulit durian pada variasi 0%, 7%, 9%, 11%, dan 13% dihasilkan senilai 16,967 Mpa, 20,948 Mpa, 22,805 Mpa, 17,562 Mpa, dan 19,090 Mpa. Dari hasil pengujian daya serap pada variasi 0%, 7%, 9%, 11%, dan 13% didapatkan 5,187%; 5,135%; 5,030%; 5,304%; dan 5,211%. Dari pengujian bahwa dengan penambahan abu kulit durian sebagai substitusi semen di paving block mencapai hasil yang sudah direncanakan yaitu mutu B. Pada pengujian daya serap juga sesuai rencana, namun tidak ada peningkatan yang signifikan. Serta pada penambahan abu kulit durian dapat menurunkan harga dari paving block. Sehingga dapat disimpulkan bahwa inovasi paving block dengan menggunakan abu kulit durian sebagai substitui semen dapat digunakan karena harga lebih murah dan kuat tekan lebih tinggi dari paving block konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur kepada Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga penelitian dengan judul "PENGARUH ABU LIMBAH KULIT DURIAN SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA PAVING BLOCK" dapat diselesaikan tepat waktu. Terima kasih kepada Ibu Shifa Fauziyah, S.T., M.T., dan Bapak Drs. Hartono, M.T., yang telah membimbing kami dari tahap perencanaan hingga penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Kami menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki kekurangan, sehingga kami dengan rendah hati menerima segala bentuk kritik dan saran yang membangun.

REFERENSI

- Mariza Anjelia', S. (2023). Sintesis dan karakterisasi silika xerogel dari limbah kulit durian (Durio zibethinus Murr.) dengan metode sol-gel [Undergraduate thesis, Universitas Negeri Padang].
- Fuad, I. S., Djohan, B., & Saputra, M. (2014). Pengaruh penambahan serat kulit durian terhadap kuat tekan dan tarik belah pada mutu beton K-175. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 2(1), 65–71.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). Standar Nasional Indonesia Bata Beton (Paving Block). SNI 03-0691-1996.
- Ratnaningsih. (2021). Pengaruh substitusi semen dengan abu tempurung kelapa terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block. Surakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). Standar Nasional Indonesia (SNI) S-04_1998-F: Bahan bangunan bagian A non logam.