



ISSN 2654-4482
(media online)

Jurnal

PROYEK TEKNIK SIPIL

JPTS	Vol 8	No 1	Hal 1-65	Semarang, Maret 2025
------	-------	------	----------	----------------------

ISSN 2654-4482
(media online)

JURNAL

PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 8 Nomor 1 Maret 2025

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

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

Sekretariat Redaksi
(Managing Editor) : Fardzanela Suwarto, S.T., M.Sc., Ph.D
Shifa Fauziyah, ST, MT

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

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 8 Nomor 1 Maret 2025

DAFTAR ISI

1. Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Metode Curing Pembasahan
Erma Desimaliana, Euneke Widyarningsih, Almas Qothrun Nada Kaltsum, Tasya Indriani Setiana 1 – 8
2. Perencanaan Perkerasan Jalan Berdasarkan Lalu Lintas Angkutan Batubara di Kalimantan Timur
Anno Mahfuda, Muh Bahrul Ulum Al Karimi, Nevy Risna Dyah Kumala.....9 – 16
3. *A Comparative Study of Flat Slab and Waffle Slab Structure for Efficiency of Convention Building Slab System*
Efendi, Andri Irfan Rifai, Amanatullah Savitri 17 – 25
4. Penerapan Geobag di Daerah Sempadan Ungai Krueng Langsa Sesi Desa Meurandeh Aceh Dalam Penanggulangan Erosi
Arisna Fauzia, Denova Wilanda, Chairun Nufus..... 26 - 31
5. Analisis Pengelolaan Air Limbah Domestik (Studi Kasus Gedung A Universitas Pembangunan Jaya)
Bimo Putro Rahdianto, Rizka Arbaningrum..... 32 – 39
6. Analisis Tarif Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar Berdasarkan Pendekatan Ability to Pay (ATP) dan Willingness to Pay (WTP)
Anita Lestari Condro Winarsih, Nia Loreнна, Andi Muflih Marsuq Muthaher40 – 52
7. Manajemen Risiko Proyek Pembangunan Gedung Perkuliahan dengan Metode Severity Index
Muhammad Arsyad, Raftonado Situmorang, Oryza Lhara Sari, Andika Ade Indra Saputra53 – 65

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



9 772654 448002

Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Metode *Curing* Pembasahan

Erma Desimaliana ^{a*}, Euneke Widyaningsih ^a, Almas Qothrun Nada Kaltsum ^b, Tasya Indriani Setiana ^b

^a Dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

^b Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

ermadesmaliana@itenas.ac.id

Keywords:

concrete, geopolimer, curing method, wetting.

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *Geopolymer concrete is an environmentally friendly concrete that does not use cement at all, but uses high silica-containing materials such as fly ash (waste from PLTU). Geopolymer concrete consists of a binder material in the form of fly ash reacted with an alkaline activator solution, and filler material in the form of aggregate. The alkaline activator used is a solution of NaOH concentration of 8M and Na₂SiO₃ solution in a ratio of 1:2, while the ratio of aggregate and binder is 60%:40%. In this study, the wetting treatment method was carried out with the number of test specimens for each variation as many as 3 test specimens and concrete compressive strength testing was carried out at the age of 3, 7, and 28 days on cylindrical test specimens with a size of 10 cm × 20 cm as many as 9 test specimens. Based on the results of the compressive strength test, the relationship graph between the compressive strength of concrete and the age of concrete is obtained, the value of the compressive strength of concrete with the wetting treatment method is 19.92 MPa.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur merupakan suatu ranah yang memiliki peranan penting dalam keberlangsungan hidup manusia sehari-hari. Dalam prakteknya, untuk membangun infrastruktur yang baik maka diperlukan material konstruksi yang memiliki kekuatan memadai. Beton merupakan material konstruksi yang sangat umum digunakan pada bangunan, karena memiliki kekuatan untuk menahan gaya tekan yang tinggi. Beton tersusun dari agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen dan air.

Beton sangat populer dan banyak digunakan di dunia konstruksi, karena material pembuatannya mudah didapat, harganya relatif murah, dan teknologi pembuatannya relatif sederhana. Akhir-akhir ini, beton semakin sering mendapat kritik, khususnya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup. Hal ini dikarenakan emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan dalam proses produksi semen, ternyata memiliki angka yang sangat besar dan berpotensi untuk mencemari udara secara signifikan. Davidovits (1994) menyatakan proses produksi semen menghasilkan gas emisi CO₂ dalam jumlah yang sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi, memproduksi 1 ton semen sama dengan memproduksi 1 ton CO₂ ke dalam udara.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam bidang infrastruktur agar menjadi lebih ramah terhadap lingkungan adalah mencari material pengganti yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan semen. Material alternatif pengganti semen ini apabila berhasil dikembangkan juga dapat mendukung perwujudan *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin ke-9. Hal ini terkait dengan peningkatan infrastruktur berkelanjutan, serta peningkatan efisiensi penggunaan sumberdaya dan proses industri yang bersih dan ramah lingkungan. Perwujudan SDGs ke-9 ini diharapkan dapat dicapai pada tahun 2030 oleh seluruh negara.

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang tidak menggunakan semen sama sekali. Beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia polimerisasi, bukan reaksi hidrasi seperti pada beton normal (Davidovits, 1997). Beton geopolimer menggunakan material dasar dengan kandungan unsur silika dan alumina yang tinggi (Davidovits, 1999) (Sumajow, 2003). Material yang mengandung unsur silika dan alumina ini dapat menggantikan semen 100%. Adapun material pengganti semen yang mengandung unsur silika dan alumina, yaitu seperti lumpur Sidoarjo, abu terbang (Fansuri, 2008) (Manuahe, 2014) (Priyanka, 2016) (Wardani, 2008) (Setiawati, 2018) (Salain, 2020) (Putri, 2021), abu sekam padi, abu

ampas tebu, abu serbuk kayu, limbah kaca (Angelika, 2023), limbah bata ringan (Pratama, 2024), limbah marmer (Desimaliana, 2024) dan sebagainya.

Pada pelaksanaan pembakaran batu bara di PLTU, ternyata menghasilkan produk sampingan (*side product*) berupa abu terbang sebagai sisa dari pembakaran batu bara yang kemudian dihisap keluar dan ditumpuk. Limbah abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai sumber material pengikat (*binder*) pada campuran beton geopolimer (ACI Committee 228, 1988). Beton geopolimer agar memperoleh yang sangat optimal, maka harus memperhatikan metode perawatan (*curing*) setelah beton geopolimer dicetak. Metode *curing* umumnya dilakukan pada umur awal beton geopolimer (Achmad, 2012) (Wallah, 2014) (Prasetyo, 2015) (Wang, 2020), yang bertujuan untuk menjaga mutu beton geopolimer. Metode *curing* yang biasanya dilakukan pada beton geopolimer, antara lain pembasahan, *membrane, oven* (Wulandari, 2016) (Hasner, 2019) (Hendriyani, 2019) (Hartono, 2022) dan *steam* (Tambingon, 2018) (Tjoanto, 2020).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diuji karakteristik beton geopolimer terutama metode *curing* dengan pembasahan dengan harapan dapat menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang optimal.

2. METODE

Sebelum melakukan pengujian kuat tekan beton geopolimer, maka perlu dilakukan persiapan material penyusun yang akan digunakan. Setelah itu, akan dilanjutkan dengan melakukan pengujian terhadap kualitas material penyusun sebagai kontrol dari campuran beton geopolimer yang akan dibuat.

Setiap parameter pengujian yang dilakukan akan menentukan proporsi dari setiap material penyusun beton geopolimer yang dibuat. Pengujian kualitas material penyusun dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus, dan abu terbang berupa:

1. Berat jenis dan penyerapan agregat.
2. Kadar lumpur.
3. Kadar air.
4. Analisis saringan agregat.
5. Berat jenis abu terbang.

Pada proses pembuatan larutan $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ dengan konsentrasi 8M, akan terjadi reaksi yang menghasilkan panas cukup tinggi. Oleh karena itu, pada saat pembuatan larutan NaOH dibutuhkan tempat/wadah yang tahan terhadap panas. Proses pembuatan larutan NaOH dilakukan 1 hari sebelum proses pengecoran; supaya reaksi antara air dan NaOH berjalan sempurna sehingga larutan tersebut dingin terlebih dahulu sebelum dicampurkan. Setelah larutan NaOH siap, kemudian campurkan dengan Na_2SiO_3 yang telah direncanakan, larutan alkali aktivator siap untuk digunakan. Tidak adanya acuan mengenai *mix design* untuk beton geopolimer pada SNI, maka *mixed design* campuran beton geopolimer dipilih dari penelitian sebelumnya yang dilakukan (Widyaningsih, 2022). *Mixed design* akan dilakukan dengan menggunakan perbandingan massa pada material penyusunnya.

Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan pada umur beton 3, 7 dan 28 hari, dengan sampel uji berbentuk silinder ukuran 10 cm x 20 cm. Metode *curing* yang dilakukan yaitu dengan pembasahan. Sampel beton geopolimer akan direndam terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Jumlah total sampel beton geopolimer yang akan diuji kuat tekannya yaitu 9 buah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kualitas material dilakukan sebelum pembuatan sampel uji dan sebelum pengecoran. Pengujian ini dilakukan pada material penyusun beton geopolimer seperti material pengisi (agregat kasar dan agregat halus) dan material pengikat (abu terbang). Baik agregat kasar maupun agregat halus; akan dilakukan pengujian berat isi, berat jenis, kadar air, kadar lumpur dan analisis saringan. Serta, juga akan dilakukan pengujian berat jenis pada abu terbang.

Pengujian kualitas material agregat kasar bertujuan untuk menjaga kualitas material penyusun beton geopolimer terhadap standar dan ketentuan yang telah ditetapkan dan berlaku. Hasil pengujian kualitas material agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 1** sedangkan hasil pengujian kualitas material agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Pada **Tabel 1** menunjukkan hasil pengujian sifat fisik pada agregat kasar. Pada hasil pengujian tersebut ada parameter yang tidak memenuhi standar, yaitu pada pengujian kadar air lapangan didapat kandungan kadar air sebesar 1,5%. Berdasarkan SNI 15-1990-30 kadar air lapangan seharusnya berkisar 3% – 5%. Meskipun nilai kadar air tidak memenuhi standar (nilainya < 3%), agregat kasar tersebut tetap digunakan karena faktor pada saat mendapatkannya. Agregat kasar berada di ruang terbuka dan terpapar langsung oleh matahari, sehingga kandungan air yang terdapat di dalam agregat kasar menguap ataupun disebabkan oleh faktor lainnya.

Parameter lainnya yang tidak memenuhi standar yaitu kadar lumpur. Nilai kadar lumpur yang didapat yaitu 1,27%. Berdasarkan SNI 03-2461-2002 kadar lumpur seharusnya <1%. Hal ini dikarenakan keadaan awal agregat tersebut berada di ruang terbuka, sehingga terdapat kemungkinan ada debu yang menempel berakibat terhadap lumpur yang terkandung menjadi besar ataupun disebabkan oleh faktor lainnya.

Tabel 1. Hasil pengujian kualitas material agregat kasar

No.	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,74	2,1 – 2,9	Sesuai dengan SNI 1970:2008
	• <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,62	2,1 – 2,9	
	• <i>Bulk Specific Gravity</i> (Kering)	2,66	2,1 – 2,9	
	• <i>Bulk Specific Gravity</i> (SSD)	2,66	2,1 – 2,9	
2.	Kadar Air	1,63	< 5%	Sesuai dengan SNI 15-1990-30
		3,52	3% – 5%	
3.	Berat Isi			Sesuai dengan SNI 03-4804-1998
	• Gembur (gr/cm ³)	1,31	1,2 – 1,75	
	• Padat (gr/cm ³)	1,48	1,2 – 1,75	
4.	Kadar Lumpur (%)	0,51	< 1%	
5.	Analisis Saringan	6,05	5,6% – 6,9%	Sesuai dengan SNI 03-1968-1990

Tabel 2. Hasil pengujian kualitas material agregat halus

No.	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,65	2,1 – 2,9	Sesuai dengan SNI 1970:2008
	• <i>Apparent Specific Gravity</i>	2,50	2,1 – 2,9	
	• <i>Bulk Specific Gravity</i> (Kering)	2,55	2,1 – 2,9	
	• <i>Bulk Specific Gravity</i> (SSD)	2,55	2,1 – 2,9	
2.	Kadar Air	2,24	< 5%	Sesuai dengan SNI 15-1990-30
		3,09	3% – 5%	
3.	Berat Isi			Sesuai dengan SNI 03-4804-1998
	• Gembur (gr/cm ³)	1,55	1,2 – 1,75	
	• Padat (gr/cm ³)	1,68	1,2 – 1,75	
4.	Kadar Lumpur (%)	3,21	< 5%	
5.	Analisis Saringan	3,74	2,3% – 3,1%	Sesuai dengan SNI 03-1968-1990

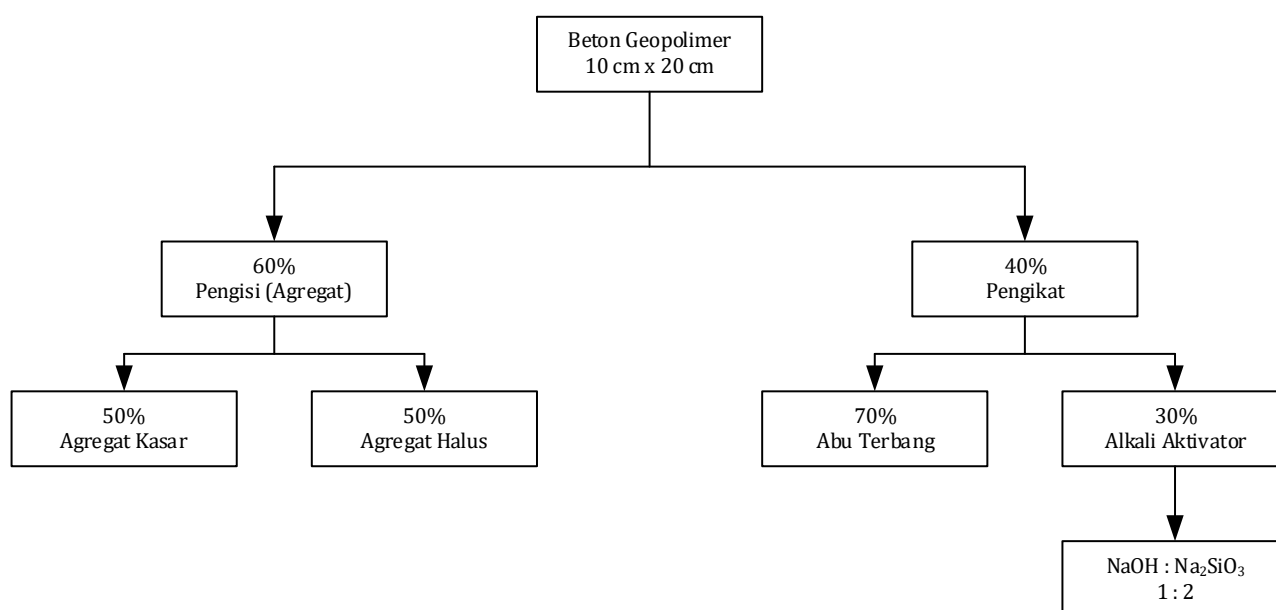
Pada **Tabel 2** menunjukkan hasil pengujian sifat fisik pada agregat halus. Pada hasil pengujian tersebut ada parameter yang tidak memenuhi standar, yaitu pada pengujian analisis saringan. Pada penelitian didapatkan nilai modulus kehalusan sebesar 3,74% lebih besar nilainya dibandingkan syarat SNI. Berdasarkan SNI 03-1968-1990 modulus kehalusan seharusnya berkisar 2,3% – 3,1%.

Pengujian kualitas material abu terbang bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenisnya. **Tabel 3** menunjukkan hasil pengujian berat jenis pada abu terbang sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan dalam SNI 03-2460-1991; nilai berat jenis abu terbang berada dalam rentang 1,9 – 2,55 yaitu 2,5.

Tabel 3. Hasil pengujian kualitas material abu terbang

No	Pengujian Material	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,5	1,9 – 2,55	Sesuai dengan SNI 03-2460-1991

Pada penelitian ini komposisi material penyusun beton geopolimer terdiri dari agregat kasar, agregat halus, abu terbang dan alkali aktivator (Davidots, 2008). Alkali aktivator merupakan gabungan dua larutan, yaitu Natrium silika (Na_2SiO_3) dan Natrium hidroksida (NaOH) dengan molaritas 8M. Rasio larutan alkali aktivator yaitu 2:1. Komposisi beton geopolimer yang digunakan berdasarkan studi terdahulu dan modifikasi dari studi terdahulu itu sendiri. Rasio material pengisi (agregat kasar dan agregat halus) terhadap material pengikat (abu terbang dan alkali aktivator) sebesar 60%:40%, sedangkan rasio abu terbang terhadap alkali aktivator sebesar 70%:30%. Komposisi beton geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 1** dan hasil mix design beton geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 4** hingga **Tabel 5** (setiap benda uji dikalikan dengan faktor koreksi 1,1).

**Gambar 1.** Komposisi beton geopolimer**Tabel 4.** Proporsi komposisi benda uji beton geopolimer

n (buah)	AK (gram)	AH (gram)	AT (gram)	NaOH (gram)	Air (gram)	Na_2SiO_3 (gram)
1	1,482	0,942	1,100	0,031	0,095	0,251
3	4,446	2,825	3,299	0,093	0,284	0,754

Tabel 5. Proporsi komposisi benda uji beton geopolimer yang sudah dikalikan faktor koreksi

n (buah)	AK (gram)	AH (gram)	AT (gram)	NaOH (gram)	Air (gram)	Na_2SiO_3 (gram)
1	1,630	1,036	1,210	0,034	0,104	0,277
3	4,891	3,108	3,629	0,102	0,312	0,830

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*) pada campuran beton geopolimer segar. Pengujian *slump flow* dilakukan sebelum campuran beton geopolimer tersebut dicetak ke dalam cetakan silinder. Pada penelitian ini tidak terdapat *slump* rencana. Semakin besar nilai *slump flow*, maka beton geopolimer tersebut semakin encer dan semakin

mudah untuk dikerjakan. Sebaliknya, jika nilai *slump flow* semakin kecil maka beton geopolimer akan semakin sulit untuk dikerjakan. Hasil pengujian nilai *slump flow* dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil pengujian *slump flow*

No	Tanggal	<i>Slump Flow</i> (cm)
1.	3 Agustus 2024	55

Pengujian *slump flow* dilakukan pada penelitian ini karena jika menggunakan pengujian *slump test* seperti pada beton normal tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan beton geopolimer segar tersebut tidak diam. Dari hasil pengujian *slump flow* menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki *workability* yang cukup tinggi. Berdasarkan teori, beton geopolimer tersebut encer. Namun berdasarkan kondisi pada saat pengerjaan, meskipun nilai *slump flow*-nya tinggi maka beton geopolimer segar tetap memiliki sifat yang kental dan lengket.

Berat volume beton geopolimer dihitung setelah melakukan metode perawatan dengan pembasahan, dengan membagi antara massa beton geopolimer dan volume beton geopolimer. Nilai berat volume beton geopolimer dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil berat volume beton geopolimer

No	Umur (hari)	Berat Volume Beton Geopolimer (kg/m ³)	Rerata (kg/m ³)
1.	3	2.355,49	2.355,49
	7	2.334,27	
	28	2.376,21	

Pengujian kuat tekan beton geopolimer dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton geopolimer maksimum dengan metode *curing* pembasahan. Pada pengujian ini sampel yang akan diuji pada umur beton 3, 7, dan 28 hari; terdapat kuat tekan rencana sebesar 17 MPa benda uji berbentuk silinder yang dengan ukuran 10 cm x 20 cm. Pengujian kuat tekan beton geopolimer dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pengujian kuat tekan beton geopolimer

Metode *curing* dengan pembasahan dilakukan setelah sampel uji beton geopolimer setelah sampel uji dikeluarkan dari cetakan. Proses metode *curing* ini dilakukan dengan memasukkan sampel uji beton geopolimer ke dalam bak air untuk direndam selama umur beton dapat dilihat pada **Gambar 3**. Namun 3 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, sampel uji beton geopolimer diangkat dari bak

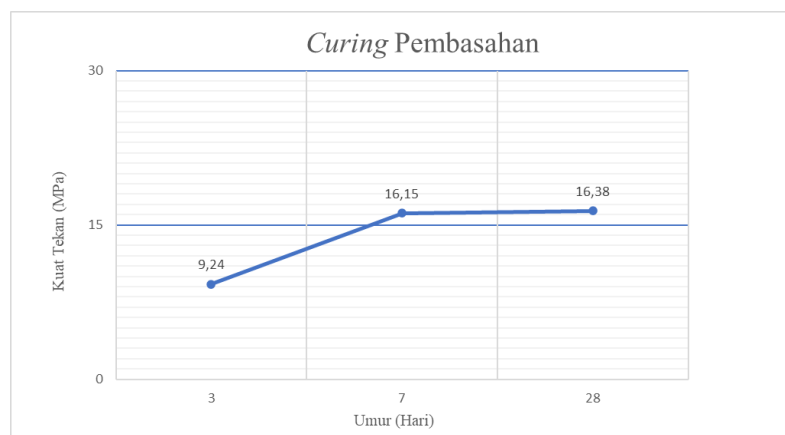
perendam. Kuat tekan beton geopolimer dengan metode *curing* pembasahan dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Gambar 4**.



Gambar 3. Proses metode perawatan beton geopolimer dengan metode pembasahan

Tabel 8. Hasil kuat beton geopolimer dengan metode perawatan pembasahan

No	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1.	3	9,33	10,47
		*6,77	
		11,61	
2.	7	16,10	16,16
		14,55	
		17,80	
3.	28	*9,31	19,92
		18,60	
		21,24	



Gambar 4. Grafik peningkatan kuat tekan beton geopolimer dengan metode *curing* pembasahan

Beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia bukan reaksi hidrasi seperti yang biasanya terjadi pada beton konvensional atau beton semen. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembentukan beton geopolimer dinamakan proses polikondensasi. Proses polikondensasi biasanya terjadi karena kandungan unsur silika dan alumina yang terdapat dalam beton geopolimer, serta bersifat endotermik. Endotermik merupakan ilmu yang mempelajari tentang perubahan energi yang terjadi akibat kimia. Secara singkat, endotermik dikenal sebagai proses penyerapan panas. Panas yang diserap selama proses polikondensasi inilah yang akan mengakibatkan beton geopolimer mengeras. Maka, metode *curing* yang dilakukan dengan pengaruh suhu tinggi pada beton geopolimer akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Hal ini berbanding terbalik dengan beton geopolimer yang menggunakan metode *curing* pembasahan, ternyata mendapatkan kuat tekan beton geopolimer yang rendah.

4. KESIMPULAN

Hasil kuat tekan beton geopolimer setelah dilakukan metode perawatan dengan pembasahan mengalami pola peningkatan pada kuat tekannya dari umur 3, 7, dan 28 hari. Akan tetapi, kuat tekan beton geopolimernya tidak memenuhi kekuatan beton struktural sebesar 17 MPa seperti tertera dalam SNI 2847:2019. Oleh karena itu, tidak dapat diaplikasikan untuk elemen struktural karena tidak memenuhi kekuatan dari mutu.

Untuk mendapatkan metode *curing* yang baik pada beton geopolimer sebaiknya perilaku *curing*-nya disamakan waktu, suhu dan durasinya. Di samping itu, untuk mengantisipasi bidang tekan yang tidak merata pada benda uji sehingga menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan maka perlu dilakukan perataan pada permukaannya.

Dari hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan metode *curing* pembasahan menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatannya dari umur 3, 7 dan 28 hari walaupun tidak signifikan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan mengenai pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan umur sampel uji di atas 28 hari. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat perkembangan kekuatan tekannya.

Beton geopolimer merupakan beton ramah lingkungan karena mengurangi penggunaan semen dan juga mampu mengurangi limbah hasil industri. Akan tetapi, dalam proses pembuatannya dibutuhkan larutan kimia campuran NaOH dan Na_2SiO_3 halmana larutan tersebut tidak murah, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai tinjauan biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan beton geopolimer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung yang telah membantu keberlangsungan penelitian ini dengan Hibah Penelitian Dosen Pemula ITENAS (PDPI).

REFERENSI

- Achmad, D., et al. (2012). Efek Perawatan terhadap Karakteristik Beton Geopolimer. *POLI-TEKNOLOGI*, 11(1).
- ACI Committee 226. (1988). *Use of Fly Ash in Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Angelika, S. K., Desimaliana, E., & Khanza, M. (2023). Pengaruh Substitusi Parsial Variasi Tepung Kaca terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2).
- Davidovits, J. (1994). *Properties of Geopolymer Cements*. Kiev: Kiev State Technical University.
- Davidovits, J. (1997). *Geopolymer Inorganic Polymer New Material*. France: Geopolymer Institute.
- Davidovits, J. (1999). *Chemistry of geopolymer System, Terminology. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference*. France: Saint-Quentin.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer: Chemistry and Application*. France: Geopolymer Institute.
- Desimaliana, E., Shima, R. D., & Musyaffa, F. (2024). Analisis Biaya terhadap Penggunaan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi pada Mortar Geopolimer. *JoSC: Journal of Sustainable Construction*, 3(2).
- Fansuri, H., et al. (2008). Pembuatan dan Karakterisasi Geopolimer dari Bahan Abu Layang PLTU Paiton. *Akta Kimindo*, 3(2).
- Hasner, K. E., Prihantono, & Musalamah, S. (2019). Variasi Campuran Alkali Aktivator pada Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Menggunakan Abu Cangkang Telur Bebek pada Proses Pengovenan. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, XIV(1).
- Hartono, J., et al. (2022). Komparasi Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dengan Metode Curing Oven dan Suhu Ruang. *Teras Jurnal*, 12(2).
- Hendriyani, S. D. A., & Herlina, L. (2019). Perbandingan Beton Geopolymer dengan Molaritas 10M Umur 28 Hari Curing Oven dan Suhu Ruang. *Seminar Intelektual Muda #2*.
- Manuahe, R., Sumajow, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6).
- Prasetyo, G. B. (2015). *Pengaruh Temperatur Curing pada Sifat*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pratama, N. A., & Desimaliana, E. (2024). Pengaruh Substitusi Parsial Limbah Bata Ringan terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).
- Priyanka, N. F. (2016). *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen – Naskah Publikasi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Putri, A. A., & Herlina, L. (2021). Pengaruh Kuat Tekan Beton Geopolimer Mutu Tinggi Menggunakan Fly Ash Tipe

C. Prosiding Seminat Intelektual Muda #6, 3(1).

- Salain, I. M. A. K., Wiryasa, M. N. A., & Pamungkas, I. N. M. M. A. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 8(1).
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*.
- Sumajow, D. M. J., & Dapas, S. O. (2013). *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Yogyakarta: ANDI.
- Tambingon, F. R., Sumajow, M. D. J., & Wallah, S. E. (2018). Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9).
- Tjoanto, R., Wallah, S. E., & Handono, B. D. (2021). Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Penambahan Semen Putih pada Perawatan Suhu Ruang. *Jurnal Sipil Statik*, 9(4).
- Wallah, S. E. (2014). Pengaruh Perawatan dan Umur terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1).
- Wang, J., Xie, J., Wang, C., Zhao, J., Liu, F., & Fang, C. (2020). Study on the optimum initial curing condition for fly ash and GGBS based geopolymer recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 247(118540).
- Wardani, S. P. R. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan – Pidato Pengukuhan Upacara Penerimaan Jabatan Guru Besar*. Semarang: Universitas Dipenogoro.
- Widyaningsih, E., Herbudiman, B., & Fauzi, F. F. (2022). Evaluasi Pengaruh Variasi Molaritas dan Rasio Alkali Aktivator terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 8(3).
- Wulandari, T. (2016). *Kajian Temperatur Curing pada Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Kaolin – Tugas Akhir*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.

Perencanaan Perkerasan Jalan Berdasarkan Lalu Lintas Angkutan Batubara di Kalimantan Timur

Anno Mahfuda ^{a*}, Muh Bahrul Ulum Al Karimi ^a, Nevy Risna Dyah Kumala^a

^a Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Corresponding Author:

Email:

annomahfuda@lecturer.undip.ac.id

Keywords:

Flexible Pavement, Heavy Vehicle

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *One of the many issues with traffic in the mining sector is the large number of cars carrying heavy vehicle. A study was carried out with coal transportation traffic in East Kutai, East Kalimantan. The purpose of this study is to present a perspective in order to resolve the road pavement problem for supporting the heavy vehicle and traffic. Bina Marga 2017 will be used in this study's flexible pavement design, which takes into consideration location, ESA considerations, and scheduled pavement maintenance. With a Class A LPA foundation layer, the flexible pavement type that was acquired is Asphalt Concrete with ≥ 100 mm thickness and granular base layer. This pavement is expected to be feasible to handle current traffic.*

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi secara pesat mengakibatkan banyaknya aktivitas lalu lintas di berbagai akses dan infrastruktur yang ada. Hal ini juga memicu adanya penambahan panjang akses jalan yang cukup tinggi per tahunnya (Mahfuda et al., 2023). Pertambahan jumlah kendaraan, menuntut para akademisi terutama di bidang teknik sipil untuk memperdalam kemampuannya dalam meningkatkan sarana infrastruktur terutama jalan (Zhafirah, 2022). Kondisi tersebut juga berbanding lurus dengan perkembangan perekonomian, salah satunya adalah pertumbuhan di sektor pertambangan yang berkembang dari tahun ke tahun (Khairani et al., 2019; Yuniarto et al., 2022). Pertumbuhan tersebut akan berdampak pada perkerasan jalan yang mendukung beban lalu lintas yang akan berkerja, sehingga perlu perencanaan jalan yang matang agar tingkat pelayanan, kenyamanan, dan keamanan pengguna jalan bisa terwujud (Hartono & Latifa, 2020).

Jalan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah jalan yang dilintasi untuk mengangkut hasil tambang berupa batubara di Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur. Lalu lintas yang cukup berat dan tinggi dalam setiap jamnya akan memerlukan adanya daya dukung yang baik (Utomo et al., 2017). Kondisi lalu lintas yang berat akan mengerucutkan jenis perkerasan yang akan digunakan. Berdasarkan faktor kondisi daerah dan lalu lintas yang ada serta topografi yang ada, maka jenis perkerasan jalan yang akan digunakan adalah perkerasan lentur. Perkerasan lentur di Indonesia sudah sering digunakan untuk mendukung beban dan volume lalu lintas pada tingkat sedang maupun tinggi (Adiman & Yuda Pranata, 2024; Firdziawan & Sastrodiningrat, 2022; Juniarti et al., 2021; Novriani et al., 2024). Ditinjau dari sisi ekonomis, perkerasan lentur juga memiliki nilai yang lebih rendah bilamana dibandingkan dengan perkerasan kaku ataupun perkerasan komposit, sehingga hal ini menjadi pertimbangan peneliti dalam menentukan jenis perkerasan yang akan digunakan (Hendriansyah & Widayanti, 2017; Kartadipura, 2011; Maklas & Erizal, 2019; Rifhan & Susilo, 2021). Pemilihan jenis perkerasan lentur didasarkan pada pemeliharaan dan perawatan perkerasan, sehingga biaya yang akan dikeluarkan dapat berjalan dengan prinsip efisiensi dan efektivitas (Hendriansyah & Widayanti, 2017; Kartadipura, 2011; Nur, 2019; Rachmayati, 2014).

Perencanaan perkerasan jalan banyak ditemukan dengan menggunakan berbagai macam peraturan yang ada. Perencanaan perkerasan jalan dapat menggunakan metode yang dituangkan di dalam peraturan Bina Marga 2002 dan Bina Marga 2011 (Juniarti et al., 2021). Bina Marga juga terus melakukan pembaharuan salah satunya adalah peraturan perkerasan jalan Bina Marga 2017 (Adiman & Yuda Pranata, 2024; Darmawan & Lizar, 2020; Hidiyati et al., 2023; Novriani et al., 2024). Peraturan

lain yang berlaku di negara lain juga dapat diadopsi ke dalam metode penentuan tebal perkerasan jalan seperti Austroad 2012 dan AASHTO 1993 (Hartono & Latifa, 2020). Penggunaan metode penentuan jenis dan tebal perkerasan lentur dapat menggunakan metode AASHTO 1993 dan SNI Pd T-14-2003 (Maklas & Erizal, 2019). Penelitian ini akan merencanakan jenis dan tebal perkerasan lentur dengan menggunakan Bina Marga 2017, sebab peraturan ini dianggap masih cukup relevan dengan kondisi lalu lintas dan kondisi daerah yang akan ditinjau.

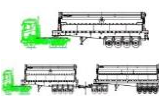
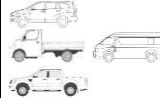
2. DATA DAN METODE

Berdasarkan hasil observasi di daerah yang telah dipilih, maka didapatkan data lalu lintas harian yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Lalu Lintas harian rata-rata (LHR)

Jenis Kendaraan	LHR
HV-01	292
HV-02	63
HV-03	12
HV-04	18
LV-05	73
MC	0

Bilamana disinkronkan dengan tipe kendaraan yang terdapat pada Bina Marga 2017, maka HV-01 adalah kendaraan golongan 7c, HV-02 adalah kendaraan golongan 7a, HV-03 adalah kendaraan golongan 6, HV-04 adalah kendaraan golongan 5a atau bus, LV-05 adalah kendaraan golongan 2, dan MC adalah kendaraan bermotor beroda dua. Konversi tersebut didapatkan dari hasil observasi di persimpangan yang sudah ditentukan dengan membandingkan antara kendaraan yang melintas dengan daftar kriteria kendaraan yang berada di dalam Bina Marga 2017 pada Gambar 2. Adapun keterangan tentang tipe kendaraan pada lalu lintas angkutan batubara di Kutai, Kalimantan Timur dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

					
HV - 01	HV - 02	HV - 03	HV-04	LV	MC

Keterangan :

(HV-01) Trailer /Double Trailer (DDT)

(HV-03) Truck (2 Sumbu 3/4)

(HV-04) Bis Kecil

(HV-02) Truck/ Truck Tangki (3 Sumbu)

(LV) Pickup, Minibus, Micro Truck

(MC) Sepeda Motor

Gambar 1 Jenis kendaraan angkutan batubara yang melintas pada jalan di Kutai, Kalimantan Timur

	Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu
	Klasifikasi Lama	Alternatif		
Kendaraan Niaga (5a - 7c3)	1	1	Sepeda Motor	1.1
	2,3,4	2,3,4	Mobil, Angkot, Wagon	1.1
	5a	5a	Pickup	1.2
	5b	5b	Bus Kecil	1.2
	6a.1	6.1	Bus Besar	1.2
	6a.2	6.2	Truk 2 Sumbu – Cargo Ringan	1.1
	6b1.1	7.1	Truk 2 Sumbu – Ringan	1.2
	6b1.2	7.2	Truk 2 Sumbu – Cargo Sedang	1.2
	6b2.1	8.1	Truk 2 Sumbu – Sedang	1.2
	6b2.2	8.2	Truk 2 Sumbu – Berat	1.2
	7a1	9.1	Truk 2 Sumbu – Berat	1.2
	7a2	9.2	Truk 3 Sumbu – Ringan	1.22
	7a3	9.3	Truk 3 Sumbu – Sedang	1.22
	7b	10	Truk 3 Sumbu – Berat	1.1.2
	7c1	11	Truk 2 Sumbu dan Penarik	1.2-22
	7c2.1	12	Trailer 2 Sumbu	1.2-22
	7c2.2	13	Truk 4 Sumbu – Trailer	1.2-22
	7c3	14	Truk 5 Sumbu – Trailer	1.2-222
			Truk 6 Sumbu – Trailer	1.22-222

Gambar 2 Jenis kendaraan pada Bina Marga 2017.

Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi tersebut, maka akan didapatkan nilai VDF atau *Vehicle Damage Factor* yang didapatkan dari Bina Marga 2017 (Bina Marga, 2017). VDF atau angka ekivalen kendaraan dihitung untuk kendaraan dengan muatan standar dan muatan berlebih. Angka ini juga mewakili daya rusak yang akan ditimbulkan oleh kendaraan yang melintas terhadap perkerasan jalan (Adiman & Yuda Pranata, 2024). VDF akan ditentukan berdasarkan jenis kendaraan yang akan melintas di atas perkerasan jalan. Adapun nilai VDF berdasarkan LHR dapat dilihat pada Tabel 2 (Bina Marga, 2017).

Tabel 2 VDF berdasarkan LHR pada lokasi yang telah dipilih

Jenis Kendaraan	LHR	VDF 4	VDF 5
HV-01	292	13,5	22,9
HV-02	63	9,9	18,3
HV-03	12	4,8	8,5
HV-04	18	0,3	0,2
LV-05	73	0	0
MC	0	0	0

Berdasarkan Bina Marga 2017 ada dua nilai VDF, yaitu VDF4 dan VDF5 dimana nilai VDF4 dan VDF5 adalah nilai VDF standar yang telah ditetapkan berdasarkan Bina Marga 2017 pada Tabel 2. Direncanakan perkerasan jalan akan memiliki umur rencana 22 tahun, sebab pada tahun 2047 area pada kawasan tersebut akan ditinjau ulang. Hal tersebut juga disebabkan lalu lintas kendaraan angkutan batubara yang ada akan melalui pengkajian ulang oleh perusahaan di sekitar area tersebut, sehingga terdapat penyesuaian kembali terhadap kendaraan yang akan beroperasi. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50. Nilai faktor distribusi lajur kendaraan niaga akan bernilai 1 sesuai dengan yang tertuang di dalam Bina Marga 2017. Menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga untuk menentukan nilai ESAL atau *Equivalent Single Axle Load* seperti di bawah ini.

$$ESA4_{TH-1} = (\Sigma LHR \times VDF4) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (1)$$

$$ESA4_{22} = (LHR \times VDF4) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2)$$

$$ESA5_{22} = (LHR \times VDF5) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3)$$

Dengan ESA_{TH-1} adalah kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*Equivalent Standard Axle*) pada tahun pertama, LHR_{JK} adalah lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari), VDF_{JK} adalah Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga, DD adalah Faktor distribusi arah, DL adalah Faktor distribusi lajur pada Tabel 10 Bina Marga 2017, CESAL adalah Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana, dan R adalah Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif. VDF akan disesuaikan dengan daerah yang akan ditinjau, dalam penelitian ini adalah Pulau Kalimantan. VDF pada Bina Marga 2017 dibedakan menjadi VDF4 berdasarkan ESA4 dan VDF5 berdasarkan ESA5. ESA4 adalah angka ekivalen berdasarkan prinsip *fourth power law*, sedangkan ESA5 dengan formulasi seperti *fourth power law* namun dengan pangkat 5 (Tjan, 2020). ESA4 digunakan untuk desain perkerasan dengan umur rencana 20 tahun dan kurang dari 4 juta ESA. ESA5 digunakan untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi batu pecah yang didesain dengan umur rencana 20 tahun dan lebih dari 4 juta ESA (Tjan, 2020).

Tabel 3 ESA4 dan ESA5 berdasarkan LHR

Jenis Kendaraan	LHR	VDF 4	VDF 5	ESA 4	ESA 5
HV-01	292	13,5	22,9	17605226,02	29863679,7
HV-02	63	9,9	18,3	2785484,392	5148925,693
HV-03	12	4,8	8,5	257245,3118	455538,5729
HV-04	18	0,3	0,2	24116,74798	16077,83199
LV-05	73	0	0	0	0
MC	0	0	0	0	0
CESA 4				20.672.072,48	
CESA 5					35.484.221,8

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis lalu lintas dan faktor lokasi yang telah terpilih (Pulau Kalimantan), selanjutnya data tersebut dijadikan sebagai landasan untuk memilih jenis perkerasan lentur. Berdasarkan Bina Marga 2017, jenis perkerasan lentur ditentukan dari nilai umur rencana dan ESAL. Adapun jenis perkerasan lentur dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Penentuan jenis perkerasan lentur Bina Marga 2017 (Bina Marga, 2017).

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 Tahun (Pangkat 4 kedua di tentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 – 200
Perkerasan kaku dengan Lalu Lintas Berat di atas tanah $CBR \geq 2,5\%$	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan Lalu Lintas Rendah	4A	-	1,2	-	-	-
AC-WC modifikasi atau SMA dengan CTB	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan tebal ≥ 100 mm, dengan lapis pondasi berbutir (ESA5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS dengan lapis pondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau Batuan Asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Pondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasan Jalan Tanpa Penutup	7	1	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4, maka dipilih jenis perkerasan lentur dengan lapis permukaan *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC) atau hanya menggunakan lapisan permukaan berupa *Asphalt Concrete* (AC) dengan berbagai macam lapis pondasi atas. Laston (Lapisan Aspal Beton) sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*) dengan tebal minimum AC – WC adalah 4 cm (Adiman & Yuda Pranata, 2024; Duani et al., n.d.; Firdziawan & Sastrodiningrat, 2022; Wardana & Widayanti, 2020). Lapisan ini adalah lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan dan dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya.

Adapun salah satu alternatif dalam pemilihan jenis perkerasan lentur sebagaimana pada Tabel 4 memiliki tiga pilihan, salah satunya adalah AC-WC modifikasi atau SMA dengan CTB serta AC dengan CTB (ESA5). CTB (*Cement Treated Base*) adalah bahan untuk lapis pondasi (*base course*). CTB memanfaatkan semen *Portland* sebagai bahan pengikat. Walaupun cara pembuatan dan produk akhirnya berupa beton, namun CTB bukan merupakan pengcambahan dari perkerasan kaku (*rigid pavement*) (Hadijah, 2022). Pemilihan jenis lapisan ini dapat dilihat pada Bagan Desain 3 di dalam Bina Marga 2017. Adapun Bagan Desain 3 dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Penentuan tebal lapis pondasi dan *subgrade*(Bina Marga, 2017)

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat bagan desain 3A – 3B dan 3 C	Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₅)	> 10 - 30	> 30 – 50	> 50 – 100	> 100 – 200	> 200 – 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis Fondasi		Cement Treated Base (CTB)			
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Bedasarkan Tabel 5, dengan CESA5 sebesar 35.484.221,8, dimana dalam Tabel 5 CESA5 tersebut termasuk ke dalam nilai CESA5 >30-50 x 10⁶, maka dapat ditentukan bahwa perancangan akan menggunakan solusi dengan tebal lapisan AC-WC modifikasi atau SMA setebal 40 mm, lapisan *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) setebal 60 mm, lapisan *Asphalt Concrete-Base* (AC Base) setebal 100 mm, lapisan *Cement Treated Base* (CTB) setebal 150 mm dan lapisan fondasi dengan LPA Kelas A setebal 150 mm. Alternatif lain adalah hanya menggunakan lapisan AC setebal 40 mm dan lapisan CTB setebal 150 mm. Adapun ketebalan dari masing-masing lapisan perkerasan yang sudah dipilih dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Tebal perkerasan lentur berdasarkan perencanaan Bina Marga 2017 untuk alternatif 1 dan 2

Alternatif 1		Alternatif 2	
Lapisan	Tebal (mm)	Lapisan	Tebal (mm)
AC-WC Modifikasi	40	AC	40
AC-BC	40	CTB	150
AC Base	100		
CTB	150		
LPA Kelas A	150		

Namun dalam Bina Marga 2017, dijelaskan bahwa hanya kontraktor yang cukup berkualitas dan memiliki akses terhadap peralatan yang sesuai dan keahlian yang diizinkan melaksanakan pekerjaan

CTB. *Lean Concrete* dapat digunakan sebagai pengganti CTB untuk pekerjaan di area sempit atau jika disebabkan oleh ketersediaan alat. Sehingga hal ini menjadi pertimbangan dalam pemilihan perkerasan lentur berdasarkan lokasi dan kompetensi yang dimiliki oleh perusahaan di sekitar lokasi perkerasan yang akan dibangun. Berdasarkan Tabel 4, terdapat satu alternatif pemilihan perkerasan lentur yakni, AC dengan tebal ≥ 100 mm, dengan lapis pondasi berbutir (ESA5). Pemilihan alternatif ketiga ini dapat dilihat pada Bagan Desain 3B yang tertuang pada Tabel 7.

Tabel 7 Bagan Desain 3B untuk AC dengan tebal ≥ 100 mm, dengan lapis pondasi berbutir (ESA5)

(Sebagai Alternatif dari Bagan Desain- 3 dan 3A)

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2								
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA5)	< 2	$\geq 2 - 4$	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300

Berdasarkan Tabel 7, dengan mempertimbangan CESA5 sebesar 35.484.221,8, dimana dalam Tabel 7 CESA5 tersebut termasuk ke dalam nilai CESA5 $> 30 - 50 \times 10^6$ atau berada pada kolom FFF7. Lapisan perkerasan yang akan digunakan dapat berupa lapisan AC-WC setebal 40 mm, lapisan *Asphalt Concrete-Bearing Course* (AC-BC) setebal 60 mm, lapisan *Asphalt Concrete-Base* (AC Base) setebal 180 mm, dan lapisan fondasi dengan LPA Kelas A setebal 300 mm. Menurut Bina Marga 2017, struktur lapisan perkerasan lentur pada Tabel 7 dianggap lebih praktis dan ekonomis bilamana dibandingkan dengan perkerasan lentur pada Tabel 5. Oleh karena itu, mempertimbangkan faktor ekonomi dan lokasi, maka perkerasan lentur yang akan digunakan adalah perkerasan lentur dengan tipikal AC dengan tebal ≥ 100 mm, dengan lapis pondasi berbutir (ESA5). Ketebalan struktur lapisan perkerasan lentur yang sudah dipilih dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Tebal perkerasan lentur berdasarkan perencanaan Bina Marga 2017 alternatif 3

Alternatif 3	
Lapisan	Tebal (mm)
AC-WC	40
AC-BC	60
AC Base	180
LPA Kelas A	300

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data pengamatan LHR yang telah didapatkan di Kutai Timur, Kalimantan Timur, kendaraan yang memiliki kriteria kerusakan jalan adalah kendaraan HV-01 atau setara dengan kendaraan golongan 7c. Setelah mendapatkan nilai LHR, maka didapatkan nilai ESAL4 kumulatif sebesar 20.672.072,48 dan nilai ESAL5 kumulatif sebesar 35.484.221,8. Berdasarkan nilai CESAL5 kumulatif, kondisi daerah, dan kondisi pemeliharaan dan perawatan, terdapat setidaknya tiga alternatif pilihan dalam memilih jenis perkerasan lentur. Adapun jenis perkerasan yang akan digunakan dari ketiga opsi tersebut adalah struktur perkerasan lentur dengan lapisan AC dengan tebal ≥ 100 mm, dengan lapis pondasi berbutir (ESA5).

REFERENSI

Adiman, E. Y., & Yuda Pranata, A. (2024). Analisis Desain Perkerasan Lentur Berdasarkan Mdpj 2017 Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Pada Program Kenpave. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik* E-ISSN: 2654-4482, available online at: <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>

Sipil, 7(2), 651–662. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.26800>

Bina Marga. (2017). *Pavement Manual Design (June 2017 Revision)*. 1–34.

Darmawan, R., & Lizar, L. (2020). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Menggunakan Metode Bm - 2017. *Jurnal TekLA*, 2(2), 97. <https://doi.org/10.35314/tekla.v2i2.1823>

Duani, A. F., Yosomulyono, S., & Azwansyah, H. (n.d.). *Perbandingan Biaya Perkerasan Lentur Dan Perkerasan Kaku Pada Jalan Karya Bakti Di Kecamatan Meliau Kabupaten Sanggau*. 1–10.

Firdziawan, R. T., & Sastrodiningrat, T. (2022). Perencanaan Perkerasan Lentur pada Peningkatan Ruas Jalan Lengkong – Tanggeung (Segmen 1) Kabupaten Sukabumi Berdasarkan Metode MDPJ 2017 dan Pt T-01-2002-B. *FTSP Series: Seminar Nasional Dan Diseminasi Tugas Akhir 2022, Segmen 1*, 1–11.

Hadijah, I. (2022). *Cement Treated Base (CTB) sebagai Lapis Fondasi Atas*. www.sulur.co.id

Hartono, M. A., & Latifa, E. A. (2020). Analisis Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993 Dan Metode AUSTRROADS 2012 Terhadap Keekonomisan Biaya. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 2(2), 26. <https://doi.org/10.32585/modulus.v2i2.1473>

Hendriansyah, G. C., & Widayanti, A. (2017). Analisis Pemilihan Perkerasan Lentur dan Kaku Berdasarkan Life Cycle Cost Analysis di Kota Kediri. *Jurnal Universitas Negeri Surabaya*, 1(2), 1–9.

Hidiyati, E. F., Cahyono, A. D., Induwati, M., Emilia, O. F., Mustafa, D. T., Pambudi, W. R., Aprinia, A. D., & Fasyaro, R. F. (2023). Identifikasi Karakteristik Agregat Terhadap Nilai Stabilitas Lapis Perkerasan Aspal Beton AC-BC (Laston). *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 193. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.853>

Juniarti, M., Widodo, S., & Akhmadali, D. (2021). Perencanaan Perkerasan Jalan Dengan Metode Bina Marga 2002 dan Metode Bina Marga 2011 (Studi Kasus: Jl. Drs. Moh. Hatta. Sungai Rengas Kec. Sungai Kakap, Kab. Kubu Raya). *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, Volume 8*(No 2), 1–8.

Kartadipura, R. H. (2011). Studi Perbandingan Biaya Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur Metode Annual Worth. *Info Teknik*, 12(2), 54–60.

Khairani, N., Siahaan, Y., Susanti, E., & Supitriyani, S. (2019). Pengaruh Pertumbuhan Perusahaan, Likuiditas, Dan Profitabilitas Terhadap Nilai Perusahaan Pada Perusahaan Sub Sektor Pertambangan Batubara Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia. *Financial: Jurnal Akuntansi*, 4(2), 28–34. <https://doi.org/10.37403/financial.v4i2.78>

Mahfuda, A., Siswosukarto, S., & Suhendro, B. (2023). The Influence of Temperature Variations on Rigid Pavement Concrete Slabs. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 9(May), 139–150. <https://doi.org/10.22146/jcef.5744>

Maklas, F., & Erizal. (2019). Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Bogor-Ciawi-Sukabumi (Analysis of Road Pavement Thickness Planning on Bogor-Ciawi-Sukabumi Toll Road). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 04(02), 91–100.

Novriani, S., Setiawan, A., Pratama, N., Sipil, T., Swadaya, U., Jati, G., Pemuda, J., No, R., & Cirebon, K. (2024). Perkerasan Lentur Menggunakan MDPJ 2017 Berdasarkan Umur Rencana di Jawa Barat. *Jurnal Konstruksia*, 15(April), 111–119.

Nur, M. (2019). *Study perbandingan biaya pemeliharaan jalan konstruksi rigid dengan jalan konstruksi fleksibel*. Universitas Bosowa.

Rachmayati, D. (2014). Kaku Dan Perkerasan Lentur (Life Cycle Cost Comparison Study for Rigid and Flexible Pavement). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 31(2), 94–110.

Rifhan, N., & Susilo, B. H. (2021). Perbandingan Biaya Dan Pelaksanaan Perkerasan Lentur Dan Kaku. *Prosiding Seminar Intelektual Muda*, 2(2), 162–167. <https://doi.org/10.25105/psia.v2i2.10329>

- Tjan, A. (2020). Angka Ekvivalen Mdp-2017 (Mdp-2017 Load Equivalency Factors). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 37, 61–71.
<http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/930/648>
- Utomo, V. P., Surjandari, N. S., & Yulianto, B. (2017). ANALISIS LENDUTAN PERKERASAN KAKU PADA PEMBEBANAN TENGAH DAN TEPI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA Vian. *Jurnal Muara*, 1(1), 142–149.
- Wardana, R. A., & Widayanti, A. (2020). *ANALISIS PEMILIHAN JENIS STRUKTUR LAPISAN PERKERASAN LENTUR BERDASARKAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2017 (Studi Kasus: Pada Akses Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) ke Gelora Bung Tomo (GBT) Surabaya)*. 2017, 1–10.
- Yuniarto, A. E., Asmara, E. N., & Herbowo, H. (2022). Pertumbuhan Laba pada Perusahaan Pertambangan di Indonesia. *Owner*, 6(3), 1446–1456. <https://doi.org/10.33395/owner.v6i3.952>
- Zhafirah, A. (2022). Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lempung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Teras Jurnal*, 12(2), 415–424.

A Comparative Study of Flat Slab and Waffle Slab Structure for Efficiency of Convention Building Slab System

Efendi^a, Andri Irfan Rifai^a, Amanatullah Savitri^{a*}

^a Faculty of Civil Engineering & Planning, Batam International University, Indonesia

Corresponding Author:

Email: amanatullah@uib.ac.id

Keywords:

Flat Slab, Waffle Slab, Effectiveness

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *In the world of construction, aesthetic has become an important factor that must be considered. The aesthetic elements consist of wholeness, prominence and balance. However, aesthetic values can be influenced by several factors, namely economic, social, cultural, technological, ergonomic and psychological factors and this cause that in commercial development or the building that use slab system for foundation is used greatly affects it in terms of aesthetics and also cost effectiveness. Despite the importance of aesthetics, structural efficiency in terms of material usage and deflection remains a key consideration in slab selection. The author's purpose of doing this research is to analyse the efficiency of volume in concrete and deflection between Flat Slab system and Waffle slab system. This research uses a case study at the Pasir Putih Convention, Batam, Indonesia. The analysis is done with ETABS software based on the local standards or known as Indonesia National Standard (abbreviated SNI). The choice of a slab system in a development is very important, especially if the building or construction is categorized as commercial structure. Based on the data obtained by researchers in terms of economics and deflection, Waffle Slab System is the right option, meanwhile in terms of ease construction Waffle Slab System will be the secondary choice than Flat Slab, Since Flat Slab is more ease of framework installation than Waffle Slab.*

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. INTRODUCTION

Indonesia has entered an era where every region in Indonesia must pay attention to the development and construction method. The development mentioned here stand for development of the infrastructure sector. The infrastructure built in Indonesia has increased from year to year. Infrastructure built such as offices, malls, schools, housing, hotels, and others. The development carried out requires the availability of sufficient land, but the current development is oriented in a vertical direction by making it multilevel to minimize land use. Multi-storey buildings were built to overcome the density of land which the land availability have been decreasing from year to year (Egan & Leo, 2018).

In the world of construction, aesthetic values must be considered along with the times. The definition of aesthetics is basically related to several issues such as, beauty, art, expression, form, and aesthetic experience. In general, aesthetics can also be classified into two, namely natural aesthetics and artificial aesthetics. Where in works of art and architecture, there are three most basic aesthetic elements, namely wholeness, prominence, and balance. But aesthetic values have problems that are influenced by several factors, namely economic, social, cultural, technological, ergonomic, and psychological factors (Utomo, 2010). So that in commercial construction or building the used of slab system has greatly affects in terms of cost and aesthetics.

The Design of structures for buildings and bridges is maily concerned with the provision and support of load-bearing horizontal surfaces. Except in some long-span structures, these floor or decks are usually made of reinforced concrete, for no other material provides a better combination of low cost, high strength, and resistance to corrosion abrasion and fire (Johnson, 2018; Johnson, 2018). In construction of high-rise building, used of materials & volume of concrete in an element's structures, slab is the most dominance.

Slab is a horizontal structural element that support both dead and live loads and transmit them to the vertical frame of the structural system. Slab is also a plane (surface) structure (flat or curved) whose thickness is much smaller than the other dimensions. Meanwhile reinforced concrete slab means a thin structure made of reinforced concrete with a horizontal direction, and the loads acting perpendicular to the structure. The thickness of this plane slab is relatively very small when compared to the long span / width of the slab. This concrete slab is very rigid, and the direction of transfer loading is horizontal, so that in buildings, this slab functions as a secondary structure and can also function as a diaphragm that helps channel lateral forces due to earthquakes that might affect to the main structure frame. The addition of drop panels is an effort to overcome the shear stress (punching shear), besides that it can also be added with edge beams or column capital. Drop panels are placed above the column which aims to distribute the load that occurs on the slab and transfer to the column so that there is a thickening of the slab in that area. Flat slab construction with drop panels is a unique system that can provide load-bearing strength and save time of the construction process, which will be faster than conventional slabs (Sidjabat, Ginting, & Marbun, 2021).

There are several kinds of slab system, namely flat plate system, waffle slab system, flat slab system, and conventional plate system. Each Slab system has its own advantages and disadvantages. Which is considering in the economics, in terms of construction & aesthetic. The selection of these various plate systems is based on the purpose of the designed structure. The function of the plate system in the building structure is as a diaphragm that transmits loads. Much research had been done on the comparison of the three slab systems, but specifically for this journal's research theme has never been done (Rupidara, Cornelis, & Sir, 2022).

Most of the high-rise building construction uses a slab and beam system, but in terms of efficiency due to limited of availability land, especially in term for the interior of the building purposed, the flat slab system is more effective in reducing the height and time of construction work and is widely used in terms of architecture. As explained above, a flat slab is a reinforced concrete slab construction system without beams which is often used as a high-rise building slab choice, such as offices, residences, or other industrial facilities, which doesn't have high intensity. In the process of working on flat slabs, high-strength concrete is usually used, and slab formwork can be used evenly throughout. Behind these advantages, there are also disadvantages contained in the plate of flat slab, such as, the planned building has a limited span capability that relatively short. (Primakov & Leo, 2019).

Among the various slab systems, the waffle slab system is still rarely used. Waffle slabs are usually used in special projects that require large spaces with a small number of columns and rooms, yet the floor slabs have small deflections and small vibration frequencies. Usually used in the construction of airports, bridges, parking buildings, as well as commercial and industrial buildings, libraries or art galleries that prioritize the aesthetic value of building ceilings. So that most preferable long span slab for a Building is Waffle Slab (Malviya & Tiwari, 2021). However, they have limitations in terms of span length and deflection control. On the other hand, Waffle Slabs provide structural efficiency, especially for large-span applications, minimizing deflections and enhancing load distribution. Despite their advantages, Waffle Slabs are less commonly used due to their complex formwork and higher construction costs.

This study aims to determine the most efficient slab system for commercial buildings by analyzing the volume of concrete usage and deflection performance. Using the Pasir Putih Convention Centre in Batam as a case study, a comparative analysis is conducted between Flat Slab and Waffle Slab systems utilizing ETABS software. The results of this study are expected to assist engineers and architects in optimizing slab selection to enhance structural efficiency while maintaining construction feasibility

2. DATA DAN METHOD

This research has use the commercial structure concept design of convention centre that located in Pasir Putih, Batam-Indonesia shown in figure 1 as a study case for this research's object. Pasir Putih is a well-known place in Batam for residential area, however these days, commercial structure are developing in that area. Hence this research has chosen one of the developing structure for this research's object. The structures are modelled in 3-Dimensional as commercial structure by using the ETABS software. In the present work, reinforced concrete frame of double storey building situated in Indonesia had been

designed to follow Indonesian National Standard (abbreviated SNI) during the research progress. Design have also been considered toward dead load and live load that happened. The calculation data is collected with quantities method. This research is only for a comparative purpose between the concrete's volume and deflection of flab slab and waffle slab design.. Figure1 shows the Convention Centre at Pasir Putih as a reference to this research.

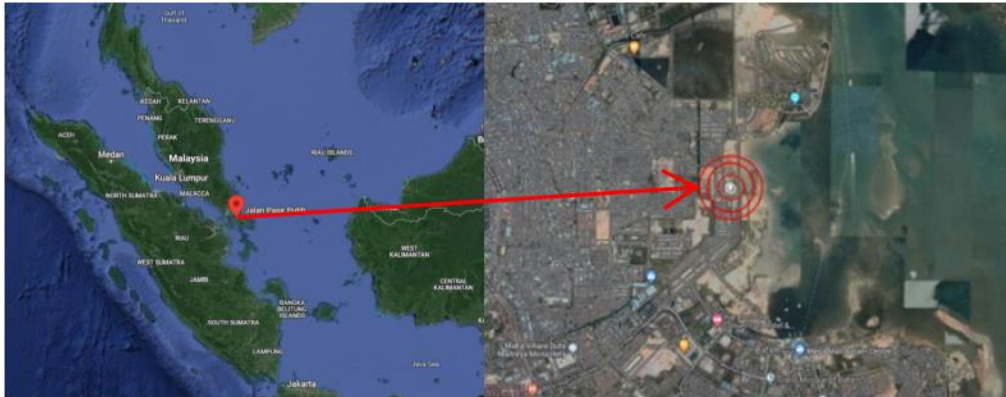


Figure 1. Location of case study

Concept of Architecture's Design

Below is an architectural design concept of this research's object, convention centre that located on Pasir Putih, Batam-Indonesia, based on the location above. This concept design of this convention centre is a commercial project with a site area of 19,154 m² as shown in figure 2. This design concept is in the form of self-service and retail with a very futuristic building facade. This design concept is located near the Mondial and Ocarina schools which are very easy to reach by the public and has a total parking area of 442 vehicles consisting of 210 car parking units and 232 motorcycle parking units.



Figure 2. Concept design of the convention centre

This concept design of this convention centre is a commercial project with a building area of 4,240 m². The concept design plan on the first floor is in the form of a ballroom which has a floor area of 2,840 m², which there are a management room, toilet, prayer room, warehouse, and lounge area. The function of the building as a retail shopping centre with a total of 81 retail stands as shown in figure 3. The interior design concept of this supermarket and retail with a futuristic concept design.



Figure 3. Concept design of first floor plan

Design Criteria of Structure's

Below are the structure details as per shown in Table 1, material specifications, and loading that use for this research's analysis with the help of ETABS Software in purpose to compare between the concrete's volume and deflection of flab slab and waffle slab design.

Table 1. Criteria of Structure's

No	Description	Criteria Design	
		Flat Slab	Waffle Slab
I	Structure Details		
1	Plan Dimension	40 m x 25 m	40 m x 25 m
2	Height of the Floor	3.5m	3.5 m
II	Material Properties		
1	Concrete Grade	25 Mpa	25 Mpa
2	Density of Concrete	25 kN/m ³	25 kN/m ³
3	Grade of Steel	500 Mpa	500 Mpa
4	Modulus of Elasticity	25 kN/m ³	25 kN/m ³
III	Section Properties		
1	Beam/Rib Width	-	200 mm
2	Slab Thickness	275 mm	125 mm
3	Drop Panel Thickness	400 mm	375 mm
4	Panel Size	1450mm x 1450mm	2650 mm x 2650 mm
5	Spacing Beam/Rib	-	750 mm
IV	Gravity Loads		
1	Dead Load (Floor)	1.5 kN/m ²	1.5 kN/m ²

Step of Modelling ETABS

Below are the steps to do the modelling with ETABS software to check for the comparison of flat slab and waffle slab's concrete volume and deflection.

1. Determining the Structural Model

In determining the model structure, ETABS software already provides various kinds of models, alternatively, we can also create our own model by use grid, by selecting the file-new menu, and followed up with the option of grid only

2. Determining Materials and Material Values

If done with the modeling structures, next is entering the stage of determining the material. Firstly, select the material type, input the name for this material type, and check the value of material which have been input automatically

3. Creating the Section Profile Properties of Slab

After determining the materials, next is entering the stage of making the profile section that will be used. Choose the slab material from the list provided. Provide name for the profile have been created, lastly input the slab type, depth, thickness, and others needed

4. Assigned Materials to the Shells

Now is assigning properties to the specified member. Choose from the list in “shell assignment – slab section” and assign the correct shells.

5. Define the Load Case

After doing the profile properties section for each member, then determining the load case contained in the model from the list of load case. Fill up the name for the load case and specify the factor used.

6. Input the Loading to the Elements/Members

Next also required to ensure the load input is correct according to the existing standards and criteria based. Select the “Assign” Panel, load type, and the load pattern. Lastly, fill up the value and direction of the loading.

7. Define the Load Combination

After inputting the loads according to the Indonesian National Standard, following up is determining the load combination which also according to the Indonesian National Standard.

8. Run Analysis Design & Print the Output

Finally, the model will enter the last stage, which named as running analysis toward the models, if the results of the model structure had already matched the Indonesian National Standard, means this model is ready to be used, so afterward is to print the required output.

3. RESULTS AND DISCUSSION

ETABS Modelling Slab

Below are the 2-Dimension modelling figure of Flat slab and waffle slab system for the first floor of Convention Centre in Pasir Putih with Software ETABS 19.0.1 ® based on the data in table 2.

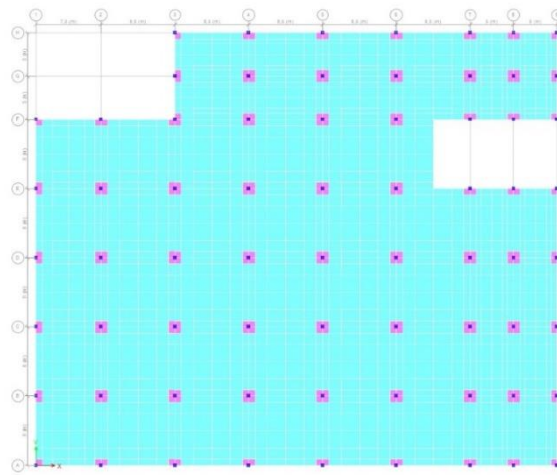


Figure 4. First floor's plan view with flat slab design

The following Figures 4 are showing the 2-Dimension building models for the Flat slab. The structure is modeled based on the structure details, material specifications, section properties, loading and based on the SNI.

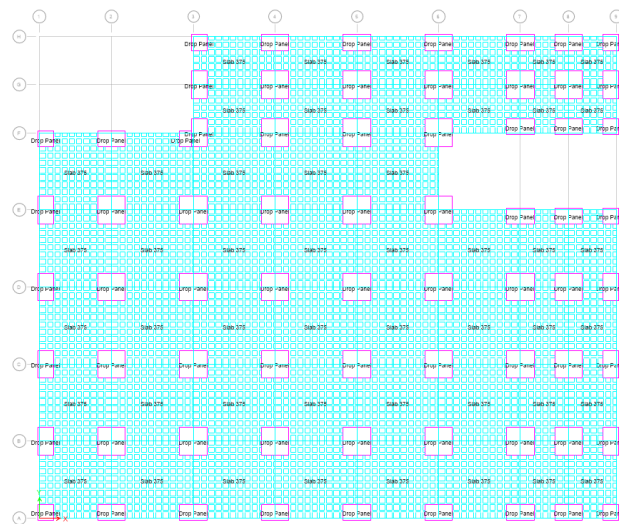


Figure 5. First Floor's plan view with waffle slab design

The following Figures 5 are showing the 2-Dimension building models for the Flat slab. The structure are modeled based on the structure details, material specifications, section properties, loading and based on the SNI.

Calculation for Concrete's Volume

The purpose of this calculation is to compare flat slab and waffle slab design from the effectiveness purpose. Below is the calculation for the concrete's volume between flat slab and waffle slab.

Table 2. Comparative of calculation of slab's volume

No	Description	Area						Total
		1	2	Void	3	4	5	
I	Flat Slab							
a.	Slab Thickness (m)	0,275	0,275	0,275	-	-	-	
b.	Slab Width (m)	40,000	16,000	8,000	-	-	-	
c.	Slab Length (m)	44,000	40,000	14,250	-	-	-	

d.	Volume of Slab (m ³)	484,000	176,000	31,350	-	-	-	628,650
II.	Waffle Slab							
a.	Rib Width (m)	0,200	0,200	-	0,200	0,200	0,200	
b.	Slab Thickness (m)	0,125	0,125	-	0,125	0,125	0,125	
c.	Overall Depth (m)	0,375	0,375	-	0,375	0,375	0,375	
d.	Volume of Rib (m ³)	2,800	4,000	-	4,250	3,800	3,350	
e.	Volume of Slab (m ³)	3,125	5,000	-	8,500	7,500	5,312	
f.	Overall Volume (m ³)	23.700	90,000	-	318,750	56,500	69,300	558,250

Based on Table 2 regarding total volume of concrete that are required for the waffle slab design of Convention Centre in Pasir Putih's, the result for first floor is 558,25 m³ approximate, meanwhile if using flat slab than the concrete required is 628.65 m³. From total of using concrete volume aspect, Waffle slab requires 12% less concrete than flab slab design. This is indicating better material efficiency and potential cost savings in terms of concrete usage. However, in the other aspect of nominal Area of Reinforcement area required is approximately same.

Analysis Deflection on Flat Slab and Waffle Slab

The purpose of analysing the deflection is to compare the effectiveness of using flat slab and waffle slab for a structure design. Below are the results of comparing and analysing with the help of ETABS 19.0.1® software and based on structure data above.

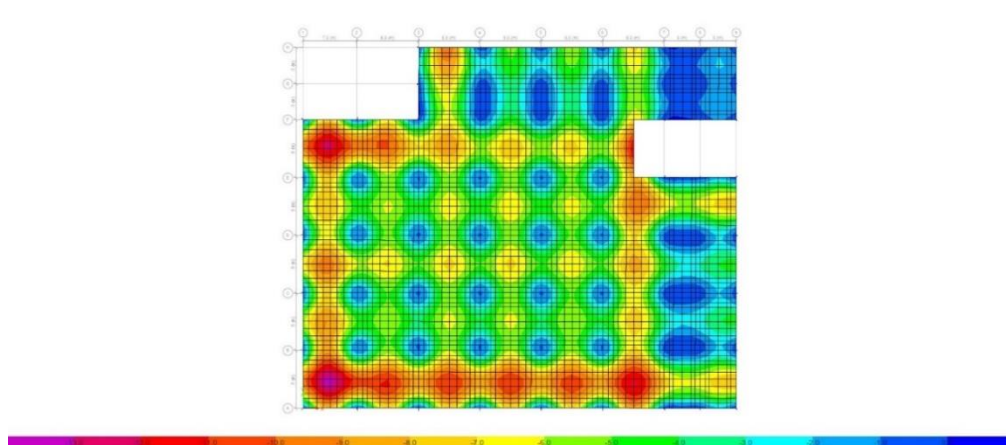


Figure 6. Deflection Result of First Floor Flat Slab design

The above figure 6 is the flat slab output, which is modelled based on the design criteria above, in this model there are various colors stating the amount of deflection that occurs due to the inputted loads. Where if the contour's color is increasingly towards purple color, this indicates that the deflection occurs here is getting bigger and reaching the maximum deflection occurs, which is 13.0 mm, while if the contour's color moving towards blue color, than this indicates the deflection that is happening is getting smaller reaching minimum amount which is 0 mm. so that based on the data released through the ETABS software the maximum deflection of the flat slab is 13.0mm.

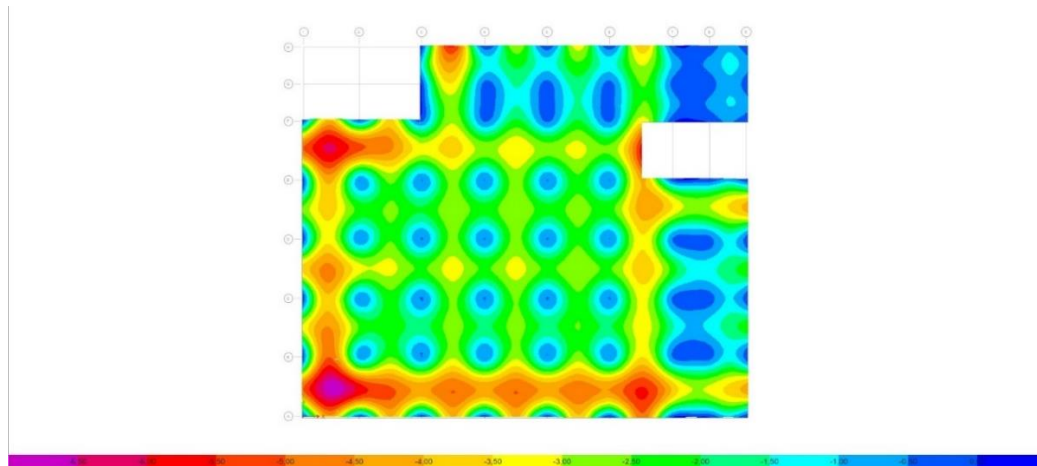


Figure 7. Deflection Result of First Floor Waffle Slab design

The above figure 7 is the output of the waffle slab, which is modelled based on the design criteria, in this model there are various colors stating the amount of deflection that occurs due to the inputted loads. Where if the contour's color is increasingly towards purple color, this indicates that the deflection occurs here is getting bigger and reaching the maximum deflection occurs, which is 6.5mm while if the contour's color moving towards blue color, then this indicates the deflection that is happening is getting smaller reaching minimum amount which is 0 mm. so that based on the data released through the ETABS software the maximum deflection of the waffle slab reaches 6.5mm.

Based on the output result from ETABS 19.0.1. Software, flat slab has a maximum of 13.0mm deflection. However, waffle slab only has a maximum of 6.5mm deflection. Both slab design has met the requirement of SNI. Both slab design has met the requirement of SNI which based on SNI 2847:2013; Table 9.5(b) indicate that deflection limit must be less than $L/240$. The longest slab of this commercial project is 8.5m, so the allowable maximum deflection limit for this project is 35.41 mm. But flat slab maximum deflection that happened is 100% higher than waffle slab deflection, which is only 6.5 mm. This indicates that the waffle slab provides better structural stiffness and reduces the risk of excessive deformation, which can enhance serviceability and long-term performance. The lower deflection in the waffle slab may also contribute to better occupant comfort by minimizing floor vibrations and potential cracking issues.

4. CONCLUSION

Based on the result of analysing and comparing effectiveness of flat slab and waffle slab design, with ETABS 19.0.1. Software for Commercial Concept Design at Pasir Putih, Waffle slab is more effective than Flat slab in terms of concrete volume and deflection happened. From total of using concrete volume aspect, waffle with used of 12% less concrete than Flat slab, Flat slab maximum deflection happened is 100% higher than waffle slab deflection, which only 6.5mm for waffle slab. Hence, from this research, the conclusion is waffle slab is more effective than flat slab, so waffle slab is a better option in terms of effectiveness volume concrete deflection for slab, meanwhile in ease construction Waffle Slab System will be the secondary choice than Flat Slab, Since Flat Slab is more ease of framework installation than Waffle Slab.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah membantu penyelesaian penelitian dan artikel ini.

REFERENCES

- Afshari, H., Hare, W., & Tesfamariam, S. (2019). Constrained multi-objective optimization algorithms: Review and comparison with application in reinforced concrete structures. *Applied Soft Computing*, 83.
- Al-Bayati, A. F., Leong, L. T., & Clark, L. A. (2018). Eccentric Punching Shear of Waffle Slab. *ACI Structural Journal*, 115.
- Diana, W. (2011). Metode Beam on Elastic Foundation (BoEF) dan Finite Element Method (FEM). *Semesta Teknika*, 14(1), 94-100.

- Giri, M., & Jamle, S. (2019). An Approach to Lessen the Stresses in Flat Slab for Earthquake Zone IV. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* ISSN: 2349-6495 (P), 2456-1908 (O)), 6(6),, 216-224.
- Johnson, R. P. (2018). *Composite Structures of Steel and Concrete: beams, slabs, columns and frames for building*. John Wiley & Sons Ltd.
- Lapi, M., Ramos, A. P., & Orlando, M. (2019). Flat slab strengthening techniques against punching-shear. *Engineering Structures*, 160-180.
- Lee, T. U. (2022). Optimizing load locations and directions in structural design. *Finite Elements in Analysis and Design*, 209.
- Lionardo, L., & Sari, Y. A. (2022). DESIGN COMPARISON OF STRUCTURAL ELEMENTS BETWEEN CONVENTIONAL SLAB AND RIBBED SLAB ON OPTIMIZATION CONCRETE VOLUME EFFECIENCY. *CoMBInES*.
- Malviya, S., & Tiwari, M. V. (2021). Comparative Study of Seismic Behaviour of Multi-Storey Buildings with Flat Slab, Waffle Slab, Ribbed Slab & Slab with Secondary Beam. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, 14.
- Malviya, S., & Tiwari, M. V. (2021). Comparative Study of Seismic Behaviour of Multi-Storey Buildings with Flat Slab, Waffle Slab, Ribbed Slab & Slab with Secondary Beam. *Journal of Xi an University of Architecture & Technology*, 14.
- Nuh, S. M. (2018). Analysis of the Influence of Project Implementation Methods for Time and Cost Efficiency of High-rise Building Work in Pontianak City. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(3).
- Olawale, S. O., Akintunde, O. P., Afolabi, M. O., & Tijani, M. A. (2020). Design Optimization of Reinforced Concrete Waffle Slab Using Genetic Algorithm. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 4(2), 46-62.
- Pethe, M. D., & Khedikar. (2022). A Comparative Study of Conventional Slab, Flat Slab and Waffle Slab by using Finite Element Method. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 14.
- Primakov, A., & Leo, E. (2019). Efficiency Study of Flat Slab Systems Using Post-Tension and Conventional Methods . *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 133-142.
- Rupidara, Y. A., Cornelis, R., & Sir, T. M. (2022). Comparative Analysis of Seismic Performance of Building Structures with Conventional Plates, Waffle Slab, dan Flat Slab. *Jurnal Forum Teknik Sipil (J-ForTekS) Vol. 2 (1)*, 80-91.
- Sacramento, P., Picanco, M., & Oliveira, D. (2018). Reinforced concrete ribbed slabs with wide-beam. *Lajes nervuradas de concreto armado com viga-faixa*.
- Shirin, K. P., & George, B. M. (2022). Comparative Analysis and Seismic Performance Improvement of RCC Post Tensioned Flat Slab with Steel Composite PT Flat Slab System using ETABS. *International Journal Of Engineering Research & Technology (IJERT) ICART (Volume 10 – Issue 06)*, 190-196.
- Sitole, A., Guha, S., & Shekhawat, S. S. (2018). Conversion of MDOF System Into SDOF System of RC Waffle Slab Structure by Using N2 Method. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5.
- Taha, B. O. (2020). Aspect Ratio Consideration in Flat Plate Concrete Slab Deflection. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 62-77.
- Utomo, T. P. (2010).
- Youlanda, N. A., & Winaya, A. (2016). Comparative study of two-way ribbed slab (waffle slab) and conventional slab. *Jurnal lptek*, 20(1), 25-36.

PENERAPAN GEOBAG DI DAERAH SEMPADAN UNGAI KRUENG LANGSA SESI DESA MEURANDEH ACEH DALAM PENANGGULANGAN EROSI

Arisna Fauzia^a, Denova Wilanda^a, Chairun Nufus^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Aceh, Indonesia

Corresponding Author:

Arisna Fauzia

Email: arisnafauzia@unsam.ac.id

Keywords:

Geobags, Krueng Langsa River, landslides, erosion, disaster

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The Krueng Langsa River in Aceh often faces landslide problems due to natural erosion, human activities, and changes in river flow. This study aims to design a landslide mitigation system using geobags as a control technology on the Krueng Langsa Riverbank. Geobags, bags made of geotextiles filled with materials such as sand, are systematically installed to reinforce river banks. Primary data was obtained through field surveys, while secondary data was taken from related stakeholders, including regional maps and elevation data. The results of the study show that the installation of geobags along the 295 meters of the Krueng Langsa River bank can reduce the risk of landslides. The total calculation of the need for geobags reaches 9,440 units, which are designed to withstand flooding and strengthen cliff structures. In conclusion, geobags are an effective temporary solution in resisting erosion and waterlogging. This study recommends the development of permanent infrastructure for sustainable landslide control.*

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Sungai Krueng Langsa merupakan sungai yang membentang dari hulu hingga hilir yang membelah Kota Langsa. Sungai ini memiliki luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar 126 km² dengan curah hujan 2300 mm/tahun, sehingga termasuk dalam kategori daerah dengan curah hujan yang relatif tinggi (Syahputra et al., 2015). Daerah aliran sungainya juga memiliki nilai koefisien aliran tahunan termasuk pada kelas rendah, sehingga rentan terhadap kejadian erosi dan sedimentasi (Iswahyudi et al., 2023).

Tanah longsor menjadi bencana alam yang diakibatkan oleh gejala alam geologi maupun tindakan manusia dalam mengelola lahan. Longsor tanah di daerah sempadan sungai sering terjadi akibat erosi alami, aktivitas manusia, dan perubahan aliran sungai. Hal ini dapat dipengaruhi oleh intensitas curah hujan yang tinggi sehingga massa tanah bergerak dan turun (Salsabila & Rachmawati, 2021). Sungai Krueng Langsa Lama merupakan salah satu sungai di Aceh yang mengalami permasalahan longsor, terutama di bagian tebing yang curam dan tidak memiliki penguatan struktur tanah. Dampak dari bencana ini sangat merugikan, baik dari segi lingkungan maupun sosial ekonomi.

Berdasarkan hasil kajian pada risiko bencana yang ada di Kota Langsa terdapat dua kecamatan yang berpotensi terhadap bencana tanah longsor (BPBD, 2024). Kecamatan tersebut termasuk Kecamatan Langsa Baro dan Kecamatan Langsa Lama. Kecamatan Langsa Lama memiliki tingkat potensi luas bahaya tanah longsor sebesar 194,03 ha. Salah satu solusi mitigasi yang telah terbukti efektif dalam mengatasi masalah erosi dan longsor adalah penggunaan geosintetik. Geosintetik ini menjadi pilihan sebagai alternatif material pada dinding penahan tanah yang terkini. Banyak pemilihan penahan tanah yang dikombinasi dengan tulangan geosintetik dalam mengganti struktur konvensional (Sholeh & Yunaefi, 2016). Di lain sisi, penggunaan Perkuatan menggunakan geosintetik memiliki segi ekonomis dan stabil pada tanah dikarenakan memiliki sudut geser yang lebih tinggi (Sianturi, 2022). Alternatif geosintetik ini terdapat berbagai tipe, termasuk geobag. Geobag adalah salah satu jenis bahan geoteknik dengan volume mulai dari 0,3 m³ sampai 10 m³ dan dibuat menyerupai karung. Geobag lebih cocok terletak di tepi darat dan air sebagai penanganan segera (Chaterine, 2021). Penggunaan geobag juga relatif lebih murah dan mudah pengaplikasiannya (Nurjannah et al., 2023). Jika dibandingkan dengan metode konvensional maka geobag dapat menghemat penggunaan biaya struktur pada penahan laju erosi sekitar 40-60% (Guin & Bhattacharjee, 2024).

Geobag yang menjadi sistem pelindungan yang terbuat dari material geotekstil woven dan non woven dengan material berpolimer *polypropylene* (PP) atau *polyester* (PET) (Herbenita, 2021). Geobag dijahit dengan benang kuat tarik tinggi untuk menahan gaya gerusan air yang terjadi pada geobag. Bahan dari geobag berupa kantong berbahan geotekstil yang diisi dengan material seperti pasir atau tanah dan dipasang secara sistematis untuk memperkuat tebing sungai (Yulia & Heldi, 2020). Penerapan geobag ini sebagai teknologi mitigasi telah terbukti mampu menahan laju erosi dan memperkuat struktur tanah pada area rawan longsor. Geobag juga akan melindungi lereng ketika terjadi pengikisan di struktur bagian bawah. Geobag ini digunakan sebagai alternatif pelindung pantai, lereng sungai, atau saluran, dan setara dengan bantalan yang menahan erosi akibat aliran sungai. Walaupun di lapangan pada umumnya sering digunakan pada perlindungan pesisir (Arif & Hamdi, 2022), namun pada perlindungan pada tepi sungai dengan saluran terbuka dapat diterapkan. Jika di pantai, maka laju erosi disebabkan oleh gerusan gelombang laut. Untuk di sempadan sungai, maka gaya yang bekerja pada laju erosi adalah arus.

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem penanggulangan erosi dengan menggunakan geobag pada sempadan Sungai Krueng Langsa. Geobag ini termasuk pada penerapan aplikasi geosintetik yang dapat melakukan mitigasi secara cepat agar tebing sungai tidak mengalami erosi yang lebih parah. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang komprehensif dalam mengatasi permasalahan erosi dan longsor, sekaligus mendukung pengelolaan DAS yang berkelanjutan.

2. DATA DAN METODE

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini disusun dengan beberapa tahap yang didasari oleh landasan pola pemikiran, sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi penelitian.
2. Melakukan studi literatur untuk menentukan literasi yang digunakan dalam permasalahan dan pemecahan masalah.
3. Pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer mencakup data observasi lapangan, wawancara, dan data sampel tanah sungai. Untuk data skunder terdiri dari peta wilayah yang berasal dari Google Earth dan data hidrologi.
4. Analisis data fisis tanah dengan melakukan pengujian pada laboratorium terhadap sampel tanah dari lokasi penelitian.
5. Perancangan sistem geobag dengan menghitung jumlah total geobag yang digunakan
6. Menyusun serta kesimpulan dari pembahasan dan hasil pada penelitian ini.

2.2 Pengujian Tanah Sungai

Dalam melakukan penyelidikan terhadap sifis tanah, penelitian ini mengambil data tanah yang berlokasi di Desa Meurandeh Aceh, Kecamatan Langsa Lama. Data tanah yang diambil dengan dua jenis lokasi yang berdekatan. Tanah yang diambil juga berdekatan dengan Jembatan Desa. Sampel tanah yang telah diambil lalu dibawa ke Laboratorium Dasar sub Teknik sipil Universitas Samudra. Sampel diuji didasarkan pada kadar air tanah yang terdapat di lokasi pada Tanggal 16 Desember 2024. Sungai ini memiliki karakteristik berkelok-kelok dan berada di kondisi tengah sungai. Kadar air ini merupakan *gravimetric water content* yang didapatkan dari berat air tanah terhadap berat tanah kering.

2.3 Analisis Sistem Geobag

Setelah mempertimbangkan pemilihan geobag yang akan digunakan, dipilihlah geobag tipe A karena ukuran geobag tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan, baik dari segi lebar maupun tinggi konstruksi geobag. Dimensi geobag yang digunakan mengacu pada referensi dari (Oberhagemann et al., 2006) Geobag tipe A yang digunakan dalam sistem penanggulangan banjir ini memiliki massa kering sebesar 126 kg, panjang 0,83 meter, lebar 0,6 meter, serta berat jenis pasir 1500 kg/m³.

Untuk setiap penampang:

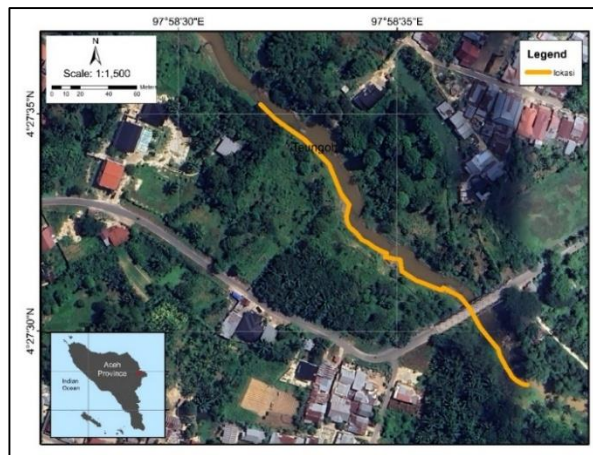
$$\text{Jumlah Geobag} = \text{Jumlah Geobag per Meter Panjang} \times \text{Panjang Penampang.}$$

Setiap Jumlah Geobag yang dihitung merupakan geobag persatuan meter Panjang yang didasarkan dengan tinggi pemasangan dan tinggi per unit geobag. Perhitungan jumlah total geobag dibagi menjadi tiga penampang. Penampang pertama mencakup area dari titik 1 hingga titik 2 dengan panjang 100 meter, penampang kedua dari titik 2 hingga titik 3 sepanjang 98 meter, dan penampang ketiga dari titik 3 hingga titik 4 dengan panjang 97 meter. Total panjang ketiga penampang ini adalah 295 meter. perhitungan jumlah geobag per meter digunakan untuk menghitung total geobag yang dibutuhkan pada masing-masing penampang. Jumlah penampang yang digunakan dari keseluruhan sebanyak 9.440 buah geobag. Konstruksi ini dirancang sebagai upaya pengendalian tanah longsor menggunakan material geobag.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Daerah Pengamatan

Lokasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah sempadan Sungai Krueng Langsa bagian Desa Meurandeh Aceh, Kecamatan Langsa Lama, Kota Langsa. Daerah penelitian yang direncanakan yaitu sepanjang 295 meter untuk geobag yang digunakan. Untuk kegiatan pengambilan sampel tanah diambil pada 3 titik di lokasi sekitar sungai dan jembatan desa untuk dianalisis kadar air. Untuk peta lokasi pengamatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dari Gambar di atas, terlihat karakteristik sungai masih termasuk sungai alamiah dengan memiliki meander. Di dekat aliran sungai ini juga terdapat jembatan penghubung desa yang menjadi jalan utama desa untuk mencapai jalan raya. Selain itu, di sekitar sungai terdapat kebun masyarakat yang ditanami berbagai tanaman seperti pisang, tebu, dan sebagian pohon rambutan.

Berdasarkan data lapangan kondisi dari tebing sempadan sungai Krueng Langsa yang melewati Desa Meurandeh Aceh terlihat cukup memprihatinkan. Hal ini terlihat dari adanya kejadian erosi tebing di beberapa section sungai. Aliran sungai ini merupakan aliran sungai yang berasal dari Hulu Das Krueng Langsa yang memiliki rata-rata curah hujan bulanan sebesar 139,3 mm/bulan (Badan Pusat Statistik, 2024).



Gambar 2. Salah satu bagian tebing sungai yang mengalami erosi

Berdasarkan Gambar di atas terlihat adanya erosi pada tebing sungai yang cukup besar. Jika ditandai dengan panjang pipa pembuangan kamar mandi warga yang tampak jelas. Eksisting pipa tersebut awalnya tertutupi oleh tanah di tebing sungai tersebut, akan tetapi lambat laun di November 2024 mengalami erosi. Dari hasil survei lapangan juga di wilayah sempadan sungai tersebut, sepanjang sempadan sungai di desa ini masih berupa lahan perkebunan warga yang ditanami oleh tanaman pisang, rambutan, dan sebagainya. Hanya beberapa rumah semi permanen yang dekat dengan tebing sungai. Selain itu, belum ada aturan khusus dari pemerintah desa yang mengatur pengelolaan sungai.

3.2 Pengujian Kadar Air pada Tanah

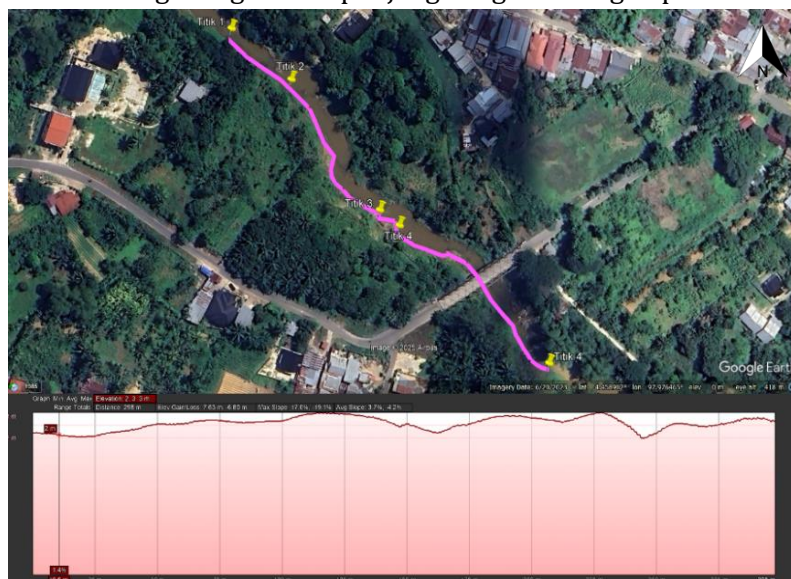
Hasil dari analisis terhadap pengujian kadar air pada tanah yang dilakukan di Laboratorium menunjukkan adanya kadar air. Tanah memiliki bagian yang padat dan berongga yang terisi oleh udara dan air. Analisis data pengujian sampel tanah di Laboratorium disajikan pada Tabel 1. Kadar air ini mewakili kadar air yang terdapat di sekitar wilayah sempadan sungai yang dilihat berdasarkan sifat fisis tanah.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil uji kadar air dari sampel tanah

No.	Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1.	Berat Cawan (W1)	Gram	11,35	11,31	11,32
2.	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	Gram	18,06	20,39	19,53
3.	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	Gram	17,01	19,04	18,10
4.	Berat Tanah Kering (W4= W3-W1)	Gram	5,66	7,73	6,78
5.	Berat Air (Ww = W2 – W3)	Gram	1,05	1,35	1,43
6.	Kadar Air = (Ww/W4)*100	Gram	18,55	17,46	21,09
7.	Rata-Rata Kadar Air	%	19,03		

3.3 Menghitung Jumlah Geobag

Sungai Krueng Langsa yang dilakukan penelitian terletak di Desa Meurandeh Aceh, Kecamatan Langsa Lama, Kota Langsa. Di sesi ini, sungai Krueng Langsa dikategorikan termasuk pada bagian tengah sungai. Panjang tebing Sungai Krueng Langsa yang direncanakan untuk pemasangan geobag adalah 295 meter. Konstruksi yang dirancang sebagai upaya pengendalian erosi dengan menggunakan material geobag. Berdasarkan data elevasi tebing yang tidak merata, pemasangan geobag akan dibagi menjadi dua bagian. Bagian tepi akan dipasang geobag dengan ketinggian 0,5 meter sepanjang 47 meter, sementara bagian elevasi yang tinggi akan dipasang geobag setinggi 1 meter dengan panjang 248 meter. Pekerjaan galian diperlukan sebagai persiapan untuk pembangunan struktur pengendalian tanah longsor menggunakan material geobag. Untuk panjang sungai krueng dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentuan penempatan geobag di Krueng Langsa
Sumber: Google Earth

Perhitungan jumlah total geobag dibagi menjadi tiga penampang. Penampang pertama mencakup area dari titik 1 hingga titik 2 dengan panjang 100 meter, penampang kedua dari titik 2 hingga titik 3 sepanjang 98 meter, dan penampang ketiga dari titik 3 hingga titik 4 dengan panjang 97 meter. Total panjang ketiga penampang ini adalah 295 meter. Perhitungan jumlah geobag per meter digunakan untuk menghitung total geobag yang dibutuhkan pada masing-masing penampang. Jumlah penampang yang digunakan dari keseluruhan sebanyak 9.440 buah kantung geobag. Kantung-kantung ini dapat diisi dengan material pasir dan sebagainya. Persentase dari isi pada geobag akan menentukan gaya-gaya hidrolik yang bekerja. Jika Geobag yang diisi lebih sedikit maka akan menjadi kurang stabil dan mempengaruhi kinerja dibandingkan dengan persentase yang lebih banyak hingga 80% (Thompson et al., 2020). Hal ini akan mempengaruhi geobag dalam menahan laju erosi di depannya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan yaitu, pembangunan geobag untuk penanggulangan banjir di Kecamatan Langsa Lama, Kabupaten Kota Langsa sangat diperlukan. Hal ini disebabkan oleh kondisi geografis pada Kecamatan Langsa Lama yang merupakan daerah dataran rendah, sehingga setiap tahunnya kerap tergenang oleh banjir dari aliran Sungai Krueng Langsa. Kadar air pada sampel tanah di sekitaran sempadan sungai Krueng Langsa yaitu 19,03%. Dampak banjir tersebut menyebabkan kerugian yang signifikan bagi masyarakat setempat, baik secara ekonomi maupun sosial. Sistem geobag sebagai konstruksi darurat, dirancang untuk menjadi solusi sementara dalam mengatasi permasalahan banjir. Jumlah kantung geobag yang telah dihitung yaitu 9.440 kantung. Meskipun bukan merupakan konstruksi permanen, geobag ini memiliki efektivitas dalam menahan aliran air dan mengurangi risiko genangan yang meluas. Dengan adanya konstruksi geobag di Kecamatan Langsa Lama, diharapkan daerah ini dapat terbebas dari banjir tahunan, sehingga kehidupan masyarakat menjadi lebih aman dan stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terselenggara berkat kerjasama tim dan mahasiswa mata kuliah Aplikasi Geosintetik dalam mengambil dan pengujian data penelitian di lapangan. Selain itu, Ucapan terima kasih ini juga kepada Desa Meurandeh Aceh yang telah memberikan informasi terhadap data pendukung pada penelitian ini.

REFERENSI

- Arif, A., & Hamdi, N. (2022). Pengendalian Abrasi Pantai Tumpaan, Amurang Minahasa Selatan, Sulawesi Utara Dengan Menggunakan Pagar Geobag Rangka Bambu. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 5(2), 129–133.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Kota Langsa dalam Angka 2024* (Hamdani, Ed.; Vol. 22). Badan Pusat Statistik Kota Langsa.
- BPBD. (2024). *Kajian Risiko Bencana Kota Langsa 2025-2029*. Badan Penanggulangan Bencana Daerah.
- Chaterine, L. (2021). *Pemodelan Sebaran Sedimen Dan Perubahan Morfologi Alur Pelayaran Muara Sungai Kapuas Kecil*.
- Guin, S., & Bhattacharjee, D. (2024). Applicability of Geobags as a Sustainable Riverbank Protection Measure. *Indian Geotechnical Journal*, 54(3), 800–813. <https://doi.org/10.1007/s40098-024-00895-9>
- Herbenita, V. (2021). *Analisis Perbandingan Sifat Material dan Biogradasi Antara Lyocell (Tencel) Dan Serat Sintetik Geobag Sebagai Bahan Struktur Sementara Pada Sistem Pelindung Pantai Natural Di Indonesia*. Institut Teknologi Bandung.
- Iswahyudi, Rosmaiti, Fitriyani, & Fauzia, A. (2023). Analysis of the carrying capacity of the Krueng Langsa river basin based on the water management criteria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1182(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012043>

- Nurjannah, Zaini, M., Aprillia, D., & dkk. (2023). Pemanfaatan Geobag Pagar (Pemecah Gelombang Ambang Rendah) Untuk Pengamanan Pantai dari Bahaya Abrasi Desa Kersik Kecamatan Marang Kayu. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(3), 1400–1407.
- Oberhagemann, K., Stevens, M. A., Haque, S. M. S., & Faisal, M. A. (2006). Geobags for Riverbank Protection. *Proceedings 3rd International Conference on Scour and Erosion (ICSE-3). November 1-3, 2006, Amsterdam, The Netherlands*. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100057>
- Salsabila, & Rachmawati, A. (2021). Mitigasi Bencana Tanah Longsor Di Kawasan Sempadan Sungai Brantas Pada Kampung Tematik Kota Malang. *Planning for Urban Region and Environment*, 10(2), 141–148.
- Sholeh, M., & Yunaefi. (2016). Penggunaan Blok Beton Segmental Sebagai Dinding Penahan Dengan Diperkuat Geosintetik. *PROKONOS: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 120–126.
- Sianturi, N. M. (2022). Analisis Perlindungan Tebing Sungai Bah Bolon Sumatera Utara Menggunakan Blok Beton Segmental Dengan Perkuatan Geosintetik. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 13(2), 113–126. <https://doi.org/10.32679/jth.v13i2.691>
- Syahputra, I., Blang Bintang, J., Km, L., Keude, L., & Besar, A. (2015). Kajian Hidrologi Dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Krueng Langsa Berbasis HEC-HMS DAN HEC-RAS. In *Jurnal Teknik Sipil Unaya* (Vol. 1, Issue 1).
- Thompson, A., Oberhagemann, K., & She, Y. (2020). Geobag stability for riverbank erosion protection structures: Physical model study. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(1), 110–119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.103526>
- Yulia, & Heldi, N. (2020). Sistem Perencanaan Penanggulangan Banjir Dengan Geotextil Bag (Studi Kasus : Desa Kedai Runding Kecamatan Kluet Selatan Kabupaten Aceh Selatan. *JURNAL TEKNIK SIPIL*, 9(1), 51–59.

Analisis Pengelolaan Air Limbah Domestik (Studi Kasus Gedung A Universitas Pembangunan Jaya)

Bimo Putro Rahdianto ^a, Rizka Arbaningrum ^{a*}

^a Department 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: Sewage treatment plant (STP) functions is to treat household, community and industrial waste 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 has not been operating optimally. This research function is to design the STP for tower A Universitas XYZ so that it meets the requirements of the Minister of Environment Regulation No. 68 2016 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 and 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 © 2021 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). Semakin berkembangnya pesatnya era industrialis dan aktifitas manusia menyebabkan penggunaan air yang berlebihan, menurunnya kualitas air bersih, ditambah dengan banyaknya limbah yang masuk ke dalam 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 umumnya 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 pengolahan air limbah domestik di Gedung A Universitas XYZ.

Instalasi pengolahan air limbah (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

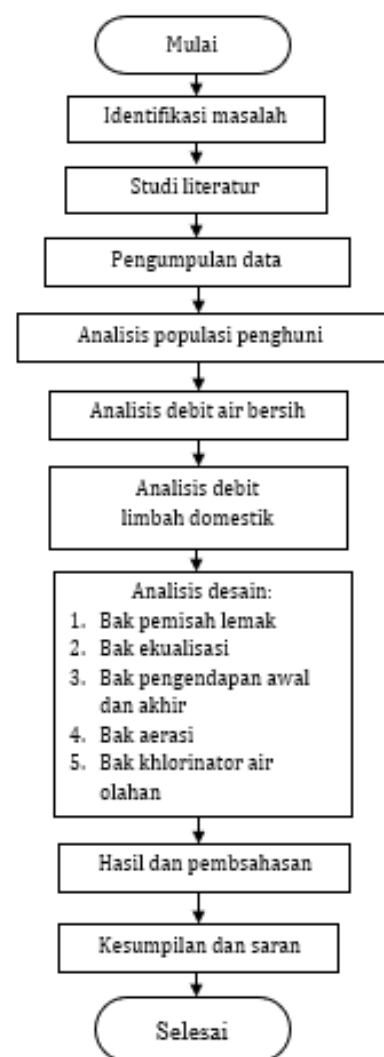
Dalam identifikasi masalah, langkah pertama yang harus dilakukan adalah merumuskan masalah yang ada. Rumusan masalah menjadi sangat penting karena akan membantu dalam mengarahkan langkah-langkah penelitian selanjutnya.

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 literature. 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. 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. Kesimpulan dibuat untuk mengetahui apakah analisis dan desain dapat menjawab rumusan masalah yang ada. Saran ditujukan untuk penelitian yang lebih lanjut dengan tujuan agar objek penelitian bisa mendapatkan keuntungan lebih lagi.



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. Berikut merupakan data jumlah penghuni:

Tabel 1 Pemakaian air bersih gedung A

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

Sumber . Universitas XYZ (2020)

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:

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

Dari perhitungan di atas 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:

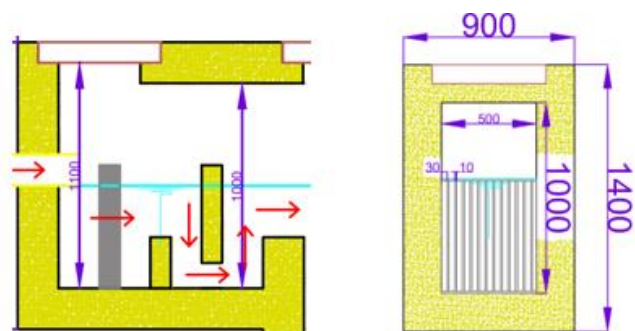
$$\text{Waktu tinggal} = 30 \text{ menit} = 0.5 \text{ jam}$$

$$\text{Debit air limbah domestik} = 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0.377 \text{ m}^3/\text{jam} = 0.00628 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak yang diperlukan} &= \frac{\text{waktu tinggal}}{24} \times \text{Debit Air Limbah} \\
 &= \frac{0.5}{24} \text{ hari} \times 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0.1883 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dimensi bak:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 0.5 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman air} &= 0.5 \text{ m} \\
 \text{Tinggi ruang bebas} &= 0.5 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Volume efektif} &= 0.25 \text{ m}^3 > 0.1883 \text{ m}^3 \text{ (ok)} \\
 \text{Volume bak} &= 0.5 \text{ m}^3 \\
 \text{Tebal dinding} &= 20 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Bak Pemisah Lemak dan Potongan Bak Pemisah lemak

3.4 Desain Bar Screen

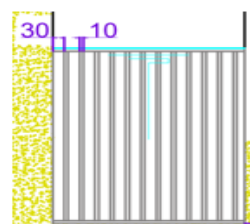
Bar Screen berfungsi untuk menyaring sampah dari padatan kasar seperti plastik, daun dan sampah besar lainnya yang terbawa aliran air limbah domestik sebelum masuk ke unit pengolahan.

Di dalam bar screen direncanakan:

$$\text{Lebar bukaan} = 0.03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar batang bar screen} = 0.01 \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah bukaan} &= \frac{0.5 \text{ m}}{(0.03 \text{ m} + 0.01 \text{ m})} \\
 &= 12.5 = 13 \text{ bukaan} \\
 \text{Jumlah batang} &= 13 - 1 = 12 \text{ batang}
 \end{aligned}$$



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

Debit air limbah domestik = $9.04 \text{ m}^3/\text{hari} = 0.377 \text{ m}^3/\text{jam} = 0.00628 \text{ m}^3/\text{menit}$.

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

Dimensi bak evakuasi:

Panjang = 1.5 m

Lebar = 1 m

Kedalaman air = 1 m

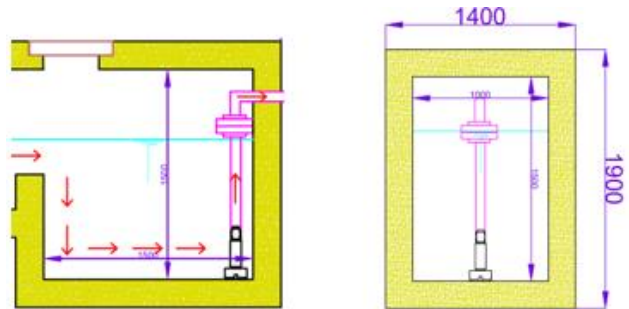
Tinggi ruang bebas = 0.5 m

Tinggi = 1.5 m

Volume efektif = $1.5 \text{ m}^3 > 1.13 \text{ m}^3$ (ok)

Volume bak = 2.25 m^3

Tebal dinding = 20 cm



Gambar 4. Bak Evakuasi dan Potongan Bak Evakuasi

3.6 Desain Bak Pengendap Awal

Bak pengendap awal berfungsi untuk mengurangi partikel padat yang teruspensi 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

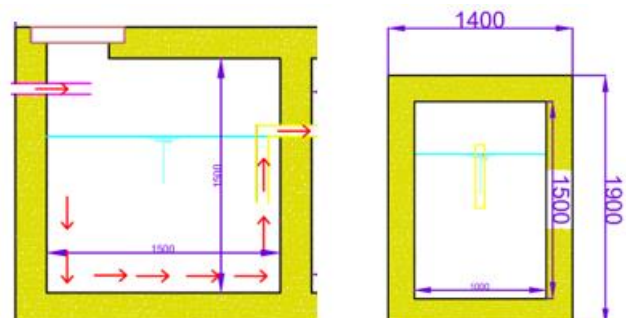
Tinggi ruang bebas = 0.5 m

Tinggi = 1.5 m

Volume efektif = $1.5 \text{ m}^3 > 1.13 \text{ m}^3$ (ok)

Volume bak = 2.25 m^3

Tebal dinding = 20 cm



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 media filter sarang tawon dengan tipe crossflow. Di dalam bak anaerob direncanakan :

Waktu tinggal = 8 jam

Debit air limbah domestik = $9.04 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Temperatur = 20°C

$\text{BOD}_{\text{inlet}} = 245 \text{ mg/l}$

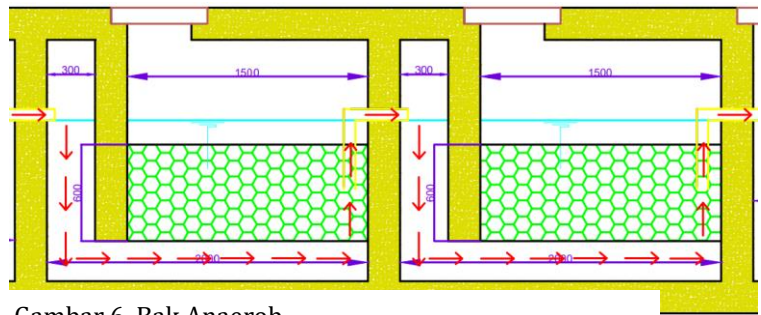
$\text{COD}_{\text{inlet}} = 560 \text{ mg/l}$

$\text{TSS}_{\text{inlet}} = 160 \text{ mg/l}$

$$\begin{aligned}\text{Volume bak yang diperlukan} &= \frac{\text{waktu tinggal}}{24} \times \text{Debit Air Limbah} \\ &= \frac{8}{24} \text{ hari} \times 9.04 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 3.013 \text{ m}^3\end{aligned}$$

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 m ³ > 3.013 m ³ (ok)
Volume bak	= 6 m ³
Tebal dinding	= 20 cm



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 :

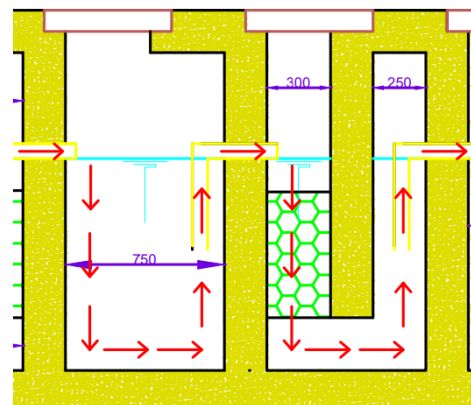
$$\begin{aligned}
 \text{Vol media filter} &= \frac{Q \times S_o}{\text{Beban BOD}} \\
 &= \frac{9.04 \times 0.032}{2} \\
 &= 0.145 \text{ m}^3 \\
 \text{Vol Bak Aerob} &= \frac{100}{50} \times \text{vol media filter} \\
 &= \frac{100}{50} \times 0.145 \text{ m}^3 \\
 &= 0.29 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

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



Gambar 7. Bak Aerob

3. Total volume efektif

$$\text{Volume total} = 0.5625 + 0.5625 = 1.125 \text{ m}^3 > 0.29 \text{ m}^3 \text{ (ok)}$$

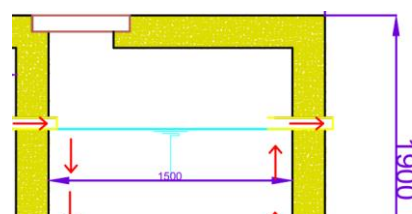
$$\text{Waktu tinggal} = \frac{\text{volume efektif bak aerob}}{Q_{\text{limbah}}} \times 24 = \frac{1.125}{9.04} \times 24 = 2.98 \text{ jam} \approx 3 \text{ jam}$$

3.9 Desain Bak Pengendap Akhir

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

Gambar 8. Bak Pengendap Akhir

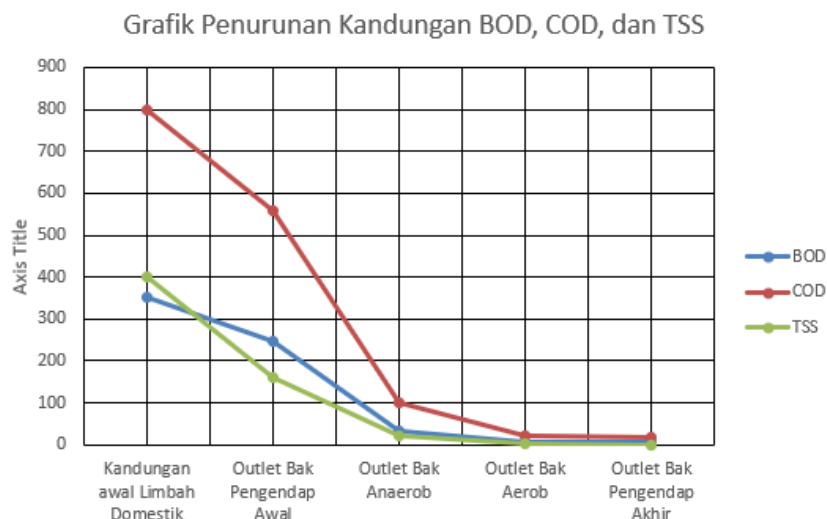
3.10 Analisis Penurunan Kadar Limbah Domestik

Setelah melakukan perhitungan penghematan air maka kita dapat melihat kategori kualitas effluent dan perkiraan efisiensi tiap-tiap ruang IPAL diantaranya adalah sebagai berikut:

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

No	Bangunan Penfeloalan		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

Sumber. Hasil Analisis, 2024

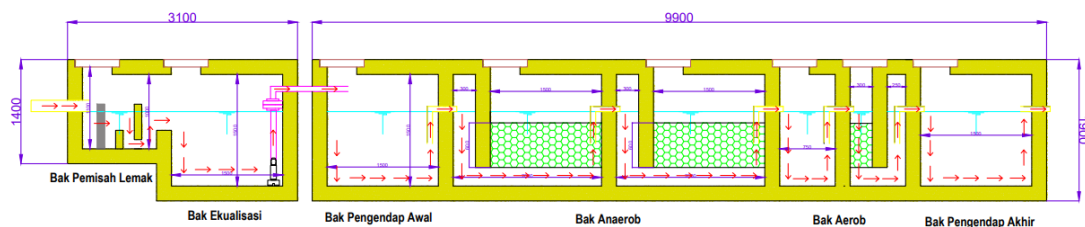


Gambar 9. Grafik Penurunan Kandungan BOD, COD, dan TSS (Hasil Analisis, 2024)

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

Sumber. Hasil Analisis, 2024



Gambar . Skema IPAL Sumber (Hasil Analisis, 2024)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap air limbah domestik yang telah dilakukan, didapat bahwa 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 aerob pada penelitian ini telah sesuai dengan standar baku mutu.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

REFERENSI

- Ahmad, M. (2019). *REDESAIN SYSTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH PADA SEWAGE TREATMENT PLANT (STP) UNTUK PENINGKATAN KUALITAS AIR LIMBAH DI CENTRAL PARK MALL JAKARTA* (Doctoral dissertation, <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. Pradnya Paramita, Indonesia: Jakarta.
- Badan Standarisasi 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 SYSTEM LUMPUR AKTIF DI GEDUNG TRANS MART*. Diunduh dari <http://teknik.usni.ac.id/jurnal/yusriani.pdf>, pada tanggal 6 Agustus 2020.

- Eviati, S., & Sulaeman, M. (2009). Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. *Balai Penelitian Tanah. Bogor*, 246.
- 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*. Erlangga: Jakarta.
- 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 Plumbing. *Jakarta: PT. Pradnya Paramita*.
- Nathaniel, Maruli., Arbaningrum, R. (2021). Analisis Desain Hidrolik IPAL Sistem Biocord dalam Mengatasi Pencemaran Air Pada Danau Duta Harapan. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*. Vol 4(2), 2021, 72-82.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor Menlhk/Setjen/Kum, 1(2), 2017 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor p.12/menlhk-ii/2015 Tentang Pembangunan Hutan Tanaman Industri
- Siregar, S. A. (2005). *Instalasi pengolahan air limbah*. Kanisius.
- Sasse, L. (1998). *DEWATS: Decentralised wastewater treatment in developing countries*. BORDA, Bremen Overseas Research and Development Association.
- Satiti, Epifani. (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 Tarif Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar Berdasarkan Pendekatan Ability to Pay (ATP) dan Willingness to Pay (WTP)

Anita Lestari Condro Winarsih ^{a*}, Nia Loreenna ^b, Andi Muflih Marsuq Muthaher ^c

^{a*} ^c Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

^b Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

anitalestari@lecturer.undip.ac.id

Keywords:

Toll road, Bakauheni-Terbanggi Besar, ATP, WTP

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Bakauheni-Terbanggi Besar Toll Road is the main transportation route connecting to South Lampung, Bandar Lampung, Pesawaran, and Central Lampung. Although the location of the Bakauheni-Terbanggi Besar Toll Road is quite strategic, based on the business plan document and the recapitulation of the Bakauheni-Terbanggi Besar Toll Road LHR has a 2021 LHR plan of 20,295 vehicles / day, while the realization LHR is only 11,674 vehicles / day. The traffic situation on the toll road that is not as planned is suspected to be caused by a mismatch of tariffs with the ability and willingness to pay the community, and the current tariff is ±850 / km (category 1 vehicles). Therefore, it is necessary to analyze the adjustment of toll rates with the financial condition of toll road users. In this study, the method used is the calculation of Ability to Pay (ATP) and Willingness to Pay (WTP). The data collection was carried out by distributing questionnaires to 150 respondents. Based on the results of the analysis, the ATP rate of Rp 628 / Km and the WTP rate of Rp 600 / Km. Based on the ATP and WTP relationship graph, the ideal rate for group one vehicles is Rp 626,28 / Km with the percentage of respondents who can afford and are willing to pay at 85,1%.

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar merupakan jalan tol satu-satunya dan menjadi jalur transportasi utama yang menghubungkan Lampung Selatan, Bandar Lampung, Pesawaran, dan Lampung Tengah. Meski letak Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar sangat strategis, namun berdasarkan dokumen *business plan* dan rekapitulasi LHR yang didapatkan dari Divisi Operasi dan Pemeliharaan Jalan Tol Cabang Bakauheni-Terbanggi Besar menyatakan bahwa LHR rencana tahun 2021 sebesar 20.295 kendaraan/hari sedangkan LHR realisasi hanya sebesar ±11.674 kendaraan/hari. Keadaan lalu lintas di jalan tol yang tidak sesuai rencana diduga disebabkan karena ketidaksesuaian tarif dengan kemampuan dan kesediaan membayar masyarakat, dan tarif yang berlaku saat ini adalah ±850,-/km (kendaraan golongan 1). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis tarif tol yang dibebankan kepada pengguna untuk mengetahui tarif yang ideal dari segi pengguna jalan tol. Analisis tarif yang akan dilakukan berdasarkan hubungan faktor-faktor kemampuan untuk membayar (*Ability to Pay*) dan kesediaan untuk membayar (*Willingness to Pay*) serta analisis tarif ideal yang akan mempengaruhi tingkat konsumtif para pengguna prasarana Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar. Pendekatan ATP-WTP ini berdasarkan kemampuan dan kesediaan pengguna dalam membayar tarif jalan tol sesuai dengan layanan yang diterima. Sehingga pendekatan tersebut dapat menjawab tarif tol yang ideal.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol menyatakan bahwa tarif tol dihitung berdasarkan kemampuan bayar pengguna jalan tol, besar keuntungan biaya operasi kendaraan, dan kelayakan investasi. Namun yang sering terjadi, penentuan tarif tol pertama biasanya berorientasi pada analisis finansial atau pengembalian modal investor, sehingga keberadaan tarif tol terkadang terlalu tinggi dan tidak sesuai dengan kemampuan dan kesediaan membayar pengguna jalan tol (Panjaitan dkk, 2013). Penelitian ini dilakukan guna mendapatkan besar nilai ATP dan WTP dari pengguna Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar. Penelitian ini berfokus pada tarif tol ideal untuk lima golongan kendaraan dari perspektif pengguna jalan tol, kemudian meninjau tarif di masa mendatang (selama masa konsesi) terkait nilai inflasi pertahunnya. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kemampuan pengguna Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar untuk membayar tol.
2. Menganalisis kesediaan pengguna Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar untuk membayar tol.
3. Menghitung tarif ideal dari sudut pandang pengguna Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi besar berdasarkan golongan kendaraan dan tarif di masa mendatang (selama masa konsesi).

2. DATA DAN METODE

2.1. Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Ruas Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar. Lokasi pengambilan data atau survei pada penelitian ini dilakukan di *rest area* Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar Km.87. Rencana pengambilan data dilaksanakan pada awal bulan November 2021 waktu pelaksanaan dimulai pukul 08.00 WIB s/d pukul 11.00 WIB dilanjutkan pukul 13.00 WIB s/d 17.00 WIB selama satu minggu. Pemilihan waktu diambil pada saat *weekday* dan *weekend* agar data yang diperoleh beragam dan dapat mewakili populasi dengan mengambil sampel pada jam-jam ramai pengguna jalan tol melakukan aktivitas berangkat dan pulang kerja. Berikut merupakan titik *rest area* yang ada di sepanjang Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Ruas Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar
(Data Profil Cabang Tol Bakauheni-Terbanggi Besar, 2021)

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan suatu cara ilmiah yang berkaitan dengan tata cara, langkah-langkah atau prosedur dalam mendapatkan suatu data untuk tujuan dan kegunaan tertentu dalam penelitian. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Tahapan studi literatur, yaitu untuk mendapatkan gambaran terkait pemahaman dan alur penelitian dari beberapa penelitian terdahulu.
2. Pengumpulan data untuk memperoleh data primer dan sekunder yang akan digunakan dalam penelitian.
 - a. Data primer, melakukan survei dengan menyebarkan kuesioner.
 - b. Data sekunder dalam penelitian ini yaitu data lalu lintas harian rata-rata kendaraan (LHR), rincian tarif tol Bakauheni-Terbanggi Besar, data lokasi *rest area* ruas jalan tol Bakauheni-Terbanggi Besar, dan data inflasi dari Badan Pusat Statistik, Bank Indonesia (BI).
3. Untuk menentukan jumlah responden yang akan mengisi kuesioner, menggunakan rumus slovin. Sedangkan untuk menguji kevalidan dari sebuah kuesioner dilakukan uji validitas instrumen penelitian.
4. Melakukan analisis karakteristik pengguna jalan tol berdasarkan jenis kelamin, umur, pekerjaan, jumlah penghasilan per bulan, jumlah pengeluaran per bulan, tujuan perjalanan, frekuensi perjalanan, dan alasan penggunaan jalan tol.
5. Kemudian dilakukan analisis tarif tol kepada pengguna jalan tol sesuai dengan kemampuan dan kesediaan membayar menggunakan pendekatan *Ability to Pay* (ATP) dan *Willingness to Pay* (WTP).

a. *Analisis Ability to Pay (ATP)*

Analisis Ability to Pay (ATP) dilakukan dengan membagi pendapatan responden menjadi beberapa kategori kelompok. Pengelompokan pada ATP dimaksud untuk menentukan tarif yang dapat dibayar responden untuk setiap kategori pendapatan dalam menggunakan jalan tol berdasarkan perbandingan biaya pendapatan dan pengeluaran responden dalam satu bulan untuk kebutuhan transportasi. Sehingga rumus yang digunakan terkait jarak yang ditempuh responden untuk perjalanan pulang pergi selama sebulan adalah:

$$Tt = \text{jarak perjalanan pulang pergi} \times \text{frekuensi dalam satu bulan} \dots\dots\dots(i)$$

Kemudian, untuk menghitung persentase biaya perjalanan bulanan untuk transportasi, lakukan hal berikut :

$$Pt = (\text{Biaya transportasi} / \text{Pendapatan bulanan}) \times 100\% \dots\dots\dots(ii)$$

Selanjutnya nilai ATP dapat dihitung sebagai berikut:

$$ATP = (It \times \% Pt) / Tt \dots\dots\dots(iii)$$

b. *Analisis Willingness to Pay (WTP)*

Besar nilai *Willingness to Pay (WTP)* yang ditawarkan ditinjau dari beberapa tarif tol terdekat, serta disesuaikan supaya tidak terlalu jauh dari hasil analisis ATP. Analisis WTP pada ruas Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar menggunakan besaran tarif yang telah ditentukan yaitu Rp 1100/Km, Rp 1000/Km, Rp 900/km, Rp 700/km, Rp 600/km.

6. Analisis tarif ideal untuk kendaraan golongan 1

Setelah mendapat nilai ATP dan WTP, kemudian nilai tersebut dihubungkan dalam sebuah grafik untuk mengetahui nilai tarif dimana responden mampu dan bersedia membayar tarif tersebut. Kemudian titik perpotongan antara ATP dan WTP tersebut merupakan batas atas kemampuan dan kesediaan responden untuk membayar suatu tarif.

7. Analisis tarif ideal berdasarkan golongan kendaraan

Dalam perhitungan sebelumnya, didapatkan tarif tol untuk kendaraan golongan 1. Berdasarkan peraturan Bina Marga, tarif tol tersebut dapat digunakan sebagai pedoman dalam menentukan tarif tol untuk kendaraan golongan selanjutnya yaitu golongan 2, 3, 4 dan 5.

8. Analisis tarif ideal selama masa konsesi

Tarif jalan tol yang telah dianalisis menggunakan grafik hubungan ATP dan WTP menghasilkan tarif ideal untuk kendaraan golongan 1. Selanjutnya, diproyeksikan selama masa konsesi jalan tol tersebut. Masa konsesi untuk Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar telah ditetapkan sesuai keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor KU.03.01-Mn/782 selama 40 tahun terhitung sejak dikeluarkannya Surat Perintah Masa Kerja (SPMK) di tahun 2015. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 17 Tahun 2021 tentang perubahan ke-4 atas Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol, bahwasannya akibat pengaruh inflasi terhadap komponen biaya operasi jalan tol maka tarif jalan tol disesuaikan setiap dua tahun, dan kenaikannya maksimum 25%. Data inflasi menggunakan data dari Website Badan Pusat Statistik (BPS), Bank Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jumlah Responden

Dalam survei penelitian ini, populasi responden diambil dari data lalu lintas harian rata-rata (LHR) Tol Bakauheni-Terbanggi Besar pada bulan September 2021. LHR di Jalan Tol Bakauheni- Terbanggi Besar pada bulan September 2021 adalah 12.290 kendaraan/hari.

Meninjau penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Romi (2020) tentang cara menentukan total sampel minimal. Jumlah sampel dihitung dengan menggunakan rumus Slovin. Dimana (N) adalah rata-rata total lalu lintas harian pada Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar dan (e) adalah persentase ketidakakuratan dalam rentang nilai 1% sampai 10% dapat diterima. Karena reliabilitas atau tingkat kepercayaan diasumsikan 90%, maka nilai ketidakakuratan adalah 10%. Sampel dipilih secara acak

dan khusus untuk pengguna jalan tol yang memakai kendaraan golongan 1, sehingga digunakan tingkat ketidakakuratan (e) sebesar 10%.

Jumlah sampel dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N \times e^2} \dots \dots \dots (iv)$$

$$n = \frac{12.290}{1 + 12.290 \times 0,1^2}$$

$$n = 99 \text{ sampel}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah sampel yang digunakan sebanyak 99 responden, akan tetapi untuk mengantisipasi kemungkinan sampel rusak, tidak lengkap untuk menjaga keakuratan penelitian sehingga digunakan 150 responden. Kemudian setelah dilakukan penyebaran kuesioner kepada responden, dilakukan uji validitas dengan menggunakan *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) for windows* versi 25.

Pengujian validitas kuesioner dilakukan menggunakan rumus *Pearson Product Moment* antara setiap item yang mengukur sebuah skala dengan nilai keseluruhan skala. Kriteria yang digunakan agar suatu item survei berupa kuesioner dinyatakan valid adalah jika nilai r_{hitung} (koefisien korelasi item keseluruhan) lebih dari nilai r_{tabel} , maka item kuesioner tersebut dapat dinyatakan valid. Nilai r_{tabel} untuk responden (N) = 150 dan taraf signifikansi 5% bernilai 0,159. Hasil uji validitas instrumen penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Uji Validitas Instrumen Penelitian

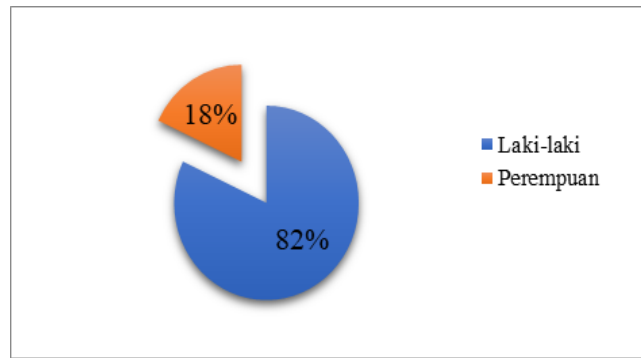
Pertanyaan	r hitung	r tabel	Kriteria
1	0,830	0,159	Valid
2	0,868	0,159	Valid
3	0,251	0,159	Valid
4	0,591	0,159	Valid
5	0,609	0,159	Valid
6	0,281	0,159	Valid
7	0,378	0,159	Valid
8	0,448	0,159	Valid
9	0,480	0,159	Valid
10	0,757	0,159	Valid

Berdasarkan hasil dari pengujian validasi instrumen penelitian, seluruh item pertanyaan telah memenuhi syarat berupa nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$, sehingga seluruh item pertanyaan pada kuesioner dinyatakan valid dan dapat digunakan sebagai alat untuk pengambilan data penelitian.

3.3. Data Karakteristik Pengguna Jalan Tol

3.3.1. Jenis Kelamin Responden

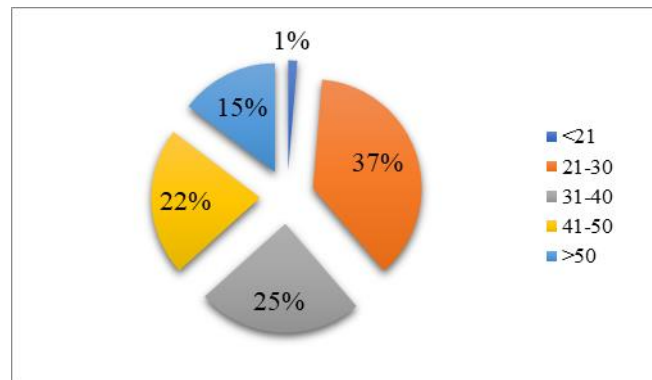
Berdasarkan hasil survei, didapatkan bahwa sebanyak 82% pengguna jalan tol adalah laki-laki dan 18% sisanya adalah perempuan. Kondisi ini terjadi disebabkan karena mayoritas pengguna jalan tol merupakan pengemudi perjalanan jarak jauh sehingga lebih dari setengah responden merupakan pengemudi berjenis kelamin laki-laki. Besar persentase jenis kelamin responden dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Persentase Jenis Kelamin Responden

3.3.2. Umur Responden

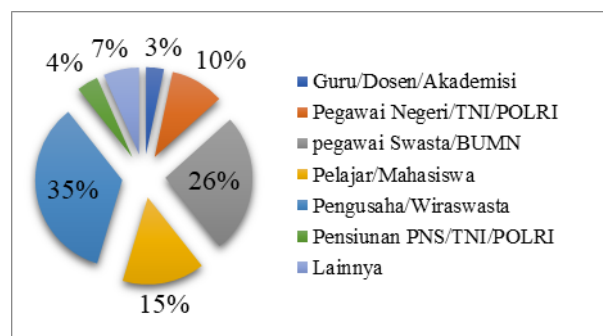
Sebagian besar responden berumur 21-50 tahun, namun untuk persentase tertinggi berada pada pengemudi yang berumur 21-30 tahun yaitu dengan persentase 37%. Persentase umur responden dalam bentuk diagram dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Diagram Persentase Umur Responden

3.3.3. Pekerjaan Responden

Persentase pekerjaan responden tertinggi berada pada kategori Pengusaha/Wiraswasta, yaitu sebesar 35%. Sedangkan persentase pekerjaan terendah adalah dari kategori Guru / Dosen / Akademisi dengan persentase sebesar 3%. Persentase pekerjaan responden yang ditampilkan dalam bentuk diagram ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.

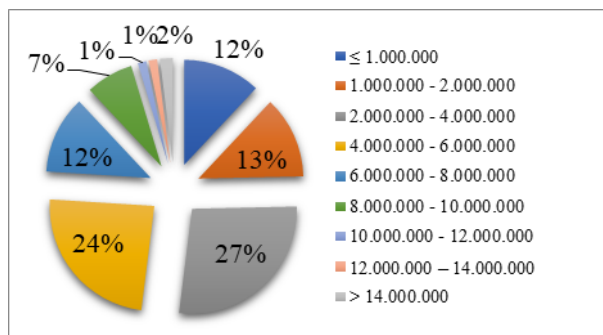


Gambar 4. Diagram Persentase Pekerjaan Responden

3.3.4. Penghasilan Perbulan Responden

Berdasarkan hasil survei yang telah diolah, maka dapat dideskripsikan bahwa penghasilan responden paling banyak berada diantara 2 juta hingga 4 juta rupiah yaitu sebesar 27%. Dilihat dari hasil pengolahan data, kurang lebih 72% responden mempunyai penghasilan bulanan lebih dari 3 juta rupiah. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa status ekonomi orang yang diwawancarai adalah

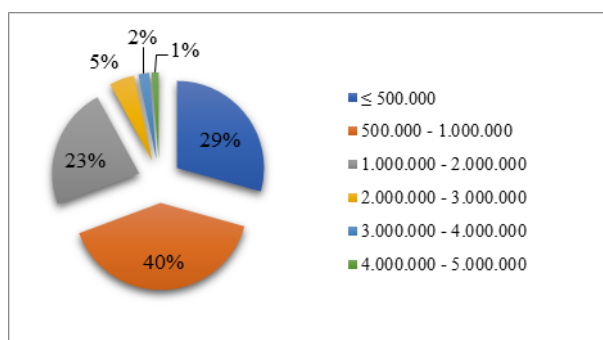
golongan menengah, karena proporsi responden yang berpenghasilan kurang dari 3 juta rupiah hanya 28% dan sisanya lebih dari setengah total orang yang diwawancarai berada pada rentang di atas 3 juta rupiah. Untuk melihat persentase pendapatan responden dalam bentuk diagram ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Diagram Persentase Penghasilan Perbulan Responden

3.3.5. Jumlah Pengeluaran Responden

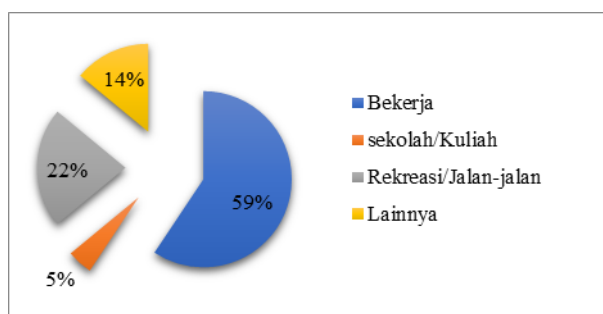
Dilihat dari hasil olahan data, sebanyak 40% sampel mempunyai biaya transportasi bulanan pada rentang setengah juta rupiah hingga 1 juta rupiah, kemudian 29% responden dengan besar pengeluaran bulanan di bawah setengah juta rupiah. Responden dengan besar pengeluaran 1 juta hingga 2 juta rupiah memiliki persentase terbesar ketiga yaitu 23% responden. Persentase pendapatan responden dalam bentuk diagram ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Diagram Persentase Pengeluaran Responden

3.3.6. Tujuan Perjalanan Responden

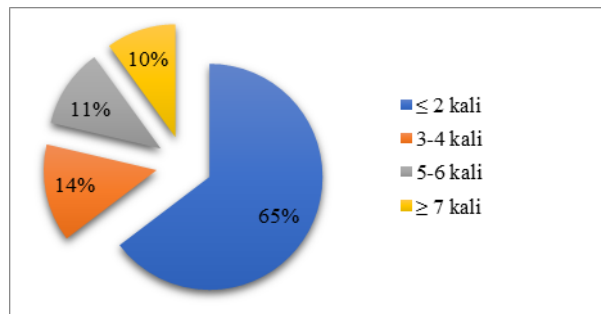
Sebagian besar responden melakukan perjalanan menggunakan jalan tol adalah untuk bekerja, yaitu dengan persentase sebesar 59%, dan maksud perjalanan responden paling sedikit dengan persentase 7% merupakan responden dengan maksud bepergian ke sekolah atau universitas. Keadaan ini terjadi karena mayoritas responden merupakan karyawan dan *entrepreneur*, sehingga lebih memilih mempersingkat waktu perjalanan menggunakan jalan tol. Sedangkan selebihnya yaitu responden dengan maksud perjalanan rekreasi atau jalan-jalan dan alasan lainnya seperti pulang kampung. Persentase tujuan perjalanan responden dalam bentuk diagram ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Diagram Persentase Tujuan Perjalanan Responden

3.3.7. Frekuensi Perjalanan Responden

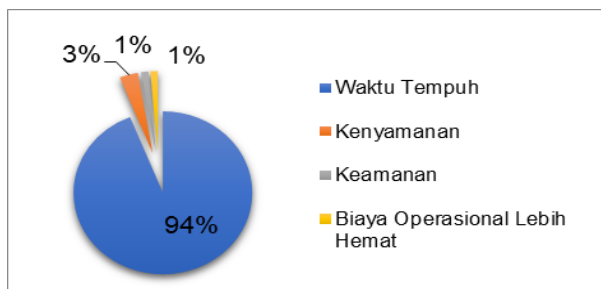
Pada Gambar 8 di bawah ini dapat terlihat bahwa frekuensi perjalanan paling sering dilakukan adalah kurang dari sama dengan dua kali dalam satu minggu dengan besar persentase 65%, sedangkan sebesar 10% dari responden melakukan perjalanan lebih dari sama dengan 7 kali.



Gambar 8. Diagram Persentase Frekuensi Perjalanan Responden

3.3.8. Alasan Penggunaan Jalan Tol

Berdasarkan hasil pengolahan data kuesioner, sebanyak 94% responden memilih menggunakan jalan tol karena waktu tempuhnya lebih sedikit dibanding menggunakan jalan non tol. Di sisi lain karena terdapat beberapa fasilitas seperti rest area, ATM, dan SPBU di jalan tol, sebanyak 3% responden menyatakan menggunakan jalan tol karena alasan kenyamanan. Persentase minimum adalah untuk alasan keamanan dan biaya operasional lebih hemat dengan persentase masing-masing 1%. Hal ini menunjukkan bahwa responden percaya bahwa menggunakan jalan tol hanya untuk mengurangi waktu dan jarak tempuh, bukan untuk keamanan dan kenyamanan. Persentase alasan penggunaan jalan tol dalam bentuk diagram ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Diagram Persentase Alasan Penggunaan Jalan Tol

3.4. Ability to Pay (ATP)

Berikut adalah contoh perhitungan kemampuan membayar responden menggunakan analisis *Ability to Pay* (ATP):

Diketahui:

Penghasilan bulanan (It) : Rp 2.500.000

Pengeluaran responden untuk transportasi sejumlah Rp 300.000.

Sebagai contoh, jika seorang pengguna jalan tol melakukan perjalanan dari Kota Baru ke Kalianda seminggu sekali dan diketahui memiliki jarak 51,3 Km, maka jarak yang ditempuh responden untuk perjalanan pulang pergi selama sebulan adalah:

$Tt = \text{jarak tempuh pulang pergi} \times \text{frekuensi dalam satu bulan}$

$$Tt = (51,3 \times 2) \times (1 \times 4) \\ = 410,4 \text{ Km}$$

Setelah mengetahui jarak yang ditempuh responden untuk perjalanan pulang pergi selama sebulan menggunakan jalan tol, selanjutnya dihitung persentase biaya perjalanan bulanan untuk transportasi, lakukan hal berikut :

$$Pt = (\text{Biaya transportasi} / \text{Pendapatan bulanan}) \times 100\% \\ = (\text{Rp } 300.000 / (\text{Rp } 2.500.000)) \times 100\% \\ = 12\%$$

Selanjutnya besar kemampuan membayar responden dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

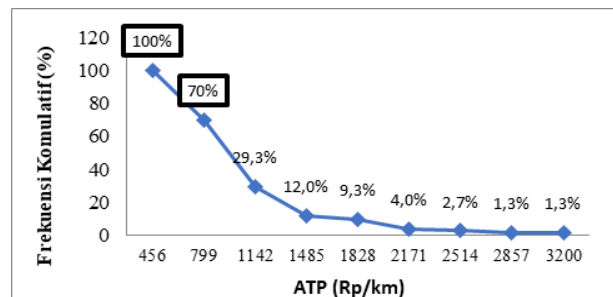
$$\begin{aligned} \text{ATP} &= (I_t \times \% P_t) / T_t \\ &= (\text{Rp } 2.500.000 \times 12\%) / (410,4 \text{ Km}) \\ &= \text{Rp } 730,99 / \text{Km} \end{aligned}$$

Analisis ATP secara keseluruhan akan menghasilkan satu tarif yang ideal sesuai dengan kemampuan responden berdasarkan data ATP responden secara keseluruhan. Berdasarkan hasil survei didapatkan persentase ATP tertinggi berada pada kisaran 627-970 (Rp/Km) yaitu sebesar 40,67%, sedangkan persentase ATP terendah terdapat pada kisaran 2685-3028 (Rp/Km) dengan persentase 0,00%. Rincian frekuensi untuk setiap interval tarif ATP ditampilkan pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. ATP Keseluruhan Responden

Interval ATP (Rp/Km)	Nilai Tengah	Frekuensi	Persentase Frekuensi	Frekuensi Kumulatif
3028 - 3371	3200	2	1,33	1,33
2685 - 3028	2857	0	0,00	1,33
2342 - 2685	2514	2	1,33	2,67
1999 - 2342	2171	2	1,33	4,00
1656 - 1999	1828	8	5,33	9,33
1313 - 1656	1485	4	2,67	12,00
970 - 1313	1142	26	17,33	29,33
627 - 970	799	61	40,67	70,00
284 - 627	456	45	30,00	100,00

Kurva ATP keseluruhan responden menunjukkan besar tarif tol yang mampu ditanggung oleh responden ditunjukkan pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Grafik ATP Keseluruhan Responden

Diketahui pada tarif ATP sebesar Rp 799/km memiliki persentase sebesar 70% dari keseluruhan responden mampu membayar dan pada tarif ATP Rp 456/km diketahui 100% responden mampu membayar. Jadi, apabila dihitung nilai rata-rata dari kedua nilai yang paling tinggi persentasenya maka akan didapat tarif sebesar Rp 628/Km.

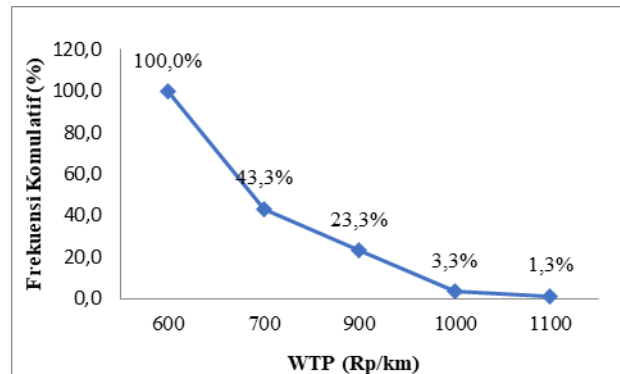
3.5. *Willingness to Pay (WTP)*

Besar nilai WTP yang diajukan kepada responden diambil dari beberapa tarif tol terdekat, serta disesuaikan supaya tidak terlalu jauh dari hasil analisis ATP. Pilihan nilai WTP pada kuesioner untuk ruas Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar menggunakan besar tarif yang telah ditentukan yaitu Rp 1100/Km, Rp 1000/Km, Rp 900/Km, Rp 700/Km, Rp 600/Km. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar responden cenderung memilih tarif paling rendah yang ditawarkan yaitu Rp 600/Km dengan persentase responden yang bersedia membayar sebesar 56,67%, sedangkan persentase paling rendah yaitu sebesar 1,33%. Tarif kesediaan membayar responden secara rinci disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. WTP Keseluruhan Responden

Tarif WTP (Rp/Km)	Frekuensi	Persentase Frekuensi	Frekuensi Kumulatif
1100	2	1,33	1,33
1000	3	2,00	3,33
900	30	20,00	23,33
700	30	20,00	43,33
600	85	56,67	100,00

Grafik WTP keseluruhan responden ditunjukkan pada Gambar 12 berikut ini.

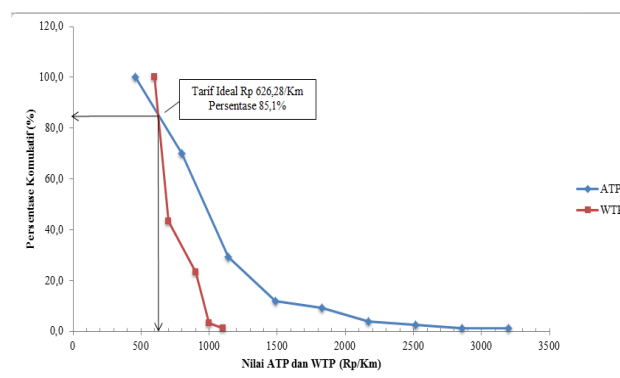


Gambar 12. Grafik WTP Keseluruhan Responden

Pada grafik WTP untuk keseluruhan responden, dapat dilihat bahwa persentase tarif tol paling dominan sebesar Rp 600/Km dengan proporsi responden yang memilih tarif tersebut sebesar 56,67%.

3.6. Analisis Tarif Ideal Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar Berdasarkan Grafik Hubungan ATP dan WTP

Dari hasil penelitian diketahui kemampuan membayar (ATP) responden dengan frekuensi paling dominan adalah Rp 628/Km dan kemauan membayar (WTP) responden sebesar Rp 600/Km. ATP dan WTP dihubungkan dalam sebuah grafik untuk mengetahui nilai tarif dimana responden mampu dan bersedia membayar tarif tersebut. Berikut grafik hubungan ATP dan WTP dapat dilihat pada Gambar 13 di bawah ini.



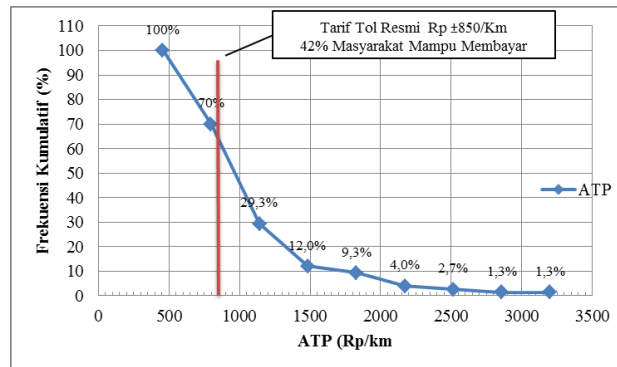
Gambar 13. Grafik Hubungan ATP dan WTP

Berdasarkan grafik hubungan antara ATP dan WTP diketahui bahwa grafik ATP berpotongan dengan grafik WTP. Titik perpotongan tersebut merupakan batas atas kemampuan dan kesediaan responden untuk membayar suatu tarif. Grafik ATP dan WTP berpotongan di titik Rp 626,28/Km, yang dianggap sebagai tarif yang ideal untuk kendaraan golongan 1 dengan persentase masyarakat yang mampu dan bersedia untuk membayar sebesar 85,1%. Pada kondisi kumulatif nilai ATP > nilai WTP, berarti masyarakat mempunyai penghasilan cukup tinggi tetapi kegunaan terhadap fasilitas

jalan tol relatif rendah. Hal tersebut dapat terjadi karena infrastruktur jalan tol merupakan hal baru bagi warga Lampung.

3.7. Analisis Tarif Resmi Terhadap Nilai ATP

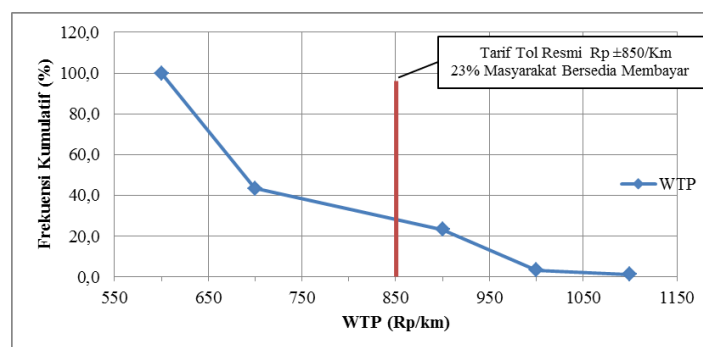
Jika ditarik garis tarif resmi Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar terhadap grafik ATP, maka terlihat bahwa proporsi responden yang mampu membayar tarif sebesar Rp 850/km berada diantara frekuensi $\pm 60\%$. Berdasarkan data, proporsi responden dengan nilai ATP lebih besar dari Rp 850/km adalah 63 responden atau 42% dari keseluruhan responden. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kurang dari setengah pengguna jalan tol yang mampu untuk membayar biaya tol, sehingga apabila pengguna memiliki waktu lebih untuk bepergian maka akan lebih memilih jalan eksisting dan menghemat uang transportasi. Hubungan antara ATP dengan tarif resmi jalan tol dapat dilihat pada Gambar 14 berikut ini:



Gambar 14. Grafik Hubungan Tarif Resmi dan ATP

3.8. Analisis Tarif Resmi Terhadap Nilai WTP

Analisis tarif resmi Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar terhadap kurva WTP dilakukan dengan mencari titik dimana garis tarif resmi memotong grafik WTP, dan didapatkan bahwa persentase masyarakat yang bersedia membayar tarif sebesar Rp 850/km terlihat pada kisaran 42%. Berdasarkan data, proporsi responden dengan nilai WTP lebih besar dari Rp 850/km adalah 35 responden atau 23%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemauan membayar responden yang rendah jika dibandingkan dengan tarif resmi yang ditetapkan, disebabkan karena responden kurang puas terhadap fasilitas jalan tol yang diberikan, terutama kondisi perkerasan jalan yang bergelombang sehingga kurang nyaman digunakan untuk kecepatan tinggi.



Gambar 15. Grafik Hubungan Tarif Resmi dan WTP

3.9. Tarif Ideal Jalan Tol Berdasarkan Golongan Kendaraan

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, tarif untuk kendaraan golongan 1 adalah Rp 626,28/Km. Tarif tersebut dapat dipakai sebagai pedoman dalam menentukan tarif untuk kendaraan golongan selanjutnya yaitu golongan II, III, IV dan V. Tarif ideal tiap golongan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Tarif Ideal Tiap Golongan Kendaraan

Golongan Kendaraan	Perbandingan tarif Tol	Tarif Ideal 2021	Tarif Resmi
1	1	Rp 626,28/Km	Rp 850/Km
2	1,5	Rp 939,42/Km	Rp 1.250/Km
3	1,5	Rp 939,42/Km	Rp 1.250/Km
4	2	Rp 1.252,56/Km	Rp 1.680/Km
5	2	Rp 1.252,56/Km	Rp 1.680/Km

Dilihat dari Tabel 5. bahwa tarif resmi tol untuk setiap golongan kendaraan jauh lebih tinggi dibandingkan tarif ideal berdasarkan hasil perhitungan. Tarif yang terlalu tinggi bagi pengguna ini diduga sebagai penyebab rendahnya daya beli masyarakat, sehingga sebagai solusi dapat dilakukan penyesuaian dalam bentuk penurunan tarif tol.

3.10. Analisis Tarif Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar di Masa mendatang (Selama Masa Konsesi)

Tarif jalan tol yang telah dianalisis menggunakan grafik hubungan ATP dan WTP menghasilkan tarif ideal untuk kendaraan golongan satu sebesar Rp 626,28/Km. Selanjutnya, diproyeksikan selama masa konsesi jalan tol tersebut. Masa konsesi untuk Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar telah ditetapkan sesuai Kepmen PUPR Republik Indonesia Nomor KU.03.01-Mn/782, selama 40 tahun dihitung setelah dikeluarkannya Surat Perintah Masa Kerja (SPMK) di tahun 2015.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 17 Tahun 2021 Tentang Jalan Tol, bahwasannya akibat pengaruh inflasi terhadap komponen biaya operasi jalan tol maka tarif jalan tol disesuaikan setiap dua tahun, dan kenaikannya maksimum 25%. Data inflasi tersebut diperoleh dari Website Badan Pusat Statistik (BPS), Bank Indonesia. Berdasarkan data dari BPS bahwa Indonesia mengalami stagnasi sebesar 2,81% selama lima tahun terakhir. Karena tingkat inflasi dalam perhitungan saat ini adalah 2,81%, perkiraan tarif untuk masa mendatang sebagai berikut:

Tabel 6. WTP Keseluruhan Responden

Golongan Kendaraan		1 (Rp/Km)	2 (Rp/Km)	3 (Rp/Km)	4 (Rp/Km)	5 (Rp/Km)
Inflasi Sebesar 2,81% Perlima Tahun	2021	626,28	939,42	939,42	1252,56	1252,56
	2023	643,87	965,80	965,80	1287,73	1287,73
	2025	661,94	992,92	992,92	1323,89	1323,89
	2027	680,53	1020,80	1020,80	1361,06	1361,06
	2029	699,64	1049,46	1049,46	1399,28	1399,28
	2031	719,28	1078,93	1078,93	1438,57	1438,57
	2033	739,48	1109,22	1109,22	1478,96	1478,96
	2035	760,24	1140,37	1140,37	1520,49	1520,49
	2037	781,59	1172,39	1172,39	1563,18	1563,18
	2039	803,54	1205,31	1205,31	1607,07	1607,07
	2041	826,10	1239,15	1239,15	1652,20	1652,20
	2043	849,29	1273,94	1273,94	1698,59	1698,59
	2045	873,14	1309,71	1309,71	1746,28	1746,28
	2047	897,66	1346,49	1346,49	1795,32	1795,32
	2049	922,86	1384,30	1384,30	1845,73	1845,73
	2051	948,78	1423,16	1423,16	1897,55	1897,55
	2053	975,42	1463,13	1463,13	1950,83	1950,83
	2055	1002,81	1504,21	1504,21	2005,61	2005,61

Berdasarkan Tabel 6. bahwa tarif mendatang dihitung sampai dengan tahun terakhir masa konsesi, yaitu diperkirakan akan berakhir pada tahun 2054/2055. Pada tahun 2055, tarif jalan tol bakauheni terbanggi besar untuk kendaraan golongan 1 akan naik signifikan mencapai Rp 1002,81/Km. Dalam penelitian ini tidak membahas *Return of Investment* (ROI), sehingga tidak mengevaluasi efektivitas investasi Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar terkait keuntungan maupun kerugiannya.

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis tarif menggunakan metode ATP didapatkan tarif sebesar Rp 628/Km. Berdasarkan grafik hubungan antara tarif ATP hasil perhitungan dengan tarif resmi jalan tol diketahui sebanyak 42% responden mampu membayar tarif resmi jalan tol saat ini yaitu sebesar Rp 850/Km. Dengan tarif yang berlaku saat ini, responden yang secara rutin melintasi jalan tol sebagai jalur transportasi utama mengeluhkan bahwa tarif yang berlaku dinilai terlalu mahal sehingga menyarankan adanya potongan biaya bagi pengguna yang secara rutin melintasi jalan tol.
2. Berdasarkan hasil analisis tarif menggunakan metode WTP diperoleh tarif jalan tol sebesar Rp 600/Km. Jika ditarik garis tarif resmi terhadap grafik WTP, ternyata hanya 23% responden yang bersedia membayar tarif resmi jalan tol sebesar Rp 850/km. Kemauan membayar responden yang rendah jika dibandingkan dengan tarif resmi yang ditetapkan disebabkan karena responden kurang puas terhadap fasilitas jalan tol yang diberikan, terutama kondisi perkerasan jalan yang bergelombang sehingga kurang nyaman digunakan untuk kecepatan tinggi.
3. Berdasarkan grafik hubungan ATP dan WTP maka tarif ideal untuk kendaraan golongan satu adalah Rp 626,28/Km dengan persentase responden yang mampu dan bersedia untuk membayar sebesar 85,1% . Berikut adalah harga atau tarif ideal untuk setiap jenis kendaraan:
 - a. Kendaraan golongan 1 : Rp 626,28/Km
 - b. Kendaraan golongan 2 : Rp 939,42/Km
 - c. Kendaraan golongan 3 : Rp 939,42Km
 - d. Kendaraan golongan 4 : Rp 1.252,56/Km
 - e. Kendaraan golongan 5 : Rp 1.252,56/Km

Tarif tersebut kemudian di analisis selama masa konsesi jalan tol tersebut berlangsung. Rincian tarif untuk setiap jenis kendaraan pada tahun terakhir masa konsesi (tahun 2055) adalah sebagai berikut :

- a. Kendaraan golongan 1 : Rp 1002,81/Km
- b. Kendaraan golongan 2 : Rp 1504,21/Km
- c. Kendaraan golongan 3 : Rp 1504,21/Km
- d. Kendaraan golongan 4 : Rp 2005,61/Km
- e. Kendaraan golongan 5 : Rp 2005,61/Km

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terutama pihak Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar yang telah memberikan izin terkait lokasi penelitian.

REFERENSI

- I. F. Panjaitan dan M.Surbakti. (2013). Analisa Tarif Jalan Tol Berdasarkan Pendekatan Willingness to Pay (WTP) dan Ability to Pay (ATP) (Studi Kasus : Rencana Jalan Tol Medan-Binjai). Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- Romi, M. (2020). Analisis Ability to Pay (ATP) dan Willingness to Pay (WTP) Tarif Jalan Tol Palembang-Indralaya Provinsi Sumatera Selatan. Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan.
- L. Rosalita. (2019). Analisis Tarif Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang BerdasarkanKemauan Membayar dan Kemampuan Membayar Masyarakat, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- S. H. S. Adani. (2017). Analisis ATP/WTP pada Rencana Jalan Tol Kraksaan-Banyuwangi. Universitas Brawijaya, Malang.
- M. A. Zubet. (2020). Analysis of Highway Rates Based on Ability to Pay (ATP) and Willingness to Pay (WTP) (Case Study: Plan for Semarang Harbour Highway). Journal of Physics: Conference Series, pp. 1-10.
- N. Muhammad, R. A. Wibowo , A. Wicaksono, dan K.Rahayu. (2017). Penetapan Tarif Jalan Tol Berdasarkan Pendekatan ATP dan WTP (Studi Kasus: Rencana Jalan Tol Solo-Karanganyar). Universitas Brawijaya, Malang.

- S. D. Ariamsah. (2015). Analisa Tarif Jalan Tol Berdasarkan Pendekatan Willingness To Pay (WTP) dan Ability To Pay (ATP) Study Kasus :Jalan Tol Waru-Juanda. Universitas Muhammadiyah Malang.
- K. Wijaya. (2019). Analysis of Trans Jogja Fares Based on Operational Cost, ATP and WTP in 5a Route. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- A. C. Nurani. (2015). Analisis Tarif Parkir Berdasarkan Ability to Pay (ATP) dan Willingness to Pay (WTP) di Solo Square Surakarta,” Universitas Negeri Surakarta, Surakarta.
- Rigiar dan N. K. Putra. (2012). Analisis Tarif Parkir Berdasarkan Ability to Pay (ATP) dan Willingness to Pay (WTP) di Pasar Legi Surakarta,” Universitas Negeri Surakarta, Surakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10/PRT/M/2018 tentang Tempat Istirahat dan Pelayanan pada Jalan Tol.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 43/PRT/M/2015 tentang Badan Pengatur Jalan Tol.
- Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol.
- Peraturan Pemerintah Nomor 30 Tahun 2017 tentang Jalan Tol.
- M. R. Permata. (2012). Analisa Ability To Pay dan Willingness To Pay Pengguna Jasa Kereta Api Bandara Soekarno Hatta-Manggarai, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 305/KPTS/M/2019 tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor dan Besaran Tarif Tol pada Jalan Tol Bakauheni-Terbanggi Besar.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2021 tentang Jalan Tol.

Manajemen Risiko Proyek Pembangunan Gedung Perkuliahan dengan Metode Severity Index

Muhammad Arsyada^a, Raftonado Situmorang^{a*}, Oryza Lhara Saria, Andika Ade Indra Saputra^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

raftonado.situmorang@lecturer.itk.ac.id

Keywords:

College Building, Risk Management, Risk Response, Saverity Index, Construction

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The construction projects for Buildings C and D were delayed in construction process due to financial constraints in completing building construction and the project was re-implemented so that the two buildings were classified as Construction in Progress. Efforts are made to avoid obstacles by carrying out effective risk management. Therefore, all projects require proper risk management. On the basis of these events, risk management is carried out with the aim of knowing the risks that may occur, knowing the level of risk, and knowing the dominant risk response in the construction project of Buildings C and D of the Kalimantan Institute of Technology. The method in this study uses Severity Index method in analyzing risk variables with the Guttman scale used to determine the relevance of a risk variable. Then do an analysis of the response to the dominant risk. In the correlation test, 40 indicators were found that were relevant and 4 that were irrelevant. The validity test shows 7 invalid indicators. The results obtained are 6 indicators of risk that are dominant to the value of the likelihood and impact matrix labelled "high" risk. The risk response in this study is to seek supervision of the budget specified in the contract, carry out reliable material estimation calculations, the procurement department is required to identify places for replacement materials, make re-engineering arrangements for work execution sequences, and depend on professional distributors and forwarders, ensuring experienced project employees, working drawings have clear information, and prioritizing outdoor work.*

Copyright © 2021 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Institut Teknologi Kalimantan melalui Perpres No. 125 Tahun 2014, ITK disahkan menjadi Institusi Negeri yang terletak di kota Balikpapan. Kebutuhan akan Gedung Kuliah Baru ditunjang dengan adanya dana APBN pada tahun 2016 sehingga dibangun 2 Gedung Jurusan, yaitu Gedung C dan D. Namun Gedung C dan D mengalami kendala dalam pembangunannya dikarenakan keterbatasan finansial dalam menyelesaikan pembangunan gedung sesuai dengan perencanaan sehingga kedua gedung tersebut tergolong dalam kategori Konstruksi Dalam Penyelesaian (KDP). Namun pada tanggal 4 April 2022 pembangunan Gedung C dan D kembali dilanjutkan dengan nilai kontrak Rp.39.849.675.000,00 dengan waktu pelaksanaan 360 hari kalender.

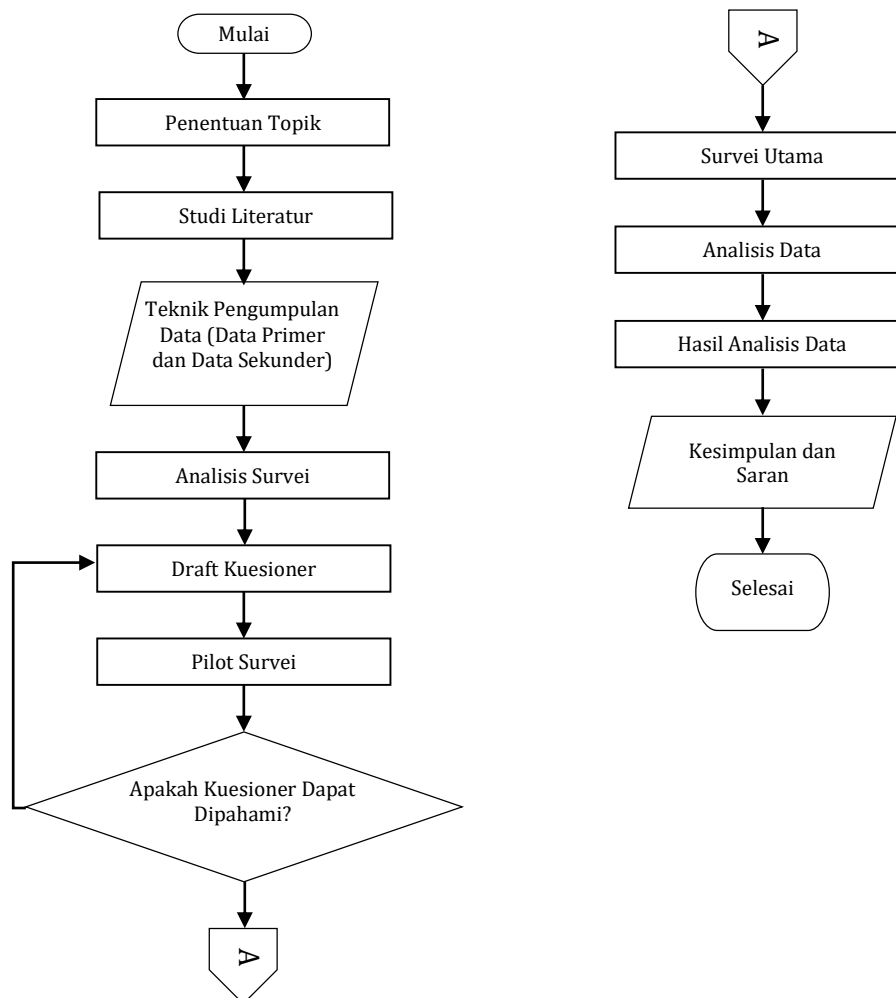
(Dewantoro & Mardiyanto, 2019) Usaha yang dilakukan untuk menghindari adanya kendala selama pembangunan proyek adalah dengan adanya kegiatan manajemen terkait risiko yang efektif karena pada segala keputusan yang ditetapkan terhadap suatu aktivitas dengan tujuan untuk mereduksi risiko ataupun mempertahankannya. Agar mencapai suatu target memiliki dampak terhadap timbulnya risiko lainnya (Tampubolon, 2018). Suatu risiko berpengaruh sangat besar terhadap kinerja, produktivitas, kualitas, dan biaya proyek (Dewantoro & Mardiyanto, 2019). Ketepatan penerapan proses manajemen risiko pada proyek merupakan aspek penting dalam manajemen risikot (Tampubolon, 2018) . Oleh karena itu, tergantung pada masalahnya, semua proyek memerlukan manajemen risiko yang tepat.

Atas dasar permasalahan yang terdapat pada proyek tersebut, guna menghindari terjadinya risiko lainnya maka dilakukan studi dengan tujuan untuk mengidentifikasi macam-macam risiko, mengidentifikasi tingkat risiko dominan, serta dilakukan pencegahan ataupun penanganan terhadap risiko dengan tingkat yang tinggi pada proyek pembangunan Gedung C dan D Institut Teknologi Kalimantan. Pengerjaan studi ini dengan penyebaran kuesioner berupa variabel-variabel yang

berpengaruh terhadap risiko proyek pada aspek waktu dan biaya, setelah data yang dibutuhkan terkumpul, maka dilakukan identifikasi risiko menggunakan uji skala *Guttman* selama fase pengujian relevansi variabel risiko. Selanjutnya analisis menggunakan metode *Severity Index* untuk melakukan penilaian terhadap tingkat risiko dominan. Subjek survei ini adalah *stakeholder* pada proyek pembangunan tersebut yang terdiri dari kontraktor, konsultan Manajemen Konstruksi (MK), dan Balai Prasarana Permukiman Wilayah Kalimantan Timur.

2. DATA DAN METODE

Metode penelitian yang merupakan Langkah-langkah dari proses pengerjaan studi ini, dimulai pada tahap identifikasi risiko hingga respon terhadap risiko dominan terdapat pada diagram alir pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis pendahuluan setelah data diperoleh dari survei, data tersebut diperiksa dan disiapkan untuk digunakan melalui analisis. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam analisis memenuhi persyaratan. Analisis pendahuluan terdiri dari persiapan data dan analisis deskriptif. Persiapan data bertujuan untuk memperoleh informasi tentang karakteristik data dan untuk memeriksa apakah telah memenuhi asumsi dasar untuk melakukan analisis (Situmorang et al., 2022). Manajemen risiko merupakan kegiatan meningkatkan kemampuan pengelolaan risiko. Sistem pengendalian risiko pada suatu kegiatan yang dilakukan secara berkala, sebagai pengendalian tumbuhnya setiap risiko yang menimbulkan kerugian pada organisasi atau perusahaan yang bersangkutan (Santosa, 2009).

Risiko dapat dikategorikan berdasarkan tingkat dampak risiko yang terjadi. Kategori risiko utama (major risks), mempunyai dampak besar dan luas, yang membutuhkan pengelolaan, sedangkan kategori risiko minor (minor risks), tidak memerlukan penanganan khusus karena tingkat risiko ada dalam batas-batas yang dapat diterima (Yuliana, 2017). Parameter yang digunakan adalah *probability* atau kemungkinan dan *impact* atau dampak.

Menurut Williams, (1993) Pendekatan yang digunakan dalam mengukur risiko, yaitu :

1. Kemungkinan (*probability*), keadaan yang mungkin terjadi dan tidak diinginkan.
2. Dampak (*impact*), tingkat pengaruh pada suatu kegiatan .

Penilaian terhadap tingkat risiko dapat diketahui dengan suatu persamaan seperti dibawah ini :

$$R = P \times I \quad (1)$$

Dengan :

R = Tingkat risiko

P = Kemungkinan

I = Tingkat dampak

Dalam menilai risiko, dibutuhkan suatu parameter yang jelas sebagai alat ukur tingkat kemungkinan dan dampak dari risiko dengan tepat. Penjelasan mengenai parameter *probability* atau kemungkinan terjadinya risiko terdapat pada Tabel 1, penjelasan mengenai parameter *impact* atau dampak terhadap waktu terdapat pada Tabel 2, dan penjelasan mengenai parameter *impact* atau dampak terhadap biaya terdapat pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter Kemungkinan Terjadinya Risiko

Skala	Parameter	Deskripsi
1	Sangat Kecil	Hampir Tidak Mungkin Terjadi ($P \leq 20\%$)
2	Kecil	Jarang Terjadi ($20\% < P \leq 40\%$)
3	Sedang	Sedang ($40\% < P \leq 60\%$)
4	Besar	Besar kemungkinan Terjadi ($60\% < P \leq 80\%$)
5	Sangat Besar	Sangat Mungkin ($80\% < P < 100\%$)

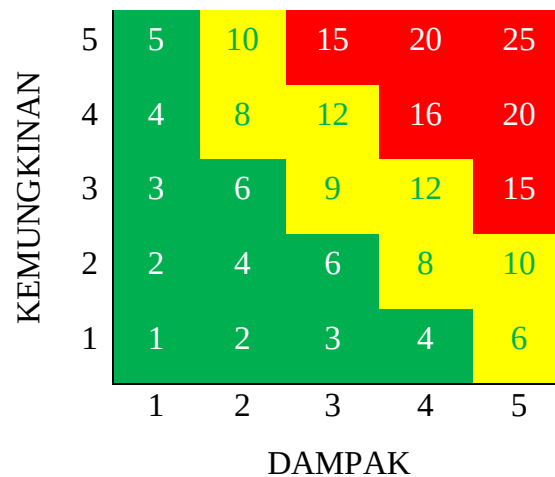
Tabel 2. Parameter Dampak Risiko Terhadap Waktu

Skala	Parameter	Keterangan
1	Sangat Kecil	≤ 10 Hari Dari Durasi Proyek
2	Kecil	$> 10 - 15$ Hari Dari Durasi Proyek
3	Sedang	$> 15 - 20$ Hari Dari Durasi Proyek
4	Besar	$> 20 - 25$ Hari Dari Durasi Proyek
5	Sangat Besar	> 25 Hari Dari Durasi Proyek

Tabel 3. Parameter Dampak Risiko Terhadap Biaya

Skala	Parameter	Keterangan
1	Sangat Kecil	$1\% \leq \text{Cost Overruns} \leq 1,5\%$
2	Kecil	$1,5\% \leq \text{Cost Overruns} \leq 2,5\%$
3	Sedang	$2,5\% \leq \text{Cost Overruns} \leq 3,5\%$
4	Besar	$3,5\% \leq \text{Cost Overruns} \leq 4,5\%$
5	Sangat Besar	$4,5\% \leq \text{Cost Overruns} \leq 5\%$

Tingkat kemungkinan dan dampak dapat dinilai menggunakan matriks pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Matriks Probabilitas dan Dampak

Metode *Severity Index* menggunakan penilaian berupa probabilitas (P) dan dampak (I) berdasarkan variabel dan diperoleh dari responden penelitian. Analisis hasil penilaian antara kemungkinan dan dampak dalam menghitung tingkat risiko dengan *Severity Index* (SI) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Williams, 1993) :

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^4 a_i x_i}{4 \sum_{i=1}^4 x_i} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan:

a_i = Konstanta Penilaian

x_i = Frekuensi Responden

$i = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$

x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 adalah jumlah responden

x_0 = Tingkat kejadian "Sangat Rendah", maka $a_0 = 0$

x_1 = Tingkat kejadian "Rendah", maka $a_1 = 1$

x_2 = Tingkat kejadian "Cukup Tinggi", maka $a_2 = 2$

x_3 = Tingkat kejadian "Tinggi", maka $a_3 = 3$

x_4 = Frekuensi "Sangat Tinggi", maka $a_4 = 4$

Klasifikasi dari skala penilaian pada kemungkinan dan dampak ditunjukkan pada Tabel 4 (Majid & McCaffer, 1997):

Tabel 4. Skala Penilaian Kemungkinan dan Dampak

No.	Skala	Nilai
1	Sangat Rendah	$0.00 \leq SI < 12.5$
2	Rendah	$12.5 \leq SI < 37.5$
3	Cukup/Sedang	$37.5 \leq SI < 62.5$
4	Tinggi/Besar	$62.5 \leq SI < 87.5$
5	Sangat Tinggi/Besar	$87.5 \leq SI < 100$

Respon risiko merupakan penanganan pada risiko yang berpotensi akan terjadi. Risiko dengan kategori tinggi perlu dilakukan penanggulangan dengan respon risiko bersama dengan pihak pelaksana dalam penanggapi risiko yang ada. Metode pada penanganan risiko terbagi sebagai berikut (Flanagan & Norman, 1993) :

1. Menahan Risiko (*Risk Retention*)

Penanganan risiko dengan menahan secara mandiri mampu dilakukan pada saat risiko tidak mengakibatkan kerugian dalam jumlah besar atau biaya penanggulangan risiko tidak begitu besar jika dibandingkan dengan manfaat yang diperoleh.

2. Mengurangi Risiko (*Risk Reduction*)

Tindakan untuk mencegah risiko yang akan terjadi dengan cara:

- Pelatihan tenaga kerja dalam penanggulangan risiko.
- Perlindungan terhadap kemungkinan kehilangan.
- Perlindungan terhadap orang dan *property*.

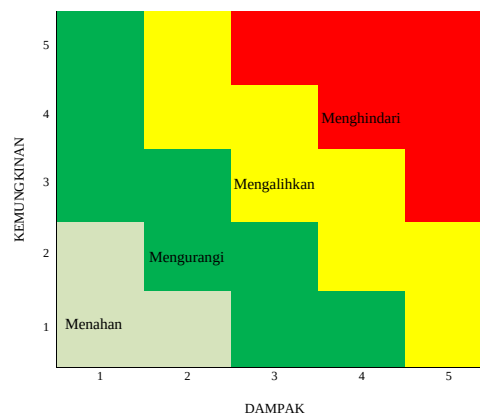
3. Mengalihkan Risiko (*Risk Transfer*)

Dilakukan untuk pengalihan risiko kepada pihak lain.

4. Menghindari Risiko (*Risk Avoidance*)

Menolak untuk menerima risiko dengan melakukan Tindakan pencegahan.

Pemetaan respon terhadap risiko dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Pemetaan Respon Risiko

Pengujian validitas bertujuan mengetahui isi kuesioner tersebut apakah sudah dapat dipahami oleh responden dengan suatu persamaan berdasarkan korelasi setiap butir instrumen dengan skor total (Sugiyono, 2016). Suatu alat ukur dikatakan valid korelasi yang antara skor tiap satuan terhadap skor keseluruhan bersesuaian. Cara yang biasa digunakan dalam pengujian validitas adalah dengan perhitungan *product moment* dengan persamaan sebagai berikut:

$$r = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (3)$$

Keterangan:

- r = Korelasi *product moment*
 X = Butir skor pertanyaan
 Y = Skor total seluruh pertanyaan
 XY = Skor pertanyaan dikalikan skor total
 N = Jumlah responden *pretest*

Pengujian Reliabilitas adalah keajegan pengukuran (Walizer, 1987). Reliabilitas memiliki definisi bahwa instrumen yang digunakan dapat dipercaya sebagai alat pengumpulan data dan dapat mengungkapkan informasi di lapangan (Sitinjak & Sugiarto, 2006). Pengujian reliabilitas menggunakan *tools alpha cronbach's* dimana kuesioner dapat dikatakan reliabel jika *cronbach alpha* > 0,60 (Kountur, 2004). Pengujian reliabilitas instrumen dengan menggunakan rumus *Alpha Cronbach* karena instrumen studi ini berbentuk angket dan skala bertingkat maka dapat dilihat rumus seperti dibawah ini :

$$r = \left(\frac{N}{N-1} \right) \times \left(1 - \frac{\sum \sigma_b^2}{\sigma_t^2} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

- r = Reliabilitas instrument
 N = Banyak butir pertanyaan

$\sum \sigma_{t^2}$ = Jumlah varian butir skor setiap elemen

σ_{t^2} = Varian total

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan dengan menyebarkan kuesioner kepada para ahli sebanyak 4 orang dengan tujuan untuk memvalidasi variabel-variabel risiko proyek. Analisa variabel risiko proyek ini akan menggunakan skala *Guttman*, dengan jawaban relevan di atas setengahnya untuk mengumpulkan indikator yang paling relevan yang akan dimasukkan ke dalam kuesioner utama.

Tabel 5. Hasil Survei Pendahuluan

Kode	Indikator	Setuju	Tidak Setuju	Keterangan
A	Risiko Kontraktual			
A1	Keterlambatan Pembayaran	4	0	Relevan
A2	Pemutusan Kerja Sepihak	4	0	Relevan
A3	Perselisihan Antara Kontraktor dan <i>Owner</i>	2	2	Relevan
A4	Ketidakjelasan pasal kontrak	3	1	Relevan
A5	Dokumen yang tidak lengkap	3	1	Relevan
A6	Perbedaan Intersepsi Spesifikasi	2	2	Relevan
A7	Anggaran yang Terbatas	2	2	Relevan
B	Risiko Pelaksanaan			
B1	Kondisi Tanah Tidak Stabil	4	0	Relevan
B2	Metode Pelaksanaan yang Salah	4	0	Relevan
B3	Perubahan Jadwal Pelaksanaan	2	2	Relevan
B4	Pekerjaan Ulang	4	0	Relevan
B5	Kesalahan Pada Survei	3	1	Relevan
B6	Runtuhnya Dinding Penahan Tanah	4	0	Relevan
C	Risiko Material dan Peralatan			
C1	Ketersediaan Material	4	0	Relevan
C2	Kerusakan atau Kehilangan Material	2	2	Relevan
C3	Kenaikan Harga Material	2	2	Relevan
C4	Material tidak sesuai spesifikasi	2	2	Relevan
C5	Keterlambatan Pengiriman Material	4	0	Relevan
C6	Kurangnya Perawatan Alat	1	3	Tidak Relevan
D	Risiko Desain dan Teknologi			
D1	Kesalahan Desain	4	0	Relevan
D2	Perubahan Desain	4	0	Relevan
D3	Data Desain Tidak Lengkap	4	0	Relevan
D4	Peraturan <i>Safety</i> yang Tidak Dilaksanakan	2	2	Relevan
E	Risiko Force Majure			
E1	Gempa Bumi	4	0	Relevan
E2	Banjir	4	0	Relevan
E3	Tanah Longsor	4	0	Relevan
E4	Ledakan	4	0	Relevan
E5	Kebakaran	4	0	Relevan
E6	Cuaca Tak Menentu	3	1	Relevan
F	Risiko Tenaga Kerja			
F1	Perselisihan Pekerja	2	2	Relevan
F2	Pemogokan Tenaga Kerja	3	1	Relevan
F3	Tenaga Kerja Tidak Terampil	2	2	Relevan
F4	Produktivitas Tenaga Kerja Rendah	4	0	Relevan
F5	Kurangnya Tenaga Kerja	4	0	Relevan
F6	Kelelahan Akibat Banyaknya Pekerjaan yang dilakukan secara lembur	1	3	Tidak Relevan

Kode	Indikator	Setuju	Tidak Setuju	Keterangan
G	Risiko Manajemen			
G1	Kesalahan Estimasi Biaya	3	1	Relevan
G2	Kesalahan Estimasi Waktu	3	1	Relevan
G3	Kurangnya Kontrol dan Komunikasi	3	1	Relevan
G4	Perubahan Lingkup Pekerjaan	4	0	Relevan
G5	Adanya Konflik Internal dalam Manajemen	2	2	Relevan
G6	Tidak Lengkapnya Laporan Harian	1	3	Tidak Relevan
G7	Adanya Staf yang Kurang Berpengalaman	1	3	Tidak Relevan
G8	Ketidakmampuan Perencanaan Manajemen	4	0	Relevan
G9	Tingkat Disiplin Manajemen yang Rendah	4	0	Relevan

Uji Validitas

Pengujian validitas bertujuan untuk mengetahui valid atau dapat digunakannya sebuah variabel. Variabel dikatakan valid apabila memenuhi syarat $R \text{ hitung} > R \text{ tabel}$. Untuk responden berjumlah 14 orang maka $R \text{ tabel}$ adalah 0,532. Pada hasil uji validitas digunakan persamaan 2 dan didapatkan hasil Kemungkinan Terjadinya Risiko didapatkan 3 indikator yang tidak valid diantaranya sebagai berikut: pada poin A3, B6, dan E1. Berdasarkan hasil uji validitas Dampak Terjadinya Risiko Terhadap Waktu didapatkan 7 indikator yang tidak valid diantaranya sebagai berikut: pada poin A3, A4, A7, B6, E1, E4, dan F5. Selanjutnya berdasarkan hasil uji validitas Dampak Terjadinya Risiko Terhadap Biaya didapatkan 7 indikator yang tidak valid diantaranya sebagai berikut: pada poin A7, B6, C2, D4, E3, F5, dan G5.

Uji Reliabilitas

Pengujian reliabilitas dengan *tools alpha cronbach's* dapat dikatakan reliabel jika nilai *cronbach alpha* $> 0,60$. Pada perhitungan uji reliabilitas menggunakan persamaan 4, nilai *cronbach's alpha* kemungkinan terjadinya risiko dan dampak risiko diperoleh bahwa seluruh variabel memiliki nilai yang lebih besar dari 0,6 sehingga dinyatakan reliabel dan dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Analisis Variabel Risiko Menggunakan *Severity Index*

Analisa variabel risiko digunakan pada tahap menganalisa survei utama. Analisis dilaksanakan pada probabilitas dan dampak risiko.

Tabel 6. Penilaian *Probability* atau Kemungkinan Terjadinya Risiko

Kode	Indikator	SI (%)	Kategori	Nilai
A	Risiko Kontraktual			
A1	Keterlambatan Pembayaran	64,29	T	4
A2	Pemutusan Kerja Sepihak	67,86	T	4
A4	Ketidakjelasan pasal kontrak	67,86	T	4
A5	Dokumen yang tidak lengkap	64,29	T	4
A6	Perbedaan Interpretasi Spesifikasi	67,86	T	4
A7	Anggaran yang Terbatas	67,86	T	4
B	Risiko Pelaksanaan			
B1	Kondisi Tanah Tidak Stabil	67,86	T	4
B2	Metode Pelaksanaan yang Salah	66,07	T	4
B3	Perubahan Jadwal Pelaksanaan	67,86	T	4

Kode	Indikator	SI (%)	Kategori	Nilai
B4	Pekerjaan Ulang	64,29	T	4
B5	Kesalahan Pada Survei	67,86	T	4
C	Risiko Material dan Peralatan			
C1	Ketersediaan Material	64,29	T	4
C2	Kerusakan atau Kehilangan Material	64,29	T	4
C3	Kenaikan Harga Material	66,07	T	4
C4	Material tidak sesuai spesifikasi	62,50	C	3
C5	Keterlambatan Pengiriman Material	67,86	T	4
D	Risiko Desain dan Teknologi			
D1	Kesalahan Desain	67,86	T	4
D2	Perubahan Desain	64,29	T	4
D3	Data Desain Tidak Lengkap	64,29	T	4
D4	Peraturan <i>Safety</i> yang Tidak Dilaksanakan	62,50	C	3
E	Risiko <i>Force Majure</i>			
E2	Banjir	64,29	T	4
E3	Tanah Longsor	64,29	T	4
E4	Ledakan	67,86	T	4
E5	Kebakaran	64,29	T	4
E6	Cuaca Tak Menentu	64,29	T	4
F	Risiko Tenaga Kerja			
F1	Perselisihan Pekerja	67,86	T	4
F2	Pemogokan Tenaga Kerja	67,86	T	4
F3	Tenaga Kerja Tidak Terampil	66,07	T	4
F4	Produktivitas Tenaga Kerja Rendah	67,86	T	4
F5	Kurangnya Tenaga Kerja	64,29	T	4
G	Risiko Manajemen			
G1	Kesalahan Estimasi Biaya	67,86	T	4
G2	Kesalahan Estimasi Waktu	67,86	T	4
G3	Kurangnya Kontrol dan Komunikasi	66,07	T	4
G4	Perubahan Lingkup Pekerjaan	66,07	T	4
G5	Adanya Konflik Internal dalam Manajemen	67,86	T	4
G6	Ketidakmampuan Perencanaan Manajemen	67,86	T	4
G7	Tingkat Disiplin Manajemen yang Rendah	66,07	T	4

Tabel 7. Penilaian *Impact* atau Dampak Risiko Terhadap Waktu

Kode	Indikator	SI (%)	Kategori	Nilai
A	Risiko Kontraktual			
A1	Keterlambatan Pembayaran	69,64	T	4
A2	Pemutusan Kerja Sepihak	62,50	C	3
A5	Dokumen yang tidak lengkap	60,71	C	3
A6	Perbedaan Intersepsi Spesifikasi	60,71	C	3
B	Risiko Pelaksanaan			
B1	Kondisi Tanah Tidak Stabil	41,07	C	3
B2	Metode Pelaksanaan yang Salah	37,50	R	2
B3	Perubahan Jadwal Pelaksanaan	35,71	R	2
B4	Pekerjaan Ulang	39,29	C	3
B6	Runtuhnya Dinding Penahan Tanah	42,86	C	3
C	Risiko Material dan Peralatan			
C1	Ketersediaan Material	67,86	T	4
C2	Kerusakan atau Kehilangan Material	60,71	C	3
C3	Kenaikan Harga Material	64,29	T	4
C4	Material tidak sesuai spesifikasi	62,50	C	3
C5	Keterlambatan Pengiriman Material	64,29	T	4
D	Risiko Desain dan Teknologi			
D1	Kesalahan Desain	42,86	C	3
D2	Perubahan Desain	35,71	R	2
D3	Data Desain Tidak Lengkap	39,29	C	3
D4	Peraturan <i>Safety</i> yang Tidak Dilaksanakan	41,07	C	3
E	Risiko <i>Force Majure</i>			
E2	Banjir	57,14	C	3
E3	Tanah Longsor	60,71	C	3
E5	Kebakaran	58,93	C	3
E6	Cuaca Tak Menentu	64,29	T	4
F	Risiko Tenaga Kerja			
F1	Perselisihan Pekerja	57,14	C	3
F2	Pemogokan Tenaga Kerja	60,71	C	3
F3	Tenaga Kerja Tidak Terampil	53,57	C	3

Kode	Indikator	SI (%)	Kategori	Nilai
F4	Produktivitas Tenaga Kerja Rendah	58,93	C	3
G	Risiko Manajemen			
G1	Kesalahan Estimasi Biaya	58,93	C	3
G2	Kesalahan Estimasi Waktu	60,71	C	3
G3	Kurangnya Kontrol dan Komunikasi	50,00	C	3
G4	Perubahan Lingkup Pekerjaan	58,93	C	3
G5	Adanya Konflik Internal dalam Manajemen	44,64	C	3
G6	Ketidakmampuan Perencanaan Manajemen	53,57	C	3
G7	Tingkat Disiplin Manajemen yang Rendah	55,36	C	3

Tabel 8. Penilaian *Impact* atau Dampak Risiko Terhadap Biaya

Kode	Indikator	SI (%)	Kategori	Nilai
A	Risiko Kontraktual			
A1	Keterlambatan Pembayaran	58,93	C	3
A2	Pemutusan Kerja Sepihak	50,00	C	3
A3	Perselisihan Antara Koontraktor dan Owner	46,43	C	3
A4	Ketidakjelasan pasal kontrak	46,43	C	3
A5	Dokumen yang tidak lengkap	48,21	C	3
A6	Perbedaan Intersepsi Spesifikasi	50,00	C	3
B	Risiko Pelaksanaan			
B1	Kondisi Tanah Tidak Stabil	37,50	R	2
B2	Metode Pelaksanaan yang Salah	35,71	R	2
B3	Perubahan Jadwal Pelaksanaan	41,07	C	3
B4	Pekerjaan Ulang	39,29	C	3
B5	Kesalahan Pada Survei	48,21	C	3
C	Risiko Material dan Peralatan			
C1	Ketersediaan Material	69,64	T	4
C3	Kenaikan Harga Material	69,64	T	4
C4	Material tidak sesuai spesifikasi	60,71	C	3
C5	Keterlambatan Pengiriman Material	67,86	T	4
D	Risiko Desain dan Teknologi			
D1	Kesalahan Desain	67,86	T	4
D2	Perubahan Desain	60,71	C	3

Kode	Indikator	SI (%)	Kategori	Nilai
D3	Data Desain Tidak Lengkap	60,71	C	3
E	Risiko <i>Force Majeure</i>			
E2	Banjir	48,21	C	3
E4	Ledakan	35,71	R	2
E5	Kebakaran	39,29	C	3
E6	Cuaca Tak Menentu	37,50	R	2
F	Risiko Tenaga Kerja			
F1	Perselisihan Pekerja	37,50	R	2
F2	Pemogokan Tenaga Kerja	48,21	C	3
F3	Tenaga Kerja Tidak Terampil	39,29	C	3
F4	Produktivitas Tenaga Kerja Rendah	41,07	C	3
G	Risiko Manajemen			
G1	Kesalahan Estimasi Biaya	60,71	C	3
G2	Kesalahan Estimasi Waktu	46,43	C	3
G3	Kurangnya Kontrol dan Komunikasi	46,43	C	3
G4	Perubahan Lingkup Pekerjaan	62,50	C	3
G6	Ketidakmampuan Perencanaan Manajemen	46,43	C	3
G7	Tingkat Disiplin Manajemen yang Rendah	46,43	C	3

Hasil Penilaian Kategori Risiko

Setelah dilakukan analisis variabel menggunakan *Severity Index*, maka dapat dilakukan analisa risiko dengan matriks Probabilitas dan Dampak

Tabel 9. Risiko Dominan Probabilitas Terhadap Waktu

Kode	Indikator Risiko	P	I	P x I	Keterangan Risiko
A1	Keterlambatan Pembayaran	4	4	16	Tinggi
C1	Ketersediaan Material	4	4	16	Tinggi
C5	Keterlambatan Pengiriman Material	4	4	16	Tinggi
D1	Kesalahan Desain	4	4	16	Tinggi
E6	Cuaca Tak Menentu	4	4	16	Tinggi

Tabel 10. Risiko Dominan Probabilitas Terhadap Biaya

Kode	Indikator Risiko	P	I	P x I	Keterangan Risiko
C1	Ketersediaan Material	4	4	16	Tinggi
C3	Kenaikan Harga Material	4	4	16	Tinggi

Kode	Indikator Risiko	P	I	P x I	Keterangan Risiko
C5	Keterlambatan Pengiriman Material	4	4	16	Tinggi
D1	Kesalahan Desain	4	4	16	Tinggi

Hasil Respon Risiko

Sebagai risiko yang dengan tingkat risiko “Tinggi”, akibat yang ditimbulkan juga semakin signifikan maka dilakukan diskusi bersama responden guna memperoleh penanganan yang tepat. Respon risiko yang diberikan terhadap risiko tersebut berdasarkan pemetaan respon risiko.

Tabel 11. Respon Risiko Dominan Terhadap Waktu dan Biaya

Kode	Indikator Risiko	Respon Risiko	Pengendalian
A1	Keterlambatan Pembayaran (Risiko Terhadap Waktu dan Biaya)	Menghindari	1. Menganalisis kemampuan keuangan. 2. Mengupayakan pengawasan pada anggaran biaya yang telah ditetapkan di dalam kontrak agar sesuai dengan perencanaan
C1	Ketersediaan Material (Risiko Terhadap Waktu dan Biaya)	Menghindari	1. Melakukan pemesanan pada hari sebelumnya 2. Dibutuhkan perhitungan estimasi material yang handal. 3. Mengupayakan <i>cashflow</i> yang stabil. 4. Membuat <i>material tracking</i> dan memonitoring serta menyiapkan tempat menyimpan material. 5. Pelaksana bertanggung jawab secara penuh agar material terus tersedia.
C3	Kenaikan Harga Material (Risiko Terhadap Biaya)	Menghindari	1. Membuat detail rencana anggaran pelaksanaan secara menyeluruh baik dari segi tenaga, alat, dan material. 2. Disarankan agar membeli material secara <i>cash</i> pada awal berjalannya proyek.
C5	Keterlambatan Pengiriman Material (Risiko Terhadap Waktu dan Biaya)	Menghindari	1. Diperlukan daftar prioritas <i>supplier</i> serta evaluasi pada setiap periode. 2. Membuat rekayasa ulang pengaturan urutan pelaksanaan pekerjaan. 3. Bergantung pada distributor dan ekspediter profesional.
D1	Kesalahan Desain (Risiko Terhadap Waktu dan Biaya)	Menghindari	1. Memastikan bahwa mereka memiliki pengalaman yang memadai untuk pekerjaan yang diperlukan, menggunakan tim proyek yang kompeten. 2. Setiap gambar kerja harus digambar dengan jelas untuk menghindari ambiguitas selama proses dan pasca konstruksi. 3. Perlunya lebih memperhatikan item-item yang terdapat pada gambar rencana agar tidak terjadi pengurangan item pada saat dilakukan CCO (<i>Contract Change Order</i>).
E6	Cuaca Tak Menentu (Risiko Terhadap Waktu)	Menghindari	1. Mendahulukan pekerjaan yang berada di luar ruangan dan membuat rencana kerja yang efektif dan tidak terpengaruh dengan kondisi cuaca.

4. KESIMPULAN

Mengacu pada hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisis didapatkan 7 variabel dan 40 indikator risiko proyek terhadap waktu dan biaya. Pada variabel tersebut diantaranya yaitu risiko kontraktual, risiko pelaksanaan, risiko material dan

- peralatan, risiko desain dan teknologi, risiko *force majeure*, risiko tenaga kerja, dan risiko manajemen yang terjadi pada pelaksanaan proyek pembangunan Gedung C dan D Institut Teknologi Kalimantan.
2. Berdasarkan hasil analisis didapatkan 6 risiko dominan terkait waktu dan biaya yaitu; keterlambatan pembayaran, ketersediaan material, keterlambatan pengiriman material, kesalahan disain, cuaca tak menentu, dan kenaikan harga material.
 3. Respon risiko studi ini dilakukan dengan mengupayakan pengawasan pada anggaran biaya yang telah ditetapkan di dalam kontrak agar sesuai dengan perencanaan, selanjutnya melakukan perhitungan estimasi material yang handal, mengupayakan *cash flow* yang stabil, pembelian material secara *cash* pada awal berjalannya proyek, bagian pengadaan wajib mengenali tempat untuk material pengganti, membuat rekayasa ulang pengaturan urutan pelaksanaan pekerjaan, dan bergantung pada distributor dan ekspediter profesional, memastikan karyawan proyek yang berpengalaman, gambar kerja memiliki informasi yang jelas dan melakukan *review* desain terhadap kondisi lapangan, dan mengutamakan pekerjaan pada luar ruangan guna menghindari cuaca tak menentu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis oleh penulis kepada Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Kalimantan atas terfasilitasinya seluruh kegiatan pelaksanaan pengerjaan studi ini serta tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada tim peneliti yang sudah berkontribusi dari awal sampai dengan penelitian ini dapat terselesaikan.

REFERENSI

- Dewantoro, B. S., & Mardiyanto, A. (2019). *Manajemen Resiko Kerja pada Studi Kasus Jembatan Kali Kuto*. Universitas Semarang.
- Flanagan, R., & Norman, G. (1993). *Risk Management and Construction*. Blackwell Scientific.
- Kountur, R. (2004). *Metode Penelitian untuk Penulisan Skripsi dan Tesis*. Penerbit PPM.
- Majid, M. Z. Abd., & McCaffer, R. (1997). Assessment of Work Performance of Maintenance Contractors in Saudi Arabia. *Journal of Management in Engineering*, 13(5), 91–91. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(1997\)13:5\(91\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(1997)13:5(91))
- Santosa, B. (2009). *Manajemen Proyek: Konsep dan Implementasi*. Graha Ilmu.
- Sitinjak, T. J. R., & Sugiarto. (2006). *LISREL (Social sciences Statistical methods Computer programs)*. Graha Ilmu.
- Situmorang, R., Sari, O. L., & Saputra, A. A. I. (2022). Rencana Keselamatan Konstruksi (Studi Kasus Gedung Laboratorium Terpadu 2 Institut Teknologi Kalimantan). *Compact : Spatial Development Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.35718/compact.v1i2.772>
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Tampubolon, A. J. (2018). *Analisa Faktor-Faktor Risiko Dominan pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi dengan Metode Severity Index (Studi Kasus: Proyek Apartemen Mansyur Residence)*. Universitas Sumatera Utara.
- Walizer. (1987). *Metode dan Analisis Penelitian*. Gramedia.
- Williams, T. M. (1993). Risk-management infrastructures. *International Journal of Project Management*, 11(1), 5–10. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(93\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0263-7863(93)90003-6)
- Yuliana, C. (2017). Manajemen Risiko Kontrak Untuk Proyek Konstruksi. *Rekayasa Sipil*, 11(1), 9–16. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2017.011.01.2>