



JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING & INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY

Published by :



Indonesian Society of
Applied Science (ISAS)



**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY (JACEIT)**

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

Volume 4, Nomor 1, Agustus 2023

e-ISSN. 2723-5378

**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY
(JACEIT)**

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

VOLUME 4, NOMOR 1, AGUSTUS 2023

E-ISSN. 2723-5378

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.52158/](https://doi.org/10.52158/)



Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) adalah sebuah jurnal *blind peer review* yang didedikasikan untuk publikasi hasil penelitian yang berkualitas dalam bidang ilmu Teknik Sipil dan Rekayasa Infrastruktur namun tak terbatas secara implisit. Semua publikasi di junal JACEIT bersifat akses terbuka yang memungkinkan artikel tersedia secara bebas online tanpa berlangganan apapun.

Penerbit

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

Alamat Redaksi

Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

Email: jaceit@isas.or.id; jaceit.isas@gmail.com



Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

ISAS

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id



SAMBUTAN EDITOR

Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) merupakan jurnal ilmiah yang dikelola dan dipublikasikan oleh **Indonesian Society of Applied Science (ISAS)**, yang merupakan suatu perkumpulan dari konsorsium Pusat/Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri se-Indonesia yang berbadan hukum dari Keputusan Menteri dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia **Nomor AHU-0011316.AH.01.07 Tahun 2019** pada tanggal 8 November 2019.

JACEIT terbit sejak Agustus 2020 dengan ISSN Online 2723-5378, SK LIPI Nomor. 0005.27235378/Jl.3.1/SK.ISSN/2020.08 Tanggal 6 Agustus 2020. **JACEIT** diterbitkan dua kali dalam setahun yaitu Bulan Agustus dan Desember. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)* merupakan jurnal ilmiah dengan ruang lingkup bidang teknik sipil antara lain bidang struktur, manajemen konstruksi, geoteknik, hidroteknik, material maju, pemetaan/geomatika/ sistem informasi geografis, teknik lingkungan, transportasi dan rekayasa teknologi infrastruktur. **JACEIT** juga sudah terindeks **Google Scholar, ROAD, Crossref, WorldCat, One Search dan GARUDA**. **JACEIT** memiliki DOI: <https://doi.org/10.52158/>. Kami akan terus berupaya dalam meningkatkan lembaga pengindeks agar dapat meningkatkan impact factor OJS **JACEIT**.

Pada Volume 4 No. 1, Agustus 2023 ini terdiri atas 6 artikel dengan 17 penulis yang berasal dari 4 perguruan tinggi di Indonesia, yaitu Politeknik Negeri Banyuwangi, Universitas Jember, Politeknik Negeri Jakarta dan Universitas Borneo Tarakan.

Penerbitan Jurnal ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, terutama ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para editor dan reviewer yang sudah rela bekerja keras dalam me-review manuskrip hingga layak publish di Jurnal ini. Kami juga mengapresiasi para peneliti dan praktisi yang sudah menjadikan Jurnal **JACEIT** sebagai media untuk publikasi hasil penelitiannya. Membutuhkan usaha lebih keras untuk mendapatkan *submission paper* dari kalangan akademisi dari berbagai Perguruan Tinggi Negeri ataupun Swasta. Diharapkan ada suatu kesediaan kerjasama diantara para editor jurnal di Indonesia dalam *sharing* artikel ilmiah, sehingga bisa memperkaya keilmuan bidang khususnya bidang Teknik Sipil di dalam terbitan Jurnal kami kedepannya.

Semoga manuskrip di Jurnal **JACEIT** dapat menambah khazanah keilmuan dan wawasan ilmiah, khususnya dalam bidang Teknik Sipil. Kritik dan saran membangun tetap kami harapkan untuk perbaikan Jurnal ini.

Banyuwangi, 1 Agustus 2023

Ketua Dewan Redaksi,

Zulis Erwanto, S.T., M.T.





DAFTAR ISI TERBITAN

No.	Judul – Penulis	Halaman
1	Evaluasi Sistem Plambing Instalasi Air Bersih dan Air Kotor Berdasarkan Beban Unit Alat Saniter Di Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep <i>Zulis Erwanto, Achmad Rizal Ghifari, Yuni Ulfiyati</i>	1 - 13
2	Pemanfaatan Limbah Plastik dan Fly Ash Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan <i>Hasrullah Hasrullah, Iif Ahmad Syarif, Fuad Harwadi</i>	14 - 22
3	Analisis Stabilitas Lereng Galian Waduk Brigif Terhadap Perbedaan Tinggi Muka Air Rencana <i>Ardha Dissa Avianza, Andikanoza Pradiptya, Putera Agung Maha Agung</i>	23 - 29
4	Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Struktur Kepala Jembatan <i>Galang Rasyid Januar, Putera Agung Maha Agung</i>	30 - 37
5	Analisis Penetapan Harga Sewa Pada Unit Rumah Susun (Studi Kasus: Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput, Jakarta Selatan) <i>Sofi Yanuar Riska, Dewi Junita K, Samsyul Arifin</i>	38 - 41
6	Probabilitas Ketepatan Biaya Dan Waktu Dengan Metode Monte Carlo Pada Konsep Earned Value Untuk Proyek Jalan <i>Chinta Eva Agustin, Jojok Widodo Soetjipto, Akhmad Hasanudin</i>	42 - 47





Evaluasi Sistem Plumbing Instalasi Air Bersih dan Air Kotor Berdasarkan Beban Unit Alat Saniter Di Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep

Zulis Erwanto^{1*}, Achmad Rizal Ghifari², Yuni Ulfiyati³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹zulis.erwanto@poliwangi.ac.id*, ²rizalghifari26@gmail.com, ³yuniulfi@poliwangi.ac.id

Abstract

Plumbing is an art, piping technology, and equipment to provide clean water to the place to be desired, both in terms of quality, quantity, and continuity to achieve hygienic conditions and comfort in the desired place. The methods of analysis were by estimated the number of residents, the number of visitors, discharge, the diameter of the pipe, the volume of wastewater, and the volume of the septic tank. In the BPKB Service Building, Resort Police of Sumenep, based on the effective floor area, an estimate of the number of residents was obtained as many as 74 people and the number of visitors as many as 37 people. The need for clean water for residents of 7.4 m³/day, and the need for clean water for visitors of 3.7 m³/day. It is necessary to renovate clean water installations by replacing Galvanized / PVC pipe types with PP-R pipe types, meanwhile wastewater installations had recommended to change the diameter of PVC pipes to make them more economical. The diameter of the clean water pipe with the sanitary unit load method tends to be more economical and efficient with a pipe diameter of 32 mm, 2.9 mm thick, and pump capacity of 3.94 m³/hour with the PP-R pipe type, than using the BKI of 2016 method with a galvanized pipe type. The results of the evaluation of the wastewater pipe installation obtained a diameter of 80 mm with the type of PVC pipe, meanwhile the diameter of the wastewater pipe on sanitary devices was 57 mm. The total wastewater volume was 9.65 m³/day, the sludge volume was 1.02 m³/day, and the septic tank volume was 10.67 m³/day.

Keywords: Clean Water, Wastewater, Sanitary Unit Load, Plumbing Installation, BKI of 2016 Method

Abstrak

Plumbing adalah seni, teknologi perpipaan dan peralatan untuk menyediakan air bersih ke tempat yang akan dikehendaki, baik dalam hal kualitas, kuantitas dan kontinuitas untuk mencapai kondisi higienis dan kenyamanan pada tempat yang diinginkan. Metode analisa dengan cara penaksiran jumlah penghuni, penaksiran jumlah pengunjung, penaksiran debit, penaksiran diameter pipa, penaksiran volume air buangan dan penaksiran volume septictank. Pada Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep berdasarkan luas lantai efektif didapatkan penaksiran jumlah penghuni sebanyak 74 orang dan untuk jumlah pengunjung sebanyak 37 orang. Kebutuhan air bersih untuk penghuni sebesar 7,4 m³/hari, kebutuhan air bersih untuk pengunjung sebesar 3,7 m³/hari. Perlu renovasi instalasi air bersih dengan penggantian jenis pipa Galvanis/PVC menjadi jenis pipa PP-R, sedangkan pada instalasi air kotor direkomendasikan perubahan diameter pipa PVC agar lebih ekonomis. Diameter pipa air bersih dengan metode beban unit alat saniter cenderung lebih ekonomis dan efisien dengan diameter pipa 32 mm, tebal 2,9 mm, kapasitas pompa 3,94 m³/jam dengan jenis pipa PP-R, daripada menggunakan metode BKI 2016 dengan jenis pipa galvanis. Hasil evaluasi instalasi pipa air kotor diperoleh diameter sebesar 80 mm dengan jenis pipa PVC, sedangkan diameter pipa air kotor pada alat-alat saniter sebesar 57 mm. Volume air buangan total sebesar 9,65 m³/hari, volume lumpur sebesar 1,02 m³/hari dan volume septictank sebesar 10,67 m³/hari.

Kata kunci: Air Bersih, Air Kotor, Beban Unit Alat Saniter, Instalasi Plumbing, Metode BKI 2016

Diterima Redaksi : 28-11-2022 | Selesai Revisi : 13-07-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

Pergeseran pola pembangunan semakin terlihat di era sekarang ini tak lain dikarenakan terbatasnya lahan yang tersedia dan kebutuhan air yang akan digunakan untuk mencukupi kebutuhan para penghuni. Oleh karena itu, diperlukan suatu penyelesaian masalah penyediaan air bersih dan air kotor [1].

Perencanaan sistem plumbing merupakan bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam pembangunan gedung. Sistem plumbing berperan untuk mengalirkan air yang diterima dari pusat keseluruhan ruangan yang membutuhkan. Dengan memperhatikan permasalahan tersebut diharapkan perencanaan sistem plumbing instalasi air bersih dan air kotor di Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep dapat memenuhi standar. Hal



tersebut menunjang tercapainya instalasi yang aman, nyaman dan dapat memenuhi tingkat arsitektural pada bangunan yang direncanakan. Pada perencanaan sistem plambing ini dilakukan analisa berupa penaksiran jumlah penghuni, pengunjung, debit, diameter pipa, volume air dan volume septic tank.

Beberapa penelitian terdahulu terkait sistem plambing instalasi air bersih dan air kotor antara lain seperti [2], [3], [4], [5], [6].

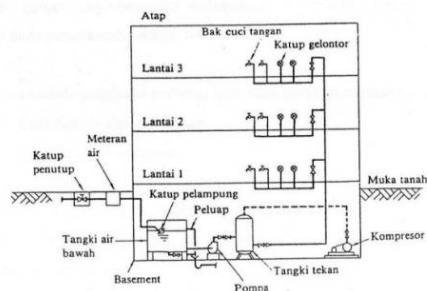
1.1 Pengertian Sistem Plambing

Plambing adalah seni dan teknologi pemipaan dan peralatan untuk menyediakan air bersih ke tempat yang dikehendaki dan membuang air bekas (kotor) dari tempat tertentu tanpa mencemarkan bagian penting lainnya untuk mencapai kondisi higienis dan kenyamanan yang diinginkan [7].

1.2 Jenis Sistem Plambing

1.2.1 Sistem Aliran Air Bersih

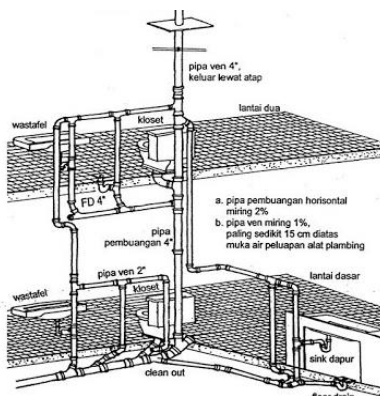
Sistem Aliran air bersih adalah sistem yang langsung berhubungan dengan konsumen, yang mempunyai fungsi pokok mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem aliran air bersih [8]

1.2.1 Sistem Aliran Air Kotor

Sistem Aliran Air kotor merupakan sistem instalasi untuk menyalurkan air kotor yang berasal dari tempat-tempat air di suatu bangunan seperti dapur, kamar mandi, wastafel, dll, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Aliran Air Kotor [9]

Persyaratan instalasi air kotor

- Ukuran pipa
- Kemiringan pipa sesuai ukuran dan keperuntukkannya
- Aliran air kotor di dalam pipa

1. Standart Ukuran Pipa Air Kotor

Tabel 1. Ukuran Pipa Air Kotor yang Digunakan [10]

No	Diameter Nominal (LW)	Diameter Dalam Minimal (mm)
1	50	49
2	57	56
3	69	67
4	80	78
5	100	98
6	118	115
7	125	122
8	150	146
9	200	187
10	250	234
11	300	282

- Nilai unit alat saniter air kotor, trap, pipa penghubung akhir
 Setiap alat saniter mempunyai nilai unit yang ditulis dengan Aws yaitu 1 Aws = 1 l/d (liter per detik).

Tabel 2. Jenis Unit Beban Alat Saniter Sistem Air Kotor dan Ukuran Trap Pipa Penghubung Akhir [10]

Alat Saniter	Nilai Unit (Aws)	Trap	Pipa penghubung akhir
Wastafel, bidet, bak cuci tangan sampai 3ujung	0,5	40	50
Bath tub, dus, bak cuci tangan 4 – 10 ujung, urinal, meja cuci piring atau ganda, mesin cuci pakaian sampai 6 kg	1	50	57
Pengering lantai DN 57	1	57	57
Mesin cuci piring besar, mesin cuci pakaian 7 – 12 kg	1,5	57	69
Pengering lantai DN 69	1,5	69	80
Berbagai macam WC, mesin cuci pakaian 13 – 40 kg	2,5	80	100
Pengering lantai DN 80-100	2,5	80-100	100

3. Pipa Tegak

Tabel 3. Penentuan Ukuran Pipa Tegak dengan Sistem Ven Utama [10]

Total Aws	Aws Terbesar	Total max jumlah WC	Perlantai max jumlah WC	Diameter pipa Tegak	Debit max yang diijinkan
3	1,0	-	-	57	1,3
7	1,0	-	-	69	2,0
20	1,0	-	-	80	3,0
70	1,5	14	6	100	4,2
100	2,5	20	7	118	5,0
150	2,5	30	10	125	6,1
400	2,5	80	22	150	10,0

1.3 Penyediaan Air Bersih

Sistem penyediaan air bersih ini pada dasarnya menyediakan segala kebutuhan air bersih yang berasal dari PDAM yang letaknya lebih tinggi dari pada letak lokasi Gedung Pelayanan BPKB polres sumenep.

Pemakaian air bersih pada tiap- tiap gedung berbeda tergantung jumlah penghuninya dan luas dari

bangunan. Jumlah pemakaian air rata-rata per hari dapat dilihat pada Tabel 4.

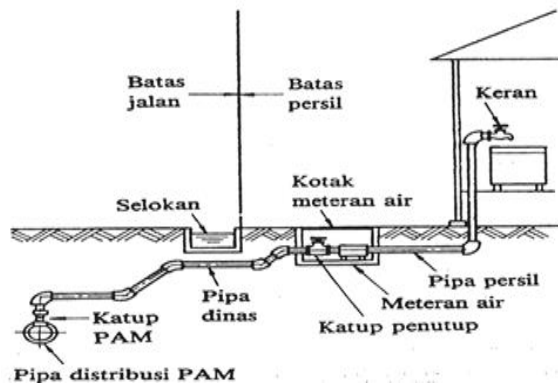
Tabel 4. Jumlah pemakaian air rata-rata per hari [11]

Jenis Gedung	Pemakaian rerata sehari (liter)	Jangka waktu pemakaian rerata sehari (jam)	Perbandingan luas lantai total (%)	Ket
Perumahan mewah	250	8-10	42-45	Setiap penghuni
Rumah biasa	160-250	8-10	50-53	Setiap penghuni
Apartement	200-250	8-10	45-50	Mewah 250 liter Menengah 180 liter Bujangan 100 liter
Asrama	120	8	45-50	Bujangan
Rumah sakit	Mewah > 1000 Menengah 500-1000 Umum 350-500	8-10	45-48	(Setiap tempat tidur pasien) Pasien Luar 8 liter Keluarga 160 liter Staff 120 liter
Sekolah dasar	40	5	58-60	Guru 100 liter
SLTP	50	6	58-60	Guru 100 liter
SLTA atau PT	80	6		Guru/dosen 100 liter
Rumah Toko	100-200	8		Penghuni 120 liter
Gedung Kantor	100	8	50-60	Setiap pegawai
Toserba	3	7	55-60	Pemakaian hanya untuk kakus belum termasuk restoran
Pabrik/Industri	Pria 60	8		Perorang setiap giliran
Stasiun/Terminal	3			Setiap Penumpang
Restoran	30			Penghuni 100 liter Pegawai 160 liter Pelayan 160 liter 70% tamu perlu 15 liter untuk kakus
Restoran Umum	15	7		
Gedung Pertunjukan	30	5	53-55	Setiap penonton (untuk 1kali)
Gedung Bioskop	10	3		Setiap penonton (untuk 1 kali)
Toko Pengecer	40	6		30 liter/tamu 150 liter/staf atau 5 liter perhari
Hotel	250-300	10		Setiap tamu Staf 120-150 liter Penginapan 120 liter
Peribadatan	10	2		Jumlah Jemaah
Perpustakaan	25	6		Setiap pembaca
Bar	30	6		Setiap tamu
Perk Sosial	30			Setiap tamu
Kelab Malam	120-350			Setiap tamu
Gedung perkumpulan	150-200			Setiap tamu
Laboratorium	100-200			Setiap staf

Sistem penyediaan air bersih yang sekarang ini sering digunakan dan diaplikasikan di dalam bangunan adalah:

a. Sistem sambungan langsung

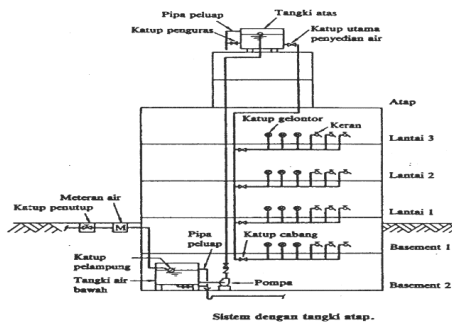
Pipa distribusi dalam gedung disambung langsung dalam pipa utama penyediaan air bersih seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Sambungan Langsung [8]

b. Sistem Tangki Atas

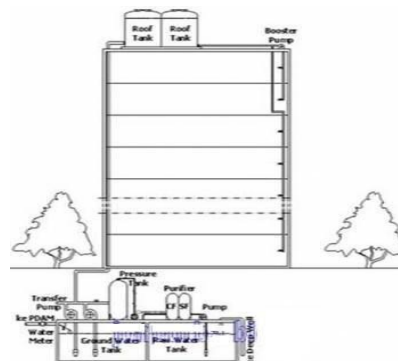
Air di tampung terlebih dahulu dalam tangki bawah (dipasang pada lantai terendah bangunan atau di bawah muka air tanah), kemudian dipompakan ke tangki atas atau di atas lantai tertinggi bangunan yang kemudian dari tangki ini air didistribusikan ke seluruh bangunan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem Tangki Atas [9]

c. Sistem Tangki Tekan

Air yang telah ditampung dalam tangki bawah dipompakan kedalam suatu tangki tertutup sehingga udara di dalamnya terkompresi. Kemudian air dialirkan kedalam sistem distribusi bangunan pompa bekerja secara otomatis yang di atur oleh suatu detektor tekanan yang menutup/membuka saklar listrik penggerak pompa yang pompanya akan berhenti bekerja apabila tekanan tangki telah mencapai suatu batas maksimum. Udara yang telah terkompresi akan menekan air ke dalam sistem distribusi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sistem Tangki Tekan [8]

d. Sistem Tanpa Tangki

Inti dari sistem ini adalah tidak dipakainya tangki dengan jenis apapun seperti tangki atap atau pun tangki tekan. Air langsung dipompakan menuju sistem distribusi bangunan dan menyedot air langsung dari pipa utama.

Dengan menggunakan unit alat beban alat saniter dilakukan penentuan nilai unit alat saniter kumulatif pada tingkat lantai tersebut. Berikut ini merupakan jenis unit beban alat saniter pada Tabel 5.

Tabel 5. Jenis Unit Beban Alat Saniter Sistem Air Bersih [10]

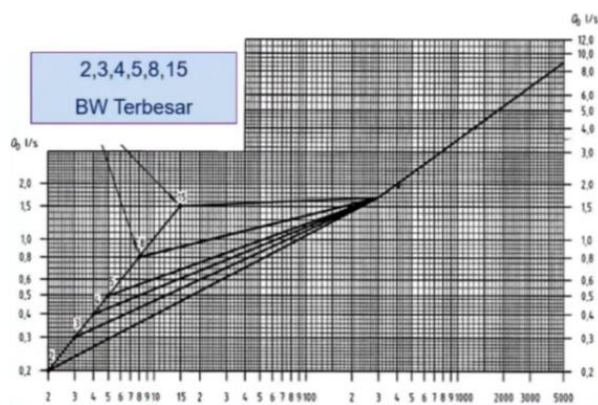
Alat Saniter	Debit (L/s)	Debit Min (L/s)	Beban Unit Alat Saniter (BW)
Water Closet (WC), Bidet, Lavatory, Wastafel, Floor Draine, Kran Air	0,1	0,1	1
Sink, Shower, Mesin cuci piring, Mesin cuci	0,2	0,15	2
Urinoar (UR)	0,3	0,15	3
Bath Tub	0,4	0,3	4
Kran Kebun	0,5	0,4	5
Sink dan Mesin cuci komersial, Bath Tub with Spout	0,8	0,8	8
Flusing, WC Katub Gelontor	1,5	1,0	15

Selanjutnya menggunakan tabel jenis pipa PP-R untuk mengetahui beban unit alat plambing dan diameter pipa yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Beban dan Diameter Pipa PP-R [10]

Max. Σ BW	BW Max	Diameter Luar (mm)	Max. Panjang (m)
1	-	16	20
2	-	16	12
3	2	16	8
3	-	20	15
4	-	20	9
6	4	20	7
13	5	25	-
30	8	32	-
70	-	40	-
200	-	50	-
540	-	63	-
970	-	75	-

Selanjutnya menggunakan diagram beban dan debit pemakaian untuk mengetahui beban unit plambing dan debit pemakaiannya dapat dilihat pada Gambar 6.



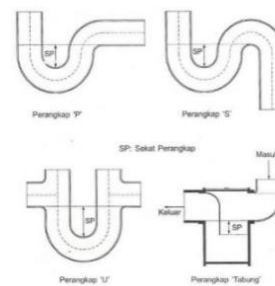
Gambar 6. Diagram Beban Dan Debit Pemakaian [10]

1.4 Penyaluran Air Buangan

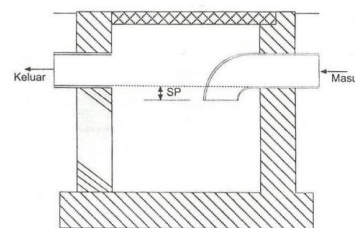
Air buangan yang berasal dari toilet, tempat mencuci piring wastafel ditampung dalam bak penampung yang di desain khusus untuk menampung air kotor seperti urine, tinja, air sabun, dan lain-lain. Air buangan yang biasanya mengandung bagian-bagian yang padat

ditampung ke dalam bak septic tank. Didalam septic tank bagian zat padat dipisahkan dari air kotor dengan diendapkan terlebih dahulu, Kemudian hasilnya diambil dan dapat digunakan sebagai pupuk untuk tanaman. Pipa pembuangan harus mempunyai ukuran dan kemiringan yang cukup dan sesuai banyak dan jenis air buangan yang di alirkan [12].

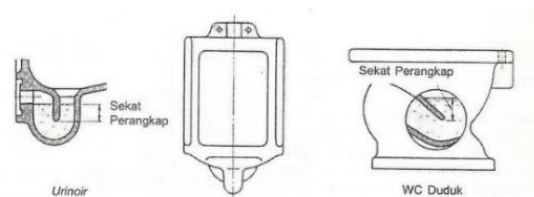
Untuk menghindari masuknya udara yang baunya tidak sedap, maka pada saluran pembuangan dipasang perangkat udara, berupa genangan air yang tertahan akibat adanya sekat perangkat (menggunakan konsep pipa bejana berhubungan). Perangkat udara dapat berbentuk pipa tabung Gambar 7, bak kontrol Gambar 8, atau leher angsa Gambar 9. Perangkat udara ini juga dapat mencegah masuknya binatang kecil (kecoa, tikus, dll) ke dalam ruangan melalui pipa.



Gambar 7. Perangkat udara dan pipa tabung [12]



Gambar 8. Bak kontrol [12]



Gambar 9. Leher Angsa [12]

1.5 Analisa Penyediaan Air Bersih

Dalam tinjauan air bersih terdapat tahapan perhitungan dan metode yang dapat digunakan secara garis besar tinjauan air bersih sebagai berikut:

1) Perkiraan jumlah penghuni

Metode dalam menaksirkan jumlah penghuni didasarkan pada pemakaian air rata-rata perhari dari setiap penghuni dan perkiraan jumlah penghuni.

Rumus untuk penaksiran jumlah penghuni dan penginap dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$\sum h = \frac{Lr \times C}{L_{keb}} \quad (1)$$

dengan $\sum h$ adalah Jumlah penghuni orang, L_{keb} adalah luas kebutuhan masing-masing orang (m^2), Lr adalah Luas ruang (m^2), C adalah koefisien lantai efektif (60% dapat dilihat pada Tabel 4. kebutuhan air rata-rata per orang setiap hari).

2) Perkiraan jumlah pengunjung

Penaksiran jumlah pengunjung 5% dari pemakaian air bersih penghuni dikarenakan tidak semua pengunjung menggunakan fasilitas air bersih [8]. Dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$Q_{sehari} = \text{jumlah pengunjung} \times Q_r \times 5\% \quad (2)$$

dengan Q_{sehari} adalah pemakaian air sehari (m^3 /hari), Q_r adalah kebutuhan air perorang (liter/hari/orang) (Tabel 4. pemakaian air rata-rata per orang setiap hari).

3) Perkiraan jumlah debit kebutuhan air bersih

Penaksiran jumlah debit dapat dihitung dengan menentukan debit aliran perhari, per jam dan puncak debitnya yang dinyatakan sebagai berikut:

a. Debit Aliran perhari

Dengan memilih standar pemakaian air perorang sehari berdasarkan jenis penggunaan gedung, Pemakaian air sehari dinyatakan pada persamaan 3.

$$Q_{sehari} = \sum h \times Q_r \quad (3)$$

Dan diperkirakan perlu tambahan sampai 20% untuk mengatasi kebocoran, pancuran air, dsb [8]. Sehingga pemakaian rata-rata sehari hitung dengan persamaan 4.

$$Q_d = 1,2 \times Q_{sehari} \quad (4)$$

Pemakaian air rata-rata dapat juga di hitung dengan membaginya untuk 8 jam. Pemakaian air rata-rata dapat dilihat pada persamaan 2.5

$$Q_h = Q_d \div T \quad (5)$$

dengan Q_{sehari} adalah pemakaian air sehari (m^3 /hari), Q_r adalah kebutuhan air perorang (liter), Q_h adalah pemakaian rata-rata perjam (m^3 /jam), Q_d adalah Pemakaian air rata-rata sehari (m^3), dan T adalah jangka waktu pemakaian (jam).

b. Puncak Debit

Pada waktu-waktu tertentu pemakaian air ini akan melebihi pemakaian rata-rata, dan yang tertinggi dinamakan pemakaian air jam puncak menit puncak dihitung dengan persamaan 6 dan persamaan 7.

$$Q_{h_{maks}} = Q_h \times C1 \quad (6)$$

$$Q_{m_{maks}} = (Q_h/60) \times C2 \quad (7)$$

dengan $Q_{h_{maks}}$ adalah jam-puncak (m^3 /jam), $Q_{m_{maks}}$ adalah menit-puncak (m^3 /menit), $C1$ adalah berkisaran antara 1,5 sampai 2,0 bergantung pada lokasi, sifat pengguna gedung dan sebagainya, $C2$ adalah berkisaran antara 3,0 sampai 4,0

4) Perhitungan Diameter Pipa

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.432>

Ada beberapa metode dalam menghitung rumus diameter pipa, tebal pipa, dan kapasitas pompa dinyatakan sebagai berikut berdasarkan BKI 2016 [13]:

a. Diameter Pipa pada persamaan 8

$$d_h = 3,0\sqrt{(B + H)\ell^1} + 5mm \quad (8)$$

dengan d_h adalah diameter pipa (mm), ℓ^1 adalah panjang pipa (m), B adalah beda tinggi pipa (m), dan H adalah panjang kenie (cm).

Untuk menentukan diameter pipa dapat dilihat pada ukuran pipa yang ditetapkan oleh JIS Tabel 7.

Tabel 7. Standart Ukuran Pipa Baja [14]

Insert Diameter (mm)	Nominal Size (inc)	Outside Diameter (mm)	SGP Tebal Min (mm)	Schedule 40 (mm)	Schedule 40 (mm)
6	0,25	10,5	2,0	1,7	2,4
10	0,375	17,3	2,3	2,3	3,2
15	0,5	2,8	2,8	2,8	3,7
20	0,25	27,2	3,2	2,9	3,9
25	1	34,0	3,5	3,4	4,5
32	1,25	42,7	3,5	3,6	4,9
40	1,5	48,6	3,8	3,7	5,1
50	2	60,5	4,2	3,9	5,5
65	2,5	76,3	4,2	5,2	7,0
80	3	89,1	4,5	5,5	7,6
100	4	114,3	4,5	6,0	8,6
125	5	139,8	5,0	6,6	9,5
150	6	165,2	5,8	7,1	11,0
200	8	216,3	6,6	8,2	12,7
250	10	267,4	6,9	9,3	-
300	12	318,5	7,9	10,3	-
350	14	355,6	7,9	11,3	-
400	16	406,4	-	12,7	-
450	18	457,2	-	-	-
500	20	508,0	-	-	-

b. Perhitungan Tebal Pipa pada persamaan 9

$$S = S_o + C + b \text{ (mm)} \quad (9)$$

$$S_o = \frac{(d_a \times PR)}{20 \times \sigma \text{ perm} \times V + PR} \quad (10)$$

dengan S adalah ketebalan minimum (mm), S_o adalah perhitungan ketebalan (mm), d_a adalah diameter luar pipa (mm), $\sigma \text{ perm}$ adalah ketentuan tekanan (N/mm), V adalah faktor efisiensi, C adalah korosi sea water lines (mm), b adalah penyisihan lengkungan (mm).

c. Kapasitas Pompa pada persamaan 11

$$Q = 5,75 \times 10^{-3} \times dh^2 \quad (11)$$

Dengan Q adalah kapasitas air yang ditampung dengan 1 buah pompa + 1 cadangan, dh adalah diameter dalam pipa (mm)

1.6 Analisis Jumlah Air Kotor

a. Perhitungan Volume Air Buangan persamaan 12

$$a = Q_{total} \times 80\% \quad (12)$$

Dengan a adalah volume air buangan (m^3 /hari), Q_{total} adalah jumlah debit total (m^3 /hari).

b. Perhitungan Volume Tangki Air Buangan / Septic Tank

Untuk mencari volume lumpur, digunakan produk lumpur seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Produk Lumpur [15]

Jenis Gedung	Kapasitas Produk Lumpur (ltr/org/th)
Perumahan mewah	50
Rumah biasa	15
Apartemen	20 – 25
Asrama	12
Rumah sakit	Mewah > 100 Menengah 50 – 80 Umum 40 – 50
Sekolah dasar	40
SLTP	50
SLTA atau PT	80
Rumah Toko	15-20
Gedung kantor	30
Toserba	3
Pabrik/Industri	75

Rumus menghitung volume lumpur dapat lihat pada persamaan 13

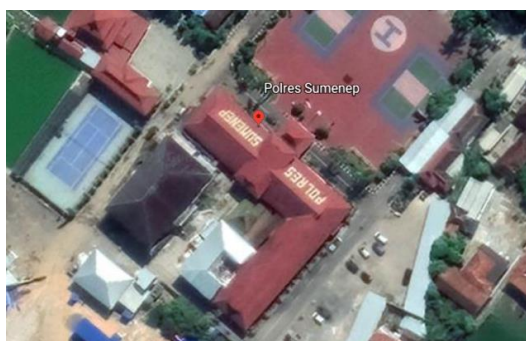
$$V_{lumpur} = \frac{\text{jumlah penghuni (org)}}{\text{produk lumpur (ltr)}} \times \text{waktu pengurusan} \quad (13)$$

Jadi untuk menghitung volume septic tank digunakan persamaan 14.

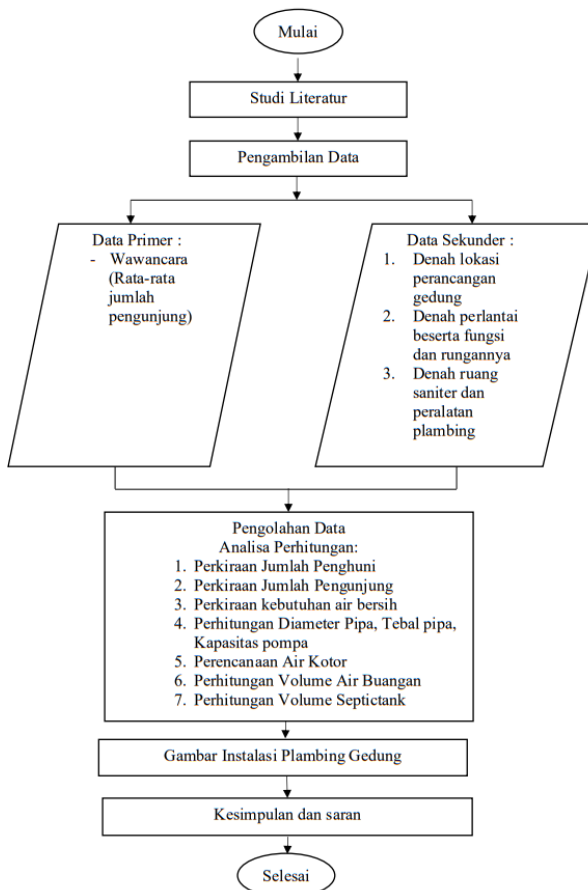
$$V_{septic\ tank} = \text{volume air buangan} + \text{volume lumpur} \quad (14)$$

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada proyek Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep yang beralamat di Jalan Urup Sumoharjo 35 Sumenep. Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep memiliki luas bangunan gedung utama 18 x 38 m2 dengan 2 lantai. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 10. Tahapan dapat dilihat dalam bagan alir penelitian Gambar 11.



Gambar 10. Lokasi Proyek Pembangunan Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep



Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perkiraan Jumlah Penghuni

a. Ruang Informasi

Diketahui Luas ruangan (L_r) adalah $36 m^2$ dan koefisien lantai efektif (C) adalah 0,55 (dapat dilihat pada Tabel 4 berdasarkan kebutuhan air rata-rata perorang setiap hari di ambil nilai tengah yaitu 55%). Luas kebutuhan masing-masing orang (L_{keb}) adalah $5 m^2$. Maka, perkiraan jumlah penghuni dapat di diketahui melalui persamaan 1 sebagai berikut:

$$\sum h = \frac{L_r \times C}{L_{keb}} = \frac{36 m^2 \times 0,55}{5 m^2} = 3,96 \text{ orang} \sim 4 \text{ Orang}$$

Tabel 9. Perkiraan Jumlah Penghuni Gedung Pelayanan BPKB Sumenep

No	Jenis Penggunaan	Jumlah Unit	Luas (m^2)	Koefisien Lantai Efektif	Ruang Dibutuhkan (m^2 /org)	Perkiraan Jumlah Penghuni
Lantai 1						
1	Ruang Informasi	1	36	0,55	5	4
2	e-book	1	36	0,55	5	4
3	Pelayanan dan Pendaftaran	1	36	0,55	5	4
4	Bank dan Penyerahan	1	36	0,55	5	4
5	Ruang Pengaduan	1	4,5	0,55	5	1
6	Ruang Laktasi	1	3	0,55	5	1
7	Ruang Embunsing	1	12	0,55	5	2

No	Jenis Penggunaan	Jumlah Unit	Luas (m ²)	Koefisien Lantai Efektif	Ruang Dibutuhkan (m ² /org)	Perkiraan Jumlah Penghuni
8	Ruang Material	1	12	0,55	5	2
9	Ruang Panel	1	8	0,55	5	1
10	Ruang Genset	1	16	0,55	5	2
Lantai 2						
1	Ruang Rapat	1	36	0,55	5	4
2	Ruang Bour	1	24	0,55	5	3
3	Ruang KRI	1	24	0,55	5	3
4	Ruang IT	1	8,75	0,55	5	1
5	Mushola	1	8,75	0,55	5	1
6	Ruang Staff	1	36	0,55	5	4
7	Ruang Staf Khusus	1	9	0,55	5	1
8	Ruang Pamin	1	9	0,55	5	1
9	Ruang Arsip	1	306	0,55	5	31
JUMLAH			661			74

3.2 Perkiraan Jumlah Pengunjung

Dapat dihitung dengan persamaan 2 dengan pemakaian air rata-rata menurut SNI 03-6481-2000 untuk jenis gedung perkantoran adalah 100.

Diketahui pemakaian air sehari (Q_{sehari}) adalah 7,4 m³/hari, Q adalah kebutuhan air perorang (Q_r) adalah 100 liter/hari/orang (Tabel 4 pemakaian air rata-rata per orang setiap hari).

$$\text{Jumlah pengunjung} = 7,4 \times 100 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} / \text{org} \times 5\% = 37 \text{ orang}$$

3.3 Perkiraan Kebutuhan Air Bersih Penghuni

Diketahui jumlah penghuni orang ($\sum h$) adalah 74 orang, kebutuhan air perorang (Q_r) = 100 (liter) maka, perkiraan kebutuhan air bersih penghuni dapat diketahui dengan persamaan 3 sebagai berikut:

$$Q_{sehari} = \sum h \times Q_r = 74 \text{ Orang} \times 100 \text{ liter} = 7400 \text{ liter} = 7,4 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d = 1,2 \times Q_{sehari} = 1,2 \times 7,4 \text{ m}^3/\text{hari} = 8,88 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Selanjutnya adalah menghitung jangka waktu untuk pemakaian air rata-rata sehari dapat dihitung dengan Persamaan 5. Diketahui pemakaian air rata-rata sehari (Q_d) adalah 8,88 m³/hari, jangka waktu pemakaian (t) adalah 8 jam maka menghitung jangka waktu untuk pemakaian air rata-rata sehari sebagai berikut:

$$Q_h = Q_d \div t = 8,88 \text{ m}^3/\text{h} \div 8 \text{ Jam} = 1,11 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Selanjutnya adalah menghitung pemakaian air pada jam puncak menggunakan rumus pada Persamaan 6 dengan C1 antara 1,5 sampai 2,0 bergantung pada lokasi, sifat pengguna gedung dan sebagainya. Diketahui debit rata-rata per jam (Q_h) adalah 1,11 m³/jam, C1 berkisaran antara 1,5 sampai 2,0 bergantung pada lokasi, sifat pengguna gedung dan sebagainya, C2 berkisaran antara 3,0 sampai 4,0, maka menghitung pemakaian air pada jam puncak sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{m\text{maks}} &= (Q_{h\text{maks}}/60) \times C2 \\ &= (1,11 \text{ m}^3/\text{jam} / 60) \times 3,5 = 0,65 \text{ m}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kebutuhan penyediaan air bersih penghuni pada Tabel 10.

Tabel 10. Kebutuhan Penyediaan Air Bersih Penghuni

Jenis Gedung	Debit sehari (Qd) m ³ /hari	Debit jam puncak (Qh maks) m ³ /jam	Debit menit puncak (Qm maks) m ³ /menit
Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep	8,88	1,94	0,11

3.4 Perkiraan Kebutuhan Air Bersih Untuk Pengunjung

Volume air yang dipakai penghuni untuk sehari menggunakan rumus pada Persamaan 3 dan rata-rata pemakaian dengan Persamaan 4.

$$Q_{sehari} = \sum h \times Q_r = 37 \text{ Orang} \times 100 \text{ liter} = 3700 \text{ liter} = 3,7 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d = 1,2 \times Q_{sehari} = 1,2 \times 3,7 \text{ m}^3/\text{hari} = 4,44 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pemakaian air rata-rata dapat dihitung dengan Persamaan 5. Diketahui pemakaian air rata-rata sehari (Q_d) adalah 4,44 m³/hari, jangka waktu pemakaian (t) adalah 8 jam, maka menghitung jangka waktu untuk pemakaian air rata-rata sehari sebagai berikut:

$$Q_h = Q_d \div t = 4,44 \div 8 = 0,55 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Pemakaian air pada jam puncak menggunakan rumus pada Persamaan 6 dengan C1 antara 1,5 sampai 2,0 bergantung pada lokasi, sifat pengguna gedung dan sebagainya dan C2 antara 3,0 sampai 4,0.

$$\begin{aligned} Q_{h\text{maks}} &= Q_h \times C1 = 0,55 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1,75 = 0,97 \text{ m}^3/\text{jam} \\ Q_{m\text{maks}} &= (Q_{h\text{maks}}/60) \times C2 \\ &= (0,97 \text{ m}^3/\text{jam} / 60) \times 3,5 = 0,05 \text{ m}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Hasil kebutuhan penyediaan air bersih untuk pengunjung pada Tabel 11.

Tabel 11. Kebutuhan Penyediaan Air Bersih Pengunjung

Jenis Gedung	Debit sehari (Qd) m ³ /hari	Debit jam puncak (Qh maks) m ³ /jam	Debit menit puncak (Qm maks) m ³ /menit
Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep	4,44	0,97	0,05

Dari hasil perhitungan diatas rekapitulasi jumlah kebutuhan air bersih pada Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Air Bersih

Jenis Pengguna	Qd m ³ /jam	Qh. Maks m ³ /jam	Qm. Maks m ³ /Jam
Penghuni	8,88	1,94	0,11
Pengunjung	4,44	0,97	0,05
Total	13,32	2,91	0,16

3.5 Perhitungan Diameter Pipa, Tebal Pipa, Dan Kapasitas Pompa

3.5.1 Pengukuran Pipa

Dari hasil pengukuran panjang pipa dan berdasarkan data yang didapat pada instalasi air bersih Gedung

Pelayanan BPKB Polres Sumenep, didapat data sebagai berikut Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Pengukuran Panjang dan Diameter Pipa

Pipa	Panjang (m)	Diameter (mm)
1	40	40
2	19	25
3	11	20

3.5.2 Pengukuran Elevasi

Pada pengambilan data elevasi menggunakan alat GPS yang nantinya memiliki hasil elevasi ketinggian diatas permukaan laut. Hasil pengukuran menggunakan GPS dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Pengukuran Elevasi

Titik	Elevasi (mdpl)
1	190
2	188
3	188
4	188
5	189
6	189
7	189
8	190
9	190
10	190

Setelah menentukan pengukuran dan elevasi yang digunakan pada proyek maka selanjutnya akan menghitung Diameter Pipa, Tebal Pipa, Dan Kapasitas pompa berdasarkan BKI 2016 dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

Sebagai contoh perhitungan pada Pipa 1 diketahui panjang pipa (ℓ^1) adalah 40 (m), beda tinggi pipa (B) adalah 2 (mdpl), panjang kenei (H) adalah 4 (cm), maka menghitung diameter pipa sebagai berikut:

$$d_h = 3,0\sqrt{(B + H)\ell_1} + 5mm$$

$$= 3,0\sqrt{(2 + 4)40} + 5mm$$

$$= 51 mm$$

Diambil diameter 65 mm ~ 2,5 inc (Tabel 7 Standart Ukuran Pipa 'JIS' 2002). Hasil rekap perhitungan dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Diameter Pipa Pada Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep

Pipa	Panjang (m)	Beda Tinggi (mdpl)	Kenie (cm)	Diameter (mm)	Diameter (inc)
1 – 2	40	2	4	65	2,5
2 – 3	19	0	4	32	1,25
3	11	0	4	25	1

Perhitungan Tebal Pipa pada persamaan 9 sebagai berikut yaitu diketahui diameter dalam pipa terdekat dengan pompa diambil sebesar 65 mm ~ 2,5 inci, ketebalan minimum (S) adalah 4,2 mm, diameter luar pipa (d_a) adalah 76,3 (mm), ketentuan tekanan BKI DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.432>

(PR) adalah 16 Bar, ketentuan tekanan ($\sigma perm$) adalah 80 N/mm, faktor efisiensi (V) adalah 1,00, korosi sea water lines (C) adalah 3,00, penyisihan lengkungan (b) adalah 0, maka menghitung tebal pipa sebagai berikut:

$$S_o = \frac{(d_a \times PR)}{(20 \times \sigma perm \times V) + PR}$$

$$S_o = \frac{(76,3 mm \times 16)}{(20 \times 80 N/mm \times 1,00) + 16} = 0,75 mm$$

$$S = S_o + C + b(mm)$$

$$S = 0,75 mm + 3 mm + 0 = 3,75 mm$$

Perhitungan kapasitas Pompa pada persamaan 11 yaitu diketahui diameter Dalam pipa (d_h) adalah 65 (mm) maka menghitung kapasitas pompa sebagai berikut:

$$Q = 5,75 \times 10^{-3} \times dh^2$$

$$Q = 5,75 \times 10^{-3} \times 65^2 = 24,29 m^3/jam$$

Spesifikasi pompa dapat dilihat pada Gambar 12. Kapasitas menengah sebesar 20 - 60 m³/jam

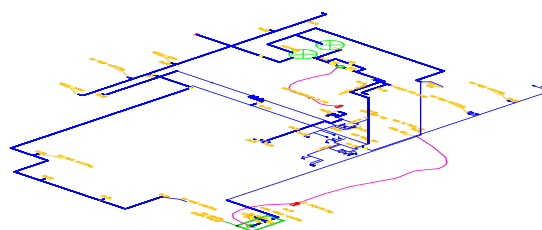


Gambar 12. Jenis Centrifugal Pump

Dari perhitungan diatas didapatkan rekapitulasi perhitungan diameter pipa, tebal pipa, dan kapasitas pompa. Berikut dapat dilihat hasil pada Tabel 16.

Tabel 16. Perhitungan Diameter Pipa, Tebal Pipa, Kapasitas Pompa

Jenis Perhitungan	d_h (mm)	S (mm)	Q m ³ /jam	Pompa (buah)	Pompa Cadangan (buah)
	d_h1	d_h2	d_h3		
Diameter Pipa	65	32	25		
Tebal Pipa	3,75				
Kapasitas Pompa	24,29			1	1



Gambar 13. Isometrik Jaringan Pipa Air Bersih

Pada Gambar 13 isometrik ini untuk tahap selanjutnya dilakukan perhitungan debit kebutuhan (*base demand*) tiap junction perantai sebagai contoh perhitungan pada lantai 1 sebagai berikut:

Diketahui debit total perhari adalah 4,44 m³/hari berdasarkan tabel rekapitulasi jumlah kebutuhan air bersih, junction lantai 1 adalah 17 (sambungan), maka menghitung kebutuhan debit tiap junction sebagai berikut:

$$Q_{in\ total} = Q \div \text{Junction}$$

$$= 4,44 \div 17$$

$$= 0,26 \text{ liter/dtk}$$



Gambar 14. Perencanaan Sistem Plambing Air Bersih Lantai 1



Gambar 15. Perencanaan Sistem Plambing Air Bersih Lantai 2

3.5.3 Pengukuran Pipa Berdasarkan Beban Unit Saniter

Dari jumlah unit beban alat saniter dan berdasarkan data yang didapat pada instalasi air bersih Gedung Pelayanan BPKB Polres dapat dilihat pada Tabel 17 berikut:

Tabel 17. Jumlah Alat Saniter Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep

Alat Saniter	Jumlah	Unit Beban (BW) (Tabel 5)
Lantai 1		
Kloset	4	1
Urinoar	3	3
Floor Drain	4	1
Kran Air	1	1
Lantai 2		
Kloset	3	1
Wastafel	1	1
Urinoar	3	3
Floor Drain	3	1

Selanjutnya dilakukan perhitungan diameter pipa dengan menggunakan unit beban alat plambing per lantai untuk mengetahui debit yang akan dibutuhkan sebagai contoh perhitungan pada lantai 1 sebagai berikut:

$$4 \text{ WC} = 4 \times 1 \text{ BW} = 4 \text{ BW} \sim \varnothing 16 \text{ mm}$$

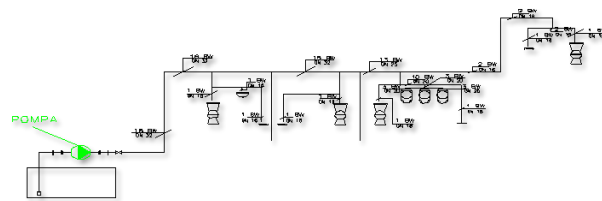
$$3 \text{ UR} = 3 \times 3 \text{ BW} = 9 \text{ BW} \sim \varnothing 20 \text{ mm}$$

$$4 \text{ FD} = 4 \times 1 \text{ BW} = 4 \text{ BW} \sim \varnothing 16 \text{ mm}$$

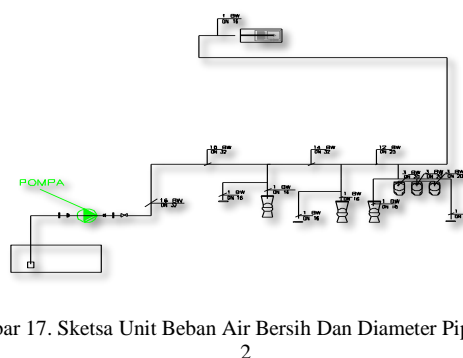
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.432>

$$1 \text{ KA} = 1 \times 1 \text{ BW} = 1 \text{ BW} \sim \varnothing 16 \text{ mm}$$

Total beban unit adalah 18 BW $\sim \varnothing 32 \text{ mm}$ (Tabel 6 beban dan diameter pipa PP-R). Beban unit alat saniter terbesar adalah 3 BW (diambil dari beban alat saniter terbesar). Dari data total beban dan beban unit terbesar, diplotingkan ke diagram Gambar 6.



Gambar 16. Sketsa Unit Beban Air Bersih Dan Diameter Pipa Lantai 1



Gambar 17. Sketsa Unit Beban Air Bersih Dan Diameter Pipa Lantai 2

Kapasitas Pompa pada persamaan 11 (Berdasarkan BKI 2016) diketahui diameter luar pipa adalah 32 mm, diameter dalam pipa adalah 26,2 mm (berdasarkan hasil perhitungan total beban unit menggunakan jenis pipa PP-R), spesifikasi tebal pipa PP-R adalah 2,9 mm dengan tekanan 10 bar. Maka menghitung kapasitas pompa sebagai berikut:

$$Q = 5,75 \times 10^{-3} \times dh^2$$

$$Q = 5,75 \times 10^{-3} \times 26,2^2 = 3,94 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dari 2 metode perhitungan diatas didapatkan rekapitulasi perhitungan pada Tabel 18, 19 dan 20.

Tabel 18. Rekapitulasi Perhitungan Pipa dan Pompa Pada Alat Saniter Metode BKI 2016

Jenis Perhitungan	Metode BKI 2016			
	d_h (mm)	S (mm)	Q m ³ /jam	Pompa (buah)
Diameter Pipa	65			
Tebal Pipa		3,75		
Kapasitas Pompa			24,29	1
Jenis Pipa	Galvanis			

Tabel 19. Rekapitulasi Perhitungan Pipa dan Pompa Pada Alat Saniter Metode Beban Unit

Jenis Perhitungan	Metode Beban Unit			
	d_h (mm)	S (mm)	Q m ³ /jam	Pompa (buah)
Diameter Pipa	32			
Tebal Pipa		2,9		
Kapasitas			3,94	1

Rumus volume air buangan terdapat pada persamaan 12
 Diketahui kebutuhan debit total penghuni 8,88 (m³/hari), maka menghitung volume air buangan untuk penghuni sebagai berikut:

$$a = Q_{total} \times 80\%$$

$$a = 8,88 \times 80\% = 7,10 \text{ m}^3/\text{hari}$$

2) Perhitungan volume air buangan pengunjung

Rumus volume air buangan terdapat pada persamaan 12. Diketahui kebutuhan debit total pengunjung 4,44 (m³/hari) maka untuk menghitung volume air buangan pada pengunjung sebagai berikut:

$$a = Q_{total} \times 80\%$$

$$a = 4,44 \times 80\% = 3,55 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari perhitungan didapatkan rekapitulasi perhitungan volume air buangan pada Tabel 23.

Tabel 23. Rekap Perhitungan Volume Air Buangan

Jenis Pemakai	Pemakaian air sehari (m ³ /hari)	Volume air buangan sehari (m ³ /hari)	Dimensi sumur resapan (m)
Penghuni	8,88	7,10	1,54 x 2 x 2,3
Pengunjung	4,44	3,55	1,5 x 1,54 x 1,54
Jumlah	13,32	9,65	1,55 x 2,55 x 2,49

3) Perhitungan Volume Septic Tank

Volume septic tank dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Persamaan 13. Diketahui jumlah penghuni adalah 74 orang, produk lumpur = 30 ltr/org/thn (Tabel 9 Produk lumpur). Maka untuk menghitung volume air lumpur sebagai berikut:

$$V_{lumpur} = \frac{\text{jumlah penghuni (org)}}{\text{produk lumpur (ltr/org/thn)}} \times \text{waktu pengurasan}$$

$$V_{lumpur} = \frac{74 \text{ (org)}}{30 \text{ (ltr/org/thn)}} \times 5 \text{ tahun}$$

$$= 12,33 \text{ lt/th} = 1,02 \text{ m}^3/\text{hari}$$

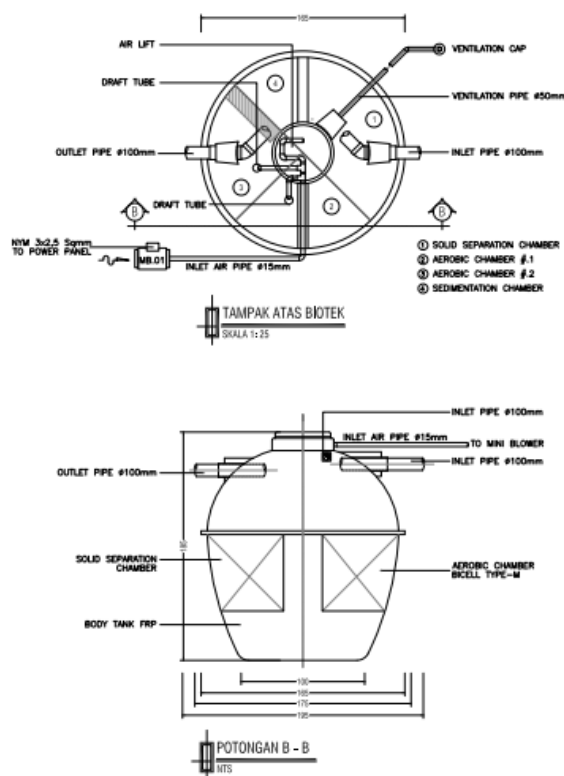
Setelah mengetahui volume air buangan total maka untuk mengetahui volume septic tank dapat digunakan persamaan 14.

$$V_{septictank} = \text{volume air buangan} + \text{volume lumpur}$$

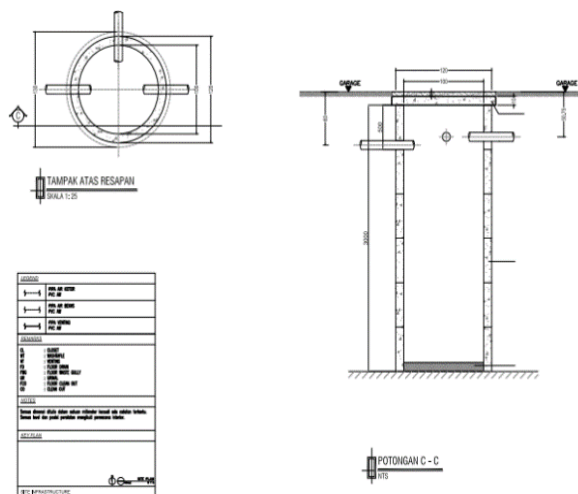
$$V_{septictank} = 9,65 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,02 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 10,67 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dimensi *septic tank* 1,5 x 2,8 x 2,54 m.



Gambar 21. Biotek



Gambar 22. Detail Sumur Resapan

4) Analisa Ven

Sistem ven merupakan seperangkat rangkaian sistem untuk memperlancar penyaluran air pada gedung. Sistem pembuangan yang mempunyai tujuan menjaga agar perangkat tetap mempunyai sekat air.

3.7 Hasil Evaluasi Sanitasi

Hasil evaluasi berdasarkan perbandingan antara hasil analisis dengan data lapangan yang ada di Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep pada Tabel 24.

Tabel 24. Perbandingan antara hasil Analisa dan data yang ada dilapangan

No	Hasil Analisis	Data dilapangan	Keterangan
1.	Jumlah kebutuhan air bersih penghuni 8,88 m ³ /hari dan pengunjug sebesar 4,44 m ³ /hari	Sumber air bersih dari <i>deep weel</i> sebesar 150 m ³ /hari	Secara kuantitas debit air sumber masih memenuhi untuk kebutuhan air bersih.
2.	Diameter pipa air bersih sebesar 65 mm dengan menggunakan jenis pipa Galvanis	Diameter pipa air bersih sebesar 40 mm dengan menggunakan jenis pipa PVC	Direkomendasikan penggantian jenis pipa dari pada menggunakan jenis pipa Galvanis ataupun PVC, karena berdasarkan hasil analisa penggunaan jenis pipa PP-R dengan beban unit lebih ekonomis dan efisien dengan diameter 32 mm.
3.	Diameter pipa air kotor sebesar 80 mm dengan menggunakan jenis pipa PVC	Diameter pipa air kotor sebesar 100 mm dengan menggunakan jenis pipa PVC	Berdasarkan hasil analisa diameter pipa air kotor yang dibutuhkan lebih ekonomis dan efisien dibandingkan dengan diameter pipa di lapangan.
4.	Membutuhkan 1 pompa dan 1 buah cadangan dengan kapasitas pompa sebesar 24,29 m ³ /jam	Membutuhkan 1 pompa dan 1 cadangan	Sesuai dengan yang ada di lapangan.
5.	Sistem ven yang digunakan menggunakan sistem ven utama	Sistem yang digunakan menggunakan sistem ven utama	Sesuai dengan yang ada di lapangan.

menit puncak sebesar 0,05 m³/menit. Berdasarkan hasil analisis didapatkan diameter pipa air bersih dengan metode beban unit alat saniter cenderung lebih ekonomis dan efisien dengan diameter pipa 32 mm, tebal 2,9 mm, kapasitas pompa 3,94 m³/jam dengan jenis pipa PP-R, sedangkan pada metode BKI 2016 didapatkan diameter pipa 65 mm, tebal 3,75 mm, kapasitas pompa 24,29 m³/jam dengan jenis pipa galvanis.

Perencanaan sistem instalasi air kotor pada Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep menggunakan diameter pipa 32 mm, untuk kloset lantai 1 sebesar 2,5 AWs dengan diameter 57 mm, urinoir sebesar 1 AWs dengan diameter 57 mm, kran air sebesar 1 AWs dengan diameter 57 mm dan floor drain sebesar 1 AWs dengan diameter 57 mm. Pada lantai 1 total beban unit alat saniter sebesar 16 AWs dengan diameter pipa 80 mm, beban unit terbesar sebesar 2,5 AWs, dengan debit 0,016 m³/detik. Sedangkan untuk unit beban pada lantai 2 untuk kloset sebesar 2,5 AWs dengan diameter pipa 57 mm, urinoir sebesar 1 AWs dengan diameter pipa sebesar 57 mm, wastafel sebesar 1 AWs dengan diameter pipa sebesar 57 mm dan floor drain sebesar 1 AWs dengan diameter pipa 57 mm. Pada lantai 2 total unit beban alat saniter sebesar 15,5 AWs dengan diameter 80 mm, beban unit terbesar sebesar 2,5 AWs, debit kebutuhan sebesar 0,0155 m³/detik. Volume air buangan untuk penghuni sebesar 7,10 m³/hari dan untuk pengunjug sebesar 3,55 m³/hari dengan jumlah total volume air buangan untuk penghuni dan pengunjug sebesar 9,65 m³/hari. Volume air lumpur sebesar 1,02 m³/hari dan volume septictank sebesar 10,67 m³/hari. Junction lantai 1 sebesar 0,593 liter/dtk dan untuk lantai 2 sebesar 0,630 liter/dtk.

4. Kesimpulan

Hasil evaluasi perencanaan sistem instalasi plambing air bersih dan air kotor pada Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep pada kondisi eksisting direkomendasikan ada renovasi instalasi air bersih dengan penggantian jenis pipa Galvanis/PVC menjadi jenis pipa PP-R, sedangkan pada instalasi air kotor direkomendasikan perubahan diameter pipa PVC agar lebih ekonomis.

Perencanaan sistem instalasi plambing air bersih pada Gedung Pelayanan BPKB Polres Sumenep mendapatkan hasil perkiraan jumlah penghuni sebanyak 74 orang sedangkan untuk perkiraan jumlah pengunjug sebanyak 37 orang, perkiraan kebutuhan air bersih untuk penghuni sebesar 7,4 m³/hari, untuk mengatasi kebocoran perlu tambahan 20% sebesar 8,88 m³/hari dan jangka waktu untuk per jam sebesar 1,11 m³/jam, pemakaian air pada jam puncak sebesar 1,94 m³/jam, menit puncak sebesar 0,11 m³/menit, perkiraan kebutuhan air bersih untuk pengunjug sebesar 3,7 m³/hari, untuk mengatasi kebocoran perlu 20% sebesar 4,44 m³/hari untuk per jam sebesar 0,55 m³/jam, pemakaian air pada jam puncak sebesar 0,97 m³/jam,

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.432>

Daftar Rujukan

- [1] Sunarno, Mekanikal Elektrikal Gedung, Yogyakarta: Andi, 2005.
- [2] Artayana, "Perencanaan Instalasi Air Bersih Dan Air Kotor Pada Bangunan Gedung Dengan Menggunakan Sistem Pompa," 2010.
- [3] Affiandi, "Perencanaan Sistem Instalasi Plambing Air Bersih Gedung Hotel Tebu," 2016.
- [4] Riyanti, "Perencanaan Sistem Plambing Air Bersih dan Air Buangan Gedung SMK Negeri 3 Kota Jambi," 2018.
- [5] Suhardiyanto, "Perancangan Sistem Plambing Instalasi Air Bersih Dan Air Buangan Pada Pembangunan Gedung Perkantoran Bertingkat Tujuh Lantai," 2016.
- [6] M. Imamudin and P. Mochammad, "Analisa Kebutuhan Air Bersih Dan Air Kotor (Study Kasus Kompleks Perumahan Taman Sari Persada, Kelurahan Cibadak, Kecamatan Tanah Sereal, Kota Bogor)," 2019.

- [7] Pramuditya, Perancangan Sistem Plambing Gedung Rumah Sakit, Yogyakarta: Atmaja University, 2010.
- [8] S. Noerbambang and T. Morimura, Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Jakarta: PT Pradnya Paramitha, 2005.
- [9] G. Gumilar, Perencanaan Plambing Air Bersih dan Air Kotor (Studi Kasus Gedung Kantor Administrasi Bandara Ardi Soemarmo Surakarta), vol. 0, Surakarta: Unversitas Sebelas Maret Surakarta, 2011, p. 0.
- [10] Deutsches Institut Fur Normung (DIN), Spesification For Installations Inside Buildings Conveying Water For Human Consumption In Part 3 Pipe Sizing, German: Deutsches Institut Fur Normung, 2006.
- [11] Badan Standart Nasional, SNI 03-6481-2000 Jumah Pemakaian Rata-Rata Perhari, 2000.
- [12] Isnanto, Perencanaan Plambing Air Bersih dan Air KKotor Di Gedung Kantor Administrasi Bandara
- Adi Soemarmo, Surakarta: Universitas Infrastruktur Perkotaan, 2009.
- [13] Biro Klasifikasi Indonesia, Rules for Machinery Installations In Part 1 Seagoing Ship Volume V Rules for materials, Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2016.
- [14] Japanese Industrial Standart, Test Pieces for Impact Metallic Material, Japan: Japanese Industrial Standart, 2002.
- [15] W. Arismunandar, Kajian Pekerjaan Plambing Air Bersih dan Air Kotor, Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 1993.



Pemanfaatan Limbah Plastik dan Fly Ash Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan

Hasrullah¹, Iif Ahmad Syarif², Fuad Harwadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

¹hasrullah.ray@borneo.ac.id

Abstract

The utilization of plastic waste as a substitute for asphalt of the type PET (Polyethylene Terephthalate) is commonly found in food and beverage packaging such as beverage bottles, sauce bottles, and others. The fly ash obtained from the remaining combustion of PLTU is used as a filler in the pavement mixture. The stages of this research were carried out in the form of asphalt testing, aggregate testing, making test objects from a mixture of plastic waste and fly ash and Marshall tests. The mixing of plastic waste with asphalt is carried out by wet method, namely mixing plastic waste into liquid asphalt which is being heated until it becomes a homogeneous mixture. From the test results, the KAO (Optimum Asphalt Content) value on the test specimen in the form of AC-WC laston with pen 60/70 asphalt is 6%, for 10% substitution of plastic waste the KAO value is 7.2%, 20% substitution of plastic waste the KAO value is 7.9%, while the KAO value of 30% plastic waste substitution is 9.6%. The mass of asphalt used in asphalt mixtures with 30% plastic waste is less than that of pen 60/70 asphalt mixtures, but it is able to provide an increase in higher stability values up to 12.30%. In addition to the technical aspects, the utilization of waste plastic is also beneficial from an economic point of view because it reduces the cost of asphalt procurement by 3.47% and saves a budget of 5% per 1 m³. In terms of the environment, it can reduce the accumulation of plastic waste.

Keywords: Asphalt, Fly Ash, Plastic Waste, Marshall Test

Abstrak

Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan substitusi aspal dari jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) banyak ditemukan pada kemasan makanan dan minuman seperti botol minuman, botol saus, dan lainnya. Adapun fly ash diperoleh dari sisa pembakaran PLTU digunakan sebagai bahan pengisi (filler) pada campuran perkerasan. Tahapan penelitian ini dilakukan berupa pengujian aspal, pengujian agregat, pembuatan benda uji dari campuran limbah plastik dan fly ash serta uji Marshall. Pencampuran limbah plastik dengan aspal dilakukan dengan metode basah, yaitu mencampur limbah plastik kedalam aspal cair yang sedang dipanaskan hingga menjadi campuran homogen. Dari hasil pengujian diperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) pada benda uji berupa laston AC-WC dengan aspal pen 60/70 adalah 6%, untuk substitusi 10% limbah plastik nilai KAO sebesar 7,2%, substitusi 20% limbah plastik nilai KAO 7,9%, sedangkan nilai KAO substitusi limbah plastik 30% sebesar 9,6%. Massa aspal yang digunakan pada campuran aspal dengan 30% limbah plastik lebih sedikit dibanding dengan campuran aspal pen 60/70, namun mampu memberikan peningkatan nilai stabilitas yang lebih tinggi sampai 12,30%. Selain dari segi teknis, pemanfaatan limbah plastik juga menguntungkan dari segi ekonomi karena mengurangi biaya pengadaan aspal sebesar 3,47% serta menghemat anggaran sebesar 5% per 1 m³. Dari segi lingkungan, dapat mengurangi penumpukan sampah plastik.

Kata kunci: Aspal, Fly Ash, Limbah Plastik, Uji Marshall.

Diterima Redaksi : 24-11-2022 | Selesai Revisi : 03-05-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Plastik merupakan material yang dipergunakan secara luas dikarenakan sifatnya yang praktis, dapat digunakan untuk sekali pemakaian, ringan, serta harganya murah, sehingga plastik menjadi penyumbang terbesar volume sampah terutama di kota-kota besar. Menurut Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan produksi sampah plastik di Indonesia pada tahun 2019 diperkirakan 9,52

juta ton (14% total sampah) yang ada, dengan estimasi plastik 2,5-5 ton/km. Plastik ini dalam tanah tidak dapat diurai oleh mikroorganisme sehingga menyebabkan berkurangnya mineral dalam tanah. Dampak negatif dari sampah plastik adalah berkurangnya kadar oksigen (O₂) dalam tanah sehingga hewan maupun mikroorganisme tidak dapat hidup dalam area yang mengandung sampah plastik. Adapun abu terbang (*fly ash*) merupakan salah satu residu dari hasil pembakaran batu bara pada



Lisensi

Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

pembangkit listrik. Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, silika oksida (SiO_2) yang dikandung di dalam abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat [1].

Al-Hadidiy yang melakukan penelitian tentang evaluasi perkerasan jalan dengan memodifikasi aspal yang ditambahkan polipropilena. Salah satu kesimpulan dari penelitian ini adalah dengan adanya penambahan polipropilena pada campuran aspal, dapat meningkatkan stabilitas campuran bahan perkerasan jalan [2]. Hendrawan, menggunakan plastik bekas jenis HDPE sebagai bahan pengganti sebagian agregat pada lapis tipis aspal pasir (Latasir) menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastik 30% sebesar 317,77 kg sedangkan nilai *Flow* tertinggi pada penggunaan kadar plastik 30% dengan nilai VIM tertinggi pada penggunaan kadar plastik 10% dan nilai VMA tertinggi terjadi pada penggunaan kadar plastic 10% sebesar 34,480% [3]. Anita, melakukan penelitian penggunaan plastic bekas jenis *Polyethylene* (PE) dan HDPE pada campuran Lataston-WC. Hasil penelitian menunjukan bahwa penggunaan kadar plastik PE dan HDPE sebesar 2% menghasilkan *Marshall Quotient* sebesar 669,11 kg/mm dan 770,45 kg/mm serta nilai VMA sebesar 18,81% dan 19,05% [4]. Hal yang sama yang pernah diteliti dan dibuat oleh Rajagopalan Vasudevan seorang Profesor Kimia dari Perguruan Tinggi Thiagarajar, Madurai, Tamil Nadu. Vasudevan mencampurkan agregat yang dipanaskan pada suhu 165°C selama 30-60 detik dengan limbah plastik yang telah dicacah kecil, kemudian bahan ter atau bitumen dipanaskan pada suhu 160°C untuk bisa menghasilkan campuran yang baik [5]. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Suhardi, dkk yang menambahkan botol plastik pada campuran aspal yang membuktikan bahwa dengan adanya penambahan variasi PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada campuran AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) berpengaruh terhadap karakteristik *Marshall*, semakin tinggi kadar penambahan PET (*Polyethylene Terephthalate*) maka nilai stabilitas akan meningkat tetapi untuk nilai kadar rongga dalam campuran semakin tinggi persentasenya [6]. Moghaddam, T. B., Karim, M. R., & Soltani, M. juga membuktikan bahwa campuran aspal modifikasi dengan penambahan variasi PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan uji *Marshall* memberikan ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) pada perkerasan [7]. Solobi, A.O, Nwobodo, S.E., & Aladegboye, O. J menyatakan bahwa pembangunan jalan ramah lingkungan yang mendaur ulang limbah PET harus di dorong pemerintah mengingat potensi manfaat lingkungan dan ekonominya [8].

Identifikasi permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana membuat suatu komposisi optimal limbah plastik yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi

aspal pada campuran beton aspal AC (*Asphalt Concrete*) terutama pada lapis aus WC (*Wearing Course*). Limbah plastik yang digunakan adalah *Polyethylene* jenis PETE atau PET (*Polyethylene Terephthalate*) *Polyethylene* jenis PET merupakan jenis plastik yang banyak sekali digunakan di masyarakat sebagai bahan kemasan makanan dan minuman seperti botol minuman, botol soda, botol minyak, botol saus, wadah selai, kotak obat, hingga sisir. Jenis plastik ini hanya bisa digunakan untuk sekali pakai saja, dan karena sifatnya yang ringan, kuat, dan mudah dibentuk

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu produk atau desain campuran aspal yang memanfaatkan limbah plastik untuk perkerasan jalan. Selain itu, untuk meminimalkan penggunaan aspal juga sebagai upaya menyelamatkan ekosistem lingkungan dengan mengurangi timbunan limbah plastik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Jalan Raya Universitas Borneo Tarakan. Secara umum metode penelitian dibagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Pemilihan Limbah Plastik PET

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang merupakan polimer sintesis. Limbah PET ini berasal dari sisa botol minuman, pembungkus makanan kemasan plastik dan lainnya Plastik ini dipilih karena sangat mudah didapatkan dan biasanya banyak menumpuk di sekitar kawasan pemukiman, terutama di daerah pesisir pantai.

b. Karakterisasi Aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal produksi Shell yang memiliki nilai penetrasi di antara 60-70 sehingga disebut aspal pen 60/70. Aspal ini tergolong aspal dengan nilai penetrasi rendah. Aspal jenis ini cocok digunakan pada Indonesia yang memiliki iklim tropis sehingga dapat dihindari pelunakan aspal akibat temperatur yang cukup tinggi. Aspal pen 60/70 akan disubstitusi sebagian oleh limbah plastik PET dengan kadar substitusi sebesar 10%, 20% dan 30% dari volume aspal.

c. Karakterisasi Agregat

Agregat yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Agregat ini akan digunakan dalam campuran Laston AC-WC dengan gradasi menerus. Agregat dengan nomor-nomor saringan yang sudah ditentukan akan ditimbang beratnya masing-masing sesuai dengan perhitungan dari perencanaan gradasi agregat. Pengujian karakteristik agregat dilakukan dengan standar SNI.

d. Pembuatan Campuran Homogen Aspal Pen 60/70 dengan Limbah Plastik PET

Metode pencampuran aspal pen 60/70 dengan limbah plastik PET dilakukan dengan metode pencampuran basah. Untuk mempermudah pembuatan sampel

dibuatlah campuran homogen aspal Pen 60/70 dengan limbah plastik PET dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan di setiap sampel. Pada tiap variasi substitusi aspal akan dibuat 2.200 gram (untuk substitusi 10% dan 20%) dan 2.500 gram (untuk substitusi 30%) campuran homogen aspal Pen 60/70 dengan limbah plastik PET

e. Pembuatan Benda Uji Campuran AC-WC

Benda uji merupakan campuran Laston AC-WC dengan berat tiap sampel sebesar kurang lebih 1.200 gram dengan bentuk tabung berdiameter 10 cm dan tinggi 64 cm. Untuk mencari KAO dibutuhkan minimal 3 sampel per variasi sehingga dengan 5 variasi presentase agregat dan aspal, 3 variasi substitusi limbah plastik PET terhadap aspal dengan 60 sampel benda uji. Benda uji berupa campuran agregat dan aspal serta limbah plastik PET akan dicampur dengan temperatur pencampuran dan dipadatkan dengan temperatur pemadatan dengan besar berbeda-beda tergantung dari karakteristik viskositas aspal.

Benda uji yang sudah dicampur akan dimasukkan ke dalam cetakan logam berdiameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm kemudian dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali per bidang (standar untuk jalan dengan beban lalu lintas berat). Benda uji lalu didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam kemudian dapat dikeluarkan dari cetakan untuk dilakukan pengujian Marshall.

f. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada setiap variasi substitusi limbah plastik PET sehingga diketahui komposisi paling tepat antara aspal, limbah plastik PET dan agregat. Langkah-langkah dari pengujian Marshall didasarkan pada SNI 06-2489-1991. Benda uji yang sudah dikeluarkan dari cetakan (*mold*) akan diukur tingginya di 4 sisi kemudian ditimbang di dalam udara dengan kondisi kering, di dalam air serta dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) atau kering permukaan jenuh. Dari data tersebut dapat dihitung nilai VIM (rongga dalam campuran), VMA (rongga di antara mineral agregat) serta VFA (rongga terisi aspal) yang dinyatakan dalam persen. Setelah itu benda uji direndam selama 30 menit dalam *water bath* dengan temperatur 60°C lalu siap untuk diuji dengan alat Marshall dengan beban konstan 51 mm/menit untuk menentukan nilai stabilitas dan flow

g. Pengujian Perendaman Marshall

Setelah didapat nilai KAO pada 3 variasi substitusi limbah plastik PET terhadap aspal pen 60/70, dibuatlah kembali benda uji secara rangkap 4 dengan metode sama seperti sebelumnya. Benda uji tersebut akan diuji dengan uji perendaman Marshall untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh kerusakan oleh air dan panas. Pada 2 benda uji dilakukan perendaman selama 30 menit pada temperatur 60° C kemudian dilakukan uji Marshall. Pada 2 benda uji sisanya dilakukan

perendaman selama 24 jam pada temperatur 60°C kemudian dilakukan pengujian Marshall.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Agregat

Pemeriksaan agregat terdiri dari pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan *filler* berupa *fly ash*. Pemeriksaan agregat kasar meliputi; analisa saringan, pemeriksaan berat jenis, penyerapan, pemeriksaan kadar lumpur atau lempung, pemeriksaan keausan agregat atau abrasi, pemeriksaan keawetan atau *soundness test*. Pemeriksaan agregat halus meliputi analisa saringan, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan kebersihan atau *sand equivalent*, dan pemeriksaan angularitas. Sedangkan untuk pemeriksaan *filler* berupa fly ash dari limbah pabrik meliputi analisa saringan dan pengujian berat jenis. Material yang digunakan harus memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Campuran Beraspal Panas, Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2018 [9].

Berikut hasil rekapitulasi pemeriksaan agregat kasar, agregat halus, filler dan agregat gabungan.

3.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan adalah aspal Pen 60/70 yang diproduksi oleh Shell. Hasil uji karakteristik aspal yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan (UBT).

3.3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Substitusi Limbah Plastik PET

Proses pencampuran antara limbah plastik PET dan aspal dilakukan dengan metode basah, dilakukan secara manual tanpa menggunakan alat pencampur otomatis (*mixer*). Pertama-tama aspal akan dalam kondisi cair akan dipanaskan di wadah pencampur. Aspal akan menjadi lunak atau sangat cair pada suhu di atas 140° C (*glass transition temperature*). Aspal yang dimasukkan ke dalam wadah pencampur ini dimasukkan dalam jumlah massa sekitar seperempat dari total aspal yang dibutuhkan untuk mempermudah pencampuran. Setelah memasukkan aspal dalam wadah pencampuran, limbah plastik PET akan dimasukkan secara bertahap dalam potongan-potongan kecil lalu diaduk dan diberi tekanan oleh batang pengaduk. Polimer dengan ukuran kecil akan memiliki luas permukaan lebih besar dan semakin mudah untuk bercampur dengan aspal (10).

Hasil penelitian terhadap aspal pen 60/70 yang disubstitusi sebagian oleh limbah plastik PET dengan 3 variasi berbeda ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1 Hasil Uji Karakteristik Aspal Substitusi

Jenis Pengujian	Standar	Persyaratan		Hasil Pengujian
		Min	Maks	
Aspal Substitusi Limbah Plastik PET 10%				
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	50	70	63,7
Viskositas 135°C (cst)	SNI 7729:2011	-	-	466
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	56	-	56,35
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	-	> 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	232	-	336
Kelarutan dalam Trichloethylene (%)	RSNI M-04-2004	99	-	99,68
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1	-	1,038
Aspal Substitusi Limbah Plastik PET 20%				
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60	70	60,25
Viskositas 135°C (cst)	SNI 7729:2011	300	-	496
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	48	-	56,75
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	100	-	> 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	232	-	335
Kelarutan dalam Trichloethylene (%)	RSNI M-04-2004	99	-	99,90
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1	-	1,035
Aspal Substitusi Limbah Plastik PET 30%				
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	50	70	54,7
Viskositas 135°C (cst)	SNI 7729:2011	-	-	554
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	56	-	56,56
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	-	> 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	232	-	333
Kelarutan dalam Trichloethylene (%)	RSNI M-04-2004	99	-	99,64
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1	-	1,031

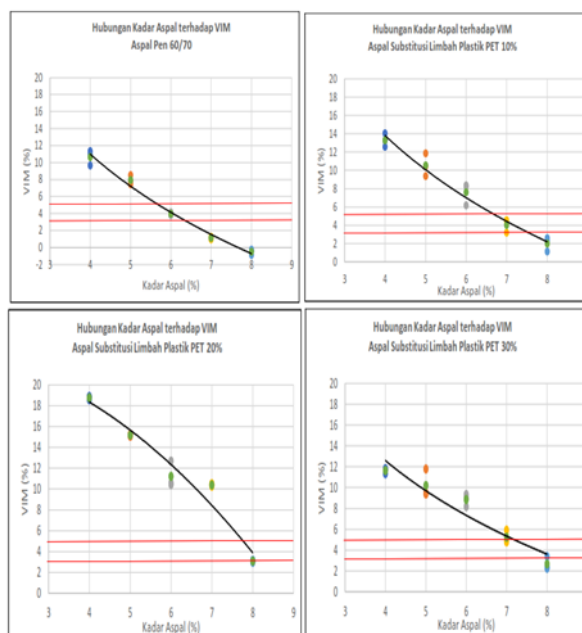
3.4 Hasil Uji Marshall

Pengujian campuran yang dilakukan meliputi pengujian Marshall dan pengujian perendaman Marshall (*Marshall Immersion*). Pada pengujian Marshall pertama akan dicari nilai KAO dengan memperhatikan 5 parameter, yaitu sifat *volumetric* campuran yang meliputi VIM (*Voids in Mixture*), VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*) dan VFA (*Voids Filled with Asphalt*), serta nilai stabilitas dan flow. Pada Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Revisi 2 Tahun 2018 ada persyaratan mengenai parameter hasil bagi Marshall atau MQ (*Marshall Quotient*) dalam penentuan KAO. MQ merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan flow, akan tetapi pada Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Revisi 2, 2018 tidak terdapat lagi

parameter MQ sehingga pada penelitian kali ini nilai MQ tidak dijadikan parameter penentuan KAO [9].

a. VIM (*Voids in Mixture*)

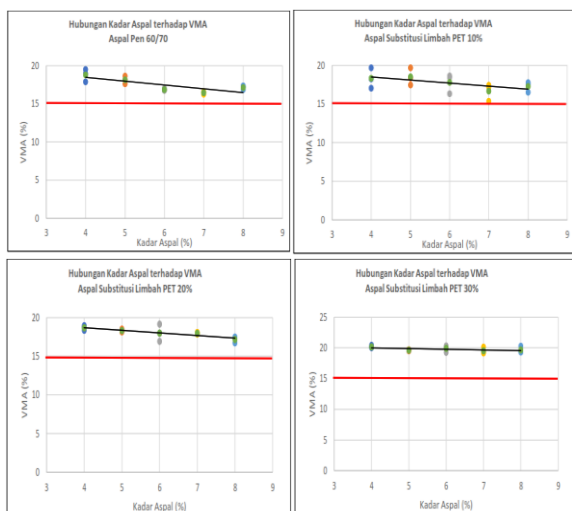
VIM atau rongga dalam campuran merupakan presentase rongga udara yang terdapat di antara butir agregat yang terbungkus aspal. Nilai ini berkaitan dengan durabilitas atau keawetan campuran. Pada **Gambar 1** dapat dilihat hubungan antara VIM terhadap kadar aspal. Pada keempat grafik terlihat bahwa meningkatnya kadar aspal akan diikuti oleh menurunnya nilai VIM. Garis merah pada grafik menunjukkan batas minimal dan maksimal dari nilai VIM. Nilai VIM untuk campuran Laston AC-WC dibatasi dalam Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018) sebesar 3-5%.



Gambar 1 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM

b.VMA (*Voids in the Mineral Aggregate*)

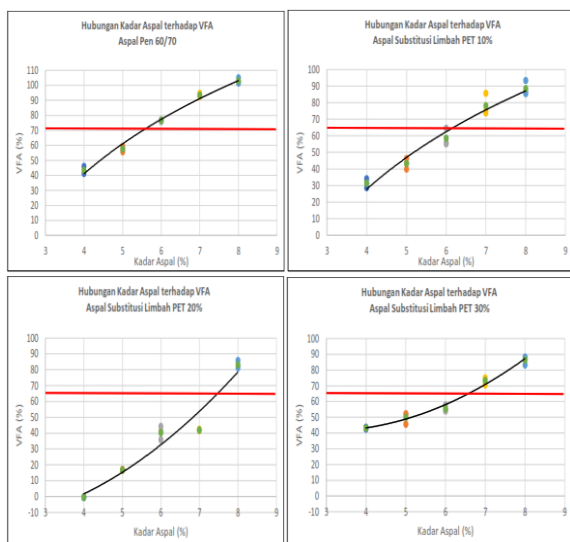
VMA merupakan rongga yang berada dalam agregat yaitu ruang di antara partikel agregat dari suatu campuran perkerasan yang dipadatkan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif namun tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat (*Asphalt Institute*, 1983). Nilai VMA menurut Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018) dibatasi minimal 15%. Nilai VMA yang lebih besar dari 15% dibutuhkan agar dapat memberikan ruang cukup pada agregat dalam menempatkan aspal. Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa grafik sudah menunjukkan hubungan yang sesuai antara kadar aspal dengan nilai VMA. Meningkatnya kadar aspal akan menurunkan nilai VMA atau rongga pada mineral agregat.



Gambar 2 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA

c. VFA (Voids Filled with Asphalt)

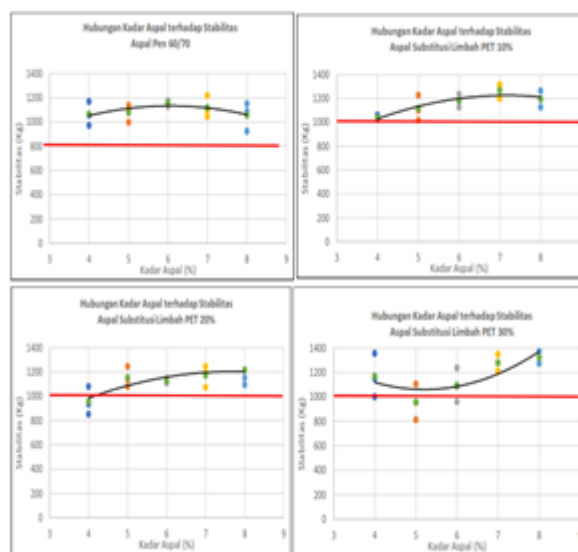
VFA merupakan rongga terisi aspal yang merupakan presentase dari nilai VMA dikurangi VIM. Pengaruh utama VFA adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. VFA juga membatasi VIM yang diijinkan yang memenuhi VMA minimum. Nilai VFA menurut Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2,2018) dibatasi minimal 65% agar dapat dihasilkan campuran yang awet. Aspal yang mengisi rongga dalam agregat diharapkan dapat menyelimuti agregat dengan baik dan memberikan gaya ikat antar agregat dan aspal yang kuat. Pada **Gambar 3** dapat dilihat secara umum bahwa nilai VFA sudah meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VFA akan berbanding terbalik dengan nilai VIM. Makin banyak rongga yang terisi aspal maka makin sedikit rongga kosong dalam campuran.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VFA

d. Stabilitas

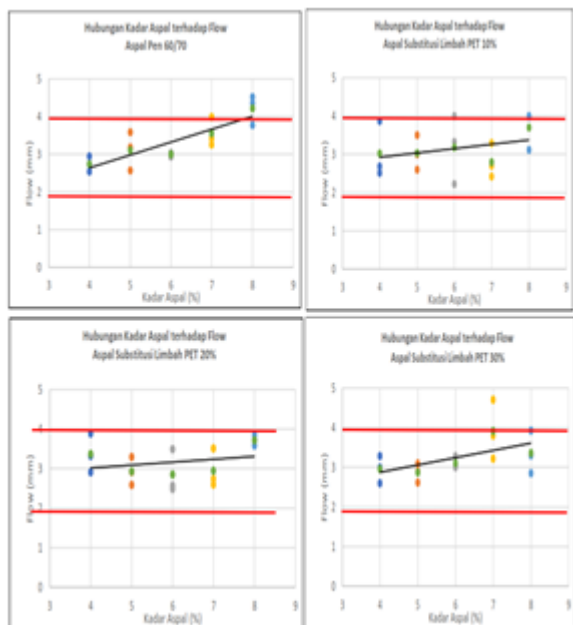
Stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengetahui kemampuan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding* [10]. Berdasarkan Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018), nilai stabilitas campuran laston AC-WC dibatasi minimal 800 sedangkan campuran laston AC-WC yang dimodifikasi dibatasi minimal 1000. Pada **Gambar 4** terlihat secara umum bahwa nilai stabilitas dari campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET lebih besar daripada campuran dengan aspal pen 60/70 sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan limbah plastik PET dapat meningkatkan nilai stabilitas.



Gambar 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas

e. Flow

Flow atau kelelahan merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Berdasarkan Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018), nilai flow dibatasi antara 2-4 mm. Campuran harus dijaga agar tidak terlalu kaku karena akan mudah retak dan rusak. Apabila semakin banyak aspal yang ditambahkan maka campuran akan memiliki nilai flow yang makin tinggi karena aspal termasuk material termoplastik yang memiliki sifat plastis. Sifat aspal sebagai bahan pengikat membuat semakin banyak aspal menyelimuti agregat sehingga ikatan antara aspal dengan agregat semakin baik yang menyebabkan nilai flow makin tinggi. Pada grafik di **Gambar 5** terlihat tren garis bahwa kenaikan kadar aspal akan menaikkan nilai flow. Menurut Motlagh et al. (2012) kenaikan nilai flow disebabkan oleh gabungan dari presentase optimum aspal dan persentase minimum dari flow [11].



Gambar 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Flow

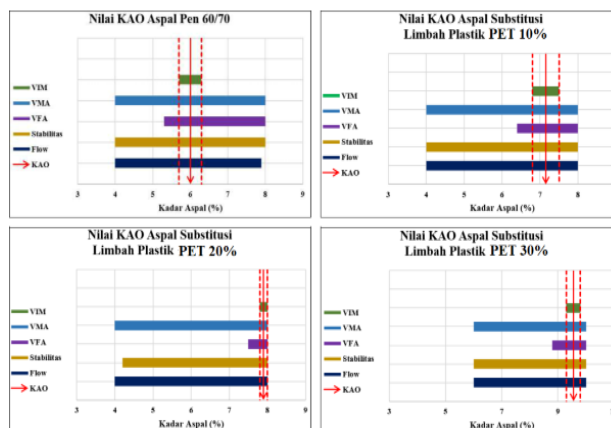
3.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari hasil pengujian Marshall, didapat batas nilai KAO untuk tiap benda uji pada tiap parameter meliputi VIM, VMA, VFA, stabilitas dan *flow*. Batas-batas nilai KAO tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai KAO Benda Uji

Parameter	Spesifikasi	Batas KAO										
		Aspal Pen 60/70		Aspal + 10% Limbah PET		Aspal + 20% Limbah PET		Aspal + 30% Limbah PET				
		Min	Maks	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas			
VIM	3	5	5,7	6,3	6,8	7,5	7,8	8	9,3	9,8		
VMA	15		4	8	4	8	4	8	6	10		
VFA	65		5,3	8	6,4	8	7,5	8	8,8	10		
STABILITAS	800 (untuk Aspal Pen 60/70)			4	8	4	8	4,2	8	6	10	
	1000 (untuk Aspal modifikasi polimer)											
Flow			2	4	4	7,7	4	8	4	8	6	10

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilihat dari 5 parameter yaitu VIM, VMA, VFA, stabilitas dan *flow*. Semua parameter tersebut harus dipenuhi dengan memenuhi tiap syarat pada Spesifikasi Kementerian PU (Revisi 2, 2018) agar mendapatkan campuran dengan KAO. Kadar aspal yang memenuhi syarat di tiap parameter diplotkan pada grafik lalu dicari rentang kadar aspal yang memenuhi semua parameter Marshall. Nilai KAO diperoleh dari nilai tengah rentang kadar aspal tersebut. Hasil penentuan KAO dapat dilihat pada **Gambar 6**



Gambar 6 Hasil Pengujian Marshall pada Campuran Aspal

Nilai KAO yang makin besar belum tentu menunjukkan makin besarnya massa aspal yang terkandung, khususnya pada campuran yang menggunakan aspal dengan substitusi limbah plastik PET. **Tabel 3** menunjukkan massa aspal dan massa limbah plastik PET yang dibutuhkan untuk 1 benda uji dengan berat total 1.200 gram.

Tabel 3 Perbandingan Nilai KAO Campuran

No.	Jenis Campuran	Nilai KAO (%)	Massa Aspal (gram)	Massa Limbah Plastik EPS (gram)	Massa Agregat (gram)	Stabilitas Campuran (kg)	Spesifikasi Stabilitas menurut Kementerian PU, 2018 (kg)
1.	Campuran dengan aspal pen 60/70	6	72	0	1.128	1138,86	800
2.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 10%	7,2	77,86	0,1	1.113,6	1235,14	1000
3.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 20%	7,9	76,05	0,21	1.105,2	1214,98	1000
4.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 40%	9,6	69,63	0,5	1.084,8	1289,21	1000

Nilai KAO pada campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET 30% lebih besar dari 3 campuran lainnya namun dari segi massa aspal yang dibutuhkan nilainya paling sedikit. Dari segi stabilitas, campuran ini pun memiliki kelebihan karena nilainya paling tinggi. Hal ini bisa disebabkan oleh lebih tingginya temperatur pencampuran dari campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET 30% sehingga aspal bisa lebih encer dan mudah untuk menyelimuti agregat dan mengisi rongga dalam campuran.

Dari segi teknis dapat dilihat bahwa penggunaan limbah plastik PET sebagai bahan substitusi sebagian aspal pada campuran Laston AC-WC memberikan keuntungan berupa peningkatan kekuatan atau stabilitas. Pada campuran dengan kadar variasi substitusi aspal 30% limbah plastik PET, didapat peningkatan stabilitas sebesar 12,30% dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal pen 60/70. Peningkatan stabilitas ini akan membuat perkerasan jalan lebih kuat dalam menahan beban lalu lintas peningkatan kekuatan atau stabilitas. Pada campuran dengan kadar variasi substitusi aspal 30% limbah plastik PET, didapat peningkatan

stabilitas sebesar 12,30% dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal pen 60/70. Peningkatan stabilitas ini akan membuat perkerasan jalan lebih kuat dalam menahan beban lalu lintas.

Tabel 4 Peningkatan Nilai Stabilitas

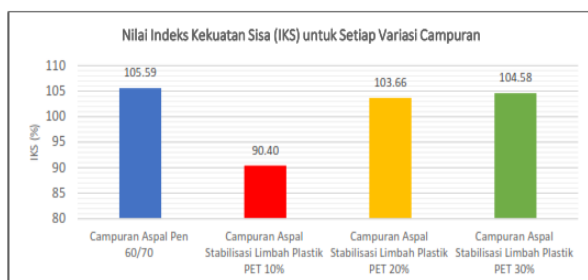
No.	Jenis Campuran	Stabilitas Campuran (kg)	Peningkatan Stabilitas Campuran (%)
1.	Campuran dengan aspal pen 60/70	1138,86	-
2.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 10%	1235,14	8,4
3.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 20%	1214,98	6,8
4.	Campuran aspal substitusi limbah EPS 40%	1289,21	12,55

3.6 Penguian Perendaman Marshall

Pengujian perendaman Marshall memiliki prosedur sama dengan pengujian Marshall standar. Hal yang membedakan adalah dalam uji perendaman Marshall adalah adanya 2 benda uji tambahan yang direndam terlebih dahulu dalam *water bath* dengan suhu 60° C selama 24 jam untuk mengetahui durabilitas dari benda uji terhadap gangguan dari panas dan air. Total benda uji sejumlah 4 buah per variasi, yaitu 2 buah untuk uji Marshall standar dengan perendaman 30 menit dan 2 buah untuk uji Marshall dengan perendaman 24 jam. Nilai stabilitas Marshall dengan 24 jam perendaman dibandingkan dengan nilai stabilitas Marshall dengan 30 menit perendaman untuk dihasilkan nilai IKS (Indeks Kekuatan Sisa).

Tabel 5 Hasil Uji Perendaman Marshall

No.	Jenis Campuran	Stabilitas	Stabilitas	IKS (%)
		Perendaman Standar (kg)	Perendaman 24 Jam (kg)	
1.	Campuran dengan aspal pen 60/70	1.253,39	1.186,98	105,59
2.	Campuran aspal substitusi limbah PET 10%	1090,75	1.206,63	90,40
3.	Campuran aspal substitusi limbah PET 20%	1.149,70	1.109,07	103,66
4.	Campuran aspal substitusi limbah PET 30%	1.169,11	1.117,94	104,58



Gambar 7 Nilai IKS untuk setiap nilai campuran

Dari data di **Tabel 5** dan **Gambar 7** dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai IKS seiring dengan meningkatnya penambahan limbah plastik PET ke dalam campuran aspal. Nilai IKS dari keempat campuran memenuhi syarat dari Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum (Revisi 2, 2018) yang mensyaratkan minimal 90% untuk campuran Laston. Hal ini membuktikan bahwa 4
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.431>

campuran tersebut tahan terhadap air dan temperatur tinggi. Akan tetapi terlihat bahwa nilai IKS dari campuran dengan aspal pen 60/70 masih lebih besar daripada campuran dengan substitusi limbah plastik PET. Hal ini membuktikan bahwa campuran dengan limbah plastik PET kurang tahan dengan gangguan air dan panas. Perendaman benda uji pada waktu lama pada *water bath* dapat merusak kekuatan dari campuran akibat efek dari air dan panas. Tes ini mensimulasikan keadaan jalan raya pada kondisi yang paling berpotensi merusak kekuatan jalan raya yaitu ketika jalan raya yang telah menerima banyak panas dari beban jalan raya dan cuaca sekitar dikenai oleh air hujan.

Analisis Lingkungan dari Pemanfaatan Limbah Plastik PET sebagai Substitusi Aspal

Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam campuran Laston AC-WC tentunya memberikan dampak positif dari segi lingkungan, khususnya dari segi pengelolaan sampah. Limbah plastik merupakan limbah yang sangat lama terurai di bumi. Plastik merupakan material yang susah terurai yang menurut penelitian terakhir membutuhkan waktu hingga 4.500 tahun untuk terurai sempurna. Maraknya penggunaan plastik dan kurangnya pengelolaan yang tepat bagi limbah plastik akan memberikan dampak negatif berupa penunya TPA dan juga pencemaran tanah [12]. Limbah plastik setiap hari akan terus menumpuk sehingga dapat mengganggu stabilitas terhadap lingkungan. Pada penelitian yang dilakukan Fitdiarini dan Damanhuri diketahui bahwa pemulung dan tukang loak yang mengumpulkan limbah PET sangat sedikit jumlahnya. Hal ini disebabkan rendahnya harga jual limbah PET sehingga hampir tidak ada lapak atau bandar yang bersedia menampung atau membeli. Akibat kurangnya upaya daur ulang limbah plastik PET maka jumlah limbah plastik PET yang berada di TPA akan terus bertambah [13].

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pada campuran dengan aspal substitusi limbah plastik PET 30% terlihat peningkatan kekuatan dari campuran yang sangat menguntungkan dari segi teknis. Selain itu penggunaan lebih sedikit aspal pada KAO sedangkan limbah plastik PET yang digunakan paling banyak, sehingga dari segi ekonomi dan lingkungan sangat menguntungkan.

Berikut contoh perhitungan pemanfaatan limbah plastik PET. Data limbah sampah plastik PET yang digunakan adalah sebesar 22,47 kg dengan menggunakan aspal substitusi limbah plastik PET sebesar 30%

- Jumlah limbah plastik PET pada sampel 1200 gram dengan KAO 9,5 % = 0,5 gram
- Volume sampel 1200 gram = $\frac{\text{Massa Sampel}}{\text{Bj.Campuran}} = \frac{1200 \text{ gram}}{2,387 \text{ gr/cm}^3} = 502,72 \text{ cm}^3$
- Volume lapisan AC-WC untuk pemanfaatan limbah plastik PET

$$= \frac{\text{Massa Limbah plastik PET}}{\text{Jumlah Plastik PET per 1200 gram}} \times \text{Volume Sampel}$$

$$= \frac{22470 \text{ gram}}{0,5 \text{ gram}} \times 502,72 \text{ cm}^3 = 22,59 \text{ m}^3$$

- Panjang lapisan AC-WC yang dapat digunakan untuk pemanfaatan limbah plastik PET

$$= \frac{\text{Volume Jalan Raya}}{\text{Lebar 1 Lajur Jalan} \times \text{Tebal Jalan}}$$

$$= \frac{22,59 \text{ m}^3}{3,5 \times 0,05 \text{ m}} = 129,1 \text{ m}$$
- Potensi pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi aspal

$$= \frac{22470 \text{ gram}}{129,1 \text{ gram}}$$

$$= 174 \text{ gr/meter untuk AC-WC 1 lajur}$$

$$= 0,0158 \text{ m}^3 / \text{meter untuk lapisan AC-WC 1 lajur}$$

Analisis Ekonomi Pemanfaatan Limbah Plastik PET sebagai Substitusi Aspal

Selain memberikan keuntungan dari segi teknis dan lingkungan, pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam Laston AC-WC juga memberikan dampak positif dari segi ekonomi. Pada variasi penggunaan limbah plastik PET sebesar 30% dengan KAO 9,5% terlihat bahwa jumlah aspal yang digunakan lebih sedikit daripada aspal Pen 60/70 yang biasa digunakan. Penggunaan aspal terlihat menurun sebesar 3,3% dari yang sebelumnya 72 gram untuk 1.200 gram campuran menjadi 69,63 gram untuk 1.200 gram campuran. Penurunan jumlah penggunaan aspal ini tentunya akan menurunkan pula biaya yang digunakan untuk pengadaan aspal. Berikut adalah perhitungan keuntungan dari segi ekonomi untuk 100 m lapisan AC-WC dalam 1 lajur jalan raya

- Volume lapisan AC-WC = p x l x t = 100 x 3,5 x 0,05 = 17,5 m³
- Massa lapisan AC-WC = Specific gravity campuran x volume = 2,47 x 17,5 = 43,225 kg
- Harga aspal = Rp. 10.000,- / kg
- Kebutuhan Aspal Pen 60/70 pada Laston normal = 6% x 43,225 kg = 2,59 kg
- Harga kebutuhan Aspal Pen 60/70 pada Laston normal = 2,59 x Rp. 10.000,- = Rp. 25.900,-
- Pada Laston modifikasi, kebutuhan massa aspal menurun sebesar 3,3%
Sehingga kebutuhan aspal = 2,59 kg – (3,3% x 2,59 kg) = 2,5 kg
- Harga kebutuhan aspal pada Laston modifikasi = 2,5 x Rp. 10.000,- = Rp. 25.000,-
- Penghematan biaya pengadaan aspal = $\frac{\text{Rp.25900} - \text{Rp.25000}}{\text{Rp.25900}} \times 100\%$ = 3,47%

Adapun Rencana Anggaran Biaya untuk aspal normal dan aspal plastik sebagai berikut

- a. Menghitung kebutuhan 1 m³
Diketahui berat jenis campuran aspal sebesar 2,387 t/m³.

Maka kebutuhan 1m³ = 1 x 2,387 = 2,387 Ton.

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.431>

Jika di konversi ke kilogram ialah 2,387 ton x 1000 = 2387 Kg.

Tabel 6 Berat Campuran per m³ Non Plastik

Material	Kadar
Berat Sampel	1200 Kg
Kadar Aspal Optimum	6,0 %
Persentase Kadar Plastik	0,0 %
Berat Kadar Plastik	0,0 Kg
Berat Kadar Aspal	140 Kg
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	20 % 449,4 Kg
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	20 % 449,4 Kg
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	15 % 337,05 Kg
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	45 % 1011,15 Kg
TOTAL =	2387 Kg

Tabel 7 Anggaran Biaya per m³ Aspal Non Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	140 Kg	Rp. 10.000,-	Rp. 1.400.000,-
Berat Plastik	0 Kg	Rp. 7.000,-	Rp. 0
Berat Agg. (10-20)mm	450 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 26.784,00,-
Berat Agg. (10-10)mm	450 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 26.784,00,-
Berat Agg. (5-10)mm	337 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.058,24,-
Berat Agg. (0-5)mm	1011 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 40.440,00,-
Total			Rp. 1.514.066,24

Tabel 8 Berat Campuran per m³ Plastik

Material	Kadar
Berat Sampel	1200 Kg
Kadar Aspal Optimum	7,20 %
Persentase Kadar Plastik	10,0 %
Berat Kadar Plastik	22,47 Kg
Berat Kadar Aspal	117,53 Kg
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	20 % 453,89 Kg
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	20 % 453,89 Kg
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	15 % 340,42 Kg
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	45 % 1021,26 Kg
TOTAL =	2387 Kg

Tabel 9 Anggaran Biaya per m³ Aspal Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	117,53 Kg	Rp. 10.000,-	Rp. 1.175.300,-
Berat Plastik	22,47 Kg	Rp. 7.000,-	Rp. 157.290,-
Berat Agg. (10-20)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (10-10)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (5-10)mm	340,42 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.261,83,-
Berat Agg. (0-5)mm	1021,26 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 40.850,46,-
Total			Rp. 1.447.741,09,-

Jika harga plastik dianggap 50% limbah dan 50% biaya operasional pemungutan hingga pencacahan sehingga harga plastik menjadi Rp. 3.500,- maka berikut rencana anggaran biayanya.

Tabel 10 Anggaran Biaya per m³ Aspal Plastik (50% limbah, 50% biaya oprasional)

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	117,53 Kg	Rp. 10.000,-	Rp. 1.175.300,-
Berat Plastik	22,47 Kg	Rp. 3.500,-	Rp. 7.865,00,-
Berat Agg. (10-20)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (10-10)mm	453,89 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.015,77,-
Berat Agg. (5-10)mm	340,42 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.261,83,-
Berat Agg. (0-5)mm	1021,26 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 40.850,46,-
Total			Rp. 1.369.096, 09,-

Maka akan menghemat anggaran sebesar Rp.1.447.741,09 – 1.369.096,09= Rp. 78.645,- per m³ atau 5 % per m³ dari anggaran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

Penambahan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam campuran Laston AC-WC akan bertambah kekakuannya yang ditandai dengan berkurangnya nilai penetrasi aspal. Selain itu nilai titik lembek mengalami peningkatan seiring dengan bertambah banyaknya limbah plastik PET. Ini berarti aspal tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur, sehingga meningkatkan daya tahan perkerasan jalan terhadap perubahan deformasi (*rutting*).

Dari ketiga variasi substitusi limbah plastik PET ke dalam aspal dalam campuran Laston AC-WC terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai stabilitas dibandingkan dengan campuran Laston AC-WC yang menggunakan aspal pen 60/70. Peningkatan nilai stabilitas tertinggi dimiliki oleh variasi substitusi 30% yaitu sebesar 12,30%.

Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai substitusi sebagian aspal dalam campuran Laston AC-WC selain memberikan keuntungan dari segi teknis juga memberikan keuntungan dari segi lingkungan dan ekonomi. Dari segi lingkungan, penggunaan limbah plastik PET ini dapat mengurangi volume limbah plastik PET yang masuk ke TPA. Potensi pemanfaatan limbah plastik EPS sebagai bahan substitusi aspal adalah 0,0158 m³/meter 1 lajur lapisan AC-WC. Sedangkan dari segi ekonomi, penggunaan limbah PET untuk menggantikan sebagian aspal terbukti dapat mengurangi biaya pengadaan aspal sebesar 3,47% dan menghemat biaya sebesar 5% per m³ dari anggaran.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai melalui Dana Riset Inovasi UPT Kawasan Sains dan Teknologi Universitas Borneo Tarakan 2022. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor Universitas Borneo Tarakan dan Kepala UPT Kawasan Sains dan Teknologi Universitas Borneo Tarakan yang telah memfasilitasi dan membantu dalam pembiayaan penelitian ini.

Daftar Rujukan

[1] Djiwantoro, Pemanfaatan abu terbang batubara (fly ash) sebagai bahan bangunan, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.431>

Diponegoro, 2001.

- [2] Al-Hadidy Al. Evaluation of Pyrolysis Polypropylene Modified Asphalt Paving Material. *Journal Al-Rafidian Eng.*;14(2):36-50, 2006.
- [3] Hendrawan, I P I. Studi Sifat Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Dengan Menggunakan Plastik HDPE Sebagai Pengganti Sebagian Agregat. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana. Bali, 2014.
- [4] Anita, R. Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik Bekas HDPE Dalam Laston-WC dan Laston-WC Terhadap Karakteristik Marshall. Seminar Nasional Teknik Sipil V. Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2015.
- [5] Vasudevan, R. Utilization of Waste Plastics in Rural Roads. Madurai. Department of Chemistry Thiagarajar College of Engineering, 2013.
- [6] Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 284–293, 2016.
- [7] Moghaddam, T. B., Karim, M. R., & Soltani, M. Utilization of waste plastic bottles in asphalt mixture. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(3), 264–271, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.101>
- [8] Solobi, A. O., Nwobodo, S. E & Aladegboye, O. J. Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete, *Cogent Engineering*, 3:1, 1133480, 2016. DOI: 10.1080/23311916.2015.1133480 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/23311916.2015.1133480>
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum. Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta, 2018
- [10] Asphalt Institute. Manual Series No.4 (MS-4): The Asphalt Handbook. The Asphalt Institute; USA, 1989
- [11] Kalantar, Z. N., Mohamed R. K., Abdelaziz M. A Review of Using Waste and Virgin Polymer in Pavement. *Journal of Construction and Building Materials*, (33): 55-62, 2012.
- [12] Abas, F. O., Enass A., Talaib A. The Use of Techniques in the Management of Waste Plastic by Reuse It in the Asphalt Mix. Iraq: Koya University, 2012.
- [13] Fitdiarini, N. L., Enri D. Laporan Tugas Akhir: Analisis Aliran Material Sampah Styrofoam di Kota Bandung. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung, 2011.



Analisis Stabilitas Lereng Galian Waduk Brigif Terhadap Perbedaan Tinggi Muka Air Rencana

Ardha Dissa Avianza¹, Andikanoza Pradiptya², Putera Agung Maha Agung³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹ardhadissaa@gmail.com, ²andikanoza.pradiptya@sipil.pnj.ac.id*, ³putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id*

Abstract

Excavation is one of the works whose purpose is to adjust the existing surface height to the height of the planned surface and cause the value of the slope stability to decrease due to the loss of the natural soil retaining layer. Slope stability analysis is carried out with the aim of predicting changes in the value of safety numbers (SF) that occur as a result of excavation work. The excavations carried out are categorized as deep excavations with a depth of 8.16 m and are used terraces. Slope stability analysis using manual calculation of Simple Bishop method divided by 17 slices and application calculation using Geostudio-2012. Slope stability analysis is carried out during the service period with *low-high water level* conditions. The results of manual analysis at low water level conditions are predicted to have an SF value under normal conditions of 4.6 and when the condition is earthquake at 2.7. Meanwhile, the results of the analysis with the application obtained the results of predicting the SF value under normal conditions of 4.2 and in earthquake conditions of 2.6. However, analysis of high water level conditions is predicted to manually reduce the SF value of 2.5 under normal conditions and 1.6 in earthquake conditions. Then, using the application, the results of predicting the SF value at normal conditions of 2.5 and in earthquake conditions of 1.6 were obtained. In general, the stability of the slopes under review has safe conditions under normal conditions and earthquake conditions.

Keywords: *Excavation, Safety Factor, Slope Stability*

Abstrak

Galian merupakan salah satu pekerjaan yang tujuan menyesuaikan ketinggian permukaan yang ada dengan ketinggian permukaan rencana dan menyebabkan nilai dari stabilitas lereng berkurang dikarenakan hilangnya lapisan penahan tanah alami. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan tujuan memprediksikan perubahan nilai angka keamanan (SF) yang terjadi akibat dilakukannya pekerjaan galian. Penggalian yang dilakukan dikategorikan sebagai galian dalam dengan kedalaman 8,16 m dan digunakan terasering. Analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual metode Bishop Sederhana dengan dibagi 17 irisan dan perhitungan aplikasi menggunakan Geostudio-2012. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada masa layan dengan kondisi *low-high water level*. Hasil analisis manual pada kondisi muka air rendah diprediksikan memiliki nilai SF pada kondisi normal sebesar 4,6 dan saat kondisi gempa sebesar 2,7. Sedangkan, hasil analisis dengan aplikasi didapatkan hasil prediksi nilai SF pada kondisi normal sebesar 4,2 dan pada kondisi gempa 2,6. Kemudian, analisis pada kondisi muka air tinggi diprediksikan nilai SF secara manual sebesar 2,5 pada kondisi normal dan 1,6 pada kondisi gempa. Lalu, dengan menggunakan aplikasi didapatkan hasil prediksi nilai SF pada kondisi normal sebesar 2,5 dan pada kondisi gempa sebesar 1,6. Pada umumnya, stabilitas dari lereng yang ditinjau memiliki kondisi yang aman pada kondisi normal dan kondisi gempa bumi.

Kata kunci: Faktor Keamanan, Penggalian, Stabilitas Lereng

Diterima Redaksi : 08-08-2022 | Selesai Revisi : 13-07-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

Sebuah metode yang diperlukan untuk menyesuaikan tinggi permukaan asli dengan permukaan rencana adalah pekerjaan galian [1]. Hasil dari sebuah pekerjaan galian adalah pembentukan permukaan/lereng tanah buatan yang baru yang memiliki beda ketinggian diantara sisi lainnya [2]. Namun, pekerjaan galian menyebabkan bertambahnya deformasi lereng terhadap tegangan geser tanah dan kuat geser yang dimiliki tanah bernilai relatif tetap pada sisi galiannya sehingga mengurangi stabilitas dan nilai faktor keamanannya [3].

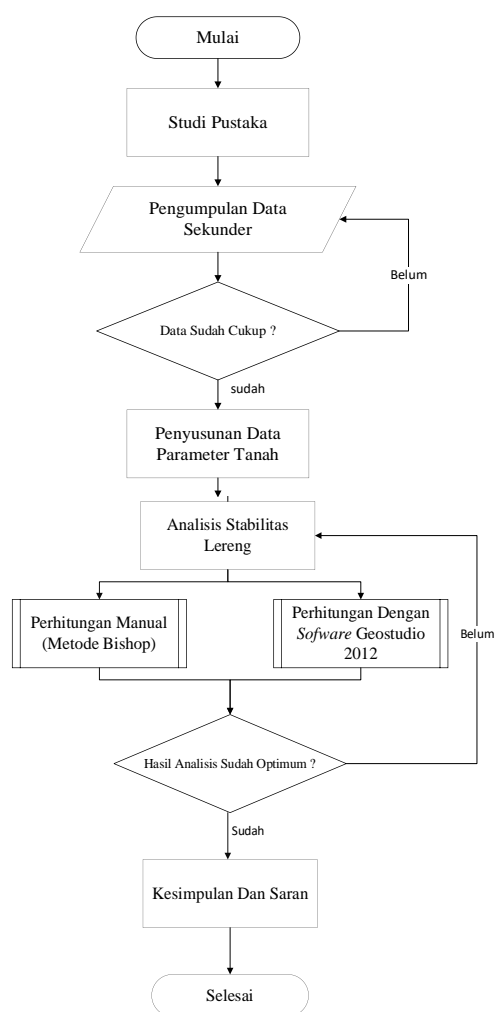
Permasalahan dalam stabilitas lereng adalah desain dan konstruksi galian yang tidak menggunakan perkuatan adalah massa tanah yang berada pada sisi miring galian dibawah permukaan tanah mengalami pergerakan ke arah bawah dan ke arah luar yang disebabkan oleh gravitasi [4]. Oleh karena itu, diperlukan analisis stabilitas lereng galian pada Proyek Pembangunan Waduk Brigif, Kelurahan Cempedak, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan, yang melakukan banyak pekerjaan galian dan dibutuhkan analisis untuk penanggulangan kelongsoran yang baik dan memiliki solusi secara tuntas dalam menganalisis besaran gaya



pendorong dan penahan tanah atau keseimbangan gaya yang bekerja dengan biaya penanggulangan yang ekonomis [5].

Pada analisis stabilitas lereng galian yang dilakukan memiliki tujuan menganalisis stabilitas lereng galian terbuka pada lokasi yang ditinjau sesuai dengan peraturan yang berlaku dan perencanaan konstruksi untuk memprediksikan stabilitas dan nilai faktor keamanan pada masa layan waduk dengan kondisi *low water level* dan *high water level* Waduk Brigif dengan menggunakan perhitungan manual metode Bishop Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012. Selain itu, analisis stabilitas lereng juga merupakan salah ketentuan yang diharuskan untuk dimasukkan kedalam laporan investigasi geoteknik pada bahaya gempa [6].

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mempelajari literatur yang berhubungan dan dilakukan secara bersamaan dengan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian. Kemudian, dilakukan penyusunan data parameter tanah untuk membantu proses analisis stabilitas lereng dengan menggunakan perhitungan manual metode Bishop

Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012 dengan hasil akhir adalah prediksi dari nilai faktor keamanan stabilitas lereng Waduk Brigif.

2.1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Lokasi
 Sumber: PT. Brantas Abipraya

Penelitian ini memiliki lokasi di Proyek Pembangunan Waduk Brigif, Kelurahan Cempedak, Kecamatan Jagakarsa, Jakarta Selatan, dengan lokasi lereng galian yang ditinjau berada pada STA 0+125.

2.2. Stabilisasi dengan Terasering

Berdasarkan penelitian [7], meneliti tentang pengaruh penggunaan terasering pada stabilitas lereng yang dipengaruhi oleh pembasahan tanah akibat adanya hujan dengan durasi yang bervariasi. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan penggunaan terasering dapat meningkatkan prediksi nilai faktor keamanan sebesar 22,8% dari keadaan eksisting pada intensitas hujan maksimum. Hal ini disebabkan oleh adanya pengurangan sudut lereng yang semakin landai sehingga pergerakan tanah oleh massa tanah menjadi berkurang [7].

Berdasarkan penelitian tersebut, digunakan terasering dalam proses desain lereng sebagai penanggulangan stabilitas lereng yang akan berhadapan langsung dengan air setiap waktunya. Pada desain lereng yang di analisis digunakan 2 terasering dengan sudut lereng 44°. Diharapkan dengan digunakannya terasering tersebut akan menambah nilai faktor keamanan dari lereng pada kondisi normal dan gempa bumi.

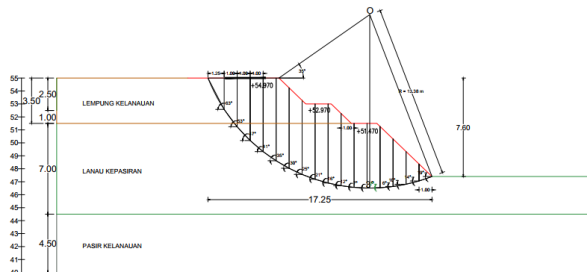
2.3. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng yang dilakukan menggunakan dasar dari keseimbangan batas terhadap gaya-gaya yang mampu menimbulkan keruntuhan lereng dengan nilai faktor keamanan kritis [8] yang dihasilkan dari membandingkan nilai dari tegangan geser tanah dan tegangan normal pada kondisi kritis [9] dan bukan hanya perbandingan pada kondisi maksimum saja sesuai dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb [10].

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Dengan:

- c = kohesi
- ϕ = sudut geser dalam ($^{\circ}$)



Gambar 3. Permodelan Irisan Analisis Stabilitas Lereng

Pada analisis stabilitas lereng galian dengan menggunakan perhitungan manual metode Bishop Sederhana di mulai dengan mencari titik pusat longsor dengan perbandingan lereng yang di dapat 1V : 1,5H dengan titik pusat longsor O dengan panjang $R = 13,38 \text{ m}$ dan sudut $\alpha = 35^{\circ}$ dan $\beta = 26^{\circ}$ dan dilanjutkan dengan membuat irisan setiap bidang longsor seperti **Gambar 3** dengan jumlah irisan sebanyak 17 irisan. Pada perhitungan dengan metode ini, digunakan rumus untuk mencari nilai faktor keamanan adalah sebagai berikut:

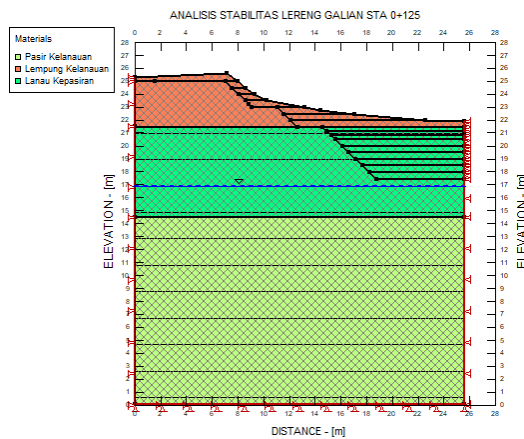
$$FK_{bu} = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi']}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \frac{1}{m_{\alpha(n)}} \quad (2)$$

Dan untuk kondisi gempa, yaitu:

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot b_n + [(w_n - u_n b_n) f_h \sin a] \tan \phi)}{(w_n - f_v) \sin a + f_h \cos a} \frac{1}{m_{a_n}} \quad (3)$$

Dengan:

- FK_{bu} = faktor keamanan lereng Bishop dengan rembesan
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- ϕ' = sudut geser dalam tanah efektif ($^{\circ}$)
- b_n = lebar irisan ke-n (m)
- W_n = berat irisan tanah ke-n (kN)
- α_n = sudut yang didefinisikan ($^{\circ}$)
- u_n = tekanan air pori pada irisan tanah ke-n (kN/m^2)



Gambar 4. Permodelan Eksisting STA 0+125

Pada analisis stabilitas lereng galian menggunakan aplikasi Geostudio-2012 dimulai dengan permodelan dari kondisi eksisting lokasi yang ditinjau dari hasil pemetaan lapangan dan data penyelidikan tanah untuk memasukan parameter tanah yang sesuai dengan kondisi lapangan ke dalam aplikasi. Selanjutnya, dari permodelan dan beban rencana yang akan membebani lereng di analisis dengan sub-program *SLOPE/W* mencari prediksi nilai faktor keamanan dari lereng yang ditinjau. Pada kasus penelitian yang dilakukan, diperlukan analisis prediksi untuk tekanan air pori yang terjadi dengan sub-program *SEEP/W* dan kemudian dilanjutkan dengan sub-program *SLOPE/W*.

Penelitian ini, dilakukan dengan dua metode perhitungan yaitu perhitungan manual metode Bishop Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012 dengan harapan dapat hasil prediksi nilai dari stabilitas lereng dan faktor keamanan lereng yang ditinjau secara akurat dan dapat memperkuat hasil dari analisis yang dilakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter Tanah

Parameter tanah didapatkan berdasarkan hasil korelasi dari data penyelidikan tanah yang terdekat dengan lokasi tinjauan yaitu data boring log-1 dengan kedalaman data 15 m dan terdapat 3 lapisan tanah. Hasil dari korelasi parameter tanah yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Korelasi Parameter Tanah Boring Log-1

	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Satuan
	0 - 3,5	3,5 - 10,5	10,5 - 15	m
<i>Model</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	<i>Mohr – Coulomb</i>	-
<i>Type</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	-
γ_m	17	18	19	kN/m^3
γ_{sat}	19	20	21	kN/m^3
E	7000	12000	12000	kN/m^2
C	12	55	5	kN/m^2
v	0,3	0,4	0,3	-
K_x	1,E-05	1E-03	1E-04	m/hari
ϕ	32	32	38	$^{\circ}$

Berdasarkan **Tabel 1**, didapatkan hasil dari nilai korelasi data N-SPT yang akan digunakan pada proses analisis stabilitas lereng galian. Data tersebut terdapat 3 jenis lapisan tanah yaitu lapisan pertama adalah lempung kelanauan, lapisan kedua adalah lanau kepasiran, dan lapisan ketiga adalah pasir kelanauan.

3.2. Pembebanan

Beban yang diperhitungkan adalah beban dari rencana yang akan membebani lereng selama masa layan Waduk Brigif.

3.2.1. Pembebanan Masa Layan Waduk

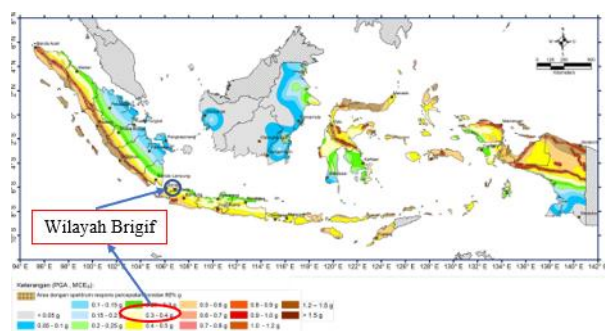
Pada masa layan Waduk Brigif, akan dibangun jalan yang memiliki fungsi sebagai jalan bagi pengunjung dan juga sebagai jalur inspeksi pengelola dalam melakukan pemeliharaan dan perawatan Waduk Brigif. Beban masa layan adalah sebagai berikut:

Beban Pelaksanaan	Berat Volume
Perkerasan	9,69 kN/m ²
Lalu lintas	10 kN/m ²
Total Beban	19,69 kN/m ²

Beban yang diperhitungkan adalah beban struktur perkerasan, beban lalu lintas, dan beban air waduk. Pada perhitungan beban air waduk dimodelkan sebagai rembesan pada perhitungan manual metode Bishop Sederhana dan dimodelkan sebagai beban air dengan ketinggian sesuai dengan rencana pada aplikasi Geostudio-2012.

3.2.2. Beban Gempa

Berdasarkan peraturan SNI 1726-2019, analisis stabilitas lereng merupakan salah satu ketentuan dari laporan investigasi geoteknik pada evaluasi bahaya gempa, maka dilakukan pembebanan terhadap gaya gempa yang terjadi.



Gambar 5. Peta Gempa Maksimum Indonesia.
 Sumber: SNI 1726-2019

Kriteria beban gempa yang didapat berdasarkan **Gambar 5**, adalah Waduk Brigif termasuk kedalam wilayah dengan kelas situs tanah sedang (SD) dengan beban gempa (PGA) yang digunakan 0,4 g dan koefisien

situs gempa (F_{PGA}) adalah 1,2, maka didapatkan beban gempa:

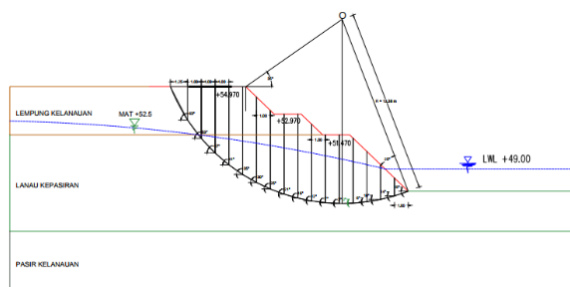
$$k_h = 0,5 \times 0,48 \text{ g/g} = 0,24$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan beban gempa pada lokasi penelitian adalah sebesar $k_h = 0,24$.

3.3. Analisis Stabilitas Lereng Metode Bishop Sederhana

Analisis stabilitas dengan metode ini adalah metode perhitungan dengan *trial and error* dalam memprediksikan nilai faktor keamanan untuk nilai dari FK_b . Oleh karena itu, akan dicoba beberapa nilai untuk mencari nilai dengan hasil yang sama ataupun mendekati dari hasil perhitungan.

3.3.1. Kondisi Low Water Level



Gambar 6. Permodelan Irisian Kondisi LWL

Pada **Gambar 6**, adalah permodelan lereng pada kondisi muka air rendah rencana yang berada pada elevasi +49,00 dan muka air tanah pada elevasi +52,50. Berdasarkan permodelan diatas, didapatkan hasil prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi normal adalah sebagai berikut:

$$FK_{bu}: 4,00 = FK_{bu} = \frac{1756,11}{378,50} = 4,64$$

$$FK_{bu}: 4,45 = FK_{bu} = \frac{1758,25}{378,50} = 4,65$$

$$FK_{bu}: 4,65 = FK_{bu} = \frac{1759,09}{378,50} = 4,65$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng di atas, didapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan lereng pada kondisi normal sebesar 4,65. Sedangkan prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi gempa adalah sebagai berikut:

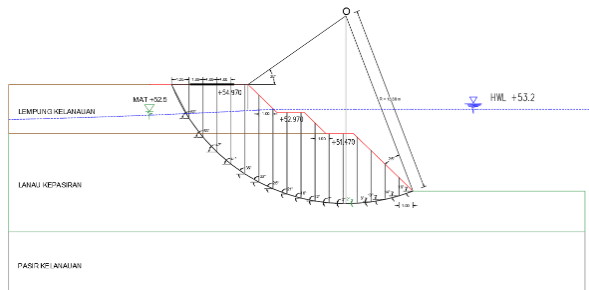
$$FK_{bu}: 2,22 = \frac{1765,94}{378,50 + 265,75} = 2,53$$

$$FK_{bu}: 2,65 = \frac{1771,33}{378,50 + 265,75} = 2,75$$

$$FK_{bu}: 2,75 = \frac{1772,38}{378,50 + 265,75} = 2,75$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng galian di atas, didapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan pada kondisi gempa sebesar 2,75.

3.3.2. Kondisi High Water Level



Gambar 7. Permodelan Irisan Kondisi HWL

Pada **Gambar 7**. Adalah permodelan lereng pada kondisi muka air tinggi rencana dengan elevasi +53,20 dan muka air tanah dengan elevasi +52,50. Berdasarkan permodelan diatas, didapatkan hasil prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi normal adalah sebagai berikut:

$$FK_{bu}: 2,36 = FK_{bu} = \frac{868,73}{338,36} = 2,57$$

$$FK_{bu}: 2,53 = FK_{bu} = \frac{855,97}{338,36} = 2,53$$

$$FK_{bu}: 2,83 = FK_{bu} = \frac{856,47}{338,36} = 2,53$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng galian diatas, didapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan lereng pada kondisi normal sebesar 2,53. Sedangkan prediksi analisis stabilitas lereng galian pada kondisi gempa adalah sebagai berikut:

$$FK_{bu}: 1,30 = \frac{888,95}{338,36 + 202,86} = 1,64$$

$$FK_{bu}: 1,45 = \frac{893,34}{338,36 + 202,86} = 1,65$$

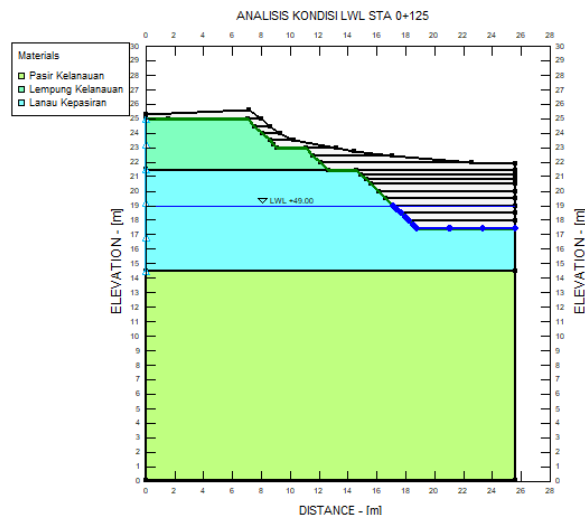
$$FK_{bu}: 1,66 = \frac{898,23}{338,36 + 202,86} = 1,66$$

Dari hasil analisis stabilitas lereng galian diatas, didapat hasil prediksi nilai faktor keamanan lereng pada kondisi gempa adalah sebesar 1,66.

3.4. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Geostudio-2012

Analisis stabilitas lereng galian dengan Geostudio-2012 dimulai dengan permodelan lereng dan memasukan material tanah sesuai dengan **Tabel 1**. yang kemudian digunakan sub-program *SEEP/W* untuk menganalisis tekanan air pori yang terjadi dan digunakan sub-program *SLOPE/W* untuk menganalisis stabilitas lereng dengan hasil akhir adalah nilai faktor keamanan lereng.

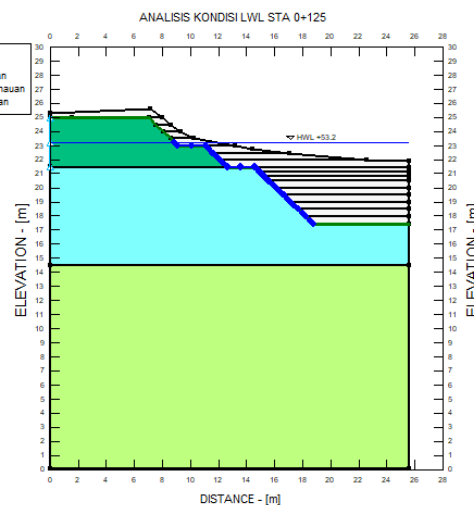
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.381>



Gambar 8. Permodelan Lereng Pada Kondisi LWL

Pada kondisi muka air rendah rencana selama masa layan waduk dimodelkan berada pada elevasi +49,00 sesuai dengan data yang diperoleh.

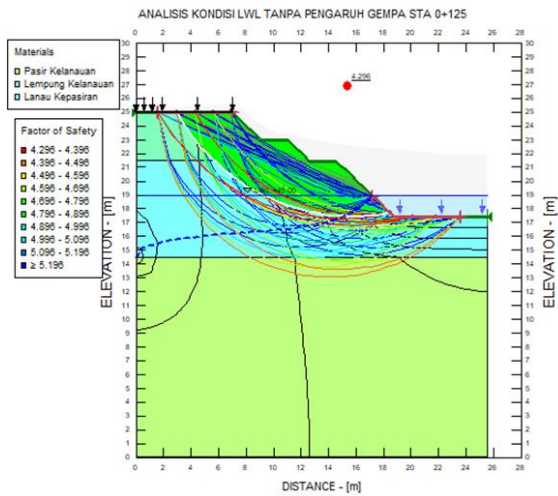
Sedangkan pada kondisi muka air tinggi rencana dimodelkan air berada pada elevasi +53,20 sesuai dengan data. Permodelan lereng untuk muka air tinggi adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Permodelan Lereng Kondisi HWL

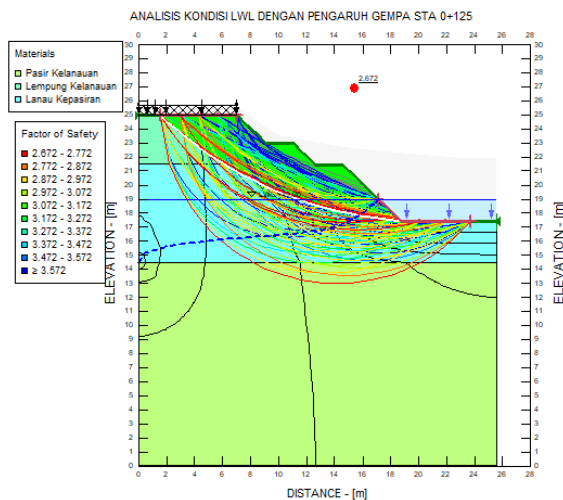
Berikut adalah analisis stabilitas lereng galian dengan menggunakan aplikasi Geostudio-2012:

3.4.1. Kondisi *Low Water Level*



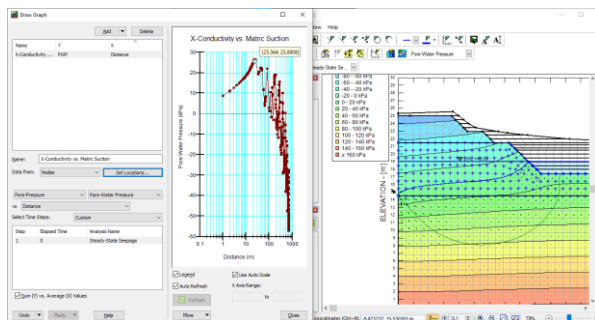
Gambar 10. Prediksi Hasil Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Normal

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng galian terbuka pada kondisi normal di dapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan sebesar $4,296 > 1,25$ dan lereng dapat dikatakan stabil.



Gambar 11. Prediksi Hasil Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Gempa

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng galian pada kondisi gempa bumi di dapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan sebesar $2,672 > 1,1$. Oleh karena itu, lereng dapat dikatakan stabil.



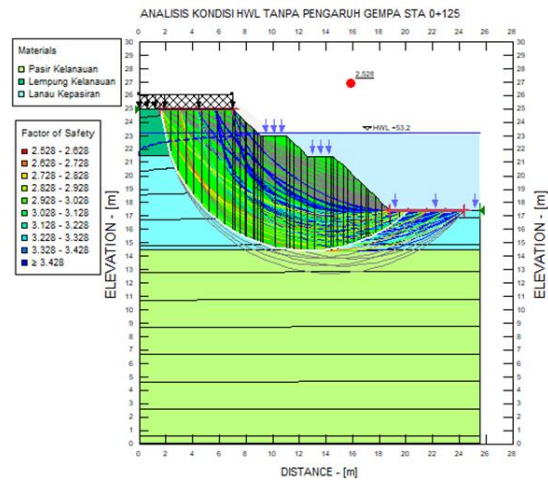
Gambar 22. Prediksi Tekanan Air Pori

Gambar 12. menunjukkan prediksi nilai tekanan air pori yang terjadi sebesar $25,564 \text{ kPa}$ dengan perhitungan tekanan air pori adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 u &= (H_{MAT} - H_{air \text{ rencana}}) \times \gamma_{air} \\
 &= (52,5 - 49) \times 9,81 \\
 &= 34,335 \text{ kPa} > 25,564 \text{ kPa}.
 \end{aligned}$$

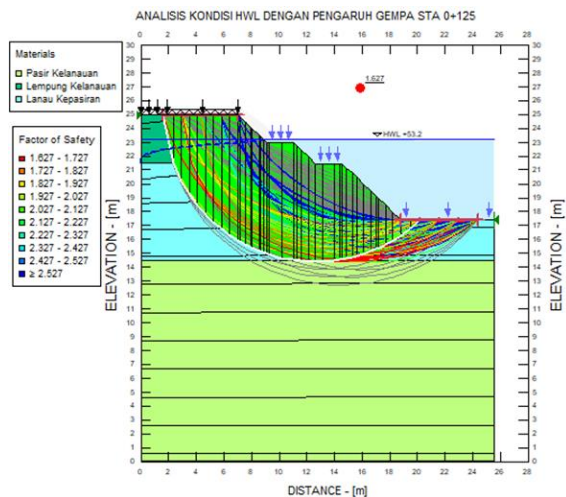
Berdasarkan perhitungan diatas, prediksi tekanan air pori yang terjadi masih lebih kecil dari prediksi batas tekanan air pori sehingga dapat dikatakan aman dari kelongsoran terhadap tekanan air pori.

3.4.2. Kondisi *High Water Level*



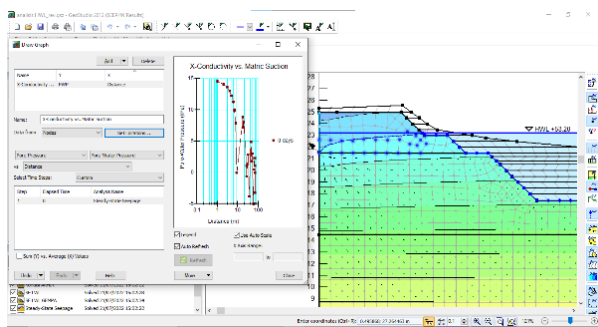
Gambar 13. Prediksi Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Normal

Gambar 13. Menunjukkan bahwa hasil prediksi analisis stabilitas lereng terhadap nilai faktor keamanan sebesar $2,528 > 1,25$ sehingga lereng dapat dikatakan stabil terhadap kelongsoran.



Gambar 14. Prediksi Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Gempa

Berdasarkan hasil analisis diatas, di dapatkan hasil prediksi nilai faktor keamanan pada kondisi gempa yaitu sebesar $1,627 > 1,1$ sehingga lereng masih stabil terhadap kelongsoran pada kondisi gempa bumi.



Gambar 153. Prediksi Tekanan Air Pori

Pada **Gambar 15**, menunjukkan bahwa prediksi nilai tekanan air pori yang terjadi sebesar 14,505 kPa dengan batas tekanan air pori yang dapat di hitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} u &= (H_{MAT} - H_{air\ rencana}) \times \gamma_{air} \\ &= (52.5 - 53.2) \times 9.81 \\ &= -6.867 < 14.505\ kPa \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, di dapatkan hasil prediksi tekanan air pori negatif yang mengakibatkan tegangan efektif tanah dan stabilitas tanah bertambah [11].

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa penggunaan terasering mampu menambah nilai stabilitas lereng galian terbuka terhadap beban selama masa layan berdasarkan analisis stabilitas lereng galian yang dilakukan dengan metode Bishop Sederhana dan perhitungan aplikasi Geostudio-2012 dengan didapatkan hasil prediksi analisis pada setiap ketinggian muka air rencana saat kondisi normal dan kondisi gempa bumi masih lebih besar dari batas izin nilai faktor keamanan setiap kondisinya sehingga lereng dapat dikatakan stabil terhadap kelongsoran dengan intensitas kelongsoran jarang terjadi. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa lereng masih stabil walaupun batas jarak yang terdapat di lokasi penelitian tidak sesuai dengan batas jarak untuk galian terbuka sesuai dengan peraturan yang berlaku.

5. Daftar Rujukan

[1] A. Jihans, Amanullah and I. A. Sofian, “Analisa Stabilitas Lereng Galian Pada Proyek Pembangunan Tol Semarang Batang Sta 430 + 300,” Semarang, 2017.

[2] S. Wulandari, “Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium) Dan Elemen Hingga (Finite Element) Nuryanto,” Vol. 16, No. 1, 2017.

[3] SNI-8460-2017, “Persyaratan perancangan geoteknik.” [Online]. Available: www.bsn.go.id

[4] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. 1987.

[5] A. Gazali, A. Sidiq, And A. Surya, “Analisis Stabilitas Lereng Dan Penanggulangan Longsoran Menggunakan Program Plaxis V.8.2,” *Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, 2020.

[6] Badan Standarisasi Nasional, *SNI-1726-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. 2019.

[7] I. Hoesain, D. Supriadi, I. Ashari, T. Sulistyowati, and A. Prabowo, “Analisa Pengaruh Metode Terasering Pada Stabilitas Lereng Menggunakan Geoslope/W6 Analysis of Effect Terracing Method on Slope Stability by Geostudio V.6 Software,” *Spektrum Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 108–116, 2018.

[8] H. Mulyanto, “Analisis Kestabilan Lereng Pada Batuan Lapuk Menggunakan Kriteria Keruntuhan Generalized Hoek-Brown Dan Mohr-Coulomb Ekuivalen (Slope Stability Analysis Of Weathered Rock Applying Generalized Hoek-Brown And Equivalent Mohr-Coulomb Failure Criterion),” *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 39, no. 1, pp. 30–43, 2022.

[9] P. C. L. Lengkon, S. Monintja, J. E. R. Sumampouw, and A. N. Sarajar, “Hubungan Kuat Geser Pada Tanah Dengan Hasil Percobaan Dynamic Cone Penetrometer Pada Ruas Jalan Wori-Likupang Kabupaten Minahasa Utara,” *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 5, 2013.

[10] I. N. Hamdan and D. S. Pratiwi, “Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600,” *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 1, no. 2, 2017.

[11] D. D. Mellawati, “Analisa Stabilitas Lereng Di Perbukitan Sekaran Semarang Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis,” Universitas Negeri Semarang, 2017.



Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Struktur Kepala Jembatan

Galang Rasyid Januar¹, Putera Agung Maha Agung²

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹galang.rasyidjanuar.ts17@mhs.w.pnj.ac.id*, ²putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id

Abstract

The foundation is an important part of the building, especially on the bridge that serves to withstand the load either its own weight or the load that works on it. The bearing capacity of the soil is the main support for a foundation as a component that transmits the load acting on the soil. Based on the results of the analysis of the bearing capacity of the drilled head of the bridgehead of the X toll road project, which was planned by the author with a configuration of 15 poles with a diameter of 100 cm at a depth of 20 m, the Ascial bearing capacity of 207,703 for single piles and 2429,674 tons for groups was obtained based on the Resse and Wright method. Meanwhile, the lateral bearing capacity is 249,206 tons for single-clamp conditions and 2915,159 tons for group piles using the Broms method. The decrease that occurred was 1,805 cm for single piles and 2,199 cm for group piles, and based on the calculation of stability, the configuration was said to be stable to withstand the working load.

Keywords: Broms, Bored Pile, Carrying Capacity, Resse & Wright, SPT

Abstrak

Pondasi merupakan bagian penting pada bangunan khususnya pada jembatan yang berfungsi menahan beban baik berat sendiri atau beban yang bekerja di atasnya. Daya dukung tanah merupakan pendukung utama suatu pondasi sebagai komponen yang meneruskan beban yang bekerja ke tanah. Berdasarkan hasil Analisis Daya Dukung Tiang Bor Kepala Jembatan proyek Jalan tol X yang di rencanakan penulis dengan konfigurasi 15 tiang diameter 100 cm pada kedalaman 20 m di dapatkan Daya Dukung Askial sebesar 207,703 untuk tiang tunggal dan 2429,674 ton untuk kelompok berdasarkan metode Resse dan Wright. Sedangkan untuk daya dukung Lateral di dapat sebesar 249,206 ton kondisi jepit tunggal dan 2915,159 ton untuk tiang kelompok menggunakan metode Broms. Penurunan yang terjadi sebesar 1,805 cm untuk tiang tunggal dan 2,199 cm untuk tiang kelompok, serta berdasarkan perhitungan stabilitas Konfigurasi di katakan Stabil untuk menahan beban yang bekerja.

Kata kunci: Broms, Daya dukung, Resse & Wright, SPT, Tiang Bor,

Diterima Redaksi : 09-09-2021 | Selesai Revisi : 13-07-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

Pembangunan di Indonesia mengalami kemajuan pesat dan bersamaan dengan itu pemerintah harus menyediakan sarana dan prasarana yang baik untuk mendukung kemajuan tersebut, salah satunya dengan membangun jalan tol, salah satunya Proyek jalan tol X yang berlokasi di Provinsi Bengkulu. Dalam pembangunan jalan tol biasanya terdapat bangunan jembatan sebagai struktur yang di bangun untuk memungkinkan kendaraan dapat menyebrangi rintangan seperti sungai, jalan raya, ataupun rel kereta api [1].

Pada kontruksi Jembatan salah satu bagian terpenting di dalamnya adalah pondasi karena terletak pada bagian

bawah dari struktur bangunan yang berperan menahan beban beban, baik beban mati, beban hidup, beban sendiri, beban gempa dan beban lainnya [2]. Pondasi yang di rencanakan harus bisa menahan beban baik arah askial ataupun arah lateral [3]. Beban Lateral adalah beban yang arahnya tegak lurus tiang yang dapat mengakibatkan terjadi pergeseran jika tiang tak mampu menahannya [4]. Pondasi tiang telah menjadi satu pilihan dalam proyek infrastruktur dikarenakan pondasi jenis tiang ini mampu meneruskan beban dari struktur di atasnya ke dalam lapisan tanah keras [5]. Pondasi tiang bor adalah jenis pondasi tiang yang pemasangannya di lakukan dengan cara melakukan pengeboran tanah terlebih dahulu, setelah itu di isi dengan tulangan yang



Lisensi

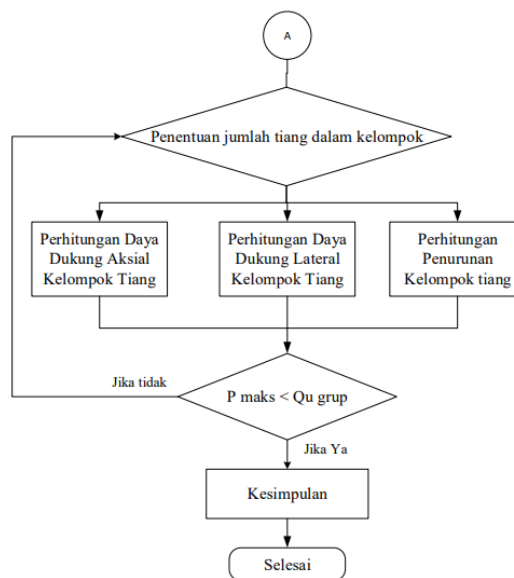
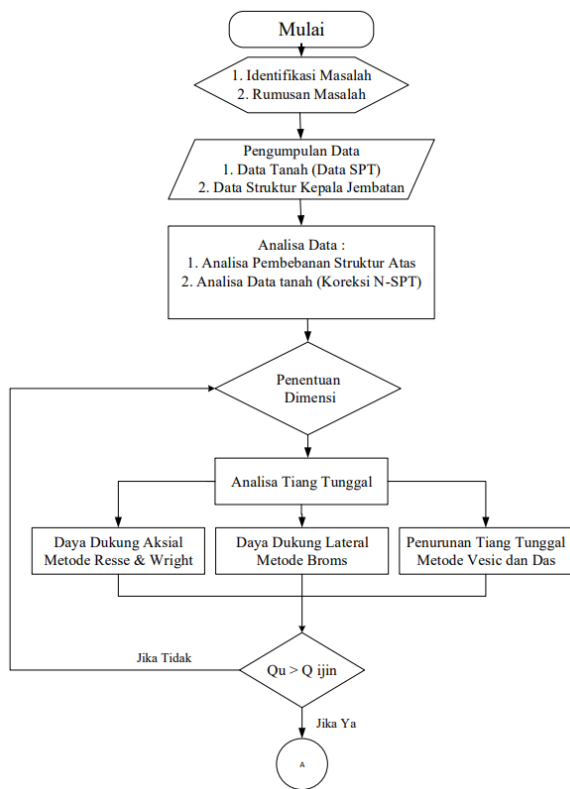
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

telah di rangkai dan kemudian di cor dengan beton [6]. Daya dukung pondasi jenis tinjau bor ini di pengaruhi daya dukung pada ujung tiang dan daya dukung pada selimut tiang [7]. Daya dukung pondasi merupakan seberapa besar kekuatan tanah menopang beban yang bekerja padanya dan dapat di ketahui berdasarkan data uji lapangan ataupun uji laboratorium [8]. Investigasi tanah dengan cara Standard Penetration Test (SPT) umumnya di lakukan untuk mendapatkan daya dukung tanah pada lokasi yang di tinjau [9].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dukung aksial, lateral dan penurunan tiang bor tunggal dan kelompok serta stabilitas terhadap beban yang bekerja.

2. Metode Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini secara ringkas disajikan dalam bagan alir berikut.



Gambar. 1 Bagan Alir Penelitian

Metode pengambilan data di lakukan dengan cara studi dokumen sekunder, Data data tersebut terdiri dari data gambar rencana dan data tanah N-SPT.

Metode analisis perhtungan daya dukung berdasarkan data N-SPT menggunakan metode *Resse & Wright*, untuk daya dukung ujung tiang pada tanah non-kohesif ($N \leq 60$) [10].

$$Q_b = q_p \times A_p \tag{1}$$

$$q_p = 7 \times N \times 10 \tag{2}$$

Dengan:

Q_b = Daya dukung ujung tiang (kN)

q_p = tahanan ujung per satuan luas (kN/m^2)

A_p = luas penampang pondasi (m^2)

Daya dukung selimut tiang bor pada tanah non-kohesif ($N < 53$)

$$Q_s = q_s \times L \times P \tag{3}$$

$$q_s = 3.2 \times N \tag{4}$$

Dengan:

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

P = Keliling tiang (m)

q_s = Tahanan selimut persatuan luas (kN/m^2)

Metode perhitungan daya dukung lateral yang di gunakan adalah dengan metode Broms yang dapat di gunakan untuk mengetahui tahanan lateral ultimit untuk tanah kohesif atau granular. Sebelum menghitung daya dukung Lateral, tiang terlebih dahulu ditentukan sebagai

tiang Panjang atau tiang pendek dengan berdasarkan kekakuan relative R atau T untuk lapisan pasir dengan persamaan di bawah :

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{nh}} \quad (5)$$

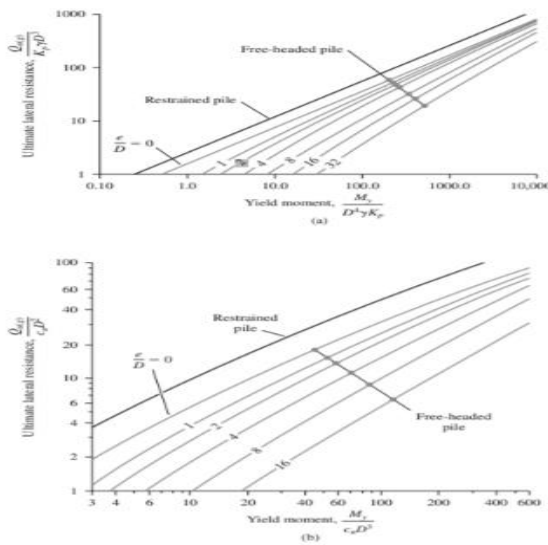
Dengan:

E_p = Modulus elastisitas tiang

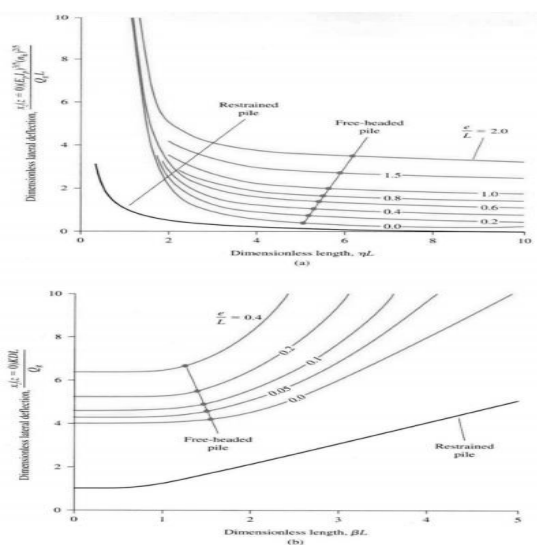
nh = Koefisien variasi modulus

I_p = Inersia Penampang

Selanjutnya daya dukung lateral ultimit dapat di tentukan besarnya dengan grafik pada gambar di bawah



Gambar. 2 Solusi Brom untuk menentukan tahanan lateral ultimit untuk tiang Panjang pada : lapisan pasir (a) dan lempung (b)



Gambar. 3 Solusi Brom untuk menentukan defleksi untuk kepala tiang tunggal pada lapisan pasir (a) dan lempung (b)

Metode perhitungan penurunan elastis tiang tunggal dengan cara Vesic dan Das adalah sebagai berikut :

$$Se(1) = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (6)$$

Dengan:

Q_{wp} = Beban yang didukung ujung Tiang

Q_{ws} = Beban yang didukung Selimut Tiang

A_p = Luasan penampang tiang

L = Panjang tiang

E_p = Modulus elastisitas tiang

ξ = Faktor distribusi per satuan tahanan friksi tiang biasanya di pakai 0,5 sampai 0,67

$$Se(2) = \frac{(q_{wp} \cdot D)}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{wp} \quad (7)$$

Dengan:

D = Diameter tiang

q_{wp} = Beban yang di terima ujung tiang per satuan luas

E_s = Modulus elastisitas tanah di bawah ujung tiang

μ_s = Angka *poisson ratio*

I_{wp} = Faktor pengaruh bentuk ujung tiang 0,85

$$Se(3) = \frac{(Q_{ws})}{P \cdot L} \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} \quad (8)$$

Dengan;

P = Keliling penampang tiang

L = Panjang total tiang

I_{ws} = Faktor pengaruh yang di tentukan sebagai

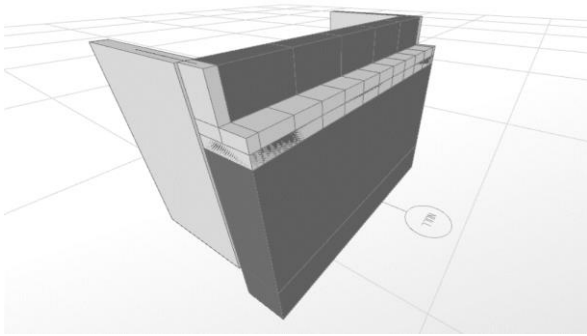
$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{B}}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Dimensi pondasi yang di tinjau pada penelitian adalah diameter 100 cm kedalaman 20 m dengan jumlah tiang 15 buah.

3.1. Analisa Struktur Atas

Dengan bantuan perangkat lunak SAP200 analisa struktur di lakukan unruk mendapatkan reaksi perletkan akinat beban beban yang bekerja pada kepala jembatan. Permodelan di buat dengan *material properties* dan *section proprties* yang sesuai seperti di tunjukan pada Gambar 2.



Gambar. 4 Permodelan Kepala Jembatan

Sebelum di gunakan untuk perhitungan data N-SPT di koreksi dahulu terhadap kondisi lapnagan, di gunakan perhitungan pada kedalaman 20m.

$$\begin{aligned}
 N &= 50 \\
 E_m &= 0.5 \\
 C_B &= 1 \\
 C_S &= 1 \\
 C_R &= 0.75 \\
 N_{60} &= (E_m \times C_B \times C_S \times C_R \times N)/60 \\
 &= 31,25
 \end{aligned}$$

Hasil Reaksi Perletakan dari program SAP2000 pada dua kombinasi Kuat 1 dan Extreme 1 yang menghasilkan reaksi terbesar yang selanjutnya di sajikan pada tabel 1.

Tabel. 1 Hasil reaksi perletakan

Kombinasi	V	Mx	My
	kN	kNm	kNm
Kuat 1	17989,49	0	50970,859
Extreme 1	15044,694	30684,598	148175,53

3.2. Analisa Data Tanah

Pada penelitian ini data tanah yang di gunakan adalah data N-SPT yang akan disajikan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel. 2 Data N-SPT

Depth (-) meter	Range m	N	Lapisan Tanah
0	0	0	Fill Material
2	2	4	Clayley Sand
4	2	5	Clayley sand
6	2	6	
8	2	7	Sedimentary Rock
10	2	50	
12	2	50	Sedimentary Rock
14	2	50	
16	2	50	Sand
18	2	50	
20	2	50	Sedimentary Rock
22	2	50	
24	2	50	
26	2	50	
28	2	50	Sand

end of boring

3.3. Daya dukung Aksial tiang tunggal

Berikut perhitungan aksial dengan tiang diameter 100cm dengan kedalaman 20 m dan digunakan faktor aman 2,5 untuk tanah non-kohefif digunakan persamaan dengan metode Resse dan Wright 1977.

Daya dukung ujung tiang pada tanah non-kohefif:

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_b + Q_s - W \\
 &= (7N \cdot 10 \cdot A_p) + (q_s \cdot L \cdot p) \text{ kN} \\
 &= 1718,75 + 3890,86 - 379,2 \\
 &= 5232,46 \text{ kN} \\
 Q_{all} &= 5232,46/2,5 \\
 &= 2092,99 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berikut ini hasil perhitungan tiang bor tunggal pada kedalaman 20 m

Tabel. 3 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Diameter Tiang cm	L. tiang cm	Qu Ton	Qijin Ton
80	2000	393,341	157,576
100	2000	519,258	207,703
120	2000	655,309	262,123

3.4. Daya dukung Lateral Tiang Tunggal

Dilakukan perhitungan dengan diameter 100 cm dan kedalaman 20 m dengan deskripsi tanah pasir. Untuk menghitung besaran daya dukung arah lateral lapisan tanah pasirin di lakukan penentuan kriteria tiang terlebih dahulu

a. Penentuan Kriteria Tiang

Kriteria tiang Panjang atau pendek berdasarkan nilai R atau T yang di tunjukkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel. 4 Penentuan Kriteria Tiang

Jenis Tiang	Modulus Tanah	
Kaku (pendek)	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Elastis (Panjang)	$L \geq 4T$	$L \geq 0,35R$

Dimana, $T = \sqrt[5]{\frac{Ei}{nh}}$ (dalam satuan Panjang)

$E =$ Modulus tiang beton $= 4700 \sqrt{f'c}$

$f'c = 30 \text{ Mpa} = 4700 \sqrt{30}$
 $= 257429,60 \text{ kg/cm}^2$

$I =$ Momen inersia Tiang $= \frac{1}{64} \times \pi \times D^4$

I untuk $D = 100 \text{ cm} = 4910714,28 \text{ cm}^4$

$nh =$ Modulus Variasi

$nh = 1,2 \text{ kg/cm}^3$

$T = 253,819 \text{ cm}$

$L \leq 2T = 2 \times 253,819 \text{ cm}$
 $= 20 \leq 424,645$ (not ok)

$L \geq 4T = 4 \times 253,8191 \text{ cm}$
 $= 20 \geq 489,291$ (ok)

Karena $L \geq 4T$ maka tiang bisa di kategorikan sebagai tiang Panjang.

$My = \frac{1}{8} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^3\right) \times S$

$My = \frac{1}{8} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 100^3\right) \times 4000 \text{ kg/cm}^2$
 $= 392500000 \text{ kg cm}$

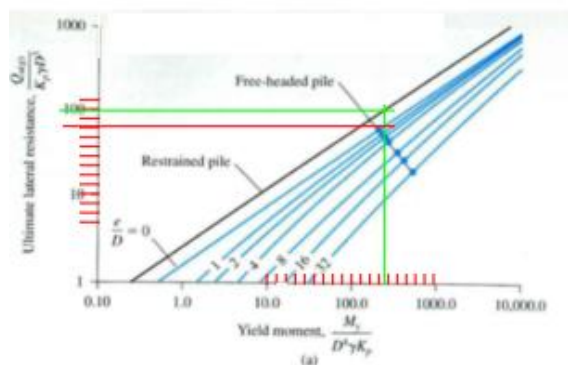
$\phi = 40$

$Kp = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$
 $= 4,58$

$\gamma_{sat} = 0,0018 \text{ kg/cm}^3$

$\frac{My}{D^4 \gamma Kp} = \frac{329500000}{100^4 \cdot 0,0018 \cdot 4,58}$

$= 475$ (di plotkan ke grafik solusi Broms)



Gambar. 5 Grafik Solusi Brom Untuk Penentuan Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Panjang

b. Daya dukung ultimit Lateral tiang Panjang jepit

$Qu_{(g)}/Kp \gamma D^3 = 130$

$Qu_{(g)} = 100 \times Kp \times \gamma \times D^3$
 $= 100 \times 4,58 \times 0,0018 \text{ kg/cm}^3 \times (100\text{cm})^3$
 $= 826200 \text{ kg}$
 $= 826,200 \text{ ton}$

Tiang Panjang bebas

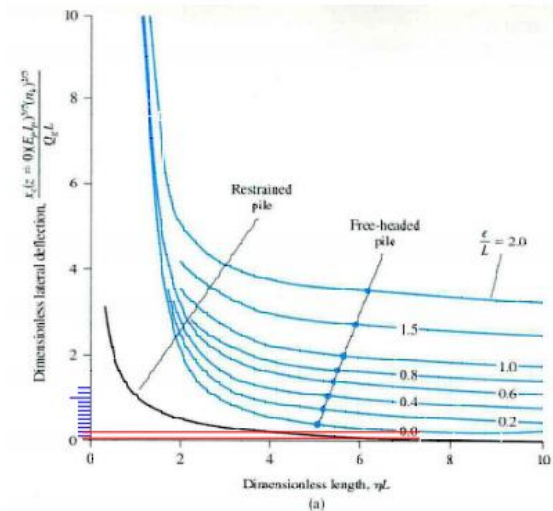
$Qu_{(g)}/Kp \gamma D^3 = 83$

$Qu_{(g)} = 83 \times Kp \times \gamma \times D^3$
 $= 83 \times 4,58 \times 0,0018 \text{ kg/cm}^3 \times (100\text{cm})^3$
 $= 685746 \text{ kg} = 685,746 \text{ ton}$

Kontrol Tahanan Lateral Ijin ($Q(g)$) terhadap defleksi horizontal.

Kondisi jepit

Defleksi lateral di permukaan tanah $Xz (z = 0)$ Peraturan DKI Jakarta untuk Struktur Bawah No. 7 Tahun 1991 Paragraf 4 (Pasal 147).



Gambar. 6 Grafik Solusi Broms Untuk Penentuan Nilai Daya Dukung Ijin Terhadap Defleksi Horizontal

Q(g) kondisi jepit

$$\frac{Xz(z=0) \cdot (Ep \cdot Ip)^{\frac{3}{5}} \cdot (n \cdot h)^{2/5}}{Qg \cdot L} = 0,051$$
 (di dapat dari grafik solusi Broms untuk menentukan defleksi kepala tiang tunggal pada pasir.

$Xz(0) = 1,27 \text{ cm}$

$$Qg = \frac{Xz(z=0) \cdot (Ep \cdot Ip)^{\frac{3}{5}} \cdot (n \cdot h)^{2/5}}{Qg \cdot L} = \frac{1,27 \cdot (25742,96 \cdot 4910714,286)^{\frac{3}{5}} \cdot (1,2)^{2/5}}{2000 \cdot 0,051} = 249206 = 249,206 \text{ ton}$$

$Qu(g) \text{ ultimate} > Qu(g)$

$826,200 \text{ ton} > 249,206 \text{ ton} \Rightarrow \text{OK}$

Q(g) kondisi bebas

$$\frac{Xz(z=0) \cdot (Ep \cdot Ip)^{\frac{3}{5}} \cdot (n \cdot h)^{2/5}}{Qg \cdot L} = 0,2$$
 (di dapat dari grafik solusi Broms untuk menentukan defleksi kepala tiang tunggal pada pasir.

$Xz(0) = 1,27 \text{ cm}$

$$Qg = \frac{Xz(z=0) \cdot (Ep \cdot Ip)^{\frac{3}{5}} \cdot (n \cdot h)^{2/5}}{Qg \cdot L} = \frac{1,27 \cdot (25742,96 \cdot 4910714,286)^{\frac{3}{5}} \cdot (1,2)^{2/5}}{2000 \cdot 0,2} = 62301 \text{ kg} = 62,301 \text{ ton}$$

$Qu(g) \text{ ult} > Qu(g)$

$685,746 > 62,301 \text{ ton} \Rightarrow \text{OK}$

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.251>

Tabel. 5 Hasil Perhitungan Daya Dukung Lateral Tunggal

Panjang Tiang 20 meter				
S=D (cm)	Jenis Tiang	Qijin (ton)	Qu (ton)	Syarat Q ijin < Qu
80	Panjang	182,341	676,823	Ok
100	Panjang	249,206	826,200	Ok
120	Panjang	275,718	1327,736	Ok

3.5. Penurunan elastis tiang tunggal

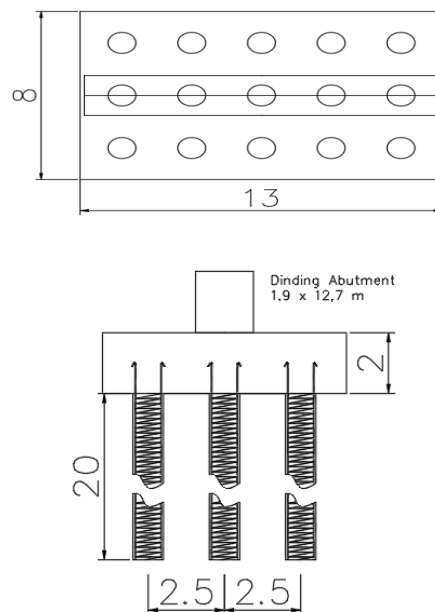
Hasil Perhitungan penurunan elastis tiang dengan kedalaman 20 m didapatkan sebagai berikut pada tabel di bawah dengan metode Vesic dan Das.

Tabel. 6 Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal

Diameter Tiang (cm)	Se1 (mm)	Se2 (mm)	Se3 (mm)	Se total (mm)
80	1,955	12,495	0,618	15,068
100	1,700	15,619	0,734	18,053
120	1,530	18,743	0,847	21,120

3.6. Daya dukung tiang Kelompok

Jumlah tiang yang digunakan yaitu 15 tiang dengan konfigurasi berikut $n_x = 3$ dan $n_y = 5$ seperti pada gambar di bawah:



Gambar 7. Jumlah Tiang Konfigurasi $n_x = 3$ dan $n_y = 5$

3.7. Daya dukung Aksial Tiang Kelompok

Dengan memperhitungkan pengaruh efisiensi tiang dalam kelompok dilakukan perhitungan tiang kelompok sebagai berikut di bawah

Tabel. 7 Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok

Data Hasil	Nilai	Satuan
Formula Sederhana	0,722	-
Converse Labarre	0.717	-
Los Angeles	0.780	-
Seiler-Keeney	1.0359	-
μ rata-rata	0.780	-
Daya dukung tunggal	207,703	
Qu(grup) = $\Sigma Q_u \times \mu \times n$	2429,674	Ton

3.9. Daya dukung Lateral Kelompok

Dengan memperhitungkan pengaruh efisiensi tiang dalam kelompok dilakukan perhitungan tiang kelompok sebagai berikut di bawah ini

Tabel. 8 Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok

Data Hasil	Nilai	Satuan
Formula Sederhana	0,722	-
Converse Labarre	0.717	-
Los Angeles	0.780	-
Seiler-Keeney	1.0359	-
μ rata-rata	0.780	-
Daya dukung tunggal	249,206	
Qu(grup) = $\Sigma Q_u \times \mu \times n$	2915,158	Ton

3.8. Kontrol beban aksial Dinamis dan Statis

a. Beban Dinamis

$$P_{maks} = \frac{P_{total}}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma y^2}$$

$$= 133,573 + 402,919 + 41,718$$

$$= 578,211 \text{ ton}$$

$$Q_u(\text{grup}) = 2429,674 \text{ ton}$$

$$P_{maks} < Q_u \text{ grup}$$

$$578,210 \text{ ton} < 2429,674 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

$$P_{total} < Q_u \text{ grup}$$

$$2003,6 \text{ ton} < 2429,674 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

b. Beban Statis

$$P_{maks} = \frac{P_{total}}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma y^2}$$

$$= 153,210 + 138,6 + 0$$

$$= 291,810 \text{ ton}$$

$$Q_u(\text{grup}) = 2429,674 \text{ ton}$$

$$P_{maks} < Q_u \text{ grup}$$

$$291,809 \text{ ton} < 2429,647 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

$$P_{total} < Q_u \text{ grup}$$

$$2298,149 \text{ ton} < 2429,647 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

3.10. Kontrol Beban Lateral Dinamis dan Statis

a. Beban Dinamis

$$H_{maks} = \frac{H_{total}}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma y^2}$$

$$= 161,653 + 402,919 + 41,7118$$

$$= 606,290 \text{ ton}$$

$$Q_u(\text{grup}) = 2915,158 \text{ ton}$$

$$H_{maks} < Q_u \text{ grup}$$

$$606,290 \text{ ton} < 2915,158 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

$$H_{total} < Q_u \text{ grup}$$

$$2424,8 \text{ ton} < 2915,158 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

b. Beban Statis

$$H_{maks} = \frac{H_{total}}{n} + \frac{M_y \times X}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \times Y}{\Sigma y^2}$$

$$= 82,254 + 138,6 + 0$$

$$= 220,854 \text{ ton}$$

$$Q_u(\text{grup}) = 2915,158 \text{ ton}$$

$$H_{maks} < Q_u \text{ grup}$$

$$220,854 \text{ ton} < 2915,158 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

$$H_{total} < Q_u \text{ grup}$$

$$2424,8 \text{ ton} < 2915,158 \text{ ton} \Rightarrow \text{Ok}$$

3.11. Penurunan elastis tiang kemlompok

Peneurunan elastis kelompok akibat beban statis

$$q = \frac{P \text{ maks}}{(Bg \times Lg)}$$

$$= \frac{2296,67}{(1300 \times 800)}$$

$$= 2,209 \text{ kg/cm}^2$$

$$N60 = 31,25$$

$$I > 0,807$$

$$Sg(e) = \frac{0,96 \times q \sqrt{Bg \cdot I}}{N60}$$

$$Sg(e) = \frac{0,96 \times 2,209 \sqrt{1300 \cdot 0,807}}{31,25}$$

$$= 2,199 \text{ cm} = 21,997 \text{ mm}$$

Untuk penurunan akibat beban dinamis di gunakan dengan Langkah perhitungan yang sama dengan beban perhitungan dinamis, di dapatkan hasil sebesar 1,917 cm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan Hasil Analisis Daya dukung aksial untuk pembangunan Jembatan Proyek X dengan metode Resse dan Wright di dapatkan hasil sebesar 207,703 ton pada kedalaman 20 m untuk tiang tunggal dan 2429,674 ton untuk tiang kelompok. Berdasarkan hasil perhitungan satbilas aksial beban statis dan beban dinamis di dapat $Q_u \text{ grup} > P \text{ total}$, dengan 2429,674 ton $>$ 2298,149 ton maka pondasi dinyatakan Stabil.

Berdasarkan Hasil Analisis Daya dukung Lateral untuk pembangunan Jembatan Proyek X dengan metode Broms di dapatkan hasil sebesar 249,206 ton kondisi jepit untuk tiang tunggal diameter 100 cm dan 2915,159 ton untuk tiang kelompok. Berdasarkan hasil perhitungan satbilas beban Lateral statis dan dinamis di dapat $Q_u \text{ grup} > H \text{ total}$, dengan 2915,159 ton $>$ 2424,796 ton maka pondasi dinyatakan Stabil.

Berdasarkan Hasil Analisis Penurunan elastis untuk pembangunan Jembatan Proyek X di dapatkan hasil sebesar 1,805 cm untuk tiang tunggal diameter 100 cm dan 2,199 cm untuk tiang kelompok. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan elastis beban statis dan dinamis di dapat penurunan $<$ 2,54 cm.

Daftar Rujukan

[1] G. Roschedy, F. J. Manoppo, A. T. Mandagi, and K. Gorontalo, "Analisis daya dukung

pondasi jembatan gorr," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 4, pp. 397–408, 2019.

[2] D. Hartanto, Y. Cahyo, and S. Winarto, "Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Sekretariat Dewan Dprd Kabupaten Kediri," *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 303–312, 2018, doi: 10.30737/jurmateks.v1i2.418.

[3] D. Suryani, F. Indriyani, and A. Salimah, "Perencanaan Pondasi Bored Pile Proyek Double-Double Track Manggarai–Jatinegara," *Pros. Semin. Nas. ...*, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/snts/article/view/2430>.

[4] S. Kawengian, S. Balamba, and A. N. Sarajar, "Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang," *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 9, pp. 683–692, 2018.

[5] J. Mitra, T. Sipil, G. Pratama, A. Kawanda, and C. Castello, "Latar belakang," *J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, pp. 113–122, 2019.

[6] P. A. M. Agung, K. W. Djuwari, and M. F. Andanawarih, "Tinjauan Ulang Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Bored Pile pada Pembangunan Jalan Layang Kapt. Tendean-Blok M-Cileduk, Paket Santa Section P10-P11," *Jur. Tek. Sipil, Politek. Negeri Jakarta*, vol. Vol.16, no. 1, p. No.1, 2017.

[7] A. Wijaya and A. Kawanda, "Analisa Penurunan Raft-Piled Foundationarea Bogie Warehouse Proyek Jakarta Lrt Section Depot," *Indones. J. Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 1, no. 2, p. 76, 2019, doi: 10.25105/cesd.v1i2.4104.

[8] E. Yulawan, T. Sipil, U. Muhammadiyah, T. Rahayu, T. Sipil, and U. Muhammadiyah, "ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BERDASARKAN," *J. Konstr.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2018.

[9] N. Djarwanti, R. H. D. H. I, and O. F. Arganata, "Korelasi Daya Dukung Pondasi Tiang Bor dengan Metode Reese and O'neill terhadap Metode Terzaghi and Peck Berdasarkan Hasil Uji SPT," *e-Jurnal Matriks Tek. Sipil*, no. September 2015, pp. 775–781, 2015.

[10] N. Nurmaidah, "Studi Analisis Perilaku Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dengan Menggunakan Uji Beban Statik Dan Model Tanah Mohr Coulomb Pada Proyek Paragon Square Tangerang, Banten," *Educ. Build.*, vol. 3, no. 1, pp. 33–39, 2017, doi: 10.24114/eb.v3i1.7441.



Analisis Penetapan Harga Sewa Pada Unit Rumah Susun (Studi Kasus: Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput, Jakarta Selatan)

Sofi Yanuar Riska¹, Dewi Junita K², Samsyul Arifin³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
¹peksopek96@gmail.com*

Abstract

Flats are often referred to as simple versions of apartments. Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput is a flat that was built to meet the housing needs of lower-middle-income and low-income people whose construction gets facilities and government assistance. In this study, to determine the rental price of the flats, what is needed is to know the total cost of development. The data collection that is done to get the rental price is to calculate the volume of work and make a budget plan and calculate other development costs. The result of the analysis is that the total cost for the construction of the Grass Market High-Level Flats is Rp. 668,648,547,822.72,-. The price of the apartment rental unit by the available cost analysis is Rp. 877,657,389. To determine the price increase each year, depending on the capitalization rate each year. The increase in rental prices for flats for 2020, 2021, and 2022 for a capitalization level of 7%, namely Rp. 1,000,529.42, Rp. 1,061,965.44, and Rp. 1,123,401.46. A capitalization level of 12%, which is Rp. 1,088,295.16, Rp. 1,193,614.05, and Rp. 1,298,982.94.

Keywords: Flats, Rental Prices

Abstrak

Rumah Susun atau disingkat rusun sering disebut juga sebagai apartemen versi sederhana. Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput adalah rumah susun yang di bangun untuk memenuhi kebutuhan rumah bagi masyarakat berpenghasilan menengah kebawah dan berpenghasilan rendah yang pembangunannya mendapatkan kemudahan dan bantuan pemerintah. Dalam penelitian ini untuk menentukan harga sewa rusun yang di butuhkan adalah mengetahui total biaya pembangunan. Pengumpulan data yang di lakukan untuk mendapatkan harga sewa adalah menghitung volume pekerjaan dan membuat rencana anggaran biaya serta menghitung biaya pembangunan lain-lain. Hasil analisa yaitu jumlah biaya total untuk pembangunan Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput ini adalah Rp. 668,648,547,822.72,-. Harga unit sewa rumah susun yang sesuai dengan analisa biaya yang tersedia yaitu Rp 877,657.389. Untuk menentukan kenaikan harga setiap tahunnya, bergantung pada tingkat kapitalisasi setiap tahunnya. Kenaikan harga sewa rumah susun untuk tahun 2020, 2021, dan 2022 untuk tingkat kapitalisasi 7% yaitu Rp 1.000.529,42, Rp 1.061.965,44, dan Rp 1.123.401,46. Tingkat kapitalisasi 12% yaitu Rp 1.088.295,16, Rp 1.193.614,05, dan Rp 1.298.982,94.

Kata kunci: Rumah Susun, Harga Sewa.

Diterima Redaksi : 31-07-2021 | Selesai Revisi : 13-07-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023

1. Pendahuluan

Kota Jakarta merupakan salah satu pusat perkembangan pembangunan. serta perekonomian yang ada di Indonesia. Banyaknya pendatang serta meningkatnya pertumbuhan penduduk tentu saja akan mengakibatkan kebutuhan tempat tinggal yang layak akan semakin besar. Sementara itu ketersediaan lahan di Kota Jakarta cenderung terbatas. Untuk itu diperlukan solusi bangunan tempat tinggal yang dapat menampung penghuni dengan volume yang besar sementara lahan yang digunakan relatif kecil. Salah satu alternatif untuk masalah ini adalah rumah susun dikarenakan selain menyediakan permukiman yang layak bagi masyarakat

berpenghasilan rendah (MBR), fungsi utama pembangunan rumah susun adalah meningkatkan kualitas lingkungan permukiman dan merupakan salah satu bentuk upaya pemerintah untuk mengurangi pemukiman kumuh. Beberapa penelitian terdahulu terkait penentuan harga sewa rumah susun antara lain [1 – 6].

Menurut UU No. 20 Tahun 2011, rumah susun adalah suatu unit hunian kepemilikan atau sewa bersama yang di bangun di atas tanah pemerintah [7]. Saat ini pertumbuhan rumah susun di Jakarta semakin pesat dikarenakan harga sewa setiap bulan yang relatif murah untuk warga yang memiliki ekonomi menengah



kebawah. Salah satu proyek rumah susun yang sedang di kerjakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Penyediaan Satuan Kerja Penyediaan Rumah Susun Strategis DKI Jakarta yaitu Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput yang berlokasi di Jalan Sultan Agung 64 Kelurahan Pasar Manggis, Kecamatan Setiabudi, Jakarta Selatan. Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput ini terdiri dari 1 Basement, 2 Lantai Pasar, 1 lantai Fasum Fasos, 22 lantai Rusun Sewa, Atap. Terdiri dai 1.984 unit hunian dan 1.314 kios. Setiap unit di Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput ini memiliki luas 36 meter persegi dengan memiliki dua kamar tidur, kamar mandi dan dapur. dan ruang keluarga. Rumah susun ini di kerjakan oleh PT. Waskita Karya (Persero) Tbk selaku kontraktor pelaksana.

Pada penelitian ini akan dilakukan penetapan harga sewa agar dapat diketahui besaran biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput dengan menghitung biaya tetap dan biaya variable yang dikeluarkan untuk membangun rumah susun ini, sehingga dapat diketahui harga sewa yang sesuai untuk rumah susun ini dari total biaya yang di keluarkan.

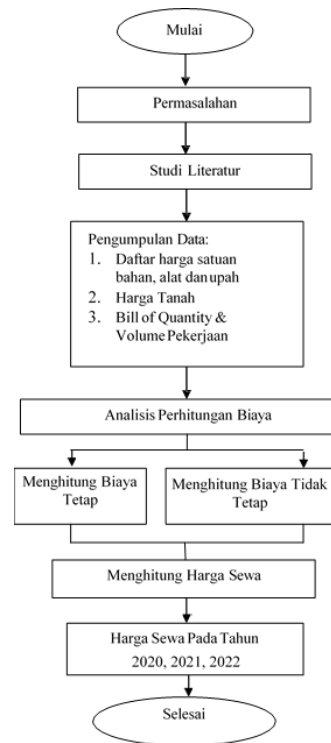
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui harga sewa pada proyek Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput. Analisa harga sewa dilakukan melalui biaya tetap dan biaya tidak tetap. Untuk itu perlu adanya identifikasi terkait biaya apa saja yang menjadikan dasar perhitungan harga sewa.

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang digunakan yaitu proyek pembangunan Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumput, Jakarta Selatan. Pembangunan Rusun ini bertempat di Jalan Sultan Agung 64 Kelurahan Pasar Manggis, Kecamatan Setiabudi, Jakarta Selatan, 12970.

2.2. Tahapan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3. Perhitungan Biaya Sewa

Biaya-biaya yang sudah dihitung sebelumnya adalah biaya-biaya yang dikeluarkan untuk membangun dan mengelola rumah susun ini. Semua biaya tersebut harus dikembalikan dengan harga pokok sewa. Pendekatan perhitungan dalam studi ini adalah perhitungan harga sewa sebagai berikut [2]:

$$HSM = \frac{BP}{[(n-L) \times 12 \times (\sum \text{Unit})]} \quad (1)$$

dengan:

HSM = Harga Sewa Murni (dalam rupiah)

BP = Biaya Produksi setelah komponen biaya lahan
n = Target waktu pengembalian modal (dalam bulan)

L = Lama waktu pembangunan konstruksi (dalam bulan)

\sum unit = Jumlah unit hunian yang ada dalam rumah susun

2.4. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya didapatkan dengan menghitung data volume pada setiap pekerjaan yang di dapatkan dari proyek dengan data harga satuan bahan yang di dapatkan dari PU Cipta Karya DKI Jakarta. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dapat dihitung dengan rumus berikut ini [1]:

$$RAB = V \times AHS \quad (2)$$

dengan:

RAB = Rencana Anggaran Biaya

V = Volume Pekerjaan

AHS = Analisa Harga Satuan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Pendekatan Biaya

Biaya konstruksi dalam proyek ini meliputi satu bangunan dengan 3 tower dimana memiliki 25 lantai ditambah 1 *basement* dengan tipe hunian dari rumah susun ini adalah *typical* yang berjumlah 1.984 unit rusun yang masing-masing luasnya 36 meter persegi. Luas *basement* pada rusun ini adalah 10.764,96 m² dan luas seluruh lantai bangunan pada rusun ini adalah 124.564,89 m². Luas setiap lantai pada rusun ini adalah 4982,6 m² berdasarkan data yang di dapat dari perusahaan kontraktor.

Berikut merupakan daftar penggunaan lahan untuk unit hunian pada setiap lantai:

1. Lantai 4, dengan luas 3672 m²
2. Lantai 5, dengan luas 3492 m²
3. Lantai 6, dengan luas 3492 m²
4. Lantai 7, dengan luas 3492 m²
5. Lantai 8, dengan luas 3492 m²
6. Lantai 9, dengan luas 1152 m²
7. Lantai 10, dengan luas 2232 m²
8. Lantai 11, dengan luas 3528 m²
9. Lantai 12, dengan luas 3528 m²
10. Lantai 13, dengan luas 3528 m²
11. Lantai 14, dengan luas 3528 m²
12. Lantai 15, dengan luas 3528 m²
13. Lantai 16, dengan luas 2448 m²
14. Lantai 17, dengan luas 3528 m²
15. Lantai 18, dengan luas 3528 m²
16. Lantai 19, dengan luas 3528 m²
17. Lantai 20, dengan luas 3528 m²
18. Lantai 21, dengan luas 3528 m²
19. Lantai 22, dengan luas 3528 m²
20. Lantai 23, dengan luas 2808 m²
21. Lantai 24, dengan luas 2808 m²
22. Lantai 25, dengan luas 3528 m²

3.2. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

Adapun rekapitulasi rencana anggaran biaya tersebut dirincikan seperti Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Setiap Lantai

No.	Keterangan	Rincian Anggaran
1.	Basement	136,511,444,549.92
2.	Lantai 1	18,839,112,082.59
3.	Lantai 2	17,906,007,984.66

No.	Keterangan	Rincian Anggaran
4.	Lantai 3	20,597,949,961.17
5.	Lantai 4	15,005,078,773.86
6.	Lantai 5	15,048,541,631.63
7.	Lantai 6-8	44,639,488,327.59
8.	Lantai 9	14,408,360,791.22
9.	Lantai 10	14,440,152,360.14
10.	Lantai 11-15	61,863,893,497.89
11.	Lantai 16	13,966,794,562.20
12.	Lantai 17	13,628,562,764.17
13.	Lantai 18-21	67,602,191,719.92
14.	Lantai 22	14,096,242,786.25
15.	Lantai 23	21,491,961,821.98
16.	Lantai 24-25	52,462,434,994.39
	Jumlah	542,508,218,609.60

Pada Tabel 1 dapat dilihat total fisik pembangunan dari lantai basement hingga lantai 25 adalah Rp.542,508,218,609.60,-.

3.3 Rekapitulasi Biaya Lain-lain

Adapun beberapa pekerjaan yang merupakan biaya lain yang dikerjakan pada proyek Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumpit. Berikut merupakan rincian anggaran biaya lain – lain terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Biaya Lain-Lain

No	Keterangan	Rincian Anggaran
1.	Pekerjaan Struktur Atap	11,917,427,043.54
2.	Pekerjaan Plumbing Atap	173,746,065.00
3.	Pengadaan Cable Tray	3,587,091,000.00
4.	Penangkal Petir	5,496,900.00
5.	Elevator	22,000,000,000.00
	Jumlah	37,683,761,008.54

3.4 Biaya Tetap

Adapun rekapitulasi biaya tetap dirincikan seperti Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Biaya Tetap

No	Uraian Pekerjaan	Biaya
1.	Biaya Pembelian Lahan	69,443,187,000.00
2.	Biaya Administrasi	42,650,000.00
3.	Biaya Desain dan Perijinan	59,867,000.00
4.	Biaya Pekerjaan Persiapan	13,321,164,204.58
5.	Gaji Pegawai Kantor	5,580,400,000.00
6.	Total Biaya Pembangunan	542,508,218,609.60
7.	Biaya Lain-Lain	37,683,761,008.54
	Jumlah Biaya Tetap	668,639,247,822.72

3.5 Biaya Variable

Biaya variable pada Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumpit ini adalah biaya operasional. Rekapitulasi biaya pekerjaan arsitektur tersebut seperti pada Table 4 berikut ini:

Tabel 4. Biaya Variable

No	Uraian Pekerjaan	Biaya
1	Biaya Listrik	6,600,000.00
2	Biaya Air	2,700,000.00
	Jumlah Biaya Variable	9,300,000.00

3.6 Biaya Total

Biaya total dalam penelitian ini didapatkan dari penjumlahan biaya tetap setiap lantai dengan biaya variable setiap lantai. Berikut merupakan rekapitulasi dari biaya total setiap lantai seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Biaya Total

No	Uraian Pekerjaan	Biaya
1	Biaya Tetap	668,639,247,822.72
2	Biaya Variable	9,300,000.00
	Jumlah Biaya Total	668,648,547,822.72

3.7 Penetapan Harga Sewa

Harga sewa dapat dihitung menggunakan rumus persamaan 1.

$$HSM = \frac{BP}{[(n - L)x12x(\sum Unit)]}$$

$$HSM = \frac{668,648,547,822.72}{[(35 - 3)x12x(1,984)]}$$

$$HSM = \frac{668,648,547,822.72}{32x12x1984}$$

$$HSM = \frac{668,648,547,822.72}{761,856}$$

$$HSM = 877,657.389$$

Dari hasil perhitungan dengan rumus diatas maka di dapatkan harga sewa yang sesuai dengan biaya produksi yang dikeluarkan untuk pembangunan Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumpit adalah Rp 877,657.389/bulan.

3.8 Analisa Perkembangan Harga Sewa Rumah Susun

Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung perkembangan harga sewa pada 3 tahun berikutnya yaitu 2020,2021, dan 2022. Untuk menghitung perkembangan harga sewa diperlukan *Capitalization Rate* atau Tingkat Kapitalisasi. *Cap Rate* di peroleh secara umum untuk apartemen dan rusun yaitu 7% dan 12%. Kenaikan harga sewa bias dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Tarif Sewa (Rupiah/Tahun)} = \text{Nilai Properti (Rupiah)} \times \text{Cap Rate (\%)} \quad (3)$$

Dari rumus di tersebut di dapatkan bahwa Kenaikan harga sewa rumah susun untuk tahun 2020, 2021, dan 2022 untuk tingkat kapitalisasi 7% yaitu Rp 1.000.529,42, Rp 1.061.965,44, dan Rp 1.123.401,46. Untuk tingkat kapitalisasi 12% yaitu Rp 1.088.295,16, Rp 1.193.614,05, dan Rp 1.298.932.94.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan dalam pembahasan sebelumnya, didapatkan kesimpulan yaitu jumlah biaya total untuk pembangunan Rusun Tingkat Tinggi Pasar Rumpit ini adalah Rp. 668,648,547,822.72,-. Harga unit sewa rumah susun yang sesuai dengan analisa biaya yang tersedia yaitu Rp 877,657.389. Harga sewa tersebut merupakan harga sewa tanpa analisa permintaan pasar.

Daftar Rujukan

- [1] Musthofin, A. 2017. Analisis Biaya dan Permintaan Dalam Penetapan Harga Pokok Penjualan Unit Apartemen Jember Town Square. Tugas Akhir. UNEJ, Jember.
- [2] Arifin, Z. 2004. Penentuan Harga Sewa Pada Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa). Tugas Akhir. ITB, Bandung.
- [3] Huda, N. 2017. Analisis Penentuan Harga Jual Unit Rumah Pada Proyek Perumahan Prabanata Village, Semarang. Tugas Akhir. ITS, Surabaya.
- [4] Irkham, N. 2017. Analisa Penetapan Harga Sewa Berdasarkan Tingkat Subsidi Tertentu Rusun Grudo Kota Surabaya. Tugas Akhir. ITS, Surabaya.
- [5] Purnamasari, D. 2006. Penentuan Harga Sewa Rumah Susun Berdasarkan Analisa WTP (Willingness To Pay) di Kecamatan Sidoarjo. Jurnal Teknik. ITS, Surabaya
- [6] Retna, W. 2012. Analisa Penetapan Harga Sewa Metode Front Door Approach dan Aspek Finansial pada Rusunawa Ngelom Tahap II Kabupaten Sidoarjo. Jurnal Teknik. Untag, Surabaya
- [7] Undang-Undang Republik Indonesia. 2011. Undang-Undang No. 20 Tahun 2011 tentang Rumah Susun.



Probabilitas Ketepatan Biaya Dan Waktu Dengan Metode Monte Carlo Pada Konsep *Earned Value* Untuk Proyek Jalan

Chinta Eva Agustin¹, Jojok Widodo Soetjipto², Akhmad Hasanudin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

¹agustin.chinta@gmail.com, ²jojok.teknik@unej.ac.id, ³udin.teknik@unej.ac.id

Abstract

Planning and implementing a construction project involves several factors that must be considered including cost, quality, and time. This is the main challenge in a project by controlling costs and time without reducing the quality of work. In this study the case of the construction of the Bts Road Reconstruction Package and Widening Package. Bojonegoro-Pajeng City of Sta 28 + 230 - 32 + 230 is deemed necessary to carry out a cost and time control with the Concept of Earned Value and Monte Carlo to look for more indicators in analyzing the project so that an optimal cost and time estimate is obtained. There are 3 (three) parameters used in the result value concept, namely ACWP (Actual Cost Work Performed), BCWS (Budgeted Cost of Work Scheduled), and BCWP (Budgeted Cost Work Performed). Of the three parameters, it can produce various factors that indicate the progress and performance of project implementation, such as CV, SV, CPI, SPI, ETC, EAC, and ECD. The initial stage of the research was data collection. Furthermore, the calculation results can be concluded. The analysis was performed by looking for variations in the calculation manually and using the help of Crystal Ball software. Analyzing the possibility of working on various projects, makes contractors safer in dealing with fluctuations in wage and material prices. The monitoring result with the Result Value Concept is the comparison of the BCWP value below the ACWP value which proves the project is experiencing fund swelling, and the BCWS value above the BCWP value proves the project is experiencing delays. The results of monitoring the Earned Value Concept using the Monte Carlo method produce the maximum and minimum value of all parameters so that it can be used as a reference for the contractor to determine the rescheduling time for the rest of the project so that the costs and time for the project are by the planning.

Keywords: Earned Value Concept, Monte Carlo, Crystal Ball, Scheduling, Probability

Abstrak

Perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek konstruksi melibatkan beberapa faktor yang harus dipertimbangkan meliputi biaya, mutu dan waktu. Hal tersebut adalah tantangan utama dalam suatu proyek dengan melakukan pengendalian biaya dan waktu tanpa mengurangi mutu pekerjaan. Pada penelitian ini kasus pembangunan Paket Rekonstruksi dan Pelebaran Jalan Bts. Kota Bojonegoro-Pajeng Sta 28+230 - 32+230 dianggap perlu dilakukan suatu pengendalian biaya dan waktu dengan Konsep Nilai Hasil (*Earned Value*) dan Monte Carlo untuk mencari indikator lebih dalam menganalisis proyek tersebut sehingga mendapat perkiraan biaya dan waktu yang optimal. Terdapat 3 (tiga) parameter yang dipakai dalam konsep nilai hasil, yaitu ACWP (*Actual Cost Work Performed*), BCWS (*Budgeted Cost of Work Scheduled*), BCWP (*Budgeted Cost Work Performed*). Dari ketiga parameter tersebut dapat menghasilkan berbagai faktor yang menunjukkan kemajuan dan kinerja pelaksanaan proyek, seperti: CV, SV, CPI, SPI, ETC, EAC, dan ECD. Tahap awal penelitian adalah pengumpulan data. Selanjutnya hasil perhitungan dapat ditarik kesimpulan. Analisis dilakukan dengan mencari variasi perhitungan secara manual dan menggunakan bantuan *software Crystal Ball*. Dengan analisis kemungkinan pengerjaan proyek secara beragam membuat kontraktor lebih aman dalam menghadapi fluktuasi harga upah dan bahan. Hasil monitoring dengan Konsep Nilai Hasil adalah perbandingan nilai BCWP di bawah nilai ACWP yang membuktikan proyek mengalami pembengkakan dana, dan nilai BCWS di atas nilai BCWP membuktikan proyek mengalami keterlambatan. Hasil monitoring Konsep Nilai Hasil menggunakan metode Monte Carlo menghasilkan nilai maksimum dan minimum dari semua parameter sehingga dapat dijadikan acuan kontraktor menentukan *time scheduling* ulang untuk sisa pengerjaan proyek agar biaya dan waktu pengerjaan proyek sesuai dengan perencanaan.

Kata kunci: Konsep Nilai Hasil, Monte Carlo, *Crystal Ball*, Penjadwalan, Probabilitas

Diterima Redaksi : 05-02-2021 | Selesai Revisi : 13-07-2023 | Diterbitkan Online : 01-08-2023



1. Pendahuluan

Perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek konstruksi melibatkan beberapa faktor yang harus dipertimbangkan meliputi biaya, mutu dan waktu. Hal tersebut adalah tantangan utama dalam suatu proyek dengan melakukan pengendalian biaya dan waktu tanpa mengurangi mutu pekerjaan [1], [2], dan [3].

Monitoring dan pelaporan proyek sangat diperlukan untuk melakukan proses pengendalian dan pengawasan proyek sehingga diketahui besar penyimpangan biaya dan jadwal antara rencana dan pelaksanaan proyek tersebut pada saat pelaporan dapat diketahui. Monitoring dapat dilakukan dengan menggunakan Konsep Nilai Hasil (*Earned Value*), yaitu salah satu alat yang digunakan dalam pengelolaan proyek yang mengintegrasikan biaya dan waktu. Terdapat 3 (tiga) parameter yang dipakai, yaitu ACWP (*Actual Cost Work Performed*), BCWS (*Budgeted Cost of Work Scheduled*), BCWP (*Budgeted Cost Work Performed*). Yang dari ketiga faktor tersebut akan dihasilkan nilai SV, CV, SPI, CPI, EAC, ECD, dan ETC. Seperti halnya beberapa penelitian terdahulu terkait konsep nilai hasil (*earned value*) antara lain dari sumber referensi [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], dan [12]

Pada penelitian ini kasus pembangunan Paket Rekonstruksi dan Pelebaran Jalan Bts. Kota Bojonegoro-Pajeng Sta 28+230 - 32+230 dianggap perlu dilakukan suatu pengendalian biaya dan waktu dengan Konsep Nilai Hasil (*Earned Value*) dan Monte Carlo untuk mencari indikator lebih dalam menganalisis proyek tersebut sehingga mendapat perkiraan biaya dan waktu yang optimal [13], [14], dan [15].

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif, penelitian yang menggambarkan kondisi proyek tertentu dengan analisis data-data yang ada. Metode tersebut akan digunakan dalam perhitungan secara manual dan dengan bantuan software *Crystal Ball*. Penelitian dilakukan pada proyek Paket Rekonstruksi dan Pelebaran Jalan Bts. Kota Bojonegoro-Pajeng Sta 28+230 - 32+230, dengan nilai RAB perencanaan Rp. 17.215.217.470 (+PPn 10%). Dan rencana pembangunan selama 35 minggu.

Data sekunder pada penelitian ini meliputi jadwal pelaksanaan proyek atau Time schedule, RAB (Rencana Anggaran Biaya), laporan harian dan laporan mingguan.

Perhitungan metode konsep nilai hasil dilakukan dengan cara (1) menghitung BCWS, BCWP, dan ACWP dengan cara manual atau perhitungan biasa. (2) melakukan analisis perubahan waktu dan biaya pelaksanaan proyek: SV, CV, SPI, dan CPI dengan cara

manual atau perhitungan biasa. (3) menghitung nilai EAC dan ETC dengan cara manual atau perhitungan biasa. (4) menghitung nilai maksimum minimum dari BCWS, BCWP, ACWP. Untuk mendapatkan nilai maksimum dan minimum dari SV, CV, SPI, dan CPI, serta hasil ETC, ECD, dan EAD yang juga menghasilkan nilai Maksimum dan Minimum dengan menggunakan simulasi Monte Carlo pada *Crystal Ball software*. (5) analisis dan penarikan kesimpulan. Setelah didapat hasil perhitungan dari metode konsep nilai hasil dan metode Monte Carlo kemudian dibandingkan dan didapat kesimpulan.

Rumus konsep Nilai Hasil (*Earned Value*) adalah [16] :

$$\text{Nilai Hasil} = (\% \text{ penyelesaian}) \times (\text{anggaran})$$

Rumus Varians Biaya (CV) dan Varians Jadwal (SV) adalah [16]:

$$CV = BCWP - ACWP \quad (1)$$

$$SV = BCWP - BCWS \quad (2)$$

Angka negatif varians biaya terpadu (CV) menunjukkan bahwa biaya lebih tinggi dari anggaran, cost overrun. Angka nol menunjukkan pekerjaan terlaksana sesuai biaya. Sementara angka positif berarti pekerjaan terlaksana dengan biaya kurang dari anggaran yang disebut cost underrun. Demikian juga varians jadwal, angka negatif berarti terlambat, angka nol berarti tepat sesuai jadwal rencana dan angka positif berarti lebih cepat dari rencana. Indeks produktivitas atau indeks kinerja untuk mengetahui efisiensi penggunaan sumber daya. Rumus indeks kinerja biaya (CPI) dan indeks kinerja jadwal (SPI) adalah sebagai berikut [16]:

$$CPI = BCWP/ACWP \quad (3)$$

$$SPI = BCWP/BCWS \quad (4)$$

Indeks kinerja biaya kurang dari satu berarti pengeluaran lebih besar dari anggaran. Indeks kinerja jadwal kurang dari satu berarti waktu pelaksanaan lebih lama dari jadwal rencana. Bila anggaran dan jadwal telah dibuat secara realistis berarti ada sesuatu yang tidak benar dalam pelaksanaan pekerjaan. Bila indeks kinerja biaya lebih dari satu maka arti pengeluaran lebih kecil dari anggaran sedangkan indeks kinerja jadwal lebih dari satu artinya jadwal lebih cepat dari rencana. Makin besar perbedaannya dari angka satu maka makin besar penyimpangannya dari perencanaan atau anggaran.

Berdasarkan hasil analisis indikator-indikator yang diperoleh pada saat pelaporan, yaitu BCWP, ACWP, dan BCWS, akan diperoleh proyeksi mengenai akhir proyek atas dasar angka yang didapat pada saat

pelaporan. Dalam membuat proyeksi digunakan rumus-rumus sebagai berikut [16]:

Anggaran proyek keseluruhan = Ang

Anggaran untuk pekerjaan tersisa = Ang – BCWP

Indeks kinerja biaya (CPI) = BCWP/ACWP

Perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa (ETC) adalah sama besar dengan anggaran pekerjaan tersisa, atau [16]:

$ETC = (Ang - BCWP)$

Perkiraan total biaya proyek (EAC) adalah sama dengan jumlah pengeluaran sampai pada saat pelaporan ditambah perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa atau [16]:

$EAC = ACWP + ETC$

Perkiraan waktu penyelesaian proyek (ECD) adalah sama dengan total yang yang diperlukan untuk pekerjaan tersisa [2].

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif yang digunakan untuk menghitung atau mengiterasi biaya dan waktu sebuah proyek dengan menggunakan nilai-nilai yang dipilih secara random dari distribusi probabilitas biaya dan waktu yang mungkin terjadi dengan tujuan untuk menghitung distribusi kemungkinan biaya dan waktu total dari sebuah proyek [13].

Crystal Ball adalah sebuah perangkat lunak dalam Microsoft Excel yang menyediakan fasilitas-fasilitas untuk bisa mengaplikasikan Simulasi Monte Carlo dan analisis rangkaian waktu, peramalan, optimasi dan analisis pilihan nyata [13].

3. Hasil dan Pembahasan

Nilai kumulatif konsep nilai hasil berdasarkan waktu (*Time-Based*) dari BCWS, BCWP, dan ACWP dapat dilihat pada Tabel 1.

Minggu Ke-	Bobot BCWS	Bobot BCWP	Bobot ACWP
1	0,063%	0,095%	0,0928%
2	0,127%	0,127%	0,124%
3	0,189%	0,222%	0,216%
4	0,253%	0,254%	0,247%
5	0,316%	0,349%	0,340%
6	0,348%	0,381%	0,370%
7	0,380%	0,381%	0,370%
8	0,443%	0,445%	0,432%

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.151>

Minggu Ke-	Bobot BCWS	Bobot BCWP	Bobot ACWP
9	0,507%	0,445%	0,432%
10	0,636%	0,445%	0,432%
11	1,244%	0,629%	0,680%
12	1,920%	1,276%	1,509%
13	4,431%	1,975%	2,403%
14	7,050%	3,232%	3,907%
15	10,205%	4,327%	5,251%
16	15,521%	7,793%	9,178%
17	20,424%	12,604%	15,116%
18	25,378%	12,964%	15,606%
19	31,053%	14,192%	17,010%
20	37,908%	16,143%	19,322%

Dari Tabel 1, maka dapat diperoleh nilai varian dan indeks kinerja (SV, CV, CPI, SPI) yang dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 itu juga dapat dianalisis kondisi pekerjaan berdasarkan jadwal dan biaya. Selanjutnya menghitung nilai EAC, ECD, dan ETC.

Tabel 2 Nilai BCWS, BCWP, dan ACWP

Minggu ke-	SV	CV	SPI	CPI
1	0,032%	0,003%	1,504297994	1,028328647
2	0,000%	0,004%	1,00286533	1,028328647
3	0,032%	0,006%	1,170825336	1,028328647
4	0,001%	0,007%	1,002875629	1,028328647
5	0,033%	0,010%	1,103448276	1,028328647
6	0,033%	0,010%	1,094280491	1,028328647
7	0,001%	0,010%	1,002632209	1,028328647
8	0,001%	0,012%	1,002665573	1,028328647
9	-0,062%	0,012%	0,877130045	1,028328647
10	-0,191%	0,012%	0,699142157	1,028328647
11	-0,614%	-0,051%	0,505897139	0,924848991
12	-0,644%	-0,233%	0,664773436	0,845893998
13	-2,457%	-0,428%	0,445610532	0,821813783
14	-3,819%	-0,675%	0,458392296	0,827187077
15	-5,878%	-0,924%	0,424025188	0,824041571
16	-7,728%	-1,386%	0,502076785	0,849025854
17	-7,820%	-2,513%	0,617100828	0,833760983
18	-12,414%	-2,643%	0,510822894	0,830673503
19	-16,861%	-2,818%	0,457012225	0,834329765
20	-21,765%	-3,178%	0,425857328	0,835507132

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan Monte Carlo adalah hasil dari perhitungan dari BCWP, BCWS, dan ACWP. Sehingga dalam perhitungan nantinya akan didapatkan nilai maksimum dan minimum dari nilai-nilai tersebut.

Pada Microsoft Excel setelah memasukkan data BCWS, membangkitkan angka random sebanyak

jumlah iterasi [=RANDBEETWEEN(BCWSMIN, BCWSmaks)].

Selanjutnya analisis data dengan metode Monte Carlo yang dibantu dengan menggunakan *software Crystal Ball*. Langkah-langkah yang dilakukan dengan memasukan data BCWS, memilih asumsi untuk setiap nilai BCWS tiap minggu dengan memilih *Define Assumption* pada *toolbar* kemudian pilih *Uniform Distribution*, setelah itu memasukan nilai BCWS pada Gambar *Uniform Distribution*, kemudian memasukan jumlah iterasi pada kotak *trial* yang terdapat pada *toolbar*, kemudian pilih *icon start* pada *toolbar* untuk memulai simulasi.

Sehingga didapatkan nilai maksimum dan minimum dari nilai yang dicari.

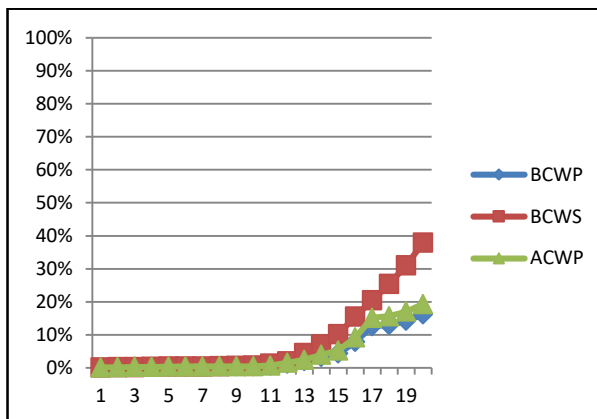
Dengan selisih yang kecil antara hasil perhitungan Microsoft Excel dengan *software Crystal Ball* maka hasil perhitungan dari *software Crystal Ball* dapat digunakan.

Dengan pengulangan langkah perhitungan metode Monte Carlo dengan *software Crystal Ball*, sehingga didapatkan hasil nilai BCWS, BCWP, ACWP minimum, maksimum. Kemudian nilai BCWS minimum, maksimum tersebut masing masing dibandingkan dengan nilai BCWP.

Dari hasil nilai BCWP terhadap nilai BCWS minimum, maksimum didapatkan hasil CV (*Cost Varian*) minimum, maksimum dengan cara yang hampir sama dengan perhitungan sebelumnya dan nilai-nilai CV tersebut dianalisis berdasarkan biaya dan jadwal. Selanjutnya dilakukan analisis varian dan indeks kinerja.

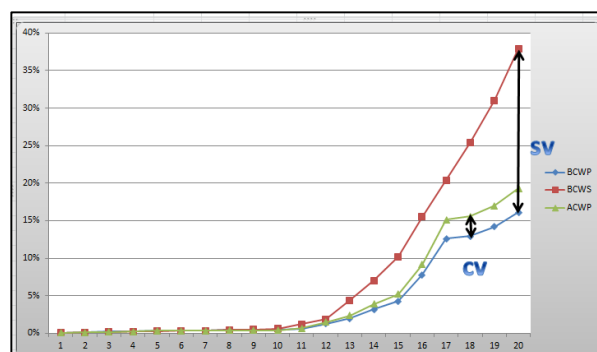
Hasil dari semua perhitungan dapat dilihat pada gambar 1,2 dengan hasil analisis sebagai berikut:

1. Dari grafik hubungan BCWS, BCWP, dan ACWP dapat dilihat pada Gambar 1. kurva BCWP di minggu ke-20 terletak dibawah kurva BCWS. Ini berarti pekerjaan yang dilaksanakan lebih lambat dari jadwal yang telah direncanakan. Sedangkan untuk kurva ACWP juga berada di atas kurva BCWP, yang menggambarkan bahwa biaya yang dikeluarkan lebih banyak dari biaya dianggarkan untuk pekerjaan yang sudah dilaksanakan.



Gambar 1 Grafik Nilai BCWS,BCWP, dan ACWP

2. Pada akhir minggu ke-20 ini presentase pekerjaan mencapai 17,76% padahal direncanakan mencapai 41,72%. Dengan anggaran rencana sebesar 37,908% dari presentase tersebut di dapat nilai BCWP sebesar 16,143%, dengan anggaran yang dikeluarkan sebesar 19,322%. Nilai ACWP yang lebih besar nilainya dibandingkan dengan BCWP disebabkan karena biaya aktual proyek yang lebih besar dari perencanaan yang dilakukan yang mengakibatkan dana membengkak dari perencanaan. Ketiga indikator kinerja yang diperoleh didapatkan nilai SV sebesar -21,76%, nilai negatif menunjukkan waktu pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan dari jadwal perencanaan. Sedangkan nilai CV sebesar -3,178% nilai positif menunjukkan biaya lebih banyak untuk pekerjaan yang sudah terlaksana pada minggu tersebut.
3. Nilai SV dan CV yang dapat dilihat pada gambar 2. ini menunjukkan bahwa kondisi proyek sampai minggu ke-20 mengalami keterlambatan dari jadwal yang direncanakan dan mengalami pemborosan biaya dari yang dianggarkan. Untuk nilai SPI sampai minggu ke-20 adalah 0,425857328 angka ini menunjukkan kinerja proyek mengalami keterlambatan dari jadwal. Sedangkan nilai CPI adalah 0,835507132 yang menunjukkan pengeluaran biaya lebih banyak dari anggaran untuk pekerjaan yang telah dilaksanakan.



Gambar 2 Grafik nilai SV dan CV

4. Pada nilai variansi jadwal (SV) hampir sama adalah:

dengan indeks kinerja awal (SPI). Perbedaan antara keduanya adalah penggambaran keterlambatan atau percepatan dinyatakan dengan biaya, sedangkan SPI penggambaran dinyatakan dalam nilai indeks. Dari peninjauan sampai pada minggu ke-20, besar nilai SV adalah -21,76%, bernilai minus menggambarkan besarnya keterlambatan proyek yang dinyatakan dalam biaya yang menyebabkan anggaran untuk biaya tersisa (ETC) adalah sebesar Rp14.436.083.641 dan perkiraan biaya total proyek (EAC) Rp17.762.367.432 serta perkiraan waktu penyelesaian proyek (ECD) bertambah menjadi 387 hari. Pada nilai variansi jadwal (CV) hampir sama dengan indeks kinerja biaya (CPI). Perbedaan antara keduanya adalah penggambaran lebih besar atau lebih kecil biaya aktual untuk pekerjaan yang sudah terselesaikan. Untuk CV penggambaran anggaran lebih besar atau lebih kecilnya dinyatakan dalam biaya sedangkan CPI penggambaran anggaran lebih besar atau kecilnya anggaran ditunjukkan dengan nilai indeks. Dari peninjauan sampai minggu terakhir pelaporan, di minggu ke-20 nilai CV adalah sebesar -3,178% yang berarti terjadi pemborosan atau kontraktor mengalami kerugian dari pekerjaan yang telah terlaksana.

5. Perkiraan biaya total proyek mengalami kenaikan dari biaya yang dianggarkan yaitu dari Rp. 17.215.217.470 menjadi Rp17.762.367.432. dan untuk waktu penyelesaian proyek mengalami keterlambatan dengan perencanaan awal adalah proyek dapat diselesaikan dalam waktu 35 minggu menjadi 55 minggu.
6. Dari perhitungan berdasarkan analisis monte carlo dapat disimpulkan bahwa perhitungan konsep nilai hasil yang dicari menghasilkan analisis maksimum dan minimum untuk nilai ETC dan EAC. Dengan nilai ETC minimum adalah Rp14.713.997.024 dan ETC Maksimum adalah sebesar Rp. 14.158.170.258. Disini dapat dilihat bahwa pada nilai ETC minimum cenderung lebih banyak daripada nilai ETC Maksimum dikarenakan perhitungan untuk setiap bobot pekerjaan baik BCWP, BCWS, dan ACWP dalam keadaan minimum yang menyebabkan biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan tersebut lebih murah dari biaya normal sehingga nilai ETC atau perkiraan biaya untuk pekerjaan tersisa lebih banyak dibandingkan dengan ETC Maksimum. Dan untuk EAC juga demikian. Pada periode peninjauan proyek mengalami keterlambatan. Dengan nilai ECD dari perhitungan maksimum dan minimum sama yaitu 386 hari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa perhitungan yang telah dilakukan, maka hal-hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i1.151>

Pada akhir peninjauan pada minggu ke-20, kinerja jadwal proyek (SPI) sebesar 0,425857328 lebih kecil dari 1, menunjukkan bahwa proyek mengalami keterlambatan sebesar 23,96% dari rencana awal proyek 41,72% dengan realisasi pekerjaan 17,76%. Sedangkan dari kinerja biaya, nilai CPI adalah 0,8355071317 lebih kecil dari 1 yang berarti terjadi pemborosan atau biaya aktual yang lebih besar dari pekerjaan yang sudah terlaksana.

Dari perhitungan simulasi metode monte carlo menghasilkan nilai maksimum dan minimum dari semua parameter dalam Konsep Nilai Hasil, dan mendapatkan hasil analisis probabilitas dari nilai BCWS, maksimum, minimum. Yaitu nilai Probabilitas Bcws adalah 13,97%, Bcws Min sebesar 10,1851%, dan Bcws Max sebesar 17,7667% pada akhir periode peninjauan.

Berdasarkan pelaporan pada minggu terakhir nilai CV pada akhir peninjauan adalah -3,178% dimana terjadi biaya aktual yang lebih banyak atau kontraktor mengalami keuntungan selama pelaporan proyek berlangsung.

Daftar Rujukan

- [1] A. & P. A. I. Firda, "Analisa perbandingan biaya dan waktu antara bekisting konvensional dan bekisting sistem LICO pada pembangunan venue dayung JSC," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [2] A. Husen, *Manajemen Proyek*, Yogyakarta: Andi, 2009.
- [3] P. S. & M. B. Nugroho, "Estimasi Biaya Tidak Langsung Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung Di Yogyakarta," *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, vol. 10, 2016.
- [4] D. & W. W. R. Dimas PB, "Perencanaan Teknis Dan Kajian Sistem Pengendalian Proyek Dengan Metode Earned Value Pada Bendung Susukan Kabupaten Magelang," Doctoral dissertation, Department of Civil Engineering, 2010.
- [5] R. E. U. S. & H. M. H. Gumelar, "Analisis Metode Montecarlo Pada Konsep Nilai Hasil Untuk Monitoring Proyek," Doctoral dissertation, Brawijaya University, Malang, 2015.
- [6] I. & I. M. Meliasari, "Earned Value Analysis terhadap biaya dan waktu pada proyek konstruksi," *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, vol. 2, no. 2, 2011.
- [7] F. S. Nasution, "Penerapan Metode Konsep Nilai Hasil (Earned Value Concept) Dalam Pengendalian Proyek (Studi Kasus: Proyek Pembangunan dan Pengandaan Utilitas Gedung

- Jasindo)," *Jurnal Teknik Sipil USU*, vol. 6, no. 01, 2017.
- [8] F. A. Pahlawan, "Analisa Konsep Nilai Hasil (Earned Value Analysis) Terhadap Waktu dan Biaya Pada Pekerjaan Proyek Pembangunan Gedung," Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember., Jember, 2015.
- [9] A. Risky, "Pengendalian Progres Waktu dan Biaya dengan Metode Earned Value pada Proyek Pembangunan Gedung Pusat Riset," *Jurnal Ilmiah, ITS*, pp. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-27684-3108100521-Paper.pdf>, 2012.
- [10] D. Sesunan, "Penerapan Biaya Dan Waktu Dengan Konsep Nilai Hasil (Earned Value) Pada Proyek Jalan Terbanggi Besar-Bujung Tenuk Kabupaten Tulang Bawang," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, 2015.
- [11] B. W. W. R. D. A. M. & P. N. Soemardi, "Konsep Earned Value untuk Pengelolaan Proyek Konstruksi," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2006.
- [12] W. & S. D. Hartono, "EARNED VALUE METHOD UNTUK PENGENDALIAN BIAYA DAN WAKTU (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Balaikota Surakarta)," *GEMA TEKNIK Majalah Ilmiah Teknik*, vol. 10, no. 1, p. 122, 2009.
- [13] A. Fadjar, "Aplikasi Simulasi Monte Carlo Dalam Estimasi Biaya Proyek," *SMARTek*, vol. 6, no. 4, 2008.
- [14] A. U. R. & F. M. Maddeppungeng, "Penerapan Metode Simulasi Monte Carlo Terhadap Risiko Finansial Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Apartemen X di Cipulir)," *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [15] M. B. N. K. P. & H. M. H. Rahmadhani, "Penerapan Metode Monte Carlo Pada Penjadwalan Proyek Gedung Autis Center Kota Blitar Tahun 2013," Doctoral dissertation, Brawijaya University, Malang, 2012.
- [16] I. Soeharto, *Manajemen Proyek*, Jakarta: Erlangga, 1998.

JACEIT

