



ForTekS

JURNAL

FORUM TEKNIK SIPIL (ForTekS)

P-ISSN :2776-6012

E-ISSN :2776-8155

Perilaku Tegangan Regangan Lempung Ekspansif yang Distabilisasi Menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash

Elsy E. Hangge, Remigildus Cornelis, Hanna D. Galla

Studi Perbandingan Penulangan Balok dan Kolom pada Gedung Biro Logistik POLDA NTT Berdasarkan SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019

Hernanda A.S. Manalu, Dantje A.T. Sina, Dolly W. Karels

Analisis Kebutuhan Air pada Daerah Irigasi Air Sagu di Kabupaten Kupang

Wilhelmus Bunganaen, Elsy E. Hangge, Paula Peniel Jane Aty

Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Elsy E. Hangge¹, Rosmiyati A. Bella¹, Anastasia Q. S. Manek

Analisis Faktor Pemilihan dan Tingkat Kepuasan Pengguna Angkutan Umum Kota Kupang Pada Pandemi Covid 19

Ananda C.A. Saranga¹, John H. Frans², Jusuf J.S. Pah

Analisis Jaringan Perpipaan Air Bersih Kecamatan Kota Atambua Kabupaten Belu

Wilhelmus Bunganaen, I Made Udiana, Maria Y. Moruk

Hubungan Elemen Arus lalu lintas Dengan Metode Underwood, Greenberg dan Greenshield, Di Jalan Timor Raya Kota Kupang

Andi Kumalawati, Yuliana A. Pisinsu, Andi Kumalawati, Elsy E. Hangge, Hidayat Rizal

Studi Parametrik Balok Tinggi Beton Bertulang Dengan Bukaan (Web Openings) Menggunakan Metode Strut and Tie

Fransiskus L. Kapitan, Remigildus Cornelis, Sudiyo Utomo

Studi Analisis Tangga Helix Menggunakan Metode Fleksibilitas

Agustinus R.M Jehamat, Remigildus Cornelis, I Made Udiana

Perilaku Tegangan Regangan Lempung Ekspansif yang Distabilisasi Menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash

Stress- Strain Behavior Of Stabilized Expansive Clays Using Lime, Fly Ash And Bottom Ash

Elsy E. Hangge¹, Remigildus Cornelis², Hanna D. Galla^{3*})

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Tegangan Regangan, Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, Kapur, Fly Ash, Bottom Ash, Unconfined Compression Test (UCT)

Keywords:

Stress- Strain, Expansive Soil, Soil Stabilization, Lime, Fly Ash, Bottom Ash, Unconfined Compression Test (UCT)

Article history:

Received: 29-07-2022

Accepted: 21-09-2022

*Koresponden email:

devagalla65@gmail.com

elsy@staf.undana.ac.id

remi@staf.undana.ac.id

Abstrak

Tanah lempung Ekspansif merupakan tanah yang memiliki kemampuan kembang susut yang tinggi, sehingga perlu distabilisasi. Bahan stabilisasi yang digunakan yaitu, kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dengan variasi campuran kapur 5% (tetap), *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan *bottom ash* 20% (tetap). Metode yang digunakan adalah metode observasi, berupa pengujian sifat fisik dan mekanis tanah di Laboratorium. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah yang distabilisasi untuk mengetahui perilaku tegangan regangan yang dihasilkan melalui pengujian UCT (*Unconfined Compression Test*). Perubahan nilai terbesar pada pengujian tekan bebas dengan pemeraman 7 hari pada variasi campuran kapur 5%, *fly ash* 30% dan *bottom ash* 20% dengan nilai daya dukung tanah (q_u) 3,2 kg/cm² dari nilai tanah asli 0,326 kg/cm² dan nilai kohesi tanah *undrained* (c_u) 1,6 kg/cm² dari nilai tanah asli 0,088 kg/cm². Perubahan yang lain terlihat pada kurva tegangan regangan tanah yang distabilisasi lebih curam daripada tanah asli. Peningkatan nilai daya dukung tanah dan nilai modulus elastisitas menunjukkan bahwa tanah dapat digunakan untuk lapisan tanah dasar.

Abstract

Expansive clay is soil that has a high shrinkage ability, so it needs to be stabilized. The stabilization materials used are lime, fly ash and bottom ash with a mixture of lime 5% (fixed), fly ash 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and bottom ash 20% (fixed). The method used is the observation method, in the form of testing the physical and mechanical properties of the soil in the laboratory. Tests were carried out on the original soil and stabilized soil to determine the stress-strain behavior produced by using the Unconfined Compression Test (UCT). The biggest change in the value of the free compression test with 7 days of curing on a mixture of 5% lime, 30% fly ash and 20% bottom ash with a soil bearing capacity value (q_u) of 3.2 kg/cm² from the original soil value of 0.326 kg/cm² and the value of undrained soil cohesion (c_u) is 1.6 kg/cm² from the original soil value of 0.088 kg/cm². Another change is seen in the stress-strain curve of the stabilized soil which is steeper than the original soil. The increase in the value of the bearing capacity of the soil and the value of the modulus of elasticity indicate that the soil can be used for subgrade layers.

Kutipan: Diisi oleh Editor

1. Pendahuluan`

Jenis tanah di Desa Oebelo Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang merupakan jenis tanah lempung ekspansif (Sonbay, 2010). Jenis tanah ini memiliki daya dukung yang rendah, penurunan tinggi, kuat geser rendah, dan daya serap air tinggi. Kondisi ini juga dapat dilihat dari bentuk fisik tanah, pada musim penghujan yaitu ketika kadar airnya meningkat tanah akan mengembang, sedangkan jika pada musim kemarau tanah menjadi retak-retak karena susut. Oleh karena itu sifat teknik tanah di Desa Oebelo ini dapat ditingkatkan dengan stabilisasi tanah terhadap perbaikan sifat fisis dan sifat mekanisnya guna meningkatkan daya dukung tanah asli sehingga tanah menjadi lebih stabil dan mampu memikul beban yang diatasnya. Metode stabilisasi kimiawi merupakan salah satu solusi efektif untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan mencampur stabilisator atau bahan kimia, yaitu pencampuran tanah lempung ekspansif dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash*. Berdasarkan penelitian terdahulu (Hangge, dkk 2021), didapat bahwa seiring dengan penambahan kapur dan *fly ash* dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanis tanah lempung ekspansif di Desa Oebelo. Pada penelitian ini akan ditinjau pengaruh penambahan campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terhadap sifat fisik dan mekanis tanah lempung ekspansif, dan untuk mengetahui hubungan tegangan regangan tanah yang distabilisasi serta pengaruh penambahan campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* pada nilai kuat tekan bebas dan modulus elastisitas tanah.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif yang diambil pada ruas Jalan Timor Raya KM 21, Desa Oebelo, kapur yang dibeli di Jl. Timor Raya No.9, Oesapa Barat, Kelapa Lima, Kota Kupang, serta *fly ash* dan *bottom ash* yang diambil dari PLTU Bolok Kupang, PT. PJB Services.

2.1. Teknik Pengambilan Data

1. Teknik observasi
Teknik observasi yaitu teknik pengambilan data melalui pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana Kupang terhadap objek penelitian.
2. Teknik dokumentasi
Teknik dokumentasi yaitu teknik pengambilan data yang diperoleh dengan cara mengumpulkan teori, rumus-rumus dan ketentuan yang relevan dengan materi penelitian dari buku-buku tertentu.
3. Studi Pustaka
Studi pustaka adalah teknik pengambilan data melalui teks-teks tertulis, seperti buku, e-book, jurnal, makalah dan lain-lain.

2.2. Spesifikasi Benda Uji

1. Persiapan Material Benda Uji
Tanah yang digunakan dalam penelitian ini berupa tanah lempung ekspansif yang diambil dari lokasi Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang. Tanah ini dikeringkan dengan melakukan penjemuran di bawah terik matahari langsung, setelah kering tanah dihancurkan kemudian diayak menggunakan saringan No. 4, 10 dan 40. Bahan yang menjadi campurannya adalah kapur, *fly ash* dan *bottom ash*.
2. Cara pembuatan benda uji
 - Membuat campuran tanah lempung ekspansif-kapur-*fly ash*-*bottom ash* sesuai dengan persentase yang telah direncanakan, yaitu berat kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dihitung terhadap berat kering tanah. Variasi campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Campuran Kapur, *Fly ash*, dan *Bottom ash* Terhadap Berat Kering Tanah

Jenis Sampel	Label Sampel	Komposisi
Tanah Asli	TA	100% Tanah Asli
Variasi I	V1	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi II	V2	Tanah Asli + 5% Kapur + 15% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi III	V3	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi IV	V4	Tanah Asli + 5% Kapur + 25% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>
Variasi V	V5	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly ash</i> + 20% <i>Bottom ash</i>

- Membuat benda uji campuran tanah lempung ekspansif-kapur-fly ash-bottom ash untuk uji kuat tekan bebas (UCT). Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu benda uji diperam selama 7 hari untuk memberikan waktu pada campuran bereaksi dan menjaga kadar air benda uji tetap stabil.
- Benda uji disiapkan sebanyak 18 benda uji. Perincian jumlah benda uji berdasarkan variasi benda uji dan pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2. Pengambilan sampel hanya pada 1 titik dengan kedalaman ± 50 cm.

Tabel 2. Variasi Benda Uji Dan Jenis Pengujian Di Laboratorium

No. Variasi	Variasi Benda Uji	Jumlah Benda Uji Tekan Bebas
1.	TA	3
2.	V1	3
3.	V2	3
4.	V3	3
5.	V4	3
6	V5	3
Total benda uji		18

2.3. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli dan Tanah yang Distabilisasi

Tanah asli dan tanah yang distabilisasi menggunakan campuran kapur, fly ash dan bottom ash meliputi beberapa pengujian diantaranya:

1. Pengujian kadar air (ASTM 2216-71)
2. Pengujian berat jenis (ASTM D 854-58)
3. Pengujian distribusi ukuran butiran tanah (ASTM D 2487-69)
4. Pengujian batas-batas atterberg:
 - Pengujian batas cair (ASTM D 423-59)
 - Pengujian batas plastis (ASTM D 424-59)
 - Pengujian batas susut (ASTM D 427-61)
5. Pengujian proctor standar (ASTM D-698)
6. Pengujian uji tekan bebas (ASTM D 2166-66)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Lempung Ekspansif

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai hasil pengujian sifat fisik dan mekanis dari sampel tanah lempung ekspansif tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung Ekspansif

No	Pengujian	Nilai	Parameter
1	Kadar Air	23,40	%
2	Berat Spesifik	2,68	-
3	Batas Cair	70,24	%
4	Batas Plastis	29,68	%
5	Batas Susut	9,50	%
6	Indeks Plastis	40,56	%
7	Lolos Saringan No. 200	96,08	%

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah Lempung Ekspansif

No	Pengujian	Nilai	Parameter
1	Kadar Air Optimum	33,59	%
2	Berat Volume Kering Maksimum	1,29	gr/cm ³
3	Kuat Tekan Bebas	0,326	kg/cm ²
4	Modulus Elastisitas	423,773	kN/m ²

3.2. Klasifikasi Tanah Asli

Berdasarkan sistem klasifikasi AASTHO tanah tergolong ke dalam kelompok A-7-5 dengan nilai GI 46 yang merupakan tanah berlempung, tanah jenis ini dikategorikan buruk sebagai lapisan tanah dasar. Menurut USCS, jenis tanah ini tergolong ke dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

3.3. Karakteristik dan Klasifikasi Kapur

Berdasarkan pengujian laboratorium didapat nilai CaO kapur sebesar 62,94% (Ullu, 2021). Kandungan CaO dalam kapur dapat memberikan sifat cementitious (kemampuan untuk mengeras dan bertambah kuat apabila bereaksi dengan air) pada *fly ash*. Sedangkan Kombinasi *bottom ash* dan kapur, membawa efek gabungan pada kekuatan tanah, memproduksi kuat tekan dan daya dukung yang lebih tinggi.

3.4. Karakteristik dan Klasifikasi Fly ash

Fly ash yang dipakai pada penelitian ini diambil di PLTU Bolok Kupang. Dari hasil pengujian di Laboratorium diketahui bahwa *fly ash* tersebut termasuk dalam tipe CI dengan nilai CaO sebesar 10,64% (Dom, 2021).

3.5. Karakteristik dan Klasifikasi Bottom ash

Bottom ash yang digunakan dalam penelitian ini diambil di PLTU Bolok Kupang. Berdasarkan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) di PT. Sucofindo, diketahui nilai CaO sebesar 13,92%.

3.6. Stabilisasi Tanah dengan Kapur, Fly ash dan Bottom ash

Stabilisasi dilakukan dengan mencampur tanah asli (TA) dengan 5% kapur, *fly ash* dengan persentase sebesar 10% (V1), 15% (V2), 20% (V3), 25% (V4), 30% (V5), dan *bottom ash* dengan persentase 20%.

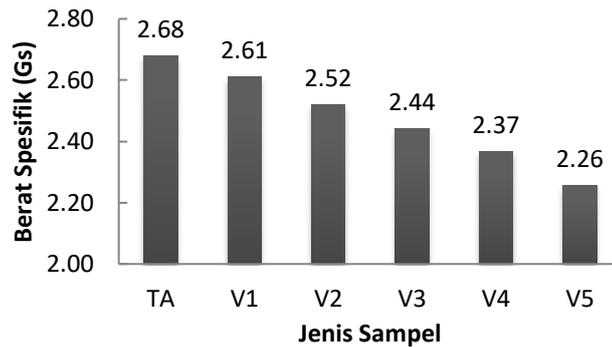
3.6.1. Berat Spesifik (*Specific Gravity*)

Hasil yang diperoleh dari pengujian berat spesifik campuran tanah lempung ekspansif, kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dengan variasi persentase ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Spesifik Tanah dengan Campuran Kapur, *Fly ash* dan *Bottom ash*

No	Variasi Benda Uji	Berat Spesifik
1	TA	2,68
2	V1	2,61
3	V2	2,52
4	V3	2,44
5	V4	2,37
6	V5	2,26

Tabel 5. menunjukkan terjadi penurunan nilai berat spesifik, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai berat spesifik tanah yang distabilisasi akan berkurang dari nilai berat spesifik tanah asli. Ketika tanah dicampur dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terjadi perubahan tekstur tanah di mana partikel-partikel tanah menjadi menggumpal, sehingga partikel tanah memiliki ukuran yang lebih besar dan menyebabkan penurunan nilai berat spesifik (Ningsih, 2014). Persentase penurunan nilai berat spesifik pada tanah setelah distabilisasi berturut-turut adalah 2,61%, 5,97%, 8,96%, 11,57% dan 15,67% terhadap tanah asli. Penurunan nilai berat spesifik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Berat Spesifik Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash* Terhadap Tanah Asli

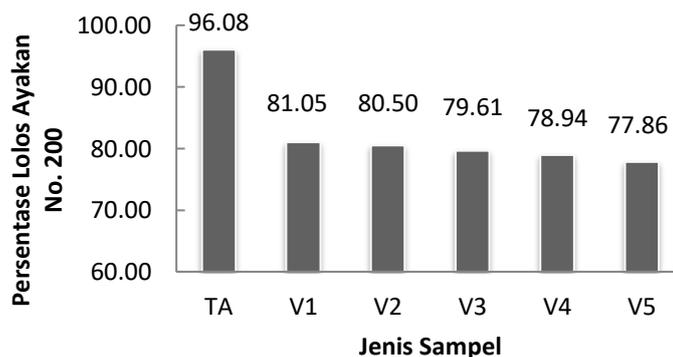
3.6.2. Analisis Saringan

Hasil pengujian analisis saringan untuk campuran tanah lempung ekspansif, kapur, *fly ash* dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Analisis Saringan

No	Variasi Benda Uji	Butiran Lolos Saringan No. 200 (%)
1	TA	96,08
2	V1	81,05
3	V2	80,50
4	V3	79,61
5	V4	78,94
6	V5	77,86

Persentase penurunan butiran lempung pada tanah setelah distabilisasi berturut-turut adalah 15,64%, 16,22%, 17,14%, 17,84% dan 18,96% terhadap tanah asli. Sehingga dapat disimpulkan bahwa seiring peningkatan variasi jumlah *fly ash* dan penambahan *bottom ash* pada tanah maka jumlah butiran lempung semakin berkurang dan jumlah butiran pasir lebih banyak dibandingkan dengan komposisi butiran tanah asli, hal ini terjadi karena butiran halus yang menggumpal (Hangge, dkk, 2021). Komposisi butiran tanah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Analisis Saringan dan Hidrometer Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash*

3.6.3. Batas-batas Konsistensi

Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (Atterberg limits) (Das, 2009). Dari pengujian batas-batas konsistensi, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi

No	Variasi Benda Uji	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Batas Susut (%)
1	TA	70,24	29,68	40,56	9,50
2	V1	53,11	27,42	25,69	32,44
3	V2	50,44	26,29	24,15	37,51
4	V3	48,63	25,19	23,43	45,68
5	V4	46,26	24,10	22,16	52,81
6	V5	44,21	22,60	21,61	59,49

1. Batas Cair

Nilai batas cair mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash*, kapur dan *bottom ash*. Penurunan secara berurutan yaitu 24,39%, 28,19%, 30,77%, 34,14% dan 37,06% terhadap tanah asli. Penurunan diakibatkan karena *fly ash* mampu menyerap air sehingga kadar air yang dihasilkan semakin kecil (Indera, 2017). Kapur juga mempunyai sifat hidroskopis terhadap tanah, yaitu kapur akan mengeluarkan energi dalam bentuk panas saat dicampur dengan air, sehingga air yang ada pada saat pencampuran akan mengalami penguapan yang cepat (Soehardi, 2017). Selain itu *bottom ash* memiliki daya serap yang rendah terhadap air sehingga sebagian besar air diserap oleh tanah lempung ekspansif, dan berkurangnya komposisi tanah ekspansif yang memiliki daya yang tinggi pada air, sehingga mempengaruhi penurunan nilai batas cair (Purnama Y, 2018).

2. Batas Plastis

Nilai batas plastis mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash*, kapur dan *bottom ash*. Penurunan secara berurutan yaitu 7,61%, 11,42%, 15,13%, 18,80% dan 23,85% terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan karena sifat bahan stabilisasi yang mudah menyerap air sehingga tanah mendekati sifat semi padat pada saat kandungan air dalam tanah tersebut sedikit (Indera, 2017).

3. Batas Susut

Batas susut mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya persentase *fly ash*, kapur dan *bottom ash*. Pada persentase *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%, nilai batas susut mengalami kenaikan secara berurutan yaitu 4,4 kali, 4,9 kali, 5,8 kali, 6,5 kali dan 7,3 kali terhadap tanah asli. Hal ini disebabkan menyatunya butiran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* terhadap tanah asli yang menyebabkan tanah asli kehilangan sifat kelempungannya yang menyebabkan berkurangnya kemampuan susut pada tanah asli tersebut.

4. Indeks Plastisitas

Pada persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, nilai indeks plastisitas mengalami penurunan secara berurutan yaitu 36,66%, 40,46%, 42,23%, 45,36% dan 46,72% terhadap tanah asli. Menurunnya nilai indeks plastisitas menunjukkan berkurangnya butiran lempung. Nilai indeks plastisitas tanah asli menunjukkan bahwa tanah asli memiliki sifat plastisitas yang tinggi, namun setelah distabilisasi dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* nilai indeks plastisitas menurun (Hangge, dkk, 2021).

3.6.4. Pemadatan Standar Proctor

Hasil pengujian pemadatan standar untuk tanah asli dan tanah yang ditambahkan dengan kapur 5% (tetap), variasi *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *bottom ash* (tetap) ditunjukkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Pemadatan

No	Variasi Benda Uji	Kadar Air Optimum (%)	Berat Volume Kering Maksimum (gr/cm ³)
1	TA	33,59	1,29
2	V1	31,60	1,32
3	V2	30,28	1,34
4	V3	27,81	1,37
5	V4	26,38	1,40
6	V5	25,19	1,42

Hasil pengujian pemadatan standar proctor menunjukkan terjadi penurunan kadar air optimum dan kenaikan berat volume kering maksimum. Penurunan kadar air optimum karena sifat kapur yang dapat memancarkan panas yang menyebabkan tanah asli menjadi cepat kering akibat proses hidrasi (Sosrodarsono, 2000). Menurunnya nilai kadar air optimum ini juga karena air lebih dominan berikatan dengan *bottom ash*

sehingga tanah lebih sedikit mengikat air. Hal inilah yang menyebabkan kadar air mengalami penurunan (Purnama, Y, 2018). Berat volume kering maksimum mengalami peningkatan karena campuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* menyebabkan bertambahnya ikatan antara partikel tanah. Kapur dan *fly ash* mempunyai ukuran butiran yang halus sehingga dapat mengisi rongga antara partikel tanah sehingga membentuk tekstur tanah yang semakin padat (Ullu, 2020).

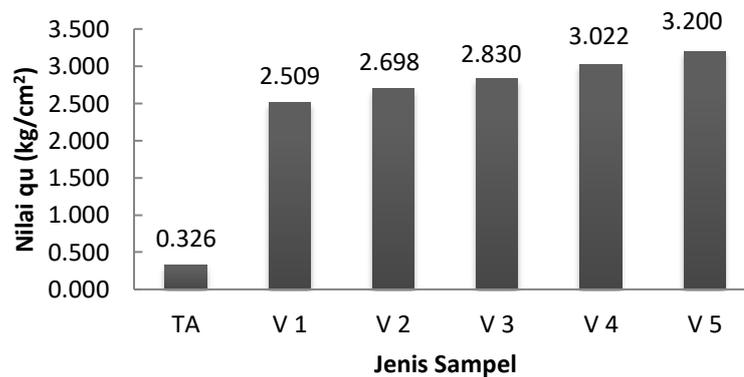
3.6.5. Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Dari uji kuat tekan bebas ini diperoleh nilai daya dukung tanah (q_u) dan di peroleh nilai kohesi tanah undrained (c_u) yaitu sebesar $\frac{1}{2} q_u$. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan pada masing-masing 3 benda uji untuk setiap variasi campuran yang dimana masing-masing benda uji telah dipadatkan pada tabung silinder dan diperam selama 7 hari dalam desikator sebelum dilakukan pengujian. Hasil pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada Tabel 9.

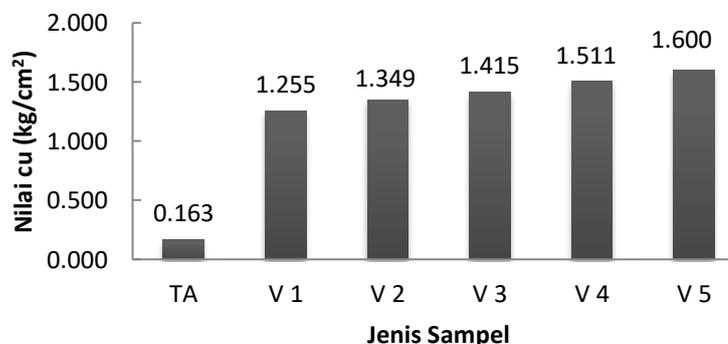
Tabel 9. Hasil Rata-Rata Pengujian Kuat Tekan Bebas

No	Variasi Benda Uji	Rata-Rata	
		q_u (Kg/cm ²)	c_u (Kg/cm ²)
1	TA	0,326	0,088
2	V1	2,509	1,255
3	V2	2,698	1,349
4	V3	2,830	1,415
5	V4	3,022	1,511
6	V5	3,200	1,600

Untuk nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi tanah *undrained* (c_u) dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Grafik Nilai Daya Dukung Tanah(q_u) Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash* Terhadap Tanah Asli



Gambar 4. Grafik Nilai Kohesi Tanah *Undrained* (c_u) Pada Penambahan 5% Kapur, Variasi *Fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 20% *Bottom ash* Terhadap Tanah Asli

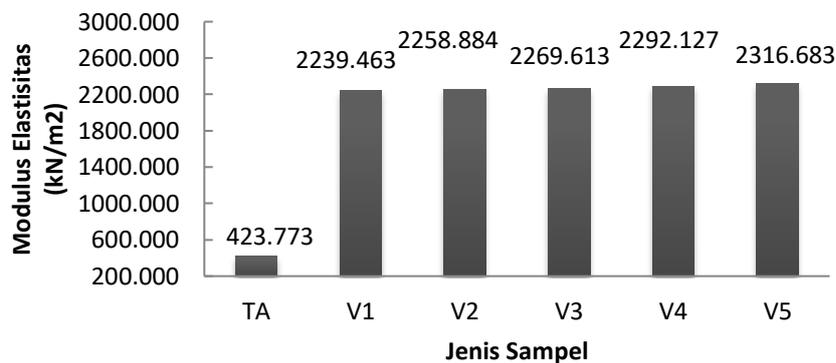
Nilai daya dukung tanah (q_u) meningkat berturut-turut sebesar 6,7 kali, 7,3 kali, 7,7 kali, 8,3 kali dan 8,8 kali dari nilai daya dukung tanah (q_u) tanah asli sebesar $0,326 \text{ kg/cm}^2$. Peningkatan nilai daya dukung tanah (q_u) ini disebabkan oleh reaksi pozzolanic dan cementious yang terjadi pada tanah akibat pencampuran kapur, *fly ash* dan *bottom ash* sehingga tanah akan semakin keras dan kaku sehingga meningkatkan kekuatan tanah. Seiring penambahan kapur 5% (tetap), *fly ash* dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan *bottom ash* 20% (tetap), nilai kohesi tanah undrained (c_u) meningkat berturut-turut sebesar 6,7 kali, 7,3 kali, 7,7 kali, 8,3 kali dan 8,8 kali dari nilai kohesi tanah undrained (c_u) tanah asli sebesar $0,163 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini membuat tanah semakin keras dan meningkatkan kekuatan tanah. Nilai tekanan yang terjadi semakin meningkat akibat dari butiran tanah yang telah menjadi padat karena menyatu dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash*.

3.6.6. Penentuan Modulus Elastisitas Tanah

Pada pengujian di Laboratorium, modulus Elastisitas (E) didapat dari hasil hubungan tegangan-regangan pegujian kuat tekan bebas Nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Rata-Rata Modulus Elastisitas Tanah

No	Variasi Benda Uji	Rata-Rata (Kn/m ²)
1	TA	423,773
2	V1	2239,463
3	V2	2258,884
4	V3	2269,613
5	V4	2292,127
6	V5	2316,683

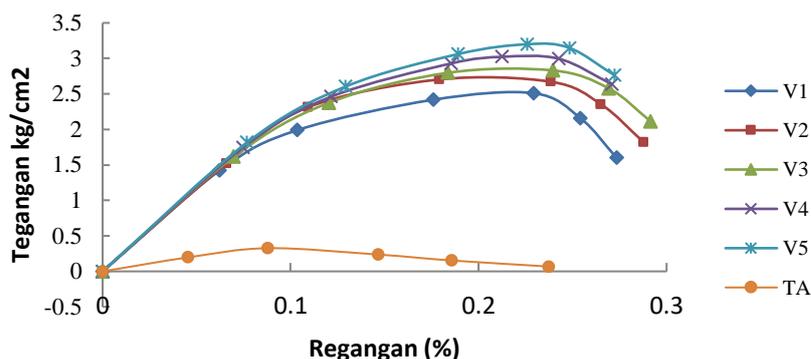


Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Tanah

Setelah distabilisasi tanah mengalami kenaikan modulus elastisitas, pada penambahan kapur 5% (tetap), *fly ash* dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan *bottom ash* 20% (tetap) berturut-turut adalah 81,08%, 81,24%, 81,33%, 81,51% dan 81,71% dari nilai modulus elastisitas tanah asli.

3.6.7. Hubungan Tegangan Regangan

Berdasarkan pengujian UCT di Laboratorium, maka didapat hubungan antar tegangan regangan. Untuk hubungan tegangan regangan dapat dilihat dari grafik pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Hubungan Tegangan Regangan Pada Tanah Asli dan Berbagai Variasi Campuran Kapur, Fly ash dan Bottom ash

Hubungan tegangan regangan untuk TA dengan V1, V2, V3, V4 dan V5 juga dapat dilihat pada kurva, dimana pada kurva TA terlihat regangan yang terjadi pada tegangan maksimumnya yang sama terjadi juga pada kurva V1, V2, V3, V4 dan V5, namun pada kurva untuk tanah yang sudah distabilisasi ini terjadi peningkatan nilai tegangannya namun bukan pada tegangan maksimumnya. Hal ini terjadi karena setelah distabilisasi tanah mengalami peningkatan kekuatan tanah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan grafik hubungan tegangan regangan, diketahui bahwa variasi tanah yang distabilisasi memiliki perilaku yang getas terlihat dari bentuk kurva yang curam, sedangkan tanah asli memiliki perilaku yang daktail terlihat dari kurva yang lebih landai. Kemiringan kurva dari landai menjadi curam menunjukkan adanya peningkatan nilai modulus elastistas.

Pengujian Tekan Bebas didapat nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi tanah undrained (c_u) yang mengalami kenaikan setiap penambahan variasi fly ash dengan pemeraman 7 hari. Untuk nilai daya dukung tanah (q_u) didapat nilai terbesar 3,2 kg/cm². Demikian nilai kohesi tanah undrained (c_u) didapat nilai terbesar 1,6 kg/cm². Pada tiap penambahan fly ash daya dukung semakin meningkat dilihat dari nilai tekan bebas yang meningkat tiap penambahan fly ash. Dari penelitian uji tekan bebas juga didapat nilai modulus elastisitas, dimana pada penambahan kapur 5% (tetap), fly ash dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan bottom ash 20% (tetap) berturut-turut adalah 2239,463 kN/m², 2258,884 kN/m², 2269,613 kN/m², 2292,127 kN/m², 2316,683 kN/m².

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 1980. *Annual Books Of ASTM Standards*. American Society For Testing Material. Philadelphia
- Hangge, dkk . 2021. *Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif*. Jurnal Teknik Sipil, Vol 10, No.1. Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Hardiyatmo, Christady, Harry. 2006. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta
- Indera, Rama. 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*. Jurnal Fondasi, Vol. 6 No. 2. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Serang Banten
- Ningsih, Dessy. 2014. *Pengaruh Penambahan Variasi Tanah Kapur dan Semen Terhadap Potensi Pengembangan Tanah Lempung Desa Niuk Baun Kecamatan Amarasi Barat Kabupaten Kupang*. Skripsi S-1 Prodi Teknik Sipil. Universitas Nusa Cendana. Kupang
- Purnama, Y. 2018. *Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Lakarsantri Surabaya Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Rekayasa Teknik Sipil Vol.2 No.2.
- Soehardi, Fitridawati. 2017. *Pengaruh Waktu Pemeraman Stabilisasi Tanah Menggunakan Kapur Terhadap Nilai CBR*. Jurnal Teknik Sipil Siklus. Vol. 3 No. 1. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Lancang Kuning

- Sonbay, Albert. 2010. *Kajian Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Desa Oebelo Dengan Garam Dapur Lokal*. Skripsi S-1 Prodi Teknik Sipil. Universitas Nusa Cendana. Kupang
- Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta
- Ullu, Marta. 2021. *Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 10 No. 1. Universitas Nusa Cendana. Kupang

Studi Perbandingan Penulangan Balok dan Kolom pada Gedung Biro Logistik POLDA NTT Berdasarkan SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019

Comparative Study of Beam and Column Reinforcement of Biro Logistik POLDA NTT Building Based on SNI Gempa 2012 and SNI Gempa 2019

Hernanda A.S. Manalu¹, Dantje A.T. Sina^{2*}, Dolly W. Karels³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Balok, kolom, penulangan, analisis gempa

Keywords:

Beam, column, reinforcement, earthquake analysis

Article history:

Received: 25-04-2022

Accepted: 19-05-2022

*Koresponden email:

hernanda.anggiat@gmail.com
dantjesina@staf.undana.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan analisis gempa dinamik berdasarkan SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap luas tulangan balok dan luas tulangan kolom. Gedung yang ditinjau adalah gedung Biro Logistik POLDA NTT, gedung dibuat menjadi 4 variasi tingkat yaitu 3 tingkat, 4 tingkat, 5 tingkat dan 6 tingkat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa luas tulangan untuk semua variasi tingkat dengan SNI Gempa 2019 lebih besar dari SNI Gempa 2012. Perbedaan luas tulangan rata-rata longitudinal balok sebesar 461 mm². Perbedaan luas tulangan rata-rata geser balok sebesar 454 mm²/m. Perbedaan luas tulangan rata-rata utama kolom sebesar 4448 mm². Perbedaan luas tulangan rata-rata geser kolom sebesar 1099 mm²/m. Selanjutnya didapat perbandingan kenaikan luas tulangan rata-rata longitudinal balok antar variasi tingkat adalah 2,25. Perbandingan kenaikan luas tulangan rata-rata geser balok antar variasi tingkat adalah 1,43. Luas tulangan utama kolom antar variasi tingkat tidak dapat dibandingkan. Perbandingan luas tulangan rata-rata geser kolom antar variasi tingkat adalah 1,90.

Abstract

This study compares dynamic earthquake analyses based on the 2012 Earthquake SNI and the 2019 Earthquake SNI to see how they affect the required reinforcement for beam and column. The structure is modeled so that the number of building's story varies, namely, four stories, five stories, and six stories. This study shows that the reinforcement based on standard earthquake design per SNI 2019 is more than per SNI 2012 for all level variations. The difference in the average amount of longitudinal reinforcement for beams is 461 mm². The difference in the average amount of shear reinforcement for beams is 454 mm²/m. The difference in the average amount of main reinforcement for columns is 4,448 mm². The difference in the average amount of column shear reinforcement is 1,099 mm²/m. The average ratio of longitudinal reinforcement of beams increases between the level variations is 2.25. The average shear reinforcement ratio of beams increases between the level variations by 1.43. There is no increase in the amount of longitudinal reinforcement of columns. Hence it cannot be compared. The average shear reinforcement ratio of columns increases between the level variations by 1,90.

Kutipan: Diisi oleh Editor

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang rawan terjadi gempa, sehingga pembangunan struktur gedung, harus mempertimbangkan pembebanan yang bekerja, diantaranya beban gravitasional dan beban gempa (Bukhori dan Agung Prasetyo, 2019). Beban gempa dapat terjadi pada bangunan karena dipengaruhi oleh waktu getaran, jenis tanah, massa struktur, kekakuan fleksibilitas bangunan dan keseragaman distribusi massa. Pada struktur sederhana, dimana pusat massa dan pusat kekakuannya berada pada titik yang sama, maka dapat dianalisis secara statik. Namun untuk struktur yang lebih kompleks, perlu dianalisis secara dinamik. Analisis dinamik melibatkan respon spektrum desain dalam menganalisis suatu struktur. Respon spektrum desain adalah suatu spektrum yang menyajikan periode getar struktur dan percepatan gempa, yang dipengaruhi oleh parameter respon spektrum desain. Pada SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019 memiliki perbedaan pada parameter respon spektrum, sehingga berpengaruh terhadap respon spektrum desain. Dalam penelitian ini hendak dilakukan perbandingan analisis gempa dinamik berdasarkan SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019 yang dimodelkan menggunakan software komputer, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap luas tulangan balok dan luas tulangan kolom. Gedung yang ditinjau adalah gedung Biro Logistik POLDA NTT, gedung dibuat menjadi 4 variasi tingkat yaitu 3 tingkat, 4 tingkat, 5 tingkat dan 6 tingkat, untuk mengetahui pengaruh analisis gempa terhadap luas tulangan akibat variasi kenaikan tingkat.

2. Bahan dan Metode

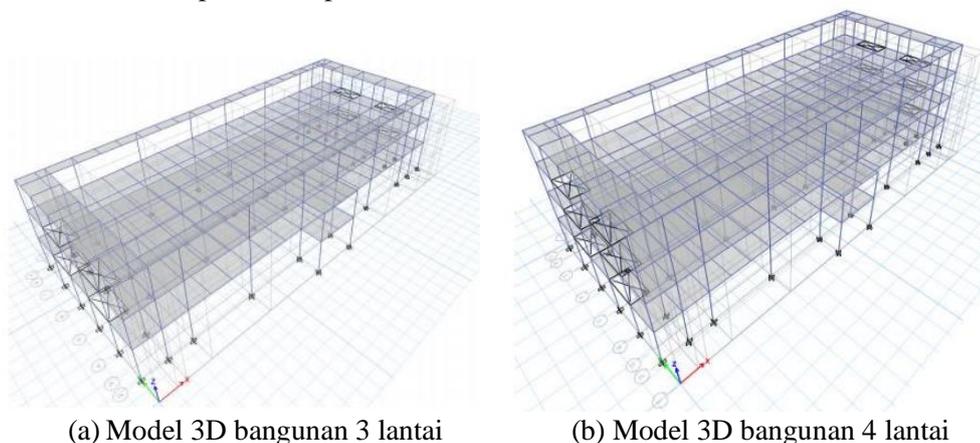
2.1. Tahapan Persiapan dan Metode Analisis

Deskripsi gedung yang ditinjau merujuk pada Laporan perhitungan struktur gedung biro logistik POLDA NTT, dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Deskripsi struktur gedung

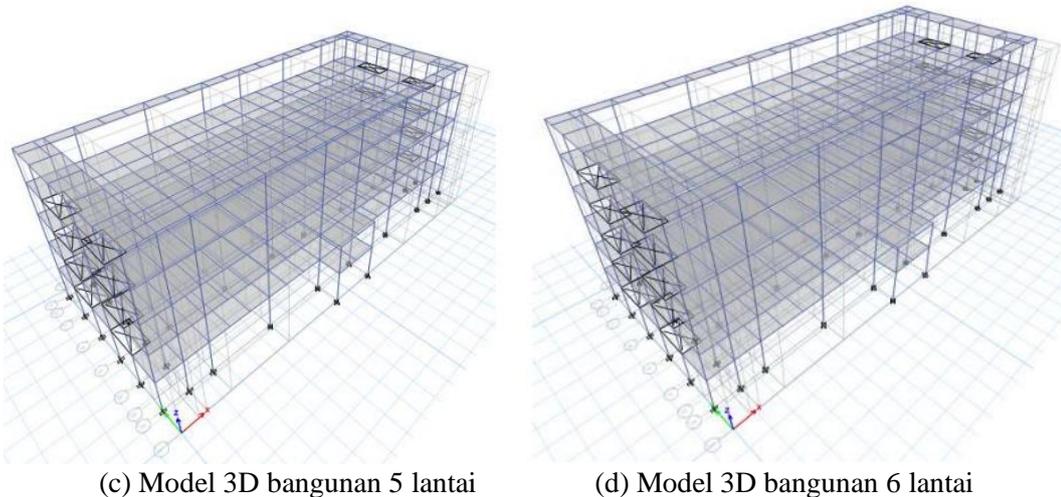
No	Deskripsi gedung	Keterangan
1	Nama bangunan	Gedung biro logistik POLDA NTT
2	Lokasi bangunan	Mapolda POLDA NTT, Jln. Soeharto No.3 Kota Kupang Nusa Tenggara Timur
3	Koordinat bangunan	-10,1774041° LS, 123,5946471° BT
4	Fungsional bangunan	Kantor
5	Jenis struktur	<i>Open frame</i> beton bertulang
6	Jenis tanah	Tanah keras
7	Mutu beton	$f_c' = 25$ Mpa
8	Mutu baja tulangan	$f_y = 390$ Mpa & $f_u = 585$ Mpa

Pemodelan struktur 3D untuk semua variasi tingkat berdasarkan Gambar kerja gedung biro logistik POLDA NTT, dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



(a) Model 3D bangunan 3 lantai

(b) Model 3D bangunan 4 lantai



(c) Model 3D bangunan 5 lantai

(d) Model 3D bangunan 6 lantai

Gambar 1. Model 3D bangunan variasi 3, 4, 5 dan 6 tingkat

Penelitian dimulai dengan melakukan pengumpulan data dan informasi gedung yang didapat dari Laporan perhitungan struktur dan Gambar kerja gedung biro logistik POLDA NTT. Kemudian dilanjutkan dengan membuat pemodelan struktur gedung dengan software ETABS2016, meliputi mendefinisikan material dengan menginput mutu bahan, menginput dimensi struktur, idealisasi reaksi perletakan struktur, input beban dan kombinasi pembebanan. Selanjutnya dilakukan analisis struktur untuk mengontrol pola ragam gerak struktur, partisipasi massa struktur dan rasio kapasitas berdasarkan SNI Beton 2013. Setelah itu dilakukan analisis gempa statik dan dinamik pada kedua SNI Gempa untuk mengecek respon struktur terhadap gaya geser dasar, simpangan antar lantai, p -delta dan ketidakberaturan struktur. Jika sudah memenuhi maka dapat dilihat perbedaan luas tulangan longitudinal dan geser pada balok, dan luas tulangan utama dan geser kolom dengan SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019 untuk masing-masing variasi tingkat.

2.2. Data Beban

2.2.1. Beban Mati Tambahan

Beban mati berasal dari berat sendiri struktur yaitu beton bertulang, diambil dari Peraturan pembebanan indonesia untuk gedung. Beban mati tambahan diambil berdasarkan Laporan perhitungan struktur gedung biro logistik POLDA NTT seperti di bawah ini:

1. Beban merata:
 - a. Dinding pada atap = 1,5 kN/m
 - b. Dinding pada lantai = 5 kN/m
 - c. Beban akibat tangga = 25 kN/m
 - d. Beban akibat atap = 9,3 kN/m
2. Beban areal:
 - a. Lantai atap = 1,5 kN/m²
 - b. Lantai = 1,5 kN/m²

2.2.2. Beban Hidup

Berdasarkan Laporan perhitungan struktur gedung biro logistik POLDA NTT maka beban hidup yang terdapat pada struktur yaitu:

1. Beban merata:
 - a. Lantai atap = 1,5 kN/m
2. Beban areal:
 - a. Lantai dak = 1 kN/m²
 - b. Beban akibat tandon air pada atap = 15 kN/m²
 - c. Beban akibat aktivitas kantor dan koridor = 3 kN/m²
 - d. Beban akibat aktivitas gudang dan aula = 5 kN/m²
 - e. Beban akibat aktivitas podium = 7,2 kN/m²

2.3. Kombinasi Pembebanan

Pada penelitian ini akan digunakan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI Gempa 2012 seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI Gempa 2019 seperti ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI Gempa 2012

<i>Name</i>	<i>Load case/combo</i>
Comb 1	1,4 DL + 1,4 SDL
Comb 2	1,2 DL + 1,2 SDL + 1,6 LL
Comb 3	1,35 DL + 1,35 SDL + LL + 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 4	1,35 DL + 1,35 SDL + LL + 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 5	1,35 DL + 1,35 SDL + LL - 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 6	1,35 DL + 1,35 SDL + LL - 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 7	1,35 DL + 1,35 SDL + LL + 0,39 Eqx + 1,3 Eqy
Comb 8	1,35 DL + 1,35 SDL + LL + 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 9	1,35 DL + 1,35 SDL + LL - 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 10	1,35 DL + 1,35 SDL + LL - 0,39 Eqx + 1,3 Eqy
Comb 11	0,75 DL + 0,75 SDL + 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 12	0,75 DL + 0,75 SDL + 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 13	0,75 DL + 0,75 SDL - 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 14	0,75 DL + 0,75 SDL - 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 15	0,75 DL + 0,75 SDL + 0,39 Eqx + 1,3 Eqy
Comb 16	0,75 DL + 0,75 SDL + 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 17	0,75 DL + 0,75 SDL - 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 18	0,75 DL + 0,75 SDL - 0,39 Eqx + 1,3 Eqy

Tabel 3. Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI Gempa 2019

<i>Name</i>	<i>Load case/combo</i>
Comb 1	1,4 DL + 1,4 SDL
Comb 2	1,2 DL + 1,2 SDL + 1,6 LL
Comb 3	1,38 DL + 1,38 SDL + LL + 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 4	1,38 DL + 1,38 SDL + LL + 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 5	1,38 DL + 1,38 SDL + LL - 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 6	1,38 DL + 1,38 SDL + LL - 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 7	1,38 DL + 1,38 SDL + LL + 0,39 Eqx + 1,3 Eqy
Comb 8	1,38 DL + 1,38 SDL + LL + 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 9	1,38 DL + 1,38 SDL + LL - 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 10	1,38 DL + 1,38 SDL + LL - 0,39 Eqx + 1,3 Eqy
Comb 11	0,72 DL + 0,72 SDL + 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 12	0,72 DL + 0,72 SDL + 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 13	0,72 DL + 0,72 SDL - 1,3 Eqx - 0,39 Eqy
Comb 14	0,72 DL + 0,72 SDL - 1,3 Eqx + 0,39 Eqy
Comb 15	0,72 DL + 0,72 SDL + 0,39 Eqx + 1,3 Eqy
Comb 16	0,72 DL + 0,72 SDL + 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 17	0,72 DL + 0,72 SDL - 0,39 Eqx - 1,3 Eqy
Comb 18	0,72 DL + 0,72 SDL - 0,39 Eqx + 1,3 Eqy

2.4. Perbedaan Analisis Gempa Berdasarkan SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019

2.4.1. Faktor Amplifikasi Getaran F_A dan F_V

Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_A) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_V), ditunjukkan pada Tabel 4 untuk SNI Gempa 2012 dan Tabel 5 untuk SNI Gempa 2019.

Tabel 4. Klasifikasi situs, F_A dan F_V (SNI Gempa 2012)

Ket	Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
		$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s > 1,25$
F_A	S_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	S_B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	S_C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
	S_D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
	S_E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
	S_F	SS ^b				

Ket	Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1				
		$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
F_V	S_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	S_B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	S_C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
	S_D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
	S_E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
	S_F	SS ^b				

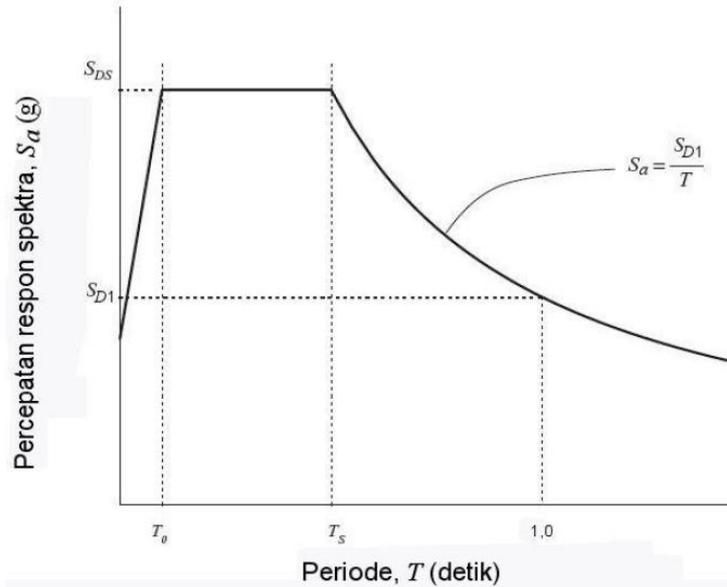
Tabel 5. Klasifikasi situs, F_A dan F_V (SNI Gempa 2019)

Ket	Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
		$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
F_A	S_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	S_B	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9
	S_C	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
	S_D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
	S_E	2,4	1,7	1,3	1,1	0,8	0,8
	S_F	SS ^b					

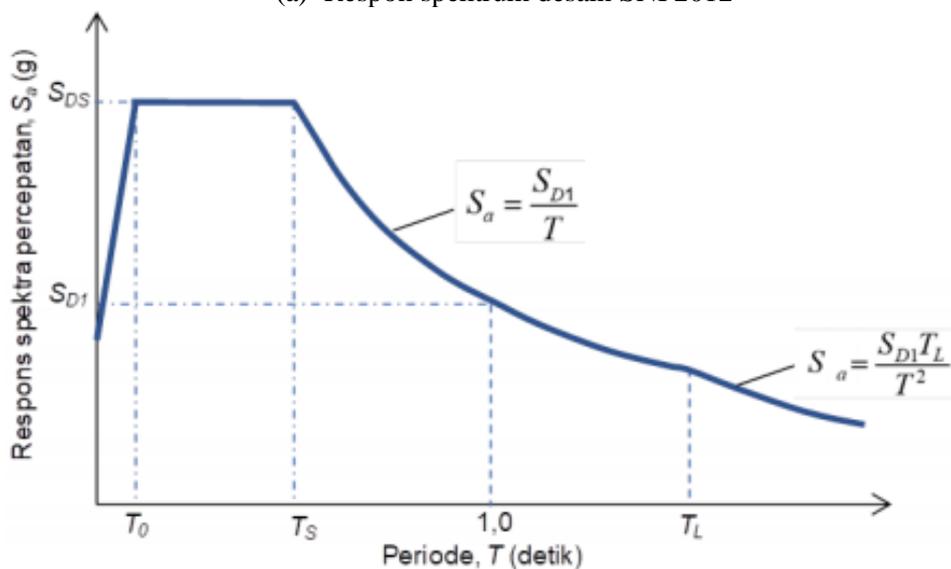
Ket	Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1					
		$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
F_V	S_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	S_B	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	S_C	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4
	S_D	2,4	2,2	2,0	1,6	1,8	1,7
	S_E	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
	S_F	SS ^b					

2.4.2. Respon Spektrum Desain

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar suatu struktur T , lawan respon-respon maksimumnya berdasarkan faktor jenis tanah dan faktor wilayah gempa untuk daerah tertentu (Chadaffi, 2017). Pada SNI Gempa 2012 percepatan desain dibagi menjadi 3 segmen yakni untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S dan untuk periode yang lebih besar dari T_S . Namun pada SNI Gempa 2019 terdapat penambahan percepatan desain untuk periode lebih besar T_L . Respon spektrum desain kedua SNI dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



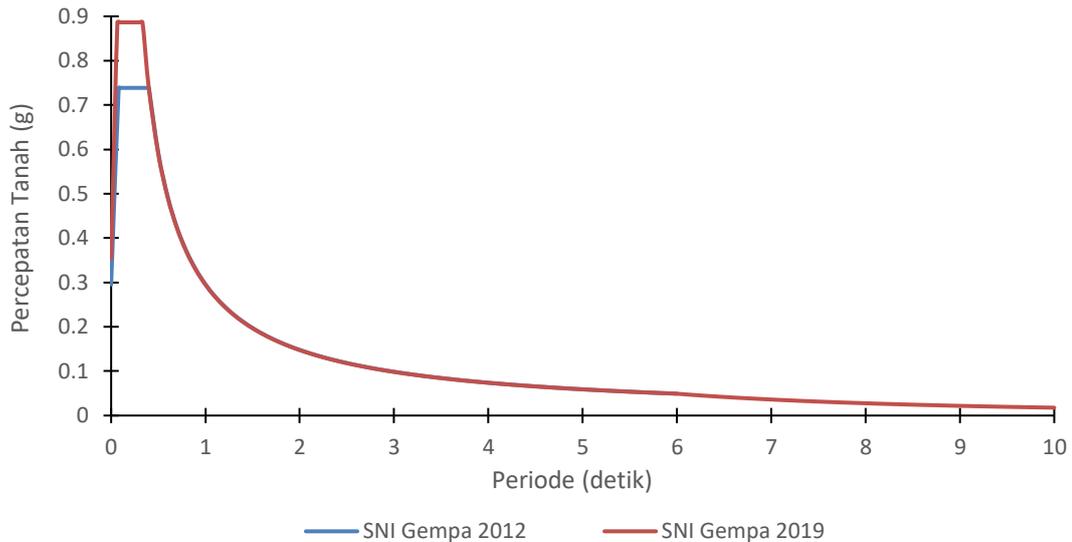
(a) Respon spektrum desain SNI 2012



(b) Respon spektrum desain SNI 2019

Gambar 2. Respon spektrum desain SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019

Analisis gempa dinamik dilakukan dengan memasukkan parameter respons spektrum sesuai SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2019, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Respon spektrum desain

2.4.3. Partisipasi Massa Ragam Terkombinasi

Pada SNI Gempa 2012 analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal, sedangkan berdasarkan SNI Gempa 2019 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun sebagai alternatif diijinkan jumlah ragam minimum sebesar 90% dari massa aktual.

2.5.3. Kontrol Gaya Geser Dasar

Pada SNI Gempa 2012 kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam (V_D) harus lebih besar 85% dari gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen (V_S), sedangkan pada SNI Gempa 2019 kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam (V_D) harus lebih besar 100% dari gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen (V_S).

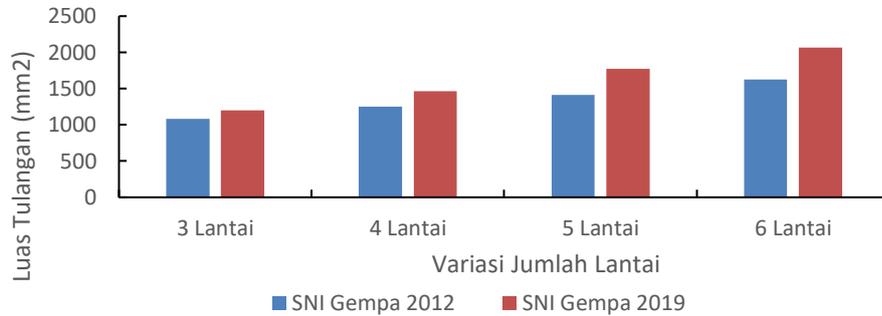
2.6. Pengaruh Analisis Gempa Terhadap Luas Tulangan Balok dan Kolom

Respon spektrum desain adalah suatu spektrum yang menyajikan periode getar dan percepatan gempa, yang dipengaruhi oleh parameter di atas. Pada suatu struktur apabila terkena percepatan gempa maka akan dikalikan dengan massa struktur tersebut, sehingga menyebabkan timbulnya beban gempa. Beban gempa ini akan ditahan oleh sistem penahan lateral atau sistem pemikul gaya seismik. Pada struktur dengan sistem rangka pemikul momen, yang berfungsi dalam menahan beban gempa adalah kolom dan balok. Balok berperan menyalurkan beban yang diterima (beban areal, beban linear, beban terpusat dan beban transfer) menuju kolom, kemudian meneruskannya ke struktur bawah. Beban yang diterima balok dan kolom bukan hanya beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup, namun juga berupa beban lateral akibat beban gempa. Beban gempa tersebut menyebabkan timbulnya gaya dalam pada balok dan kolom. Gaya dalam yang dominan terjadi pada balok yaitu momen lentur dan gaya geser, sedangkan pada kolom yaitu gaya aksial. Gaya dalam tersebut menyebabkan adanya tegangan tekan dan tegangan tarik, yang terjadi pada setiap penampang di sepanjang balok dan kolom. Pada struktur beton bertulang, balok dan kolom beton merupakan komponen struktur yang kuat terhadap tekan namun lemah terhadap tarik (Supriyatna, 2020). Oleh karena itu tulangan diperlukan untuk menahan tegangan tarik akibat gaya dalam tersebut. Tulangan longitudinal berfungsi menahan momen lentur dan aksial sedangkan tulangan geser berfungsi menahan gaya geser (Honarto, 2019)

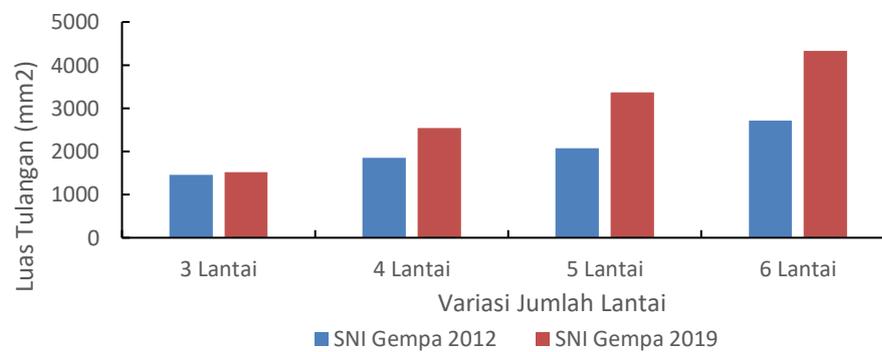
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Balok

Luas tulangan rata-rata longitudinal balok untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan luas tulangan maksimum longitudinal balok untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Luas tulangan rata-rata longitudinal balok

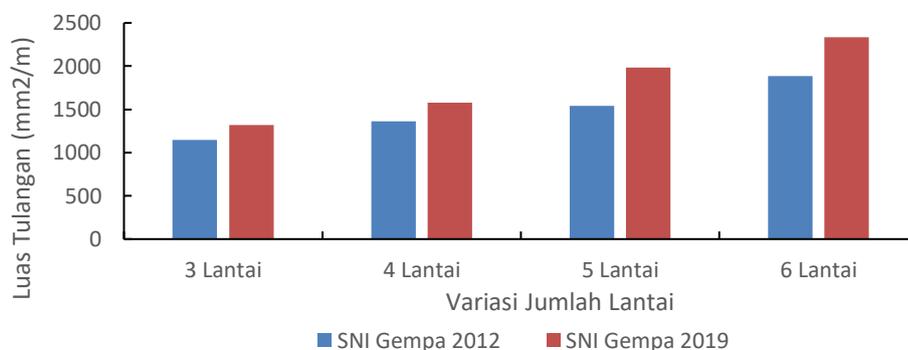


Gambar 5. Luas tulangan maksimum longitudinal balok B5A

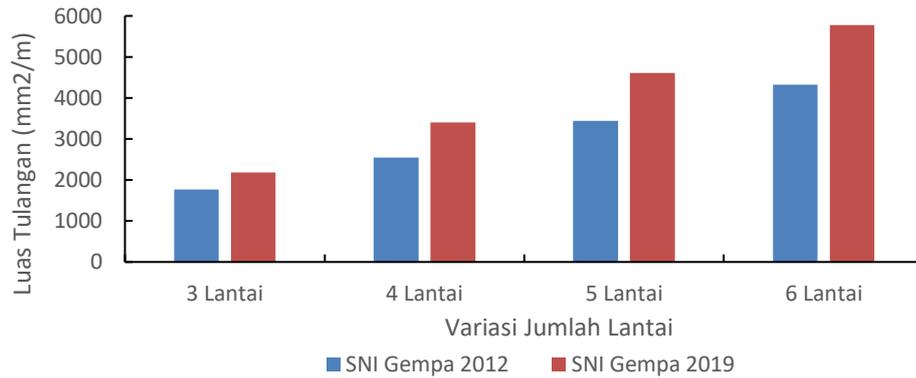
Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 diatas dapat diketahui perbedaan luas tulangan rata-rata longitudinal balok untuk variasi 3 tingkat sebesar 118 mm², variasi 4 tingkat sebesar 216 mm², variasi 5 tingkat sebesar 357 mm² dan variasi 6 tingkat sebesar 461 mm². Sedangkan perbedaan luas tulangan terbesar terdapat pada balok B5A, untuk variasi 3 tingkat sebesar 442 mm², variasi 4 tingkat sebesar 683 mm², variasi 5 tingkat sebesar 1288 mm² dan variasi 6 tingkat sebesar 1614 mm².

3.2. Perbedaan Luas Tulangan Geser Balok

Luas tulangan rata-rata geser balok untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan luas tulangan maksimum geser balok untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Luas tulangan rata-rata geser balok

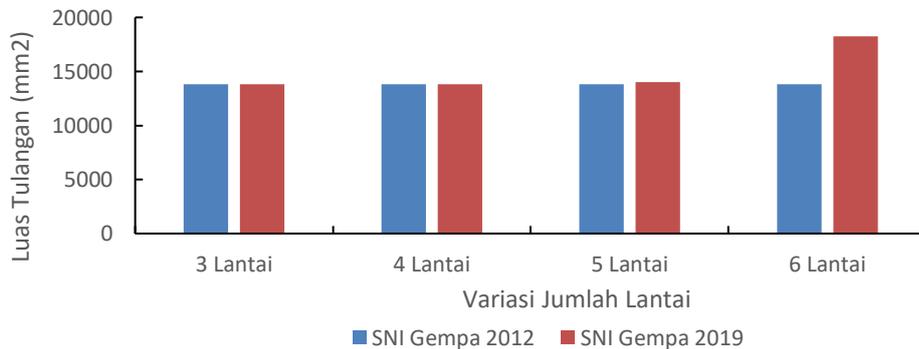


Gambar 7. Luas tulangan maksimum geser balok B5A

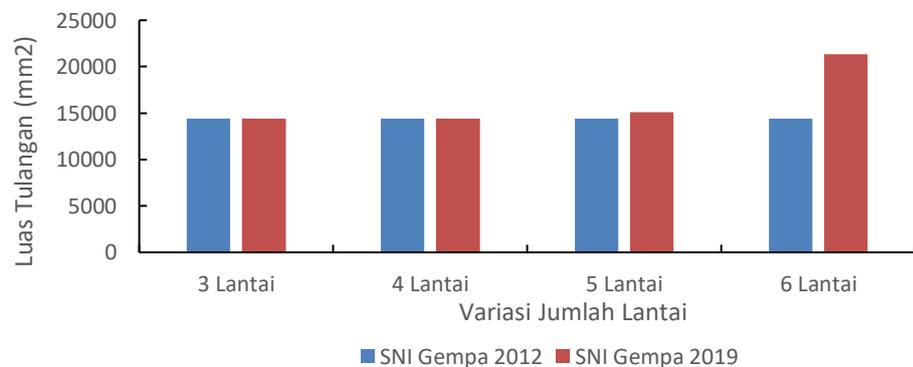
Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 diatas dapat diketahui perbedaan luas tulangan rata-rata geser balok untuk variasi 3 tingkat sebesar 178 mm²/m, variasi 4 tingkat sebesar 222 mm²/m, variasi 5 tingkat sebesar 453 mm²/m dan variasi 6 tingkat sebesar 454 mm²/m. Sedangkan perbedaan luas tulangan terbesar terdapat pada balok B5A, untuk variasi 3 tingkat sebesar 591 mm²/m, variasi 4 tingkat sebesar 861 mm²/m, variasi 5 tingkat sebesar 1168 mm²/m dan variasi 6 tingkat sebesar 1460 mm²/m.

3.3. Perbedaan Luas Tulangan Utama Kolom

Luas tulangan rata-rata utama kolom untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 8, sedangkan luas tulangan maksimum utama kolom untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Luas tulangan rata-rata utama kolom



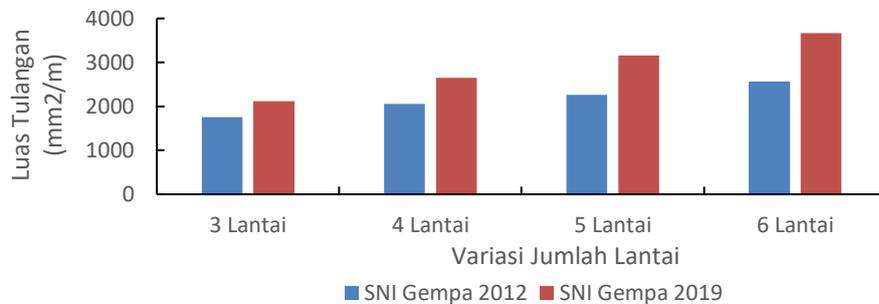
Gambar 9. Luas tulangan maksimum utama kolom K2

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9 diatas dapat diketahui perbedaan luas tulangan rata-rata utama kolom untuk variasi 3 tingkat hasil luas tulangan untuk kedua SNI sama, variasi 4 tingkat hasil luas tulangan untuk kedua SNI sama, variasi 5 tingkat sebesar 171 mm² dan variasi 6 tingkat sebesar

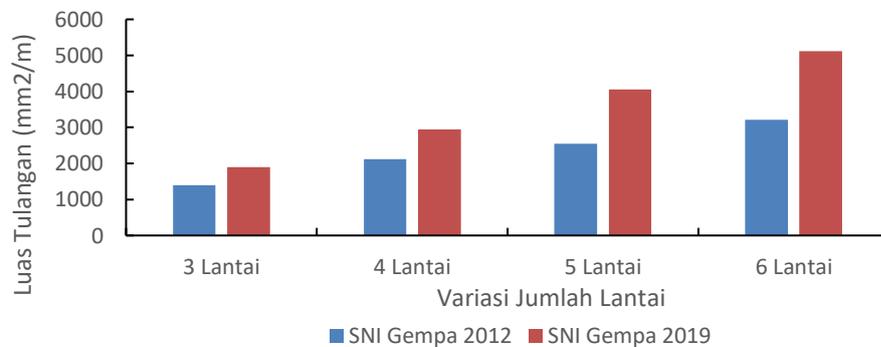
4448 mm². Sedangkan perbedaan luas tulangan terbesar terdapat pada kolom K2, untuk variasi 5 tingkat sebesar 685 mm² dan variasi 6 tingkat sebesar 6943 mm².

3.4. Perbedaan Luas Tulangan Geser Kolom

Luas tulangan rata-rata geser kolom untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 10, sedangkan luas tulangan maksimum geser kolom untuk semua variasi tingkat ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Luas tulangan rata-rata geser kolom



Gambar 11. Luas tulangan maksimum geser kolom K4

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 diatas dapat diketahui perbedaan luas tulangan rata-rata geser kolom untuk variasi 3 tingkat sebesar 363 mm²/m, variasi 4 tingkat sebesar 590 mm²/m, variasi 5 tingkat sebesar 896 mm²/m dan variasi 6 tingkat sebesar 1099 mm²/m. Sedangkan perbedaan luas tulangan terbesar terdapat pada kolom K4, untuk variasi 3 tingkat sebesar 507 mm²/m, variasi 4 tingkat sebesar 835 mm²/m, variasi 5 tingkat sebesar 1507 mm²/m dan variasi 6 tingkat sebesar 1904 mm²/m.

3.5. Perbandingan Luas Tulangan Antar Variasi Tingkat

Berdasarkan Gambar di atas dapat diketahui perbandingan kenaikan luas tulangan rata-rata longitudinal balok antar variasi tingkat adalah 2,25. Perbandingan kenaikan luas tulangan rata-rata geser balok antar variasi tingkat adalah 1,43. Luas tulangan utama kolom antar variasi tingkat pada SNI Gempa 2012 tidak terdapat kenaikan luas tulangan, sehingga tidak dapat dibandingkan dengan SNI Gempa 2019. Perbandingan luas tulangan rata-rata geser kolom antar variasi tingkat adalah 1,9.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil diatas, maka secara *general* dapat disimpulkan bahwa untuk semua variasi tingkat menunjukkan hasil luas tulangan balok dan kolom yang didapatkan dari analisis dinamik berdasarkan SNI Gempa 2019 lebih besar dari SNI Gempa 2012. Hal ini dikarenakan perbedaan parameter analisis dinamik dari kedua SNI, dimana kontrol gaya geser dasar pada SNI Gempa 2019 menyertakan persentase gaya geser dasar statik yang lebih besar dibandingkan SNI Gempa 2012. Ini berpengaruh terhadap penskalaan koreksi gaya gempa yang membuat nilai gempa desain yang dikenakan pada struktur lebih besar. Selain itu penambahan variasi tingkat juga membuat distribusi gempa dinamik menjadi lebih besar, sehingga luas tulangan balok dan kolom akan bertambah secara linier seiring penambahan variasi tingkat. Pada penelitian ini didapati bahwa dimensi balok dan

kolom cukup boros untuk semua variasi tingkat, oleh sebab itu disarankan agar menambahkan dinding geser dan dilihat pengaruh analisis pada kedua SNI terhadap luas tulangan dinding geser.

Ucapan terima kasih

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, dorongan, dan bantuan dari berbagai pihak, artikel ini tidak dapat terselesaikan. Oleh sebab itu penulis mengucapkan limpah terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2019)*. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI-2847-2013)*. Jakarta: BSN
- Chadaffi, Muchamad. 2017. "Perbandingan Perhitungan Struktur Bangunan Gedung Hotel Sala View yang Berpedoman pada SNI 1726–2002 dan SNI 1726–2012." Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Honarto, Ricky Januar. 2019. "Perencanaan Bangunan Beton Bertulangan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus." *Jurnal Sipil Statik* (201-208) ISSN: 2337-6732.
- PT Mataram Panjisena. 2020. "Laporan Perhitungan Struktur Gedung Biro Logistik POLDA NTT." Bandung: PT Mataram Panjisena.
- PT Mataram Panjisena. 2020. "Gambar Kerja Gedung Biro Logistik POLDA NTT." Bandung: PT Mataram Panjisena.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)*. Bandung: Stensil.
- Prasetyo, Agung, and Bukhori. 2019. "Perbandingan Kebutuhan Tulangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Terhadap Biaya Konstruksi Berdasarkan Pembebanan SNI 1726–2012 serta SNI 1727–2013 dengan Pembebanan Sebelumnya," *Jurnal Ilmiah* e-ISSN: 2442-5176.
- Supriyatna, Dede. 2020. "Studi Analisis Bangunan Gedung Bertingkat dengan Perbandingan SNI 1726–2012 dan SNI 1726–2019 Berpengaruh Terhadap Rasio Tulangan," Fakultas Teknik, Universitas Persada Indonesia.

Analisis Kebutuhan Air pada Daerah Irigasi Air Sagu di Kabupaten Kupang

Analysis of Water Needs on The Air Sagu Irrigation Areas in Kupang Regency

Wilhelmus Bunganaen¹, Elsy E. Hangge², Paula Peniel Jane Aty^{3*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Kebutuhan air, Daerah Irigasi, Air Sagu, *Cropwat 8.0*

Keywords:

Water needs, Irrigation Area, Air Sagu, Cropwat 8.0

Article history:

Received: 25-04-2022

Accepted: 18-06-2022

*Koresponden email:

paulapeniejlaneaty@gmail.com

wilembunganaen@staf.undana.ac.id

elsy@staf.undana.ac.id

Abstrak

Kabupaten Kupang merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang tergolong iklim tropis kering. Oleh karena itu BWS NT II membangun salah satu daerah irigasi di Kabupaten Kupang yaitu Daerah Irigasi Air Sagu dengan luas sebesar 163 Ha untuk mengoptimalkan ketersediaan air yang terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar debit andalan dengan Metode F. J. Mock dan mengetahui besar kebutuhan air irigasi pada Daerah Irigasi Air Sagu dengan perhitungan secara manual dan perhitungan dengan Program *Cropwat 8.0*. Besar debit andalan setengah bulanan maksimum dengan Metode F. J. Mock terjadi pada bulan Februari (I) sebesar 2,47 m³/detik sedangkan minimum terjadi pada bulan November (I) sebesar 0,83 m³/detik. Kebutuhan air irigasi maksimum untuk pola tanam padi-padi-palawija dengan perhitungan secara manual sebesar 0,61 m³/detik, sedangkan perhitungan dengan Program *Cropwat 8.0* sebesar 0,67 m³/detik. Kebutuhan air irigasi minimum untuk pola tanam padi-padi-palawija dengan perhitungan secara manual sebesar 0,07 m³/detik, sedangkan perhitungan dengan Program *Cropwat 8.0* sebesar 0,01 m³/detik. Neraca air untuk pola tanam padi-padi-palawija alternatif 1-alternatif 4 mengalami surplus air dengan surplus air paling tinggi sebesar 2,40 m³/detik pada perhitungan secara manual dan 4,55 m³/detik dengan menggunakan Program *Cropwat 8.0*.

Abstract

Kupang Regency is one of the regencies in East Nusa Tenggara Province which is classified as a dry tropical climate. Therefore, BWS NT II built one of the irrigation areas in Kupang Regency, namely the Air Sagu Irrigation Area with an area of 163 Ha to optimizing limited water availability. This research aims to find out the amount of the mainstay discharge with the F. J. Mock Method and find out the amount of irrigation water needed in the Air Sagu Irrigation Area with manual calculations and calculations with the Cropwat 8.0 Program. The maximum half-monthly mainstay debit with the F. J. Mock Method occurs in February (I) is 2.47 m³/s while the minimum occurs in November (I) is 0.83 m³/s. The maximum irrigation water requirement for rice-rice-palawija's cropping pattern with the manual calculation is 0,61 m³/s, while with the calculation with the Cropwat 8.0 Program is 0,67 m³/s. The minimum irrigation water requirement for rice-rice-palawija cropping pattern with the manual calculation is 0,07 m³/s, while with the calculation with the Cropwat 8.0 Program is 0,01 m³/second. The water balance for rice-rice-palawija cropping pattern alternative 1-alternative 4 experienced a water surplus with the highest water surplus is 2,40 m³/s in manual calculations and 4,55 m³/s using the Cropwat 8.0 Program.

Kutipan: Paula, Wilhelmus, Elsy : *Analisis Kebutuhan Air Pada Daerah Irigasi Air Sagu Di Kabupaten Kupang*

1. Pendahuluan

Kabupaten Kupang merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang tergolong iklim tropis kering. Kabupaten Kupang termasuk daerah dengan tinggi curah hujan rata-rata 1.200 mm/tahun (RPJMD, 2003). Musim penghujan berkisar 4 – 5 bulan dari bulan Desember sampai Maret dan selebihnya merupakan musim kemarau. Musim hujan yang relatif pendek per tahunnya mengakibatkan beberapa daerah di Kabupaten Kupang mengalami kekeringan sehingga masyarakat pun mengalami kekurangan air. Untuk itu pemerintah pusat melalui Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II (BWS NT II) membangun beberapa daerah irigasi di Kabupaten Kupang sebagai alternatif untuk mengoptimalkan ketersediaan air yang terbatas. Salah satu daerah irigasi di wilayah Kabupaten Kupang adalah Daerah Irigasi Air Sagu yang terletak di Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang dengan luas lahan sebesar 163 Ha. Pola tata tanam yang diterapkan pada Daerah Irigasi Air Sagu harus sesuai dengan ketersediaan air ditinjau dari pemanfaatan debit andalan dengan kebutuhan air irigasi. Namun, sampai saat ini belum diketahui pola tanam yang optimal, yang sesuai dengan ketersediaan air. Oleh karena itu perlu adanya keseimbangan antara kebutuhan air dan ketersediaan air pada daerah irigasi dimana air yang di ambil dari mata air melalui saluran irigasi harus seimbang dengan jumlah air yang tersedia.

2. Bahan dan Metode

Lokasi yang ditinjau dalam penelitian ini adalah Daerah Irigasi Air Sagu, Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan luas total daerah irigasi sebesar 163 Ha. Waktu penelitian dilaksanakan dari bulan November 2020 – Agustus 2021.

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan sekunder. Data primer meliputi pola tanam yang diterapkan di daerah studi, peta DAS Daerah Irigasi Air Sagu, titik koordinat dan elevasi Daerah Irigasi Air Sagu. Data sekunder meliputi data iklim, yaitu data suhu (T), kelembaban relatif (RH), lama penyinaran matahari (n/N) dan kecepatan angin (u) selama 20 tahun (1999-2018) yang diperoleh dari BMKG Lasiana, Kupang, data curah hujan selama 20 tahun (1999-2018) yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Lasiana, Kupang, luas areal potensial dan peta Jaringan Irigasi Air Sagu yang diperoleh dari BWS NT II.

2.1. Hujan Andalan

Curah hujan andalan adalah curah hujan rerata daerah dengan kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan dan dapat dipakai untuk keperluan irigasi (Limantara, 2010). Curah hujan andalan untuk tanaman padi ditetapkan sebesar 80% (R_{80}) sedangkan curah hujan andalan untuk tanaman palawija ditetapkan sebesar 50% (R_{50}) (Direktorat Jendral Pengairan, 2010).

2.2. Hujan Efektif

Curah hujan efektif diperoleh dari 70% nilai R_{80} per periode waktu pengamatan dengan persamaan (Direktorat Jendral Pengairan, 2010) berikut:

$$Reff_{padi} = R_n \times 0,7 \quad (1)$$

Curah hujan efektif diperoleh dari 70% nilai R_{50} per periode waktu pengamatan, seperti persamaan (Direktorat Jendral Pengairan, 2010) berikut:

$$Reff_{palawija} = R_n \times 0,7 \quad (2)$$

2.3. Evapotranspirasi Potensial Secara Manual

Perhitungan evapotranspirasi potensial dilakukan dengan Metode Penman Modifikasi menggunakan persamaan berikut (Asdak, 2014):

$$ET_0 = c[W \times R_n + (1 - W) \times f(U) \times (e_a - e_d)] \quad (3)$$

2.4. Evapotranspirasi Potensial dengan Program Cropwat 8.0

Rumus yang menjelaskan evapotranspirasi acuan secara teliti adalah rumus *Penman-Monteith*, yang pada tahun 1990 oleh FAO dimodifikasi dan dikembangkan menjadi rumus *FAO Penman-Monteith* dengan persamaan berikut (Allen dkk., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

2.5. Analisa Debit Andalan

Debit andalan adalah debit dari suatu sumber air yang diharapkan dapat disadap dengan resiko kegagalan tertentu (Direktorat Jendral Pengairan, 2010). Debit andalan untuk irigasi pada Daerah Irigasi Air Sagu merupakan debit yang tersedia dari Mata Air Sagu yang dapat digunakan dalam mengairi Daerah Irigasi Air Sagu.

Metode yang digunakan dalam penentuan besar debit andalan adalah Metode F. J. Mock. Adapun prosedur dalam perhitungan debit andalan dengan Metode F. J. Mock meliputi analisis curah hujan, evapotranspirasi potensial, evapotranspirasi terbatas (aktual), keseimbangan air di permukaan tanah, simpanan air tanah, daerah aliran sungai, aliran sungai, debit andalan (Hadisusanto, 2010).

2.6. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air di sawah untuk tanaman padi ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut (Direktorat Jendral Pengairan, 2010):

2.6.1. Penyiapan lahan untuk padi

$$IR = \frac{(M \times e^k)}{(e^k - 1)} \quad (5)$$

2.6.2. Penggunaan konsumtif tanaman

Penggunaan konsumtif tanaman dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$ET_c = kc \times ET_0 \quad (6)$$

Nilai Koefisien tanaman padi dapat dilihat pada Tabel 1 (Direktorat Jendral Pengairan, 1985).

Tabel 1. Koefisien Tanaman Padi

Bulan	Padi (Nedeco/Prosida)		Padi (FAO)	
	Biasa	Unggul	Biasa	Unggul
0.5	1.2	1.2	1.1	1.1
1	1.2	1.27	1.1	1.1
1.5	1.32	1.33	1.1	1.05
2	1.4	1.3	1.1	1.05
2.5	1.35	1.3	1.1	0.95
3	1.24	0	1.05	0
3.5	1.12		1.95	
4	0		0	

2.6.3. Perkolasi

Laju perkolasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: tekstur tanah, permeabilitas tanah, tebal lapisan tanah bagian atas dan letak permukaan air tanah. Besar perkolasi dari berbagai jenis seperti tekstur tanah lempung berpasir memiliki laju perkolasi sebesar 3-6 mm/hari, tekstur tanah

lempung memiliki laju perkolasi sebesar 2-3 mm/hari, dan tekstur tanah lempung liat memiliki laju perkolasi sebesar 1-2 mm/hari (Wirosoedarmo, 1985).

2.6.4. Penggantian lapisan air

Setelah proses pemupukan perlu dilakukan proses penggantian lapisan air sesuai kebutuhan. Penggantian diperkirakan sebanyak 2 kali masing-masing 50 mm setiap satu bulan dan dua bulan setelah transplantasi (3,3 mm/hari selama 1/2 bulan).

2.6.5. Efisiensi irigasi

Pada perencanaan jaringan irigasi, tingkat efisiensi ditentukan menurut kriteria standar perencanaan, efisiensi irigasi total adalah sebesar $90\% \times 90\% \times 80\% = 65\%$ (Direktorat Jendral Pengairan, 2010).

Kebutuhan air di sawah untuk tanaman bukan padi ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut (Direktorat Jendral Pengairan, 2010):

2.6.6. Penyiapan lahan untuk padi

Masa pra-irigasi diperlukan agar dapat dilakukan penggarapan lahan untuk ditanami dan memberi kondisi lembap yang memadai untuk persemaian. Air yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan diasumsikan sebesar 50 sampai 100 mm (Direktorat Jendral Pengairan, 2010).

2.6.7. Penggunaan konsumtif tanaman

Koefisien tanaman palawija ditunjukkan dalam Tabel 3 (F.A.O., 1998).

Tabel 2. Besar Perkolasi Dari Berbagai Jenis Tanah

Tanaman	1/2 Bulan No. Jangka Tumbuh/Hari	1	2	3	4	5	6
		Kedelai	85	0.5	0.75	1	1
Jagung	80	0.5	0.59	0.96	1.05	1.02	0.95
Bawang	70	0.5	0.51	0.69	0.9	0.95	
Buncis	75	0.5	0.64	0.89	0.95	0.88	

2.7. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan air yang diperlukan untuk mengairi daerah irigasi ditambah dengan kehilangan air pada jaringan irigasi (Direktorat Jendral Pengairan, 2010).

2.7.1. Kebutuhan air bersih di sawah untuk padi

Menghitung kebutuhan air bersih di sawah untuk padi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (Direktorat Jendral Pengairan, 2010):

$$NFR_{padi} = ET_c + WLR + P - Re_{padi} \quad (7)$$

2.7.2. Kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi

Persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi yaitu sebagai berikut:

$$Ir_{padi} = \frac{NFR}{eff} \quad (8)$$

2.7.3. Kebutuhan bersih air di sawah untuk palawija

Persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung kebutuhan air bersih di sawah untuk tanaman palawija yaitu sebagai berikut:

$$NFR_{palawija} = ET_c + Re_{palawija} \quad (9)$$

2.7.4. Kebutuhan air irigasi untuk tanaman palawija

$$I_{r_{palawija}} = \frac{ETc - Repalawija}{eff} \quad (10)$$

2.7.5. Kebutuhan air di intake

Untuk memperoleh besarnya kebutuhan pengambilan air digunakan persamaan sebagai berikut:

$$DR = \frac{I_r}{8,64} \quad (11)$$

2.7.6. Kebutuhan air irigasi

Setelah diperoleh besar kebutuhan pengambilan air, dapat dihitung besarnya kebutuhan air irigasi sesuai luas areal yang akan dialiri dengan rumus:

$$Q = \frac{(DR \times A)}{Eff} \times \frac{1}{1000} \quad (12)$$

2.8. Neraca Air (Water Balance)

Menurut kriteria perencanaan irigasi (Direktorat Jendral Pengairan, 2010), neraca air adalah besarnya keseimbangan air, dengan membandingkan air yang ada, air hilang dan air yang dimanfaatkan.

2.9. Program Cropwat 8.0

Cropwat adalah *decision support system* yang dikembangkan oleh *devisi Land and Water Development FAO* berdasarkan Metode Penman-Monteith, untuk merencanakan dan mengatur irigasi (Marica, 2000). Dari beberapa studi didapatkan bahwa model *Penmann-Monteith* memberikan pendugaan yang akurat sehingga FAO merekomendasikan untuk pendugaan laju evapotranspirasi standar dalam menduga kebutuhan air bagi tanaman (Manik dkk., 2012).

Tahapan analisis menggunakan Program *Cropwat 8.0* yaitu:

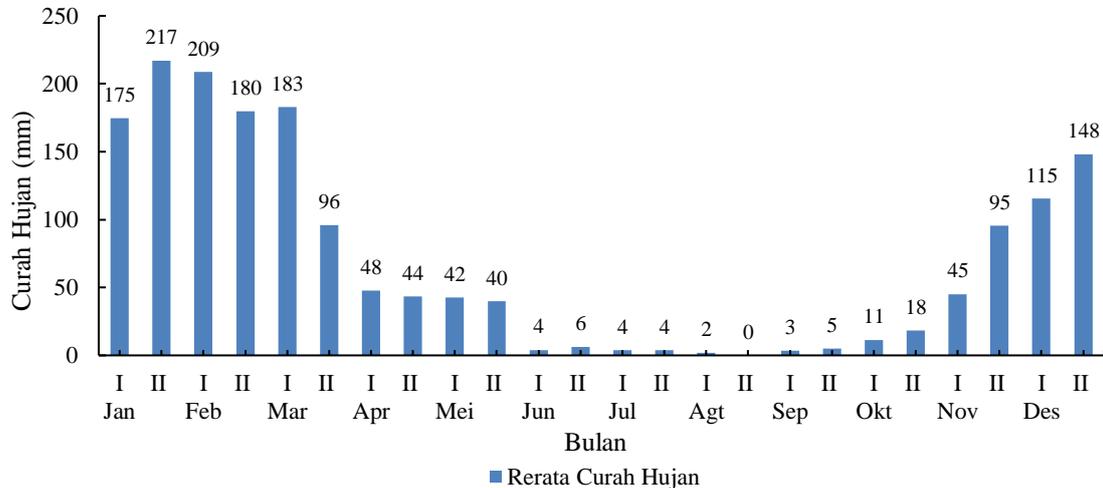
1. Jalankan program *cropwat 8.0*
2. Klik *icon climate/ET_o*
3. Input data klimatologi berupa:
 - a. Input data *country*, negara dimana data klimatologi berasal
 - b. Input data *station*, stasiun klimatologi pencatat
 - c. Input data *latitude*, tinggi tempat stasiun pencatat
 - d. Input data *longitude*, letak lintang (Utara/Selatan)
 - e. Input data temperatur maksimum dan minimum (oC/ oF/ oK)
 - f. Input data kelembaban relatif (% , mm/Hg, kpa, mbar)
 - g. Input data kecepatan angin (km/hari, km/jam, m/detik, mile/hari, mile/jam)
 - h. Input data lama penyinaran matahari (jam atau %)
 - i. Otomatis *ET_o* terkalkulasi dan hasilnya langsung ditampilkan
4. Selanjutnya klik *icon Rain*
5. Input data curah hujan
 - a. Data total hujan tiap bulan dari bulan Januari sampai bulan Desember
 - b. Pilih dan isikan metode perhitungan, *option-(1) Fixed Percentage* (70% untuk perhitungan padi), (4) *USDA soil conservation service* (untuk perhitungan palawija)
 - c. Otomatis curah hujan efektif terkalkulasi dan hasil langsung ditampilkan
6. Selanjutnya klik *icon Cropp*
7. Input data tanaman (mengambil dari data base FAO-Rise), kemudian editing tanggal awal tanam
8. Selanjutnya klik *icon soil*
9. Input data tanah (mengambil dari data base FAO-Medium)
10. Selanjutnya klik *icon CWR* untuk melihat hasil analisis kebutuhan air irigasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Data Curah Hujan dengan Perhitungan Secara Manual

3.1.1. Curah hujan setengah bulanan

Curah hujan setengah bulanan Stasiun Tarus tahun 1999-2018 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Rerata Curah Hujan Setengah Bulanan Stasiun Tarus Tahun 1999 – 2018

3.1.2. Curah hujan andalan dan curah hujan efektif

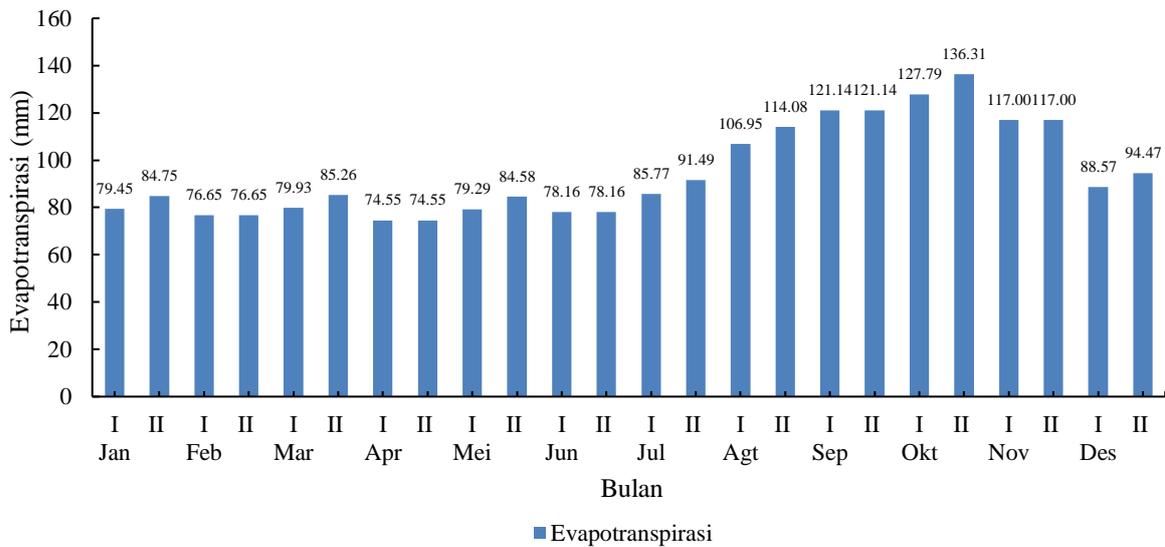
Curah hujan andalan tanaman padi sebesar 80% (R_{80}) dan tanaman palawija sebesar 50% (R_{50}) serta curah hujan efektif sebesar 70% dari curah hujan andalan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Curah Hujan Andalan dan Curah Hujan Efektif

No	Bulan	Curah Hujan Andalan(mm)		Reff Padi		Reff Palawija		
		Probabilitas 80%	Probabilitas 50%	70% x R_{80} (mm)	mm/hari	70% x R_{50} (mm)	mm/hari	
1	Januari	I	33.30	169.00	23.31	1.55	118.30	7.89
		II	102.60	209.25	71.82	4.49	146.48	9.15
2	Februari	I	86.20	204.50	60.34	4.31	143.15	10.23
		II	68.80	131.30	48.16	3.44	91.91	6.57
3	Maret	I	66.70	139.05	46.69	3.11	97.34	6.49
		II	29.10	72.90	20.37	1.27	51.03	3.19
4	April	I	1.20	37.75	0.84	0.06	26.43	1.76
		II	1.20	18.75	0.84	0.06	13.13	0.88
5	Mei	I	0.20	31.35	0.14	0.01	21.95	1.46
		II	0.20	12.00	0.14	0.01	8.40	0.53
6	Juni	I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Juli	I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Agustus	I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	September	I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Oktober	I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		II	0.00	1.00	0.00	0.00	0.70	0.04
11	November	I	3.80	25.75	2.66	0.18	18.03	1.20
		II	23.20	75.50	16.24	1.08	52.85	3.52
12	Desember	I	48.20	90.00	33.74	2.25	63.00	4.20
		II	64.40	131.75	45.08	2.82	92.23	5.76

3.2. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Secara Manual

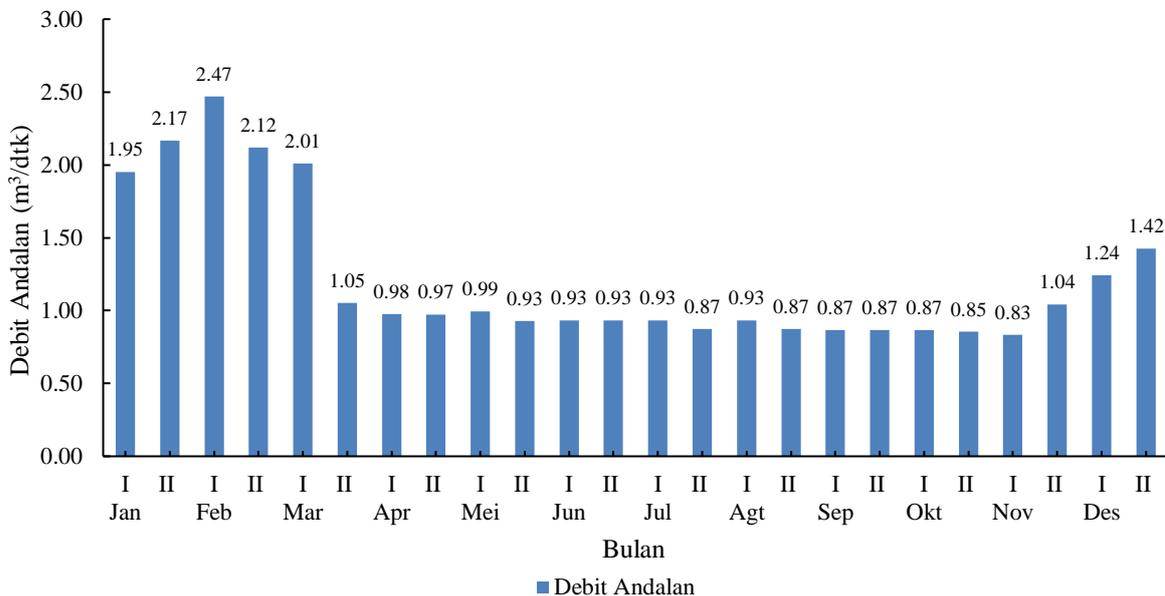
Hasil perhitungan evapotranspirasi potensial dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rekapitulasi Evapotranspirasi Potensial Setengah Bulanan Daerah Irigasi Air Sagu Tahun 1999-2018

3.3. Perhitungan Debit Andalan (Q)

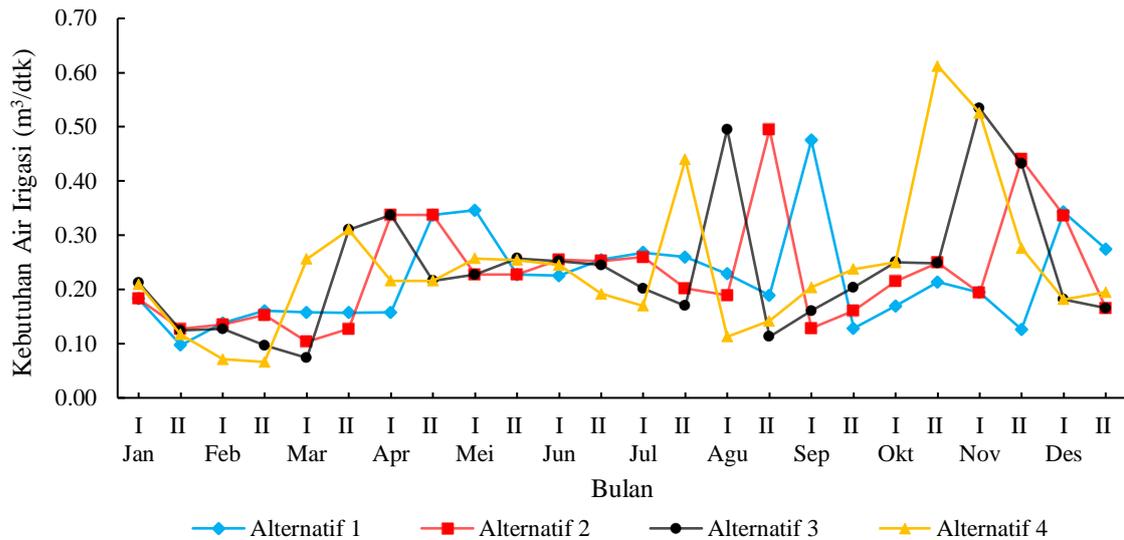
Perhitungan debit andalan dihitung dengan menggunakan Metode F. J. Mock untuk mengetahui besar debit air yang tersedia pada Daerah Irigasi Air Sagu. Hasil perhitungan debit andalan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Debit Andalan Daerah Irigasi Air Sagu Tahun 1999-2018

3.4. Analisis Kebutuhan Air Irigasi dengan Perhitungan Secara Manual

Nilai kebutuhan air irigasi untuk pola tanam padi-padi-palawija alternatif 1-alternatif 4 jika digambarkan ke dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 4.



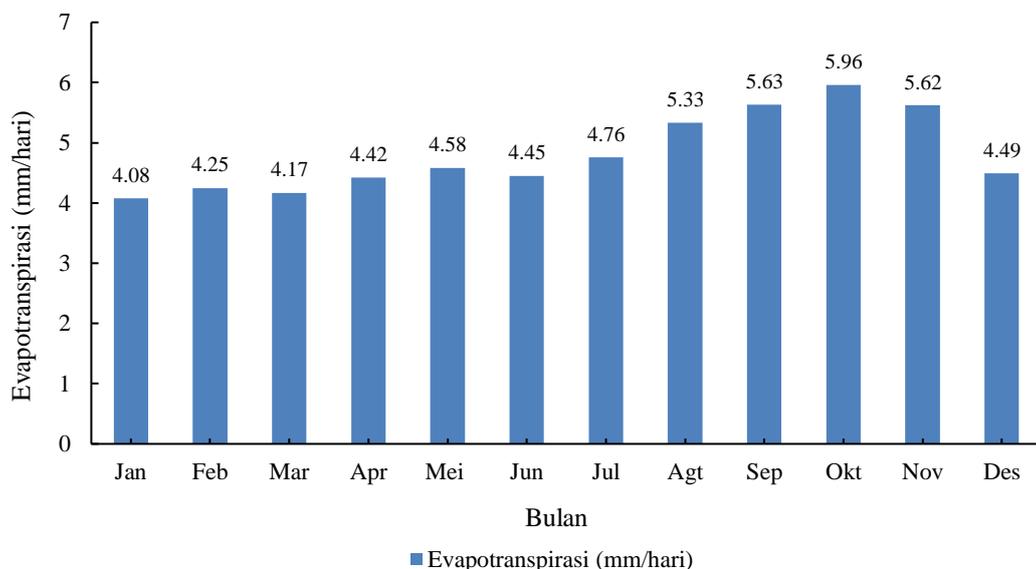
Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Kebutuhan Air Irigasi Pola Tanam Padi – Padi – Palawija Alternatif 1 – Alternatif 4 Daerah Irigasi Air Sagu

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan adanya fluktuasi kebutuhan air irigasi untuk pola tanam padi-padi-palawija dengan nilai kebutuhan air irigasi maksimum terbesar terjadi pada pola tanam alternatif 4 sebesar 0,61 m³/detik.

3.5. Analisis Kebutuhan Air Irigasi dengan Program Cropwat 8.0

3.5.1. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

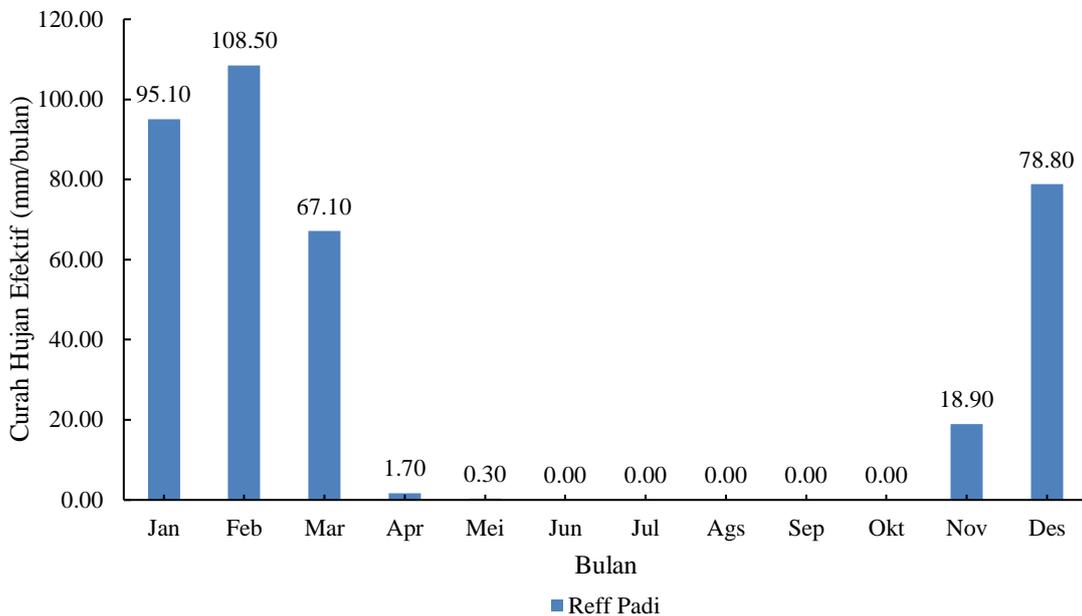
Dalam perhitungan evapotranspirasi, data input yang digunakan pada Program *Cropwat 8.0* yaitu data iklim rata – rata tahun 1999 – 2018 berupa suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari. Hasil perhitungan evapotranspirasi potensial dengan Program *Cropwat 8.0* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Nilai Evapotranspirasi dengan Program *Cropwat 8.0*

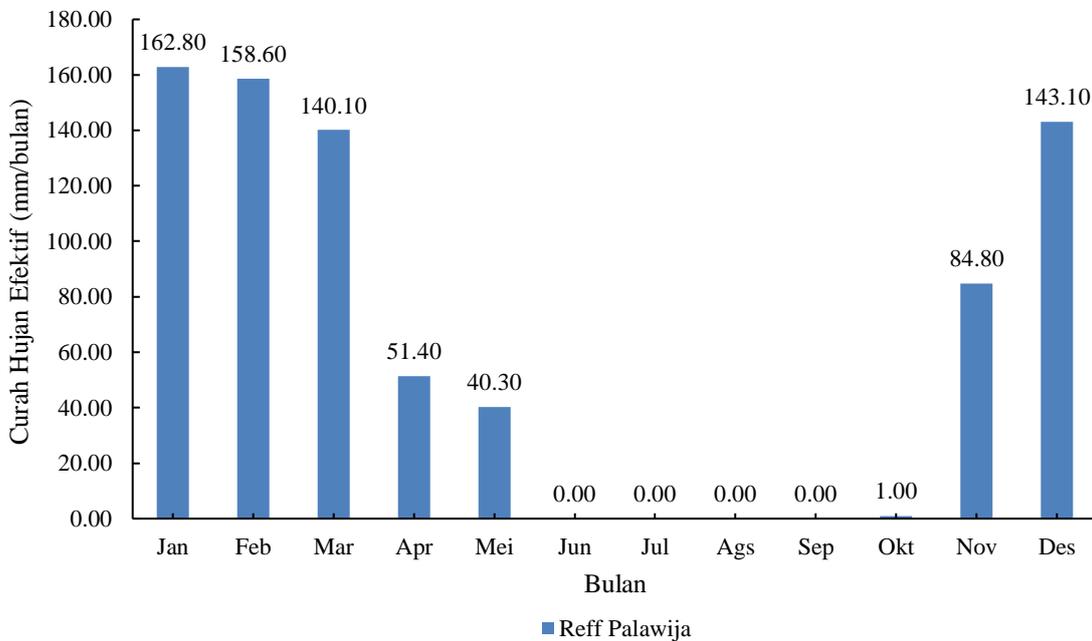
3.5.2. Perhitungan curah hujan efektif (rain)

Hasil perhitungan curah hujan efektif padi dengan Program *Cropwat 8.0* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif Padi dengan Program *Cropwat 8.0*

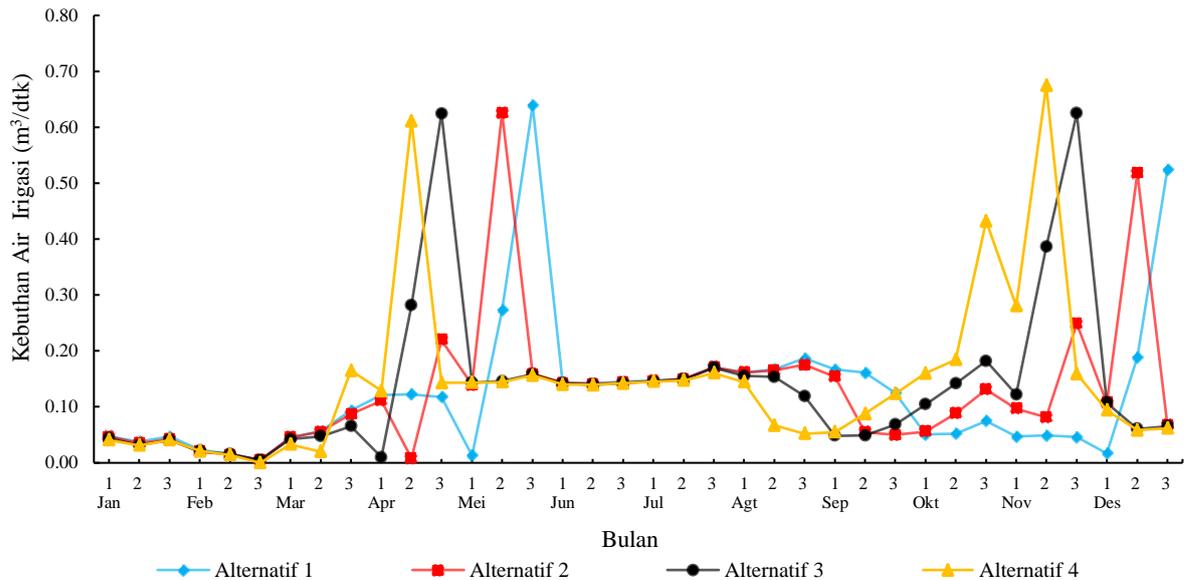
Hasil perhitungan curah hujan efektif palawija dengan Program *Cropwat 8.0* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif Palawija dengan Program *Cropwat 8.0*

3.5.3. Analisis Kebutuhan Air Irigasi dengan Program *Cropwat 8.0*

Nilai kebutuhan air rigasi untuk pola tanam padi-padi-palawija alternatif 1-alternatif 4 jika digambarkan ke dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 8.



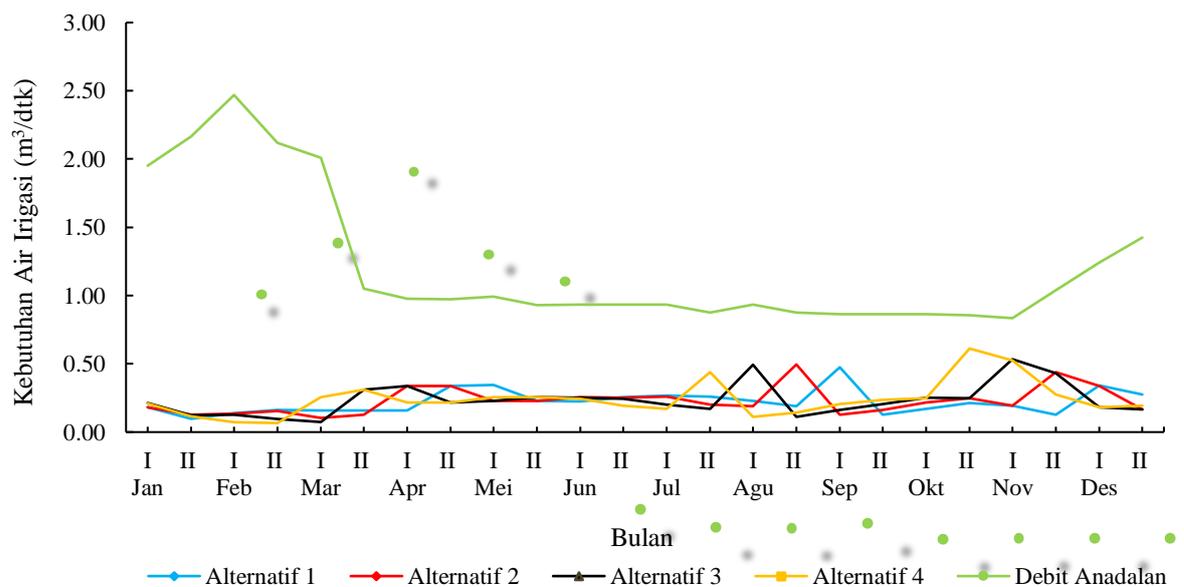
Gambar 8. Grafik Kebutuhan Air Irigasi pada Daerah Irigasi Air Sagu Untuk Pola Tanam Padi – Padi – Palawija Alternatif 1-Alternatif 4 dengan Program *Cropwat 8.0*

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan adanya fluktuasi kebutuhan air irigasi untuk pola tanam padi-padi-palawija dengan nilai kebutuhan air irigasi maksimum terbesar terjadi pada pola tanam alternatif 4 sebesar 0,67 m³/detik.

3.6. Neraca Air (Water Balance)

3.6.1. Neraca air untuk hasil perhitungan kebutuhan air irigasi secara manual

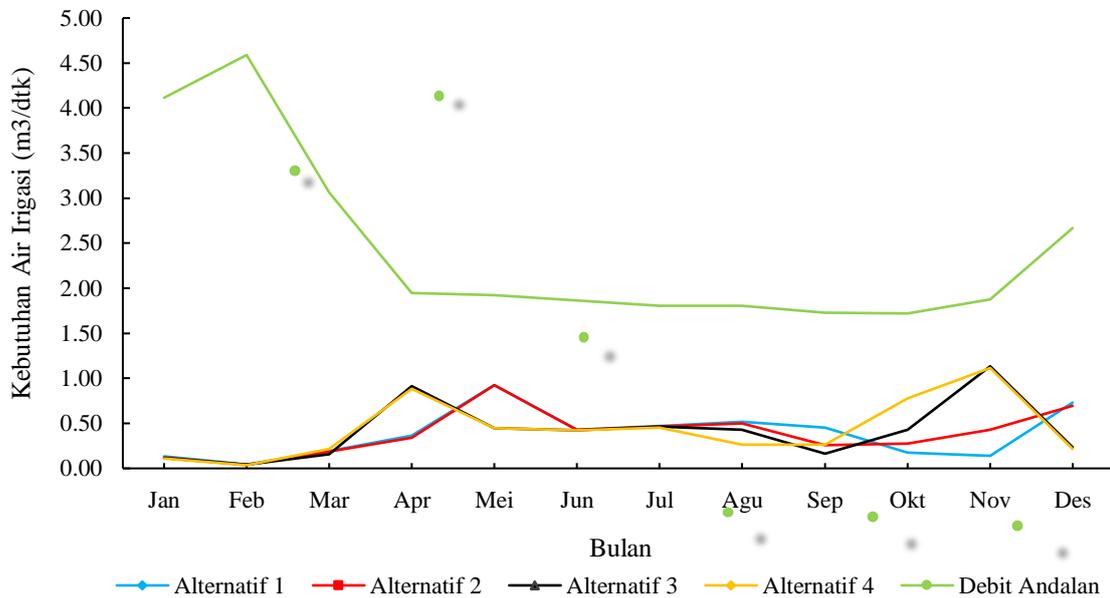
Nilai neraca air pada hasil perhitungan kebutuhan air irigasi secara manual untuk pola tanam padi-padi-palawija alternatif 1-alternatif 4 jika digambarkan ke dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Neraca Air pada Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi Secara Manual Pola Tanam Padi – Padi – Palawija Alternatif 1-Alternatif 4.

3.6.2. Neraca air untuk hasil perhitungan kebutuhan air irigasi dengan Program Cropwat 8.0

Nilai neraca air pada hasil perhitungan kebutuhan air irigasi dengan Program *Cropwat 8.0* untuk pola tanam padi-padi-palawija alternatif 1-alternatif 4 jika digambarkan ke dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Neraca Air pada Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi dengan Program *Cropwat 8.0* Pola Tanam Padi-Padi-Palawija Alternatif 1-Alternatif 4.

3.6.3. Rekomendasi pola tanam padi-padi-palawija alternatif 1- alternatif 4

Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10 direkomendasikan pola tanam padi-padi-palawija alternatif 4 untuk diterapkan pada Daerah Irigasi Air Sagu karena mengalami surplus air paling tinggi pada musim hujan (Desember – Maret) sebesar 2,40 m³/detik pada hasil perhitungan secara manual dan 4,55 m³/detik pada perhitungan dengan Program *Cropwat 8.0*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu besar debit andalan setengah bulanan maksimum untuk Daerah Irigasi Air Sagu tahun 1999 – 2018 terjadi pada bulan Februari (I) sebesar 2,47 m³/detik, sedangkan minimum terjadi pada bulan November (I) sebesar 0,83 m³/detik. Besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk pola tanam padi-padi-palawija dengan perhitungan secara manual sebesar 0,61 m³/detik, sedangkan dengan pendekatan perhitungan dengan Program *Cropwat 8.0* sebesar 0,67 m³/detik. Kebutuhan air irigasi minimum untuk pola tanam padi-padi-palawija dengan perhitungan secara manual sebesar 0,07 m³/detik, sedangkan dengan Program *Cropwat 8.0* sebesar 0,01 m³/detik. Pola Tanam Padi-Padi-Palawija Alternatif 1 sampai Alternatif 4 berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan mengalami surplus air pada musim hujan (Desember – Maret). Dari keempat alternatif pola tanam tersebut, pola tanam alternatif 4 mengalami surplus atau kelebihan air yang paling tinggi pada musim hujan (Desember – Maret) sebesar 2,40 m³/detik pada hasil perhitungan secara manual dan 4,55 m³/detik pada perhitungan dengan Program *Cropwat 8.0*. Oleh karena itu, direkomendasikan pola tanam padi-padi-palawija alternatif 4 untuk diterapkan pada Daerah Irigasi Air Sagu sebagai alternatif pola tanam yang optimal dalam memenuhi kebutuhan air irigasi pada Daerah Irigasi Air Sagu khususnya selama musim kemarau (April – November).

Daftar Pustaka

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration*. (March).
- Asdak, Chay. 2014. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Direktorat Jendral Pengairan. 2010. *Kriteria Perencanaan, Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi (KP-01)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jendral Pengairan, Bina Program PSA 010. 1985. *Kebutuhan Air Irigasi*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- F.A.O. 1998. *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Roma: FAO Irrigation and drainage paper.
- Hadisusanto, N. 2010. *Applikasi Hidrologi*. Jakarta: Jogja Mediautama.
- Limantara, L. M. 2010. *Rekayasa Hidrologi Edisi Revisi*. Yogyakarta: Andi.
- Marica, A. 2000. *Short Description of Cropwat Model*. Denmark.
- RPJMD. 2003. *Curah Hujan Rata – Rata Di NTT*. Kupang.
- Manik, T., R. Rosadi, and A. Karyanto. 2012. *Evaluasi Metode Penman-Monteith Dalam Menduga Laju Evapotranspirasi Standar (ET_0) Di Dataran Rendah Propinsi Lampung, Indonesia*. Jurnal Keteknik Pertanian 26(2): 21612.
- Wirosoedarmo. 1985. *Dasar – Dasar Irigasi Pertanian*. Universitas Brawijaya Malang.

Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif menggunakan Kapur, Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Effect of Expansive Clay Stabilization Using Lime, Fly Ash and Bottom Ash to the Bearing Capacity of the Soil

Elsy E. Hangge¹, Rosmiyati A. Bella¹, Anastasia Q. S. Manek^{2*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Stabilisasi, Lempung Ekspansif, *Fly Ash*, *Bottom Ash*, *California Bearing Ratio* (CBR)

Keywords:

Stabilization, Expansive Clay, *Fly Ash*, *Bottom Ash*, *California Bearing Ratio* (CBR)

Article history:

Received: 25-07-2022

Accepted: 10-09-2022

*Koresponden email:
stadia2016@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan sebagai upaya perbaikan melalui stabilisasi secara kimiawi, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanis tanah, serta kapasitas dukung maksimum yang dihasilkan berdasarkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) terendam dan tak terendam, yakni tanpa pemeraman dan dengan tujuh hari pemeraman. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Tanah asli (TA) dicampurkan dengan 5% kapur, 20% *bottom ash* dan variasi *fly ash* 10% (V1), 15% (V2), 20% (V3), 25% (V4) dan 30% (V5). Hasil pengujian menunjukkan tanah asli tergolong dalam kelompok A-7-6 berdasarkan sistem AASHTO dan kelompok CH berdasarkan sistem USCS. Seiring penambahan stabilisator nilai berat jenis, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, persentase tanah berbutir halus, kadar air optimum dan potensi pengembangan mengalami penurunan, sedangkan nilai batas susut, berat volume kering dan nilai CBR mengalami peningkatan. Kelima variasi campuran yang ada memenuhi syarat nilai CBR untuk kondisi terendam (>3%), dan hanya V1 yang tidak memenuhi syarat nilai CBR untuk kondisi tak terendam (>6%). Kapasitas dukung maksimum dihasilkan dari sampel CBR tak terendam dengan tujuh hari pemeraman (V5) sebesar 16,66%.

Abstract

This research was carried out as an effort to improve through chemical stabilization, to determine effect on the physical and mechanical properties of the soil, as well as the maximum bearing capacity produced through the soaked and unsoaked *California Bearing Ratio* (CBR) values, namely without equalization and with seven days of equalization. The research method used is the experimental method. The original soil (TA) was mixed with 5% lime, 20% bottom ash and fly ash variations of 10% (V1), 15% (V2), 20% (V3), 25% (V4) and 30% (V5). The test results showed the original soil is included in the A-7-6 group according to the AASHTO system and CH group according to the USCS system. Along with the addition of stabilizers, the specific gravity value, liquid limit, plasticity limit, plasticity index, fine-grained soil percentage, optimum moisture content and development potential decreased, while the shrinkage limit value, dry volume weight and CBR value increased. The five existing variations of the mixture qualify the soaked CBR value condition (>3%), and only V1 does not meet the unsoaked CBR value condition (>6%). The maximum bearing capacity resulted from an unsoaked CBR sample with seven days of equalization (V5) of 16.66%.

1. Pendahuluan

Tanah merupakan dasar dari konstruksi bangunan sipil yang berfungsi menerima dan menahan beban dari struktur di atasnya. Untuk itu tanah harus mempunyai daya dukung yang kuat agar mampu menahan beban yang dimaksud. Namun pada kenyataan di lapangan banyak ditemukan tanah dengan plastisitas yang tinggi, kekuatan geser yang rendah, perubahan volume yang besar dan potensi kembang susut yang besar pula. Sifat-sifat tersebut sering menimbulkan kerusakan konstruksi seperti retaknya dinding, terangkatnya pondasi, badan jalan yang bergelombang dan sebagainya. Ullu, Hangge and Bella (2020) serta Dom, Hangge and Cornelis (2021) telah melakukan penelitian terhadap tanah di Desa Oebelo, dan teridentifikasi sebagai tanah berjenis lempung ekspansif yang mempunyai potensi kembang susut besar. Oleh karena itu tanah tersebut perlu distabilisasi sebelum digunakan sebagai tanah dasar. Kedua peneliti tersebut melakukan stabilisasi menggunakan kapur dan *fly ash*. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa penambahan 5% kapur dan *fly ash* bervariasi antara 10-50% mampu meningkatkan kapasitas dukung tanah. Namun pada penambahan *fly ash* hingga 50% dari berat kering tanah, nilai kapasitas dukung terus menunjukkan peningkatan dan belum menyentuh nilai optimum. Selain itu adapula sisa pembakaran batu bara berupa abu dasar, atau yang dikenal dengan *bottom ash*. Bahan ini berukuran lebih besar dan lebih berat dari *fly ash*, namun memiliki kandungan kimia yang hampir sama, sehingga dapat digunakan pula sebagai bahan stabilisasi (*Boiler Slag Material Description* 2000). Berlandaskan hal-hal tersebut, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian lanjutan, melalui stabilisasi menggunakan 5% kapur, 20% *bottom ash* serta variasi *fly ash* sebesar 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat kering tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh stabilisasi terhadap sifat fisik dan mekanis tanah, serta kapasitas dukung maksimum yang dihasilkan melalui nilai *California Bearing Ratio* (CBR).

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sampel tanah lempung ekspansif yang diambil dari Jl. Timor Raya Km.21, Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Selain itu, bahan stabilisasi yang digunakan adalah kapur padam yang dibeli di Kota Kupang, serta *fly ash* dan *bottom ash* yang diambil dari PLTU Bolok Kupang. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yakni melalui pengujian di Laboratorium pada bulan Juni 2021 - Februari 2022.

2.1. Teknik Pengambilan Data

1. Teknik Dokumentasi

Teknik dokumentasi dilakukan dengan mengambil dan mengumpulkan foto atau gambar, serta data-data pendukung lainnya seperti referensi dari buku dan jurnal yang berisikan tentang dasar teori serta rumus-rumus yang digunakan dalam penelitian ini.

2. Teknik Observasi

Teknik observasi yaitu melalui pengamatan dan pencatatan secara sistematis mengenai gejala yang tampak pada obyek penelitian. Teknik observasi dalam penelitian ini adalah pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana dan Laboratorium Pengujian dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur.

2.2. Tahapan Penelitian

1. Pengambilan Sampel dan Persiapan Benda Uji

Sampel tanah diambil dari Desa Oebelo pada letak koordinat 10°06'38" LS dan 123°44'50" BT, dengan kedalaman ± 50 cm dari permukaan atas tanah. Sampel tanah ini diambil pada musim kering di bulan Juni 2021. Sampel tanah terganggu yang telah diambil kemudian dikeringkan dengan dijemur di bawah terik matahari langsung selama tiga sampai empat hari. Setelah kering tanah dihancurkan dan diayak menggunakan saringan No.4, No.10, dan No.40.

2. Pengujian Tanah Asli

Pengujian terhadap tanah asli dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanis tanah. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa jenis pengujian berdasarkan prosedur pada ASTM Standar. Pengujian yang dimaksudkan antara lain :

A. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98)

- B. Pengujian berat jenis spesifik (ASTM D 854-02)
- C. Pengujian batas-batas *Atterberg*
 - Batas cair (ASTM D 4318-00)
 - Batas plastis (ASTM D 4318-00)
 - Batas susut (ASTM D 427-04)
- D. Pengujian distribusi ukuran butiran
 - Analisa saringan (ASTM D 422-63)
 - Analisa hidrometer (ASTM D 442-63)
- E. Pengujian pemadatan standar (ASTM D 698-00)
- F. Pengujian CBR (ASTM D 1883-99)
- G. Pengujian potensi pengembangan (ASTM D 1883-99)

3. Pembuatan Benda Uji

Tanah asli yang telah diuji sifat fisik dan mekanisnya, dicampurkan dengan kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dalam lima variasi campuran. Berat kapur, *fly ash* dan *bottom ash* dihitung terhadap berat kering tanah. Variasi campuran benda uji tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Campuran Benda Uji

No.	Jenis Sampel	Komposisi
1	Variasi 1 (V ₁)	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 10% <i>Fly Ash</i>
2	Variasi 2 (V ₂)	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 15% <i>Fly Ash</i>
3	Variasi 3 (V ₃)	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 20% <i>Fly Ash</i>
4	Variasi 4 (V ₄)	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 25% <i>Fly Ash</i>
5	Variasi 5 (V ₅)	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 30% <i>Fly Ash</i>

4. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Setelah Distabilisasi

Pengujian terhadap tanah hasil stabilisasi dilakukan untuk mengetahui kapasitas dukung tanah tersebut melalui nilai CBR. Namun terlebih dahulu dilakukan pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis yang sama dengan pengujian tanah asli. Uji CBR sendiri, baik yang terendam maupun tidak terendam dilakukan tanpa pemeraman dan melalui tujuh hari pemeraman. Variasi benda uji untuk pengujian CBR ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Benda Uji Untuk Pengujian CBR

No.	Variasi Benda Uji	Jenis Pengujian			
		0 Hari Pemeraman		7 Hari Pemeraman	
		CBR tanpa Perendaman	CBR dengan Perendaman	CBR tanpa Perendaman	CBR dengan Perendaman
1	Tanah Asli (TA)	2	2	-	-
2	Variasi 1 (V ₁)	2	2	2	2
3	Variasi 2 (V ₂)	2	2	2	2
4	Variasi 3 (V ₃)	2	2	2	2
5	Variasi 4 (V ₄)	2	2	2	2
6	Variasi 5 (V ₅)	2	2	2	2
Total per Bagian		12	12	10	10
Total Benda Uji		44			

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Tanah Asli

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanik di laboratorium, karakteristik tanah asli dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Tanah Asli

No	Parameter	Hasil
----	-----------	-------

A. Pengujian Sifat Fisik		
1	Kadar air (w)	23,89 %
2	Berat jenis spesifik (<i>specific gravity</i>)	2,66
3	Batas cair (<i>liquid limit</i>)	70,24 %
4	Batas plastis (<i>plastic limit</i>)	29,68 %
5	Batas susut (<i>shrinkage limit</i>)	9,50 %
6	Indeks plastisitas (<i>plasticity index</i>)	40,56 %
7	Butiran lolos saringan No. 200 (butiran halus)	96,65 %
8	Butiran tertahan saringan No. 200 (butiran kasar)	3,35 %
B. Pengujian Sifat Mekanik		
1	Kadar air optimum	33,59 %
2	Berat volume kering maksimum	1,29 gr/cm ³
3	CBR terendam (<i>soaked</i>)	1,14 %
4	CBR tak terendam (<i>unsoaked</i>)	1,41 %
5	Potensi pengembangan	5,59 %

3.2. Klasifikasi Tanah Asli

Pada umumnya, ada dua sistem klasifikasi tanah yang digunakan berdasarkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, yakni sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi USCS (Das 2009). Berdasarkan sistem AASHTO tanah asli masuk dalam jenis tanah A-7-6 (1560). Adapun berdasarkan sistem USCS tanah asli tergolong dalam kelompok CH, yang merupakan lempung non organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

3.3. Karakteristik Bahan Stabilisasi

Bahan stabilisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur (K), *fly ash* (FA) dan *bottom ash* (BA). Berdasarkan penelitian Ullu, Hangge and Bella (2020) kadar CaO dalam kapur adalah sebesar 62,94%, dan menurut Dom, Hangge and Cornelis (2021) *fly ash* memiliki nilai CaO sebesar 10,64%. Menurut *Canadian Standard CSA A-23.5*, *fly ash* dengan kadar CaO yang berkisar antara 8-20% termasuk dalam tipe CI. Adapun berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) di Laboratorium PT. Sucofindo Surabaya pada bulan Oktober 2021, diketahui *bottom ash* yang digunakan mengandung kadar CaO sebesar 13,92%. Selanjutnya bahan stabilisasi yang ada diuji sifat fisiknya, yakni uji kadar air, berat jenis spesifik dan analisa saringan. Nilai hasil pengujian tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik Bahan Stabilisasi

No	Parameter	K	FA	BA
1	Kadar air (w)	13,25 %	1,71 %	0,27 %
2	Berat jenis spesifik (<i>specific gravity</i>)	2,32	2,21	2,09
3	Lolos saringan No. 200 (butiran halus)	52,58 %	75,47 %	7,73 %
4	Tertahan saringan No. 200 (butiran kasar)	47,42 %	24,53 %	92,27 %

3.4. Pengaruh Stabilisasi Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif

Stabilisasi tanah dilakukan dengan mencampur tanah asli (TA) dengan 5% kapur, 20% *bottom ash* dan *fly ash* dalam lima variasi campuran yakni 10% (V1), 15% (V2), 20% (V3), 25% (V4) dan 30% (V5) dari berat kering tanah. Hasil pengujian yang diperoleh tercantum pada Tabel 5.

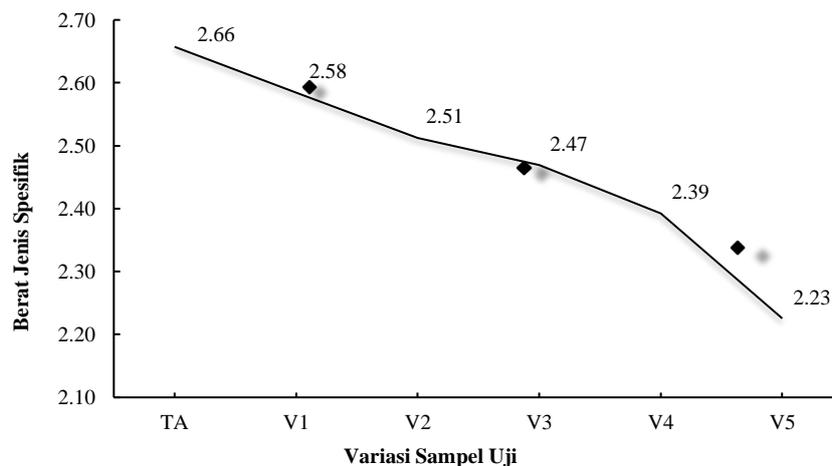
Tabel 5. Hasil Pengujian Sifat Fisik Dan Mekanis Tanah Setelah Distabilisasi Dengan Kapur (K), *Fly Ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA)

No	Pengujian	5% K + 20% BA				
		10% FA	15% FA	20% FA	25% FA	30% FA

	(V1)	(V2)	(V3)	(V4)	(V5)
1 Berat Spesifik	2,58	2,51	2,47	2,39	2,23
2 Batas Cair (%)	53,11	50,44	48,63	46,26	44,21
3 Batas Plastis (%)	27,42	26,29	25,19	24,10	22,60
4 Batas Susut (%)	32,44	37,51	45,68	52,81	59,49
5 Indeks Plastisitas (%)	25,69	24,15	23,43	22,16	21,61
6 Butiran lolos saringan No. 200 (%)	81,58	80,60	79,69	78,42	77,49
7 Butiran tertahan saringan No. 200 (%)	18,42	19,40	20,31	21,58	22,51
8 Kadar air Optimum (%)	31,60	30,28	27,81	26,38	25,19
9 Berat Volume Kering Maksimum (gr/cm ³)	1,32	1,34	1,37	1,40	1,42
10 CBR Terendam Tanpa Pemeraman (%)	2,99	4,75	6,97	10,38	12,85
11 CBR Terendam 7 Hari Pemeraman (%)	3,53	5,44	7,78	11,33	14,06
12 CBR Tak Terendam Tanpa Pemeraman (%)	4,13	6,33	8,88	12,61	15,33
13 CBR Tak Terendam 7 Hari Pemeraman (%)	4,79	7,29	10,14	14,24	16,66
14 Pengembangan Tanpa Pemeraman (%)	4,84	3,72	2,97	2,06	1,12
15 Pengembangan 7 Hari Pemeraman (%)	4,23	3,22	2,55	1,71	0,87

3.4.1. Berat Jenis Spesifik

Hasil pengujian berat jenis spesifik dari tanah asli dan tanah setelah distabilisasi ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% Terhadap Nilai Berat Jenis Spesifik Tanah

Seiring penambahan stabilisator, nilai berat jenis spesifik mengalami penurunan. Besarnya penurunan yang terjadi berturut-turut adalah 3,01%, 5,64%, 7,14%, 10,15% dan 16,17% terhadap nilai berat jenis spesifik tanah asli. Penurunan ini disebabkan karena kapur, *fly ash* dan *bottom ash* memiliki nilai berat jenis spesifik yang lebih kecil daripada tanah lempung, yakni berturut-turut sebesar 2,32 ; 2,21 dan 2,09.

3.4.2. Batas-Batas Atterberg

Hasil pengujian tanah asli dan tanah setelah distabilisasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Batas-batas *Atterberg*

No	Variasi Benda Uji	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
----	-------------------	--------	--------	--------	--------

1	Tanah Asli (TA)	70,24	29,68	9,50	40,56
2	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 10% <i>Fly Ash</i> (V1)	53,11	27,42	32,44	25,69
3	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 15 % <i>Fly Ash</i> (V2)	50,44	26,29	37,51	24,15
4	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 20 % <i>Fly Ash</i> (V3)	48,63	25,19	45,68	23,43
5	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 25 % <i>Fly Ash</i> (V4)	46,26	24,10	52,81	22,16
6	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 30 % <i>Fly Ash</i> (V5)	44,21	22,60	59,49	21,61

Seiring penambahan stabilisator, nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas mengalami penurunan, sedangkan nilai batas susut mengalami peningkatan. Besarnya perubahan yang terjadi masing-masing dapat dijelaskan sebagai berikut :

A. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Nilai batas cair mengalami penurunan berturut-turut sebesar 24,39%, 28,19%, 30,77%, 34,14% dan 37,06% terhadap nilai batas cair tanah asli. Penurunan ini disebabkan karena tekstur *fly ash* yang sangat halus mengisi rongga pada tanah, dan ketika ditambahkan air maka akan saling mengikat dengan tanah tersebut (Tallama 2010). Selain itu sifat *bottom ash* mudah meloloskan air sehingga penyerapan air pada campuran tanah menjadi lebih sedikit, dan lebih mudah berubah dari keadaan plastis ke keadaan cair (Purnama 2017).

B. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Nilai batas plastis juga mengalami penurunan seiring dengan penambahan stabilisator. Besarnya penurunan yang terjadi berturut-turut adalah 7,61%, 11,42%, 15,13%, 18,80% dan 23,85% terhadap nilai batas plastis tanah asli. Penurunan ini disebabkan akibat reaksi penggumpalan antara tanah dengan kapur dan *fly ash*, yang memperkuat ikatan antar partikel menjadi butiran yang lebih keras, dan tanah mendekati sifat semi padat (Tallama 2010). Selain itu, sifat *bottom ash* yang mudah meloloskan air menyebabkan tanah lebih cepat mengalami retak sebelum mencapai diameter 3mm (Purnama 2017).

C. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

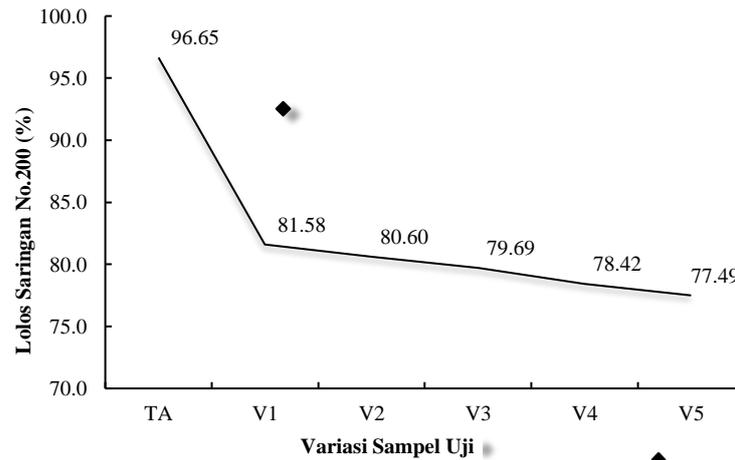
Nilai indeks plastisitas mengalami penurunan seiring dengan penambahan stabilisator. Besarnya penurunan yang terjadi berturut-turut adalah 36,66%, 40,46%, 42,23%, 45,36% dan 46,72% terhadap nilai indeks plastisitas tanah asli. Hal utama yang menyebabkan penurunan nilai indeks plastisitas adalah menurunnya nilai batas cair dan batas plastis.

D. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Nilai batas susut mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 3,41 ; 3,95 ; 4,81 ; 5,56 dan 6,26 kali dari nilai batas susut tanah asli. Peningkatan ini terjadi akibat menyatunya butiran stabilisator dengan tanah asli sehingga sifat kelembungan tanah menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan kemampuan susut tanah berkurang, dan nilai batas susut mengalami kenaikan.

3.4.3 Distribusi Ukuran Butiran

Pengujian distribusi ukuran butiran terdiri dari uji analisa saringan dan analisa hidrometer. Hasil pengujian menunjukkan persentase tanah berbutir halus melalui persentase butiran yang lolos saringan No.200 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% Terhadap Gradasi Ukuran Butiran Tanah

Nilai persentase lolos saringan No.200 mengalami penurunan seiring dengan penambahan stabilisator. Besarnya penurunan yang terjadi berturut-turut adalah 15,59%, 16,61%, 17,55%, 18,86% dan 19,82% terhadap nilai persentase lolos saringan No.200 tanah asli. Hasil uji menunjukkan terjadinya perubahan komposisi fraksi tanah yaitu berkurangnya fraksi lempung dan bertambahnya fraksi pasir. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan butiran stabilisator yang ditambahkan, semakin banyak pula ikatan dengan butiran tanah asli, sehingga butiran tanah asli menjadi padat dan butiran lempungnya menjadi berkurang (Tallama 2010).

3.4.4. Pematatan Standar

Pengujian pematatan standar menghasilkan penurunan nilai kadar air optimum diikuti peningkatan nilai berat volume kering maksimum. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 7.

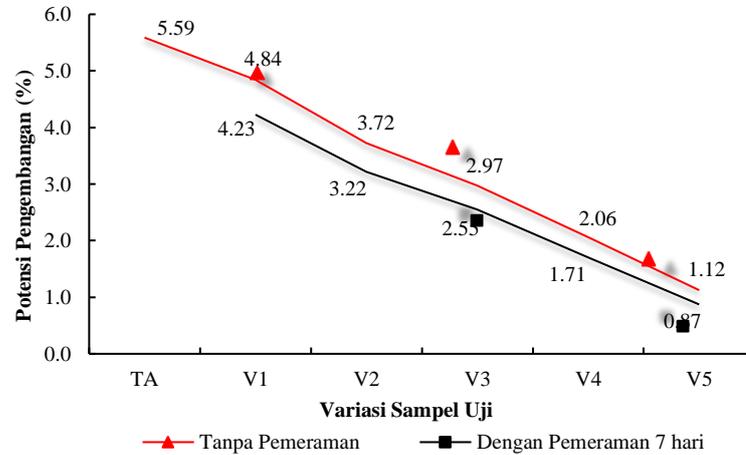
Tabel 7. Hasil Pengujian Pematatan Standar

No	Variasi Benda Uji	Kadar air optimum (%)	Berat Volume kering maksimum (gr/cm ³)
1	Tanah Asli (TA)	33,59	1,29
2	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 10% <i>Fly Ash</i> (V1)	31,60	1,32
3	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 15 % <i>Fly Ash</i> (V2)	30,28	1,34
4	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 20 % <i>Fly Ash</i> (V3)	27,81	1,37
5	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 25 % <i>Fly Ash</i> (V4)	26,38	1,40
6	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 30 % <i>Fly Ash</i> (V5)	25,19	1,42

Perubahan ini diakibatkan dari reaksi antara tanah dengan bahan stabilisator yang membentuk gumpalan dan mengisi rongga pori pada tanah. Akibatnya partikel padat pada tanah meningkat dan berat kering maksimumnya juga ikut meningkat. Selain itu, sifat kapur yang dapat memancarkan panas menyebabkan tanah asli menjadi cepat kering akibat proses hidrasi dan kadar air optimum mengalami penurunan (Sosrodarsono 2000).

3.4.5. Potensi Pengembangan

Tanah yang telah dipadatkan untuk pengujian CBR kemudian direndam selama empat hari untuk mendapatkan kondisi tanah jenuh air dan mengalami pengembangan maksimum (SNI 1732-1989). Pengujian dilakukan dengan dua perlakuan, yakni terhadap sampel yang tidak diperam dan diperam selama tujuh hari setelah dipadatkan di dalam *mould*. Hasil pengujian tersebut terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% Terhadap Nilai Potensi Pengembangan Tanah

Penurunan nilai ini disebabkan karena adanya reaksi *pozzolanic* dan *cementious* yang memperkuat ikatan antar butiran tanah. Akibatnya penyerapan air menjadi lebih sedikit, diikuti penurunan nilai pengembangan tanah (Tallama 2010). Selain itu, besarnya penurunan sampel dengan tujuh hari pemeraman lebih besar dari sampel tanpa pemeraman. Hal ini diakibatkan oleh ikatan yang semakin kuat antara butiran tanah dengan stabilisator pada saat pemeraman berlangsung, rongga antar partikel tanah menjadi padat dan kekuatan tanah ikut meningkat.

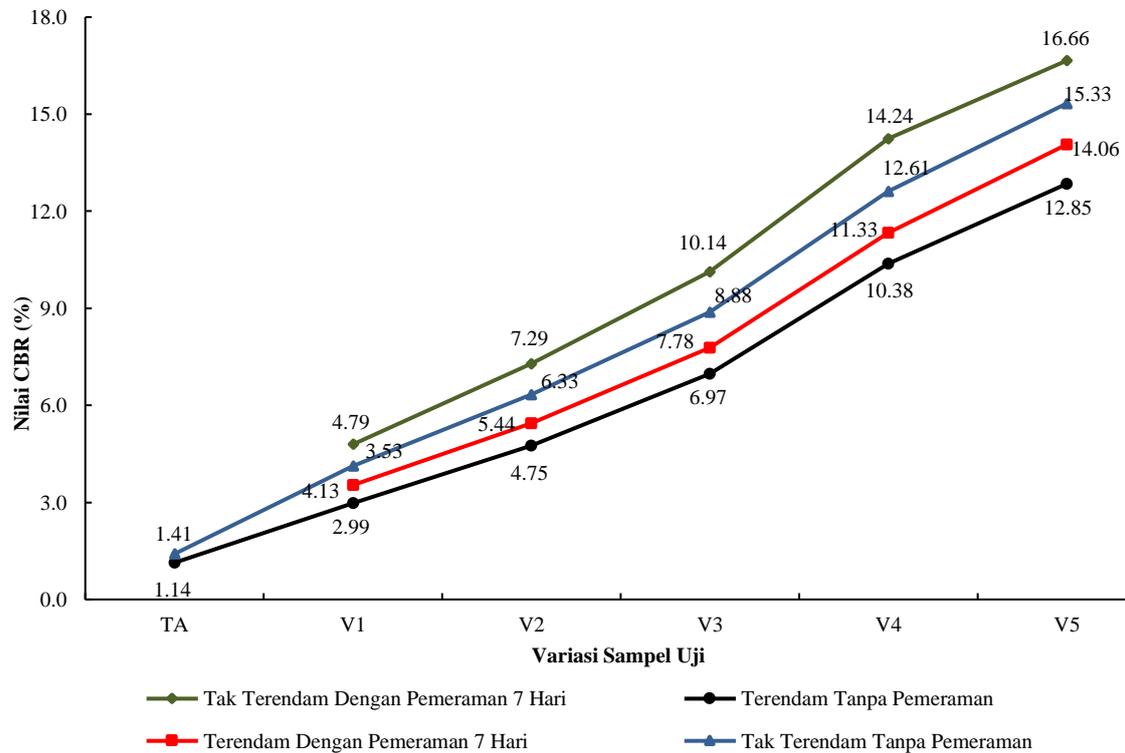
3.4.6. California Bearing Ratio (CBR)

Dalam penelitian ini, dilakukan empat jenis perlakuan terhadap variasi benda uji CBR, yakni CBR terendam (*soaked*) dan tak terendam (*unsoaked*), baik tanpa pemeraman maupun melalui tujuh hari pemeraman. Hasil pengujian CBR dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)*

No	Variasi Benda Uji	CBR Terendam (%)	CBR Terendam + Peram (%)	CBR Tak Terendam (%)	CBR Tak Terendam + Peram (%)
1	Tanah Asli (TA)	1,14	-	1,41	-
2	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20% <i>Bottom Ash</i> + 10% <i>Fly Ash</i> (V1)	2,99	3,53	4,13	4,79
3	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 15 % <i>Fly Ash</i> (V2)	4,75	5,44	6,33	7,29
4	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 20 % <i>Fly Ash</i> (V3)	6,97	7,78	8,88	10,14
5	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 25 % <i>Fly Ash</i> (V4)	10,38	11,33	12,61	14,24
6	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Bottom Ash</i> + 30 % <i>Fly Ash</i> (V5)	12,85	14,06	15,33	16,66

Hubungan penambahan kapur 5%, *bottom ash* 20% dan *fly ash* untuk varian 10% - 30% terhadap nilai CBR tanah dengan empat perlakuan terlihat dalam grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5%, *Bottom Ash* 20% dan Variasi *Fly Ash* 10%, 15%, 20%, 25%, 30% Terhadap Nilai *California Bearing Ratio* Tanah

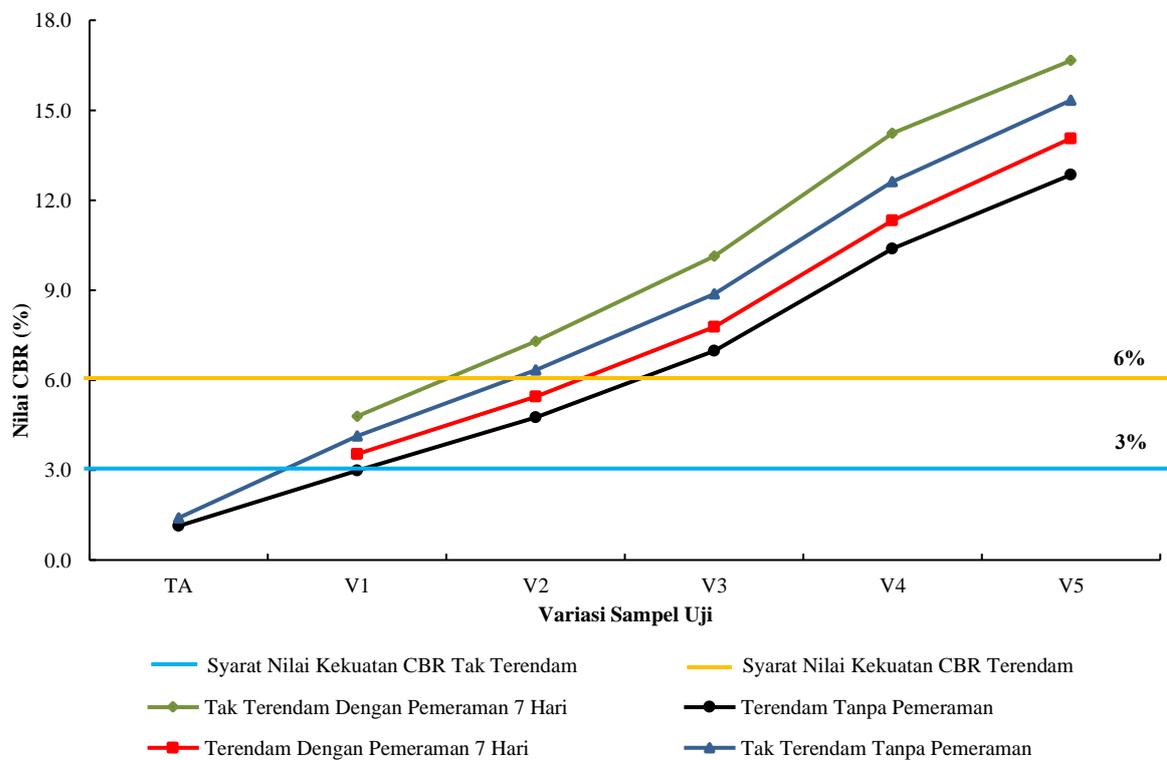
Dari empat model pengujian CBR pada Gambar 4, terlihat peningkatan nilai CBR tanah seiring penambahan stabilisator. Hal ini dikarenakan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah akibat penggumpalan, sehingga tanah menjadi lebih keras dan kaku dan nilai CBR tanah tersebut ikut meningkat (Tallama 2010). Terlihat pula nilai CBR tak terendam lebih besar dibanding nilai CBR terendam. Hal ini adalah akibat dari peningkatan kadar air pada sampel tanah saat terendam, yang menyebabkan semakin lemahnya daya dukung tanah (Ullu, Hangge and Bella 2020). Selanjutnya waktu pemeraman sampel juga mempengaruhi proses pengikatan tanah dengan kapur dan *fly ash*, sehingga tanah akan semakin keras dan kaku. Selain itu, unsur kimia dari *bottom ash* akan diserap oleh permukaan butiran lempung yang bermuatan negatif, sehingga terjadi kenaikan nilai konsistensi serta kekuatan dari tanah lempung tersebut (Rahmayani 2016). Jika dibandingkan dengan penelitian Dom, Hangge and Cornelis (2021), hasil pengujian CBR terendam dan tak terendam dengan tujuh hari pemeraman sama-sama mengalami peningkatan untuk setiap variasi penambahan *fly ash*. Namun, peningkatan nilai CBR untuk campuran dengan kadar *fly ash* yang sama (10%, 20% dan 30%) lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Peningkatan nilai CBR disebabkan karena pada penelitian ini campuran ditambahkan lagi dengan 20% *bottom ash*. Hal ini membuktikan bahwa penambahan *bottom ash* dalam variasi campuran dapat mengoptimalkan perbaikan nilai kapasitas dukung tanah lempung ekspansif. Secara lebih spesifik, perbandingan hasil pengujian CBR dari kedua penelitian dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Hasil Pengujian CBR tanpa dan dengan penambahan *Bottom Ash*

No	Variasi Benda Uji	CBR Terendam dengan Pemeraman (%)		CBR Tak Terendam dengan Pemeraman (%)	
		(Dom 2021)	(+) 20% <i>Bottom Ash</i>	(Dom 2021)	(+) 20% <i>Bottom Ash</i>
1	Tanah Asli + 5 % Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>	1,95	3,53	3,04	4,79
2	Tanah Asli + 5 % Kapur + 20 % <i>Fly Ash</i>	3,12	7,78	5,79	10,14
3	Tanah Asli + 5 % Kapur + 30 % <i>Fly Ash</i>	4,22	14,06	7,14	16,66

3.5 Daya Dukung Tanah

Berdasarkan empat model pengujian CBR yang ada, semua nilai CBR mengalami peningkatan. Untuk nilai CBR terendam tanpa pemeraman, peningkatan maksimum diperoleh dari sampel V5. Besarnya peningkatan yang terjadi adalah dari 1,14% menjadi 12,85%. Adapula untuk nilai CBR terendam dengan pemeraman juga mengalami peningkatan maksimum pada variasi yang sama (V5), yakni dari 1,14% menjadi 14,06%. Selanjutnya untuk CBR tak terendam, sampel tanpa pemeraman mengalami peningkatan maksimum dari 1,41% menjadi 15,33% pada sampel V5. Yang terakhir, untuk sampel dengan pemeraman juga mengalami peningkatan maksimum pada V5, dari 1,41% menjadi 16,66%. Menurut SNI 03-1732-1989 syarat nilai kekuatan CBR untuk tanah dasar yaitu nilai CBR dalam kondisi terendam adalah >3% dan dalam kondisi kering adalah >6%. Berdasarkan syarat batas tersebut, dari hasil pengujian CBR dapat ditentukan variasi sampel uji yang memenuhi syarat sebagai bahan tanah dasar, melalui grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai CBR Terhadap Syarat Nilai Kekuatan CBR Untuk Kondisi Terendam dan Tak Terendam

Merujuk pada Gambar 5, sampel yang memenuhi syarat SNI untuk nilai CBR terendam adalah V2-V5 untuk sampel tanpa pemeraman, dan V1-V5 untuk sampel dengan pemeraman. Sampel tersebut menghasilkan nilai CBR > 3%. Selanjutnya sampel yang memenuhi syarat SNI untuk nilai CBR tak terendam adalah V2-V5, baik untuk sampel tanpa pemeraman maupun dengan pemeraman. Sampel tersebut menghasilkan nilai CBR > 6%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pengaruh stabilisasi terhadap sifat fisik dan mekanis tanah adalah nilai berat jenis spesifik, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kadar air optimum dan potensi pengembangan tanah mengalami penurunan. Adapula nilai batas susut, berat volume kering dan nilai CBR tanah mengalami peningkatan seiring penambahan stabilisator. Nilai CBR maksimum untuk kondisi terendam dihasilkan dari sampel CBR dengan tujuh hari pemeraman, dengan nilai sebesar 14,06% pada campuran V5. Adapula untuk kondisi tak terendam, nilai CBR maksimum juga dihasilkan dari sampel CBR dengan tujuh hari pemeraman, dengan nilai sebesar 16,66% pada campuran V5. Dari nilai CBR yang ada, sampel V1 tidak memenuhi syarat untuk kondisi terendam (>3%) sampel tanpa pemeraman, dan untuk sampel dengan tujuh hari pemeraman kelima variasi yang ada memenuhi syarat. Selanjutnya, untuk kondisi tak terendam (>6%) sampel V1 tidak memenuhi syarat baik untuk sampel tanpa pemeraman maupun dengan tujuh hari pemeraman.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 1980. *Annual Books Of ASTM Standards (American Society For Testing Material)*. Philadelphia.
- U.S Department of Transportation. 2000. *Coal Bottom Ash / Boiler Slag-Material Description*. USA.
- Das, Braja M. 2009. *Principles Of Geotechnical Engineering (Ninth ed.)*. USA: Cengage Learning.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1989. *Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Analisa Metode Komponen (SNI 1732)*. Jakarta.
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. 2020. "Pemanfaatan Fly Ash untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif." *Jurnal Teknik Sipil* 10(1): 1-14.
- Hangge, E. E., Cornelis, R., & Dom, A. Y. 2021. "Pengaruh Fly Ash pada Stabilisasi Lempung Ekspansif terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR." *Jurnal Forum Teknik Sipil* 2(1): 1-11.
- Purnama, Yuda. 2017. "Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal." *Ejournal Unesa* 2(5) :1-9.
- Rahmayani, A. 2016. "Kajian Efektifitas Penggunaan Semen dan Bottom Ash Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau dari Nilai CBR." Departemen Teknik Sipil, Universitas Nusa Sumatera Utara.
- Sosrodarsono, S. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tallama, A. D., Rifa'i, Ahmad., Suryolelono, K. B. 2010. "Pemanfaatan Bahan Limbah Coal Ash untuk Lapisan Subgrade." Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Analisis Faktor Pemilihan dan Tingkat Kepuasan Pengguna Angkutan Umum Kota Kupang Pada Pandemi Covid 19

Analysis of Selection Factors and Satisfaction Levels of Kupang City Public Transport Users in the Covid 19 Pandemic

Ananda C.A. Saranga¹, John H. Frans², Jusuf J.S. Pah^{3*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Faktor pemilihan, kinerja, angkutan umum

Keywords:

Selection factors, performance, public transport.

Article history:

Received: 30-05-2022

Accepted: 19-06-2022

^{*}Koresponden email:

¹anandasaranga24@gmail.com

²johnhendrikfrans@gmail.com

Abstrak

Angkutan umum tidak terlepas dari berbagai masalah. Permasalahan yang paling umum adalah polusi dan keridakaturan yang berdampak pada keamanan dan kenyamanan para penumpang apalagi pada pandemi covid 19 seperti ini yang mengharuskan pengguna angkutan umum lebih ekstra melindungi diri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor pemilihan dan tingkat kepuasan pengguna jasa terhadap kinerja angkutan umum di Kota Kupang pada pandemi covid 19 . Analisis yang digunakan adalah analisis *mean*, analisis faktor dan analisis *Quality Function Deployment* (QFD). Hasil penelitian untuk faktor pemilihan dengan menggunakan metode analisis *mean* diperoleh faktor dengan nilai *mean* tertinggi dan terendah adalah faktor X17 dan X8. Sedangkan menggunakan metode analisis faktor diperoleh nilai presentase tertinggi dan terendah adalah faktor kesehatan dan faktor biaya. Analisis tingkat kepuasan menggunakan metode *Quality Function Deployment* (QFD) diperoleh nilai tingkat kepuasan lebih kecil daripada nilai target sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap kinerja angkutann umum di Kota Kupang.

Abstract

Public transportation is inseparable from various problems. The most common problems are pollution and irregularities which have an impact on the safety and comfort of passengers, especially during the COVID-19 pandemic, which requires public transport users to be extra protective of themselves. This study aims to determine the selection factors and the level of satisfaction of service users on the performance of public transportation in Kupang City during the covid 19 pandemic. The analysis used is mean analysis, factor analysis and Quality Function Deployment (QFD) analysis. The results of the research for the selection factor using the mean analysis method obtained factors with the highest and lowest mean values are factors X17 and X8. While using the factor analysis method, the highest and lowest percentage values are health factors and cost factors. Analysis of the level of satisfaction using the Quality Function Deployment (QFD) method obtained that the value of the satisfaction level is smaller than the target value, so it is necessary to improve the performance of public transportation in Kupang City.

Kutipan:

1. Pendahuluan

Saat ini transportasi merupakan hal yang sangat penting bagi masyarakat. Perpindahan penduduk dari satu tempat ke tempat lainnya dapat berjalan dengan mudah dan lebih efektif dengan menggunakan transportasi. Di perkotaan, kita kenal dengan sebutan angkutan kota (angkot). Saat ini, angkot adalah pilihan utama masyarakat perkotaan yang tidak memiliki kendaraan pribadi karena biaya lebih murah dibanding dengan ojek dan taksi. Meski demikian transportasi umum atau angkutan umum tidak terlepas dari berbagai masalah. Permasalahan yang paling umum adalah polusi, ketidakteraturan sehingga berdampak pada keamanan dan kenyamanan para penumpang. Tahun 2019 sebagian besar negara di dunia dikagetkan dengan sebuah virus, termasuk Indonesia. Virus tersebut adalah *Corona Virus Disease 2019* atau disebut juga dengan *Covid 19*.

Di Indonesia bukan hanya di kota – kota besar seperti Jakarta, Surabaya dan lainnya saja yang mengalami masalah angkutan umum tetapi di kota – kota kecil juga mengalami masalah yang sama. Di Kota Kupang misalnya, angkutan umum di kota ini, masih jauh dari kata layak. Fakta di lapangan akhir-akhir ini banyak sekali kejadian yang membuat para penumpang tidak nyaman naik angkutan umum dan ditambah dengan adanya pandemi *Covid 19* ini yang mengharuskan masyarakat pengguna angkutan umum lebih ekstra melindungi diri bukan hanya dari ketidaknyamanan tetapi juga dari virus. Situasi seperti ini akan menyebabkan permasalahan angkutan umum semakin bertambah.

Untuk itu, peneliti bermaksud untuk mengetahui faktor pemilihan angkutan umum dan tingkat kepuasan pengguna jasa angkutan umum dengan menganalisis kesesuaian antara harapan dan kenyataan dari kinerja pelayanan angkutan umum Kota Kupang pada masa pandemi *Covid 19* sehingga dapat dilakukan perbaikan dan pengembangan agar tujuan utama dari angkutan umum dalam rangka memberikan pelayanan yang cepat, mudah, aman dan nyaman dapat tercapai.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan dengan cara survei kuesioner. Survei kuesioner ini dilakukan pada trayek angkutan umum Kota Kupang Nusa Tenggara Timur. Populasi dalam penelitian ini adalah jumlah penduduk Kota Kupang sedangkan sampel dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan rumus slovin pada presisi 6%. Berdasarkan (BPS Kota Kupang n.d.) jumlah populasi yang diperoleh 446.193 jiwa dengan presisi yang digunakan 6% maka akan diperoleh jumlah sampel yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus slovin (Frans, Pah, and Ikun 2017) berikut:

$$n = \left(\frac{N}{1+Ne^2} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

n : ukuran sampel

N : ukuran populasi

e : presisi yang digunakan (diambil 5%-10%)

$$\begin{aligned} n &= \left(\frac{446.193}{1+ 446.193(0,06)^2} \right) \\ &= 277,60 \\ &\approx 278 \text{ orang} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh jumlah sampel minimum adalah 278 orang dan untuk jumlah sampel maksimum diambil 280 orang. Untuk itu, kuesioner akan dibagikan pada 280 orang dengan memperhatikan trayek angkutan dan memperhatikan kondisi saat ini tidak dalam keadaan normal karena pandemi *Covid 19* sehingga segala sesuatu terbatas.

2.1. Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini (Bolla, Nasjono, and Pedelati 2019):

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti (dari tangan pertama). Data primer dalam penelitian ini adalah data hasil survei kuesioner.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber yang sudah ada. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data dari instansi terkait diantaranya data trayek angkutan, jumlah angkutan dan data penduduk Kota Kupang.

2.2. Metode Pengumpulan Data

1. Metode dokumentasi

Metode ini dilakukan dengan cara survei kuesioner untuk mengumpulkan data primer berupa pendapat masyarakat pengguna jasa angkutan umum mengenai faktor – faktor yang mempengaruhi pemilihan angkutan umum dan tingkat kepuasan masyarakat terhadap kinerja pelayanan angkutan umum di Kota Kupang. Survei kuesioner ini dilakukan secara daring (*online*) dan luring (*offline*) mengingat kondisi saat ini kasus *Covid* 19 di kota Kupang semakin bertambah.

2. Metode wawancara

Wawancara akan dilakukan untuk membantu mengumpulkan data primer. Dimana metode ini akan dilakukan dengan mencari narasumber yaitu pengguna jasa angkutan umum kota Kupang yang nantinya akan diwawancarai berkaitan dengan faktor pemilihan dan tingkat kepuasan terhadap kinerja pelayanan angkutan umum Kota Kupang.

3. Metode kajian kepustakaan

Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data teori-teori atau ketentuan-ketentuan dari berbagai literature yang berhubungan dengan materi penelitian.

2.3. Metode Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara pengumpulan data hasil survei kuesioner oleh masyarakat pengguna jasa yang berjumlah 280 orang. Sebelum dilakukan analisis data terlebih dahulu perlu dilakukan analisis kelayakan data tersebut dengan menggunakan uji validitas dan reliabilitas data. Setelah dilakukan analisis kelayakan maka dapat dilanjutkan analisis menggunakan metode analisis berikut :

1. Analisis faktor pemilihan angkutan umum Kota Kupang dengan menggunakan metode analisis *mean*

Menganalisis hasil survei kuesioner baik secara *online* maupun *offline* menggunakan analisis *mean* menggunakan bantuan program *Microsoft Office Excel* 2007. hasil analisis *mean* ini akan diperoleh nilai frekuensi dan bobot/persentase dari setiap faktor. Dari hasil analisis tersebut akan diketahui faktor – faktor yang mempengaruhi pemilihan angkutan umum Kota Kupang menurut pendapat masyarakat pengguna jasa.

2. Analisis faktor pemilihan angkutan umum Kota Kupang dengan menggunakan metode analisis faktor

Menganalisis data hasil survei kuesioner menggunakan metode analisis faktor untuk mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi pemilihan angkutan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) (Puspitasari, Suliantoro, and Erlianna 2011). Data hasil survei kuesioner ini diolah dengan menggunakan aplikasi tersebut sehingga dapat diketahui faktor – faktor apa yang mempengaruhi pemilihan angkutan umum kota Kupang menurut masyarakat pengguna jasa angkutan umum.

Berikut merupakan tahapan analisis faktor (Nur Indah Dwi Gustyarini 2019) :

a) Menilai variabel yang layak

Analisis faktor diawali dengan menilai layak atau tidaknya variabel tersebut di analisis. Penilaian layak atau tidaknya variabel ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1) Melakukan pengujian KMO and Bartlett's test. Pengujian ini berguna mengetahui kelayakan suatu variabel, apakah dapat di proses lebih lanjut menggunakan teknik analisis faktor ini atau tidak. Caranya dengan melihat nilai KMO MSA (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy). Jika nilai KMO MSA lebih besar dari 0,50 dan nilai Test of Sphericity (Sig.) lebih kecil dari 0,50 maka teknik analisis faktor dapat di lanjutkan.

2) Melakukan analisis *Anti-image Matrix*.

Analisis ini berguna untuk mengetahui dan menentukan variabel mana saja yang layak pakai dalam analisis faktor. Persyaratan yang harus terpenuhi dalam analisis faktor adalah nilai MSA > 0,50.

b) Melakukan *factoring* dan *rotated*

Pada tahap melakukan *factoring* dan *rotated* dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Melakukan analisis *communalities*. *Communalities* pada dasarnya adalah jumlah varians (bisa dalam prosentase) dari suatu variabel mulamula yang bisa dijelaskan oleh faktor yang ada. Variabel dianggap mampu menjelaskan faktor jika nilai *Extraction* > 0,00.
 - 2) Selanjutnya akan dilakukan analisis *Total Variance Explained*. *Total Variance Explained* menunjukkan nilai masing-masing variabel yang di analisis. Ada dua macam analisis untuk menjelaskan suatu varian, yaitu *Initial Eigenvalues* dan *Extraction Sums of Squared Loadings*. Pada varian *Initial Eigenvalues* menunjukkan faktor yang terbentuk. Apabila semua faktor dijumlahkan menunjukkan jumlah variabel. Sedangkan pada bagian *Extraction Sums of Squared Loadings* menunjukkan jumlah variasi atau banyaknya faktor yang dapat terbentuk.
 - 3) Melakukan analisis *Component Matrix*. Analisis ini menunjukkan nilai korelasi antara masing-masing variabel dengan faktor yang terbentuk. Penentuan variabel yang masuk masing-masing faktor dilakukan dengan memperbandingkan besaran korelasi pada setiap baris. Angka korelasi dibawah 0,5 menunjukkan indikasi korelasi yang lemah, sedangkan diatas 0,5 berarti mengindikasikan kuat korelasinya.
 - 4) *Rotated Component Matrix*. Sekalipun sudah terbentuk faktor – faktor baru, namun perlu dilakukan rotasi untuk memperjelas variabel-variabel mana yang masuk ke dalam tiap – tiap faktor. Banyak sekali factor loading yang berubah setelah mengalami rotasi menjadi lebih kecil atau lebih besar.
 - 5) *Component Transformation Matrix* . Analisis ini digunakan untuk menentukan layak atau tidaknya faktor yang terbentuk dapat merangkum variabel – variabel yang ada. Syarat *component transformation matrix* nilai korelasi > 0,5.
- c) Menentukan label faktor
Setelah faktor – faktor terbentuk, ternyata variabel-variabel yang masuk pada masing-masing faktor tidak sama dengan yang diprediksi sebelumnya. Oleh karenanya perlu memberikan nama label baru yang representatif bagi variabel-variabel yang masuk di dalam masing-masing faktor.
3. Analisis tingkat kepuasan pengguna jasa angkutan umum Kota Kupang dengan metode *Quality Function Deployment (QFD)*
Menganalisis data hasil survei kuesioner menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)* untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna jasa angkutan umum Kota Kupang terhadap kinerja pelayanan angkutan umum sehingga dapat diketahui perbaikan dan pengembangan yang akan dilakukan untuk mempertahankan pelayanan angkutan umum yang cepat, mudah dan efektif.
Analisis menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)* dilakukan dengan menyusun matriks perencanaan atau disebut juga dengan rumah kualitas (*House Of Quality*) (Adhitya 2015).
Penyusunan matriks perencanaan ini dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :
- a) Pembuatan Matrik Kebutuhan Konsumen, tahap ini meliputi:
 - 1) Menentukan konsumen
 - 2) Mengumpulkan data keinginan dan kebutuhan konsumen
 - b) Pembuatan Matrik Perencanaan, tahap ini meliputi:
 - 1) Mengukur kebutuhan konsumen
 - 2) Menentukan kebutuhan performasi konsumen
- Berikut beberapa kolom dalam matrik perencanaan:
- 1) Tingkat kepentingan (*Importance to Customer*)
Tempat untuk menyatakan seberapa penting tiap kebutuhan bagi konsumen.
 - 2) Tingkat kepuasan (*Customer Satisfaction Performance*)
Merupakan persepsi konsumen terhadap seberapa baik produk yang ada saat ini dalam memuaskan konsumen.
 - 3) Nilai target (*Goal*) dan Rasio perbaikan (*Improvement Ratio*)
Dibuat untuk memutuskan level dari customer performance yang ingin dicapai dalam memenuhi kebutuhan konsumen.
 - 4) Titik penjualan (*Sales Point*)

Berisi informasi tentang kemampuan dalam menjual produk atau jasa, didasarkan pada seberapa baik tiap kebutuhan konsumen dapat dipenuhi.

- 5) Bobot (*Row Weight*)
Memodelkan kepentingan keseluruhan bagi tim dari tiap, tingkat kepentingan (*Importance Costumer*), rasio perbaikan (*Improvement Ratio*), titik penjualan (*Sales point*)
- 6) Normalisasi bobot (*Normal Raw Weight*).
Bobot dari masing-masing atribut yang telah dihitung perlu dinormalisasi. Hal ini untuk memudahkan dalam perhitungan selanjutnya.
- c) Pembuatan parameter teknik
Tahap ini merupakan tahap pemunculan karakteristik kualitas pengganti (*Subtitute Quality Characteristic*). Pada tahap ini dilakukan transformasi dari kebutuhan yang bersifat non teknis menjadi data yang bersifat teknis guna memenuhi kebutuhan konsumen.
- d) Menentukan hubungan parameter teknik dengan kinerja kepuasan.
Tahap ini menentukan seberapa kuat hubungan antara parameter teknik dengan kinerja kepuasan konsumen. Hubungan antara keduanya bisa berupa hubungan yang sangat kuat, sedang, lemah.
- e) Korelasi Teknis
Tahap ini menggambarkan hubungan dan ketergantungan antar parameter teknik. Sehingga dapat dilihat apakah suatu parameter teknik yang satu mempengaruhi parameter teknik yang lain.
- f) Penentuan prioritas parameter teknik untuk mengetahui mana yang harus di prioritaskan dalam hal perbaikan dan pengembangan.

Berikut ini merupakan variabel – variabel yang ditentukan dengan melihat contoh variabel pada jurnal (Semiuon 2018) yang akan dianalisis menggunakan metode analisis *mean*, analisis faktor dan analisis *Quality Function Deployment* (QFD) untuk mengetahui faktor pemilihan dan tingkat kepuasan pengguna angkutan umum Kota Kupang pada masa pandemi *covid 19* yang dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 1. Variabel Faktor Pemilihan Angkutan Umum

No	Indikator	Variabel
1	Keamanan dalam angkutan kota, terhindar dari kejahatan dan kecelakaan	X1
2	Keamanan fasilitas kendaraan	X2
3	Kebersihan dan kenyamanan fasilitas kendaraan	X3
4	Kondisi fisik kendaraan	X4
5	Perilaku pengemudi, kondektur dan sesama pengguna jasa dalam angkutan	X5
6	Suhu dalam angkutan (panas atau dingin)	X6
7	Kapasitas angkutan	X7
8	Besarnya tarif angkutan umum (mahal atau tidaknya tarif angkutan)	X8
9	Angkutan tidak melayani sampai ketempat tujuan sehingga harus berganti angkutan	X9
10	Waktu dari rumah menuju tempat menunggu angkutan	X10
11	Waktu menunggu angkutan	X11
12	Waktu melakukan perjalanan	X12
13	Waktu dari rumah menuju tempat tujuan	X13
14	Kondisi fisik dan kesehatan pengemudi, kondektur dan pengguna jasa	X14
15	Jarak antar pengguna jasa sebelum masuk keluar angkutan pada masa <i>Covid 19</i>	X15
16	Jarak antar pengguna jasa di dalam angkutan masa <i>Covid 19</i>	X16

17	Penggunaan masker wajib bagi penemudi, kondektur dan pengguna jasa masa <i>Covid19</i>	X17
18	Tersedianya hand sanitizer dalam angkutan	X18
19	Kesediaan menggunakan angkutan umum pada masa <i>Covid 19</i> jika sudah menggunakan protokol kesehatan	X19

Tabel 2. Variabel Tingkat Kepuasan terhadap Kinerja Angkutan Umum

No	Indikator	Kepentingan	Kepuasan
1	Kemudahan memperoleh angkutan kota	X1	Y1
2	Angkutan kota yang bebas dari asap rokok	X2	Y2
3	Pengemudi dan kondektur yang siap membantu penumpang yang mengalami kesulitan	X3	Y3
4	Kecepatan dan ketepatan pengemudi dan kondektur dalam merespon keluhan dan permasalahan penumpang	X4	Y4
5	Keamanan dan kenyamanan penumpang didalam angkutan kota	X5	Y5
6	Keamanan dan kenyamanan pada saat naik turun angkutan kota	X6	Y6
7	Keselamatan penumpang didalam angkutan kota sampai tempat tujuan	X7	Y7
8	Ketersediaan dan penerapan protokol kesehatan pada masa pandemi <i>Covid 19</i>	X8	Y8
9	Kemampuan pengemudi dan kondektur dalam melaksanakan pekerjaannya	X9	Y9
10	Pelayanan yang sopan dan ramah bagi penumpang	X10	Y10
11	Kesediaan pengemudi dan kondektur untuk melayani serta mengutamakan kebutuhan pengguna jasa angkutan kota	X11	Y11
12	Kesabaran pengemudi dan kondektur dalam melayani penumpang	X12	Y12
13	Kebersihan dan kerapihan angkutan kota	X13	Y13
14	Fasilitas tempat duduk yang nyaman dan memadai	X14	Y14
15	Kondisi angkutan kota yang layak jalan	X15	Y15

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis data diawali dengan melakukan analisis kelayakan dengan menggunakan uji validitas dan reliabilitas data. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa semua variabel yang terdapat dalam penelitian dinyatakan valid dengan nilai r hitung lebih besar dari pada r tabel yaitu 0,113 sehingga dapat dilakukan uji reliabilitas dengan semua variabel dalam penelitian ini dikatakan *reliable* karena nilai reliabilitasnya lebih besar dari 0,60 (Maharani 2015).

3.1. Analisis Faktor Pemilihan Angkutan Umum Kota Kupang dengan Menggunakan Metode Analisis Mean.

Analisis ini dilakukan untuk memperoleh nilai *mean* tertinggi hingga terendah untuk menunjukan tingkat faktor pemilihan yang paling berpengaruh hingga kurang berpengaruh menurut masyarakat pengguna jasa angkutan umum Kota Kupang. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program *Microsoft Office Excel 2007* terhadap 19 variabel pertanyaan yang telah dijawab oleh 280

orang responden. Berikut merupakan tabel perengkingan nilai *mean* dari yang tertinggi hingga terendah.

Tabel 3. Perengkingan Nilai *Mean* Tertinggi hingga Terendah

Variabel	Pertanyaan	Mean	Rangking
X17	Penggunaan masker wajib bagi pengemudi, kondektur dan pengguna jasa	4,45	1
X16	Jarak antar pengguna jasa di dalam angkutan	4,22	2
X15	Jarak antar pengguna jasa sebelum masuk keluar angkutan	4,14	3
X7	Kapasitas angkutan	4,08	4
X3	Kebersihan dan kenyamanan fasilitas kendaraan	4,06	5
X5	Perilaku pengemudi, kondektur dan sesama pengguna jasa dalam angkutan	4,06	6
X14	Kondisi fisik dan kesehatan pengemudi, kondektur dan pengguna jasa	4,05	7
X4	Kondisi fisik kedaraan	3,91	8
X2	Keamanan fasilitas kendaraan	3,89	9
X19	Kesediaan menggunakan angkutan umum pada masa <i>Covid 19</i> jika sudah menggunakan protokol kesehatan	3,86	10
X18	Tersedianya hand sanitizer dalam angkutan	3,84	11
X13	Waktu dari rumah menuju tempat tujuan	3,77	12
X1	Keamanan dalam angkutan kota, terdinadar dari kejahatan dan kecelakaan	3,73	13
X10	Waktu dari rumah menuju tempat menunggu angkutan	3,70	14
X12	Waktu melakukan perjalanan	3,69	15
X11	Waktu menunggu angkutan	3,65	16
X6	Suhu dalam angkutan	3,56	17
X9	Angkutan tidak melayani sampai ke tempat tujuan sehingga terjadi penambahan biaya akibat perpindahan moda transportasi	3,50	18
X8	Besar tarif angkutan umum (mahal atau tidaknya tarif angkutan)	3,34	19

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui variabel-variabel dengan nilai *mean* tertinggi hingga terendah yang menunjukkan tingkat faktor dari yang paling berpengaruh hingga kurang berpengaruh dalam memilih angkutan umum (angkutan kota) di kota Kupang pada masa pandemi *covid 19* menurut pendapat masyarakat sebagai pengguna jasa.

3.2. Analisis Faktor Pemilihan Angkutan Umum Kota Kupang dengan Menggunakan Metode Analisis Faktor

Analisis faktor digunakan untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi pemilihan angkutan umum (angkutan kota) di Kota Kupang. Analisis ini dilakukan dengan bantuan *Software Statistical Product and Service Solutions* (SPSS).

Berdasarkan hasil *output Software Statistical Product and Service Solutions* (SPSS) untuk 19 variabel pertanyaan yang dijawab oleh 280 responden dalam kuesioner, ternyata didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. Faktor – Faktor Pemilihan Angkutan Umum Kota Kupang

Faktor	Variabel - Vaariabel
--------	----------------------

Kesehatan	Kondisi fisik dan kesehatan pengemudi, kondektur dan pengguna jasa
	Jarak antar pengguna jasa sebelum masuk keluar angkutan
	Jarak antar pengguna jasa di dalam angkutan
	Penggunaan masker wajib bagi pengemudi, kondektur dan pengguna jasa
	Tersedianya hand sanitizer dalam angkutan
Keamanan dan kenyamanan	Kesediaan menggunakan angkutan umum pada masa <i>Covid</i> 19 jika sudah menggunakan protokol kesehatan
	Keamanan dalam angkutan kota, terdinadar dari kejahatan dan kecelakaan
	Keamanan fasilitas kendaraan
	Kebersihan dan kenyamanan fasilitas kendaraan
	Kondisi fisik kedaraan
Waktu	Perilaku pengemudi, kondektur dan sesama pengguna jasa dalam angkutan
	Suhu dalam angkutan
	Kapasitas angkutan
	Waktu dari rumah menuju tempat menunggu angkutan
Biaya	Waktu menunggu angkutan
	Waktu melakukan perjalanan
	Waktu dari rumah menuju tempat tujuan
	Besar tarif angkutan umum (mahal atau tidaknya tarif angkutan)
	Angkutan tidak melayani sampai ke tempat tujuan sehingga terjadi penambahan biaya akibat perpindahan moda transportasi

Berdasarkan analisis faktor diatas dapat disimpulkan bahwa ada 4 faktor yang terbentuk yang dapat merangkum 19 variabel berkaitan dengan faktor - faktor yang mempengaruhi pemilihan angkutan umum di Kota Kupang.

3.3. Analisis Tingkat Kepuasan Masyarakat Pengguna Jasa Angkutan Umum terhadap Kinerja Angkutan Umum Kota Kupang dengan Menggunakan Metode *Quality Function Deployment (QFD)*

Analisis yang akan digunakan untuk mengetahui tingkat kepuasan masyarakat pengguna jasa angkutan umum terhadap kinerja pelayanan angkutan umum Kota Kupang pada masa pandemi *covid* 19 adalah dengan metode *Quality Function Deployment (QFD)*. Analisis menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)* dilakukan dengan menyusun matriks perencanaan atau disebut juga dengan rumah kualitas (*House Of Quality*) (Sirait 2020).

Matriks perencanaan (*House Of Quality*) ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian horizontal dan vertikal. Bagian horizontal dari matriks ini berisikan informasi yang berkaitan dengan kebutuhan konsumen sedangkan bagian vertikal berisikan informasi teknis atau parameter teknik sebagai respon input konsumen. Matriks ini disusun dengan melihat hubungan kebutuhan konsumen dengan parameter teknik, korelasi antar parameter teknik sehingga menghasilkan prioritas pengembangan. Dari matrik *House Of Quality* akan diketahui prioritas yang harus didahulukan untuk perbaikan atau pengembangan sehingga tingkat kepuasan kinerja pelayanan angkutan umum (angkutan kota) di Kota Kupang pada masa pandemi *covid* 19 dapat sesuai dengan kebutuhan pengguna jasa.

Hasil yang diperoleh dari analisis ini menyatakan bahwa nilai untuk tingkat kepuasan lebih kecil daripada nilai target sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap kinerja pelayanan. Dimana nilai tingkat kepuasan rata – rata dari masing-masing variabel adalah 3,319 dan untuk nilai target dari masing – masing variabel adalah 4. Perbaikan dan pengembangan ini dilakukan secara bertahap sesuai prioritas yang ditunjukkan oleh nilai absolut parameter teknik (Kristianto 2016). Nilai absolut parameter teknik terendah akan menjadi prioritas paling pertama sedangkan untuk nilai tertinggi akan menjadi prioritas terakhir, hal ini dikarenakan nilai absolut parameter teknik ini menunjukkan

besarnya tingkat kepuasan terhadap kinerja pelayanan, semakin tinggi nilai maka tingkat kepuasan semakin tinggi juga begitupun sebaliknya.

Berikut ini merupakan langkah – langkah perbaikan dan pengembangan kinerja pelayanan angkutan umum Kota Kupang sesuai dengan nilai absolut parameter teknik :

- 1) Penerapan protokol kesehatan Covid 19 (106,907)
- 2) Penambahan jumlah armada sesuai kebutuhan (117,064)
- 3) Memperketat peraturan dalam angkutan (191,227)
- 4) Pembersihan dan perawatan fasilitas kendaraan (197,740)
- 5) Tingkat keselamatan penumpang (232,337)
- 6) Kelengkapan peralatan dan fasilitas kendaraan (236,074)
- 7) Pelayanan pengemudi dan kondektur yang sopan dan ramah (307,223)
- 8) Tingkat responsivitas pengemudi dan kondektur (345,123)
- 9) Tingkat kemampuan pengemudi dan kondektur (384,051)
- 10) Tingkat keamanan dan kenyamanan penumpang dalam angkutan (521,251)

4. Kesimpulan

Analisis faktor pemilihan angkutan umum di Kota Kupang pada masa pandemi covid 19 menggunakan metode analisis *mean* dan analisis faktor diperoleh hasil yang sama, dimana faktor yang paling berpengaruh dalam pemilihan adalah faktor kesehatan dan faktor yang kurang berpengaruh adalah faktor biaya. Sedangkan analisis tingkat kepuasan menggunakan metode analisis *Quality Function Deployment* (QFD) diperoleh nilai untuk tingkat kepuasan lebih kecil daripada nilai target sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap kinerja pelayanan.

Daftar Pustaka

- Adhitya, Wahyu Wicaksono. 2015. "Penerapan Metode QFD (Quality Function Deployment) Pada Rencana Pengembangan Sekolah Di Smk Negeri 2 Yogyakarta". skripsi. UNY. <https://eprints.uny.ac.id/22079/> (June 5, 2022).
- Bolla, Margareth E, Judi K Nasjono, and Marchninth A Pedelati. 2019. "Biaya Operasional Kendaraan Di Kota Kupang". *Jurnal Teknik Sipil* (2): 14.
- BPS Kota Kupang.2020." Proyeksi Penduduk Menurut Kabupaten, Kota Provinsi Nusa Tenggara Timur." <https://kupangkota.bps.go.id/indicator/12/188/1/proyeksi-penduduk-menurut-kabupaten-kota-prov-ntt.html> (June 20, 2022).
- Frans, John H, Jusuf J S Pah, and Maria G A Ikon. 2017. "Perpindahan Moda Angkutan Umum Ke Angkutan Pribadi Di Kota Kupang". *Jurnal Teknik Sipil* (2): 14.
- Kristianto, Andhik Wahyu. 2016. "Analisis Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Pelanggan Untuk Meningkatkan Mutu Pelayanan Di Retail X, Surabaya Dengan Pendekatan Metode Service Quality Dan Quality Function Deployment". masters. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. <https://repository.its.ac.id/48973/> (June 5, 2022).
- Maharani, Putu Veyna. 2015. "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Masyarakat Di Kota Singaraja Memiliki Program Asuransi Unitlink". 5(1): 10.
- Nur Indah Dwi Gustyarini, 4112316012. 2019. "Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Kesejahteraan Masyarakat Di Provinsi Jawa Tengah". other. Universitas Negeri Semarang. <http://lib.unnes.ac.id/37560/> (June 5, 2022).
- Puspitasari, Nia Budi, Hery Suliantoro, and Verra Erlianna. 2011. "Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Konsumen Dalam Pemakaian Produk Layanan Seluler Dengan Mempertimbangkan Aspek 7p's Of Marketing (Studi Kasus : Pt. Telkom Area Blora) ". (2): 10.

Semiun ,Oktovianus Edvict . 2018. 'Pengaruh Kualitas Pelayanan Angkutan Kota Terhadap Kepuasan dan Loyalitas Penumpang di Kota Kupang'. *Rekayasa Sipil* 12(1): 39–49.

Sirait, Jhon Ridtar. "Penerapan Metode Quality Function Deployment (Qfd) Dalam Analisis Tingkat Kenyamanan Perumahan Griya Asam Kumbang Pt Torganda". : 76.

Analisis Jaringan Perpipaan Air Bersih Kecamatan Kota Atambua Kabupaten Belu

Analysis of Clean Water Pipeline Network, Atambua City District Belu Regency

Wilhelmus Bunganaen¹, I Made Udiana², Maria Y. Moruk^{3*})

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Analisis, Jaringan Perpipaan, Proyeksi, Kebutuhan Air, *Epanet 2.0*

Keywords:

Analysis, Piping Network, Projection, Water Demand, *Epanet 2.0*

Article history:

Received: 01-08-2022

Accepted: 27-09-2022

*)Koresponden email:

mariamoruk1998@gmail.com

wilembunganaen@staf.undana.ac.id

imadeudiana10@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar kebutuhan air dan sistem jaringan perpipaan Kecamatan Kota Atambua untuk 20 tahun mendatang. Tahapan analisis yang dilakukan yaitu memproyeksi jumlah penduduk, memproyeksi fasilitas, menghitung kebutuhan air, membandingkan kebutuhan air dan ketersediaannya untuk menentukan pembagian pemenuhan kebutuhan air serta melakukan simulasi jaringan menggunakan *Software Epanet 2.0*. Hasil analisis kebutuhan air harian maksimum untuk tiap kelurahan adalah sebagai berikut untuk Kelurahan Tenukiik sebesar 8,496 liter/detik, untuk Kelurahan Fatubenao sebesar 15,947 liter/detik, untuk Kelurahan Manumutin sebesar 23,802 liter/detik dan untuk Kelurahan Kota Atambua sebesar 6,932 liter/detik. Hasil analisis *Software Epanet 2.0* menunjukkan bahwa semua memenuhi syarat (run was successful) namun masih terdapat beberapa parameter hidrolis pada node dan link yang nilainya belum memenuhi syarat kriteria perencanaan pipa. Nilai kehilangan energi untuk jaringan Kelurahan Tenukiik dan Fatubenao pada simulasi 1 sebesar 29,59 m/km, untuk jaringan kelurahan Manumutin pada simulasi 1 sebesar 46,29 m/km, dan untuk jaringan Kelurahan Kota Atambua sebesar 17,72 m/km.

Abstract

This study aims to determine the amount of water demand and the piping network system at Kota Atambua Subdistrict for the next 20 years. The stages of analysis carried out are projecting the population, projecting facilities, calculating water needs, comparing water needs and their availability to determine the distribution of water needs, and perform network simulation using *Epanet 2.0* Software. The analysis results, the maximum daily water demand for each village are as follows, for Tenukiik Village is 8.496 liters/second, for Fatubenao Village is 15,947 liters/second, for Manumutin Village is 23,802 liters/second and for Atambua City Village is 6,932 liters/second. The results of the *Epanet 2.0* Software analysis show that all meet the requirements (run was successful) but there are still some hydraulic parameters on nodes and links whose values do not meet the pipe planning criteria requirements. The value of energy loss for the Tenukiik and Fatubenao Village networks in simulation 1 of 29.59 m/km, for the Manumutin village network in simulation 1 of 46.29 m/km, and for the Atambua City village network is 17.72 m/km.

Kutipan: Diisi oleh Editor

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu unsur penting di bumi, karena sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup untuk kehidupan itu, sehingga dapat dikatakan bahwa air adalah sumber kehidupan. Penyediaan air yang baik dalam segi kualitas dan kuantitas yang memenuhi standar menjadi suatu tuntutan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari. Pertumbuhan jumlah penduduk yang meningkat dari tahun ke tahun menyebabkan kebutuhan air bersih juga meningkat. Oleh karena itu, perlu dikelola dengan baik sistem jaringan distribusi air bersih tersebut. Jaringan perpipaan merupakan rangkaian perpipaan yang mengalirkan air dari sumber air baku ke unit pengolahan dan membawa air yang sudah diolah dari IPA (Instalasi Pengolahan Air) ke reservoir distribusi dan selanjutnya melalui pipa distribusi menyalurkan air ke daerah pelayanan yang berupa sambungan rumah dan hidran umum (Ditjen Cipta Karya, 2016).

Kecamatan Kota Atambua merupakan salah satu kecamatan yang terletak di Kota Atambua dengan luas wilayah sebesar 24,90 km². Kecamatan Kota Atambua terdiri dari empat kelurahan yaitu Kelurahan Kota Atambua, Kelurahan Tenukiik, Kelurahan Manumutin, dan Kelurahan Fatubena. (Kabupaten Belu Dalam Angka, 2018). Di Kota Atambua terdapat beberapa sumber mata air yang dikelola oleh PDAM Kabupaten Belu antara lain Sumber Mata Air Lahurus (Reservoir Fatubena), sumber Air We Utu (Reservoir Raimaten), dan Sumber Mata Air Tirta (Reservoir Tirta A dan C). Sumber air Lahurus berjarak ± 25,00 km dari Kota Atambua dengan debit rata-rata 20,00 liter/detik, sumber air We Utu berjarak ± 3,00 km dari Kota Atambua dengan debit 17,00 liter/detik, sedangkan Sumber air Tirta berjarak ± 4,00 km dari Kota Atambua yang dibagi menjadi Tirta A dengan debit 5,00 liter/detik dan Tirta C dengan debit 11,00 liter/detik. Untuk sumber air Lahurus paling banyak melayani kebutuhan air Kelurahan Tenukiik dan Kelurahan Fatubena, sumber air We Utu melayani Kelurahan Manumutin sedangkan sumber air Tirta melayani Kelurahan Kota Atambua.

Masalah ketersediaan air bersih yang dihadapi dari sumber air PDAM Kabupaten Belu kondisi jaringan perpipaan yang usianya mencapai 20-40 tahun sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Selain faktor usia pipa, perjalanan pipa yang jauh dari lokasi sumber mata air sehingga tekanan air menjadi menurun. Faktor-faktor tersebut mengakibatkan air tidak terdistribusi dengan baik dan menghasilkan kualitas dan kuantitas pelayanan yang kurang baik. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu menganalisa masalah pada sistem distribusi jaringan perpipaan PDAM Kabupaten Belu untuk Kecamatan Kota Atambua dengan menggunakan *Software Epanet 2.0* yang dapat mensimulasikan sistem distribusi jaringan perpipaan pada suatu wilayah. Berdasarkan masalah yang terjadi, Sehingga penulis merasa perlu untuk melakukan penelitian dengan judul "Analisis Jaringan Perpipaan Air Bersih Kecamatan Kota Atambua, Kabupaten Belu".

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pengguna Air Bersih

Air bersih adalah air sehat yang dipergunakan untuk kegiatan manusia dan harus bebas dari kuman-kuman penyebab penyakit, bebas dari bahan-bahan kimia yang dapat mencemari air bersih tersebut. Air merupakan zat yang mutlak bagi setiap makhluk hidup dan kebersihan air adalah syarat utama bagi terjaminnya kesehatan (Dwijosaputro, 1981).

Pertambahan pengguna air bersih berpengaruh pada tingkat pemakaian air. Proyeksi kebutuhan air dapat ditentukan dengan memperhatikan pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan pada tahun rencana. Metode yang biasa digunakan dalam menentukan proyeksi penduduk (Luan, A. L., 2019 dan Laleb, F. L., 2018) sebagai berikut :

1. Metode Aritmatika

$$P_n = P_o + (n \cdot q) P_o \quad (1)$$

2. Metode Geometrik

$$P_n = P_o \cdot (1 + q)^n \quad (2)$$

3. Metode Eksponensial

$$P_n = P_o \cdot e^{n \cdot q} \quad (3)$$

Selanjutnya dilakukan pemilihan metode yang akan dipergunakan dalam perhitungan kebutuhan air, maka perlu dilakukan perhitungan standar deviasi dari ketiga metode tersebut. Berikut ini rumus standar deviasi atau simpangan baku (s) yaitu (Furqon, 2008):

$$S = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

2.2. Kehilangan Air

Kehilangan air adalah besarnya selisih air yang diproduksi dengan air yang didistribusikan. Kehilangan air dapat bersifat teknis yaitu kebocoran. Hal ini dapat diakibatkan kurangnya perawatan ataupun umur pipa yang sudah tua. Perencanaan sistem kebutuhan air bersih, harus diperhitungkan kehilangan air yang besarnya diperkirakan sebanyak 20% - 30% dari total kebutuhan air (Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya, 1996).

2.3. Kehilangan Energi Pada Pipa

Kehilangan tekanan mayor biasanya jauh lebih besar dari kehilangan tekanan minor, sehingga pada keadaan tersebut kehilangan tekanan minor dapat diabaikan. Pada pipa pendek kehilangan tekanan minor harus diperhitungkan. Apabila kehilangan tekanan minor kurang dari 5% dari kehilangan tekanan mayor maka kehilangan tekanan tersebut bisa diabaikan. (Triadmodjo, B., 1993).

3. Bahan dan Metode

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian dilaksanakan di wilayah Kecamatan Kota Atambua Kabupaten Belu yaitu Kelurahan Tenukiik, Kelurahan Fatubena, Kelurahan Manumutin dan Waktu penelitian dan pengerjaan analisa data hasil penelitian dilaksanakan mulai bulan Agustus 2020 sampai dengan bulan Oktober 2021

3.2. Sumber Data

Sumber data Pada penelitian ini adalah dari data primer dan data sekunder. Data primer adalah data-data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran langsung pada objek penelitian, dalam penelitian ini seperti data jumlah fasilitas yang ada pada tiap kelurahan, sedangkan data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari Kantor Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Belu dan Instansi terkait sehubungan dengan penelitian ini serta studi kepustakaan berbagai macam buku dan jurnal. Data yang akan diperoleh adalah jumlah penduduk, topografi, dan kondisi pipa, jaringan eksisting.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data akan dilakukan dengan beberapa Teknik pengumpulan data seperti, teknik observasi yaitu teknik pengambilan data dengan meninjau lokasi penelitian secara langsung, sehingga penulis akan melakukan survei langsung ke kecamatan Kota Atambua, kemudian teknik dokumentasi, teknik ini akan dilakukan dengan mengambil dan mengumpulkan gambar-gambar dan data sekunder lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini, dan teknik wawancara Teknik ini akan dilakukan dengan melakukan wawancara terhadap instansi terkait untuk mendapatkan informasi dan data yang berkaitan dengan penelitian ini.

3.4. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh akan dianalisis dengan memanfaatkan metode dan rumus dari hasil studi pustaka dan dengan bantuan *Software* perpipaan (Luan, A. L., 2019). Tahap-tahap analisis data yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengumpulkan data-data primer dan sekunder yang digunakan dalam menganalisa sistem jaringan distribusi air bersih. Data primer diperoleh dari pengamatan dan pengukuran dilapangan sedangkan data sekunder diperoleh dari Instansi terkait dan studi kepustakaan.
- 2) Menentukan metode proyeksi penduduk yang sesuai untuk digunakan.
- 3) Melakukan perhitungan pertumbuhan penduduk dan jumlah fasilitas.
- 4) Melakukan analisis terhadap kebutuhan air bersih yang harus dipenuhi oleh sumber air dengan proyeksi 20 tahun kedepan.

- 5) Melakukan analisis terhadap kehilangan air yang terjadi pada jaringan pipa tersebut.
- 6) Melakukan penggambaran jaringan perpipaan.
- 7) Melakukan *input* data karakteristik jaringan berupa diameter pipa, panjang pipa, koefisien kekasaran pipa, elevasi, jumlah debit air (Q) kebutuhan dasar, kapasitas *reservoir* dan perlengkapan pipa ke *Software Epanet 2.0*.
- 8) Menjalankan *Software Epanet 2.0* untuk menganalisis jaringan.
- 9) Melakukan pembahasan dari hasil analisis sistem jaringan dengan menggunakan *Software Epanet 2.0* lalu memberikan kesimpulan dan saran.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Rekapitulasi Kebutuhan Harian Air Bersih Pada Tahun Rencana

Kebutuhan air bersih pada suatu wilayah merupakan jumlah kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non domestik serta jumlah kehilangan air yang diperkirakan sebesar 20% dari jumlah kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non domestik. Berdasarkan Persamaan 2.9 (Nugroho, dkk. 2014) untuk menghitung total kebutuhan air pada tiap kelurahan, maka diambil contoh perhitungan berdasarkan data Kelurahan Tenukiik:

$$Q_r = Q_d + Q_n + 20\% (Q_d + Q_n) \tag{5}$$

Diketahui : Total Kebutuhan Air Domestik (Q_d) = 514183 lt/hr = 5,951 lt/dtk
 Total Kebutuhan Air Non Domestik (Q_n) = 41929 lt/hr = 0,485 lt/dtk
 Total Kebutuhan Air Kelurahan Tenukiik (Q_r) = 514183 + 41929 + 20% (514183 + 41929)
 = 556112 + 20% (556112)
 = 667334 ltr/hr = 7,724 ltr/dtk

Maka hasil perhitungan total kebutuhan air harian tiap kelurahan pada tahun 2037 dapat dilihat pada Table 1.

Tabel 1. Total Kebutuhan Air Harian Tiap Kelurahan

No	Nama Kelurahan	Kebutuhan Air	
		ltr/hari	ltr/hari
1	Tenukiik	667,334	667,334
2	Fatubanao	1.252.532	1.252,532
3	Manumutin	1.869.508	1.869,508
4	Kota Atambua	544,488	544,488

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diperoleh kebutuhan air pada tiap kelurahan pada tahun 2037 adalah Kelurahan Tenukiik: 667334 liter/hari atau 7,724 liter/detik, Kelurahan Fatubanao: 1252532 liter/hari atau 14,497 liter/detik. Kelurahan Manumutin: 1869508 liter/hari atau 21,638 liter/detik. Dan Kelurahan Kota Atambua: 544488 liter/hari atau 6,302 liter/detik. Kebutuhan harian maksimum adalah jumlah kebutuhan harian dikalikan dengan koefisien faktor harian maksimum yaitu 1,1, sehingga diambil jumlah kebutuhan air Kelurahan Tenukiik sebagai contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui : Total Kebutuhan Air Kelurahan Tenukiik (Q_r) = 667334 ltr/hari
 Koefisien faktor harian maksimum = 1,1

maka, kebutuhan harian maksimum Kelurahan Tenukiik adalah:

$$667334 \times 1,1 = 734068 \text{ ltr/hari} = 8,496 \text{ ltr/dtk}$$

Hasil perhitungan total kebutuhan harian maksimum tiap kelurahan pada tahun 2037 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Harian Maksimum Tiap Kelurahan

No	Nama Kelurahan	Kebutuhan Harian Maksimum	
		ltr/hari	ltr/dtk
1	Tenukiik	734.068	8,496
2	Fatubanao	1.377.785	15,947
3	Manumutin	2.056.458	23,802
4	Kota Atambua	598.936	6,932

Kebutuhan air bersih pada jam puncak adalah jumlah kebutuhan harian maksimum dikalikan dengan koefisien faktor jam puncak yaitu 1,5. sehingga diambil jumlah kebutuhan air Kelurahan Tenukiik sebagai contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui: Kebutuhan Air Harian Maksimum = 734068 ltr/hari

Koefisien faktor harian maksimum = 1,5

maka, kebutuhan jam puncak Kelurahan Tenukiik adalah:

$$734068 \times 1,5 = 1101102 \text{ ltr/hari} = 12,744 \text{ ltr/dtk}$$

Hasil perhitungan total kebutuhan jam puncak tiap kelurahan pada tahun 2037 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan Air pada Jam Puncak Tiap Kelurahan

No	Nama Kelurahan	Kebutuhann Jam Puncak	
		ltr/hari	ltr/dtk
1	Tenukiik	1.101.102	12,744
2	Fatubanao	2.066.677	23,920
3	Manumutin	3.084.687	35,702
4	Kota Atambua	898.405	10,398

Jumlah Debit mata air dari lokasi sumber air yakni Sumber Lahurus 20 liter/detik yang melayani kebutuhan Kelurahan Tenukiik dan Fatubena, Sumber We Utu 17 liter/detik yang melayani Kelurahan Manumutin, dan Sumber Tirta A dan C adalah 5 dan 11 liter/detik yang melayani Kelurahan Kota Atambua. Hal ini berarti ketersediaan air tidak mencukupi kebutuhan air warga untuk waktu rencana 20 tahun pada Kelurahan Tenukiik, Fatubena dan Manumutin sedangkan untuk Kelurahan Kota Atambua masih dapat terpenuhi.

4.2. Perbandingan Ketersediaan dengan Kebutuhan Air Bersih

Perbandingan kebutuhan dengan ketersediaan air bersih dilakukan dengan membandingkan data debit dari sumber daya air yang tersuplai saat ini dengan debit yang dibutuhkan sampai tahun 2037 sesuai hasil perhitungan. Untuk mencapai pemerataan pemenuhan kebutuhan air bersih disetiap daerah layanan maka dilakukan pembagian pendistribusian air bersih secara bergilir sesuai waktu yang ditentukan. Pembagian pendistribusian air bersih yang bersumber dari sumber Lahurus dijadwalkan bergilir setiap 2 hari sekali untuk daerah layanan selama 24 jam, dimana hari pertama untuk Kelurahan Tenukiik dan hari kedua untuk Kelurahan Fatubena seterusnya bergilir sampai hari-hari berikutnya. Sedangkan pembagian pendistribusian air bersih yang bersumber dari sumber We Utu dijadwalkan bergilir setiap 3 hari sekali untuk daerah layanan selama 24 jam, dimana daerah yang layanani dibagi menjadi 3 daerah layanan yaitu hari pertama untuk Manumutin 1, hari kedua untuk Manumutin 2 dan hari ketiga untuk Manumutin 3 seterusnya bergilir sampai hari-hari berikutnya. Pendistribusian air bersih untuk sumber Lahurus dan We Utu dapat dilihat pada Tabel-tabel berikut ini:

Tabel 4. Jadwal Pendistribusian Air Bersih yang Bersumber dari Sumber Lahurus

Sumber air	Debit sumber air (liter/detik)	Jadwal Pendistribusian	Daerah Layanan	Kebutuhan air harian maksimum (liter/detik)	Total Kebutuhan air harian maksimum (liter/detik)
Lahurus	20	Hari I	Tenukiik	8,496	8,496
		Hari II	Fatubena 1	15,947	15,947
Berulang untuk hari-hari selanjutnya					

Tabel 5. Jadwal Pendistribusian Air Bersih yang Bersumber dari Sumber We Utu

Sumber air	Debit sumber air (liter/detik)	Jadwal Pendistribusian	Daerah Layanan	Kebutuhan air harian maksimum (liter/detik)	Total Kebutuhan air harian maksimum (liter/detik)
We Utu	15	Hari I	Manumutin 1	13,576	13,576
		Hari II	Manumutin 2	10,226	10,226
Berulang untuk hari-hari selanjutnya					

Tabel 6. Jadwal Pendistribusian Air Bersih yang Bersumber dari Sumber Tirta

Sumber air	Debit sumber air (liter/detik)	Jadwal Pendistribusian	Daerah Layanan	Kebutuhan air harian maksimum (liter/detik)	Total Kebutuhan air harian maksimum (liter/detik)
Tirta	16	Hari I	Kota Atambua	6,932	6,932
		Hari II	Kota Atambua	6,932	6,932
Berulang untuk hari-hari selanjutnya					

4.3. Hasil Analisa Sistem Jaringan Perpipaan Air Bersih Kecamatan Kota Atambua dengan Software Epanet 2.0.

Hasil (*output*) software Epanet 2.0. berupa tekanan (*pressure*), debit (*flow*), kecepatan (*Velocity*) dan kehilangan energi (*headloss*). Hasil *run* jaringan pipa Kelurahan Tenukiik (Simulasi 2) dan Kelurahan Fatubena (Simulasi 1) ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8 sesuai hasil run Epanet 2.0

Tabel 7. Nilai *Pressure* Hasil Run Software Epanet 2.0 Kelurahan Tenukiik dan Fatubena

Simulasi 1		Simulasi 2	
Node ID	Pressure (m)	Node ID	Pressure (m)
Junc J1	2,34	Junc J1	2,39
Junc J2	216,03	Junc J2	216,41
Junc J3	118,85	Junc J3	119,39
Junc J4	74,86	Junc J4	75,5
Junc J5	72,03	Junc J5	72,8
Junc J6	52,2	Junc J6	53,14
Junc J7	23,2	Junc J7	23,98
Junc J8	24,43	Junc J8	25,18
Junc J9	38,72	Junc J26	70,43
Junc J10	53,3	Junc J27	77,56
Junc J11	69,24	Junc J28	78,53
Junc J12	55,81	Junc J29	80,52
Junc J13	34,05	Junc J30	85,52
Junc J14	73,7	Junc J31	74,46
Junc J15	31,35	Junc J32	70,45
Junc J16	28,18	Junc J33	72,57
Junc J17	26,12	Junc J34	83,25
Junc J18	30,09	Junc J35	82,27
Junc J19	16,93	Resvr R1	0

<i>Junc J20</i>	20,71	<i>Tank 1</i>	2,2
<i>Junc J21</i>	21,49		
<i>Junc J22</i>	21,48		
<i>Junc J23</i>	9,78		
<i>Junc J24</i>	20,59		
<i>Junc J25</i>	23,05		
<i>Junc J26</i>	71,04		
<i>Resvr R1</i>	0		
<i>Tank 1</i>	2,2		

Tabel 8. Nilai *Flow*, *Velocity* dan *Headloss* Hasil Run Software *Epanet 2.0* Kelurahan Tenukiik dan Fatubena

Simulasi 1				Simulasi 2			
<i>Link ID</i>	<i>Flow (l/s)</i>	<i>Velocity (m/s)</i>	<i>Unit Headloss (m/km)</i>	<i>Link ID</i>	<i>Flow (l/s)</i>	<i>Velocity (m/s)</i>	<i>Unit Headloss (m/km)</i>
<i>Pipe p1</i>	24,23	1,13	8,56	<i>Pipe p1</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p2</i>	24,23	1,13	8,56	<i>Pipe p2</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p3</i>	24,23	1,13	8,56	<i>Pipe p3</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p4</i>	24,23	1,13	8,56	<i>Pipe p4</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p5</i>	24,23	1,13	8,56	<i>Pipe p5</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p6</i>	24,23	1,13	8,56	<i>Pipe p6</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p7</i>	23,66	1,11	8,19	<i>Pipe p7</i>	24,15	1,13	8,51
<i>Pipe p8</i>	19,16	1,08	8,82	<i>Pipe p8</i>	8,5	0,48	1,96
<i>Pipe p9</i>	8,33	0,47	1,9	<i>Pipe p9</i>	8,5	0,48	1,97
<i>Pipe p10</i>	9,96	0,56	2,65	<i>Pipe p27</i>	8,5	0,48	1,98
<i>Pipe p11</i>	3,31	0,19	0,34	<i>Pipe p28</i>	4,7	0,27	0,65
<i>Pipe p12</i>	0,2	0,05	0,08	<i>Pipe p29</i>	2,21	0,13	0,16
<i>Pipe p13</i>	0,95	0,21	1,35	<i>Pipe p30</i>	1,07	0,06	0,04
<i>Pipe p14</i>	0,59	0,3	2,92	<i>Pipe p31</i>	0,14	0,01	0,01
<i>Pipe p15</i>	0,09	0,02	0,02	<i>Pipe p32</i>	2,06	0,47	5,7
<i>Pipe p16</i>	5,03	1,14	29,59	<i>Pipe p33</i>	0,21	0,05	0,08
<i>Pipe p17</i>	0,96	0,49	7,33	<i>Pipe p34</i>	1,35	0,69	13,82
<i>Pipe p18</i>	0,16	0,08	0,27	<i>Pipe p35</i>	0,18	0,09	0,33
<i>Pipe p19</i>	0,23	0,11	0,5	<i>Pipe p36</i>	0,27	0,14	0,68
<i>Pipe p20</i>	3,04	0,69	11,72				
<i>Pipe p21</i>	2,31	0,52	6,99				
<i>Pipe p22</i>	1,63	0,37	3,69				
<i>Pipe p23</i>	0,15	0,03	0,04				
<i>Pipe p24</i>	0,25	0,13	0,61				
<i>Pipe p25</i>	0,3	0,15	0,85				
<i>Pipe p26</i>	0,87	0,44	6,17				
<i>Pipe p27</i>	3,79	0,21	0,44				

Berdasarkan Tabel-tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai tekanan terbesar adalah *junction 2* sebesar 216,41 m pada simulasi ke 2 dan nilai tekanan terkecil adalah *junction 1* sebesar 2,34 m pada simulasi ke 1. Nilai kecepatan (*velocity*) tertinggi terdapat pada simulasi 1 sebesar 1,14 m/s dan nilai kecepatan terendah pada simulasi 2 sebesar 0,01 m/s. Nilai debit (*flow*) terbesar 24,23 l/s dan debit terkecil 0,09 l/s. Nilai kehilangan energi tertinggi sebesar 29,59 m/km dan kehilangan energi terendah sebesar 0,00 m/km.

Jaringan Kelurahan Manumutin dibagi menjadi dua simulasi yaitu Manumuitn 1 (Simulasi 1) dan Manumutin 2 (Simulasi 2) Hasil *run* Jaringan Kelurahan Manumutin ditampilkan pada Tabel 9 dan 10 sesuai hasil run *Epanet 2.0*

Tabel 9 Tabel 4.92 Nilai *Pressure* Hasil *Run Software Epanet 2.0* Kelurahan Manumutin

Simulasi 1		Simulasi 2	
Node ID	Pressure (m)	Node ID	Pressure (m)
Junc J1	18,38	Junc J1	18,96
Junc J2	22,33	Junc J2	22,68
Junc J3	20,71	Junc J3	20,54
Junc J4	2,12	Junc J4	21,32
Junc J5	2,64	Junc J5	20,73
Junc J6	5,11	Junc J16	20,15
Junc J7	24,77	Junc J17	20,79
Junc J8	24,91	Junc J18	3,98
Junc J9	21,65	Junc J19	3,19
Junc J10	18,44	Junc J21	22,08
Junc J11	21,43	Junc J22	17,4
Junc J12	21,21	Junc J23	19,12
Junc J13	20,2	Junc J24	10,21
Junc J14	18,99	Junc J25	6,45
Junc J15	21,65	Resvr R1	0
Junc J20	25,61	Tank T1	1,8
Resvr R1	0		
Tank T1	1,8		

Tabel 10. Nilai *Flow*, *Velocity* dan *Headloss* Hasil *Run Software Epanet 2.0* Kelurahan Manumutin

Simulasi 1				Simulasi 2			
Link ID	Flow (l/s)	Velocity (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Link ID	Flow (l/s)	Velocity (m/s)	Unit Headloss (m/km)
Pipe p1	6,9	0,22	0,33	Pipe p1	6,9	0,22	0,33
Pipe p2	13,58	0,43	1,15	Pipe p2	10,23	0,33	0,68
Pipe p3	9,2	0,52	2,28	Pipe p3	10,23	0,58	2,78
Pipe p4	7,37	0,42	1,52	Pipe p4	10,23	0,58	2,78
Pipe p5	4,96	0,28	0,75	Pipe p5	10,23	0,58	2,89
Pipe p6	1,99	0,11	0,13	Pipe p6	10,23	0,58	2,8
Pipe p11	2,6	1,33	46,29	Pipe p7	10,23	0,58	2,8
Pipe p12	0,53	0,27	2,41	Pipe p8	8,44	0,48	1,97
Pipe p13	0,35	0,18	0,02	Pipe p9	5,79	1,31	38,47
Pipe p14	0,32	0,16	0,97	Pipe p10	2,31	0,52	7,00
Pipe p15	0,28	0,14	0,73	Pipe p16	0,69	0,09	0,14
Pipe p21	2,72	0,35	1,74	Pipe p17	1,67	0,38	3,83
Pipe p22	0,35	0,04	0,04	Pipe p18	0,42	0,1	0,3
Pipe p23	1,02	0,13	0,28	Pipe p19	0,23	0,12	0,54
Pipe p24	0,26	0,03	0,02	Pipe p20	0,32	0,16	0,97
Pipe p25	0,37	0,19	1,24				
Pipe p26	0,19	0,02	0,01				

Berdasarkan Tabel-tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai tekanan terbesar adalah *junction* 20 sebesar 25,61 m pada simulasi ke 1 dan nilai tekanan terkecil adalah *junction* 4 sebesar 2,12 m pada simulasi ke 1. Nilai kecepatan (*velocity*) tertinggi terdapat pada simulasi 1 sebesar 1,33 m/s dan nilai kecepatan terendah pada simulasi 1 sebesar 0,02 m/s. Nilai debit (*flow*) terbesar 13,58 l/s dan debit terkecil 0,19 l/s. Nilai kehilangan energi tertinggi sebesar 46,29 m/km dan kehilangan energi terendah sebesar 0,01 m/km.

Hasil *run* Jaringan Kelurahan Kota Atambua ditampilkan pada Tabel 11 dan Tabel 12 sesuai hasil run *Epanet 2.0* pada

Tabel 11. Nilai *Pressure* Hasil Run Software *Epanet 2.0* Kelurahan Kota Atambua

<i>Node ID</i>	<i>Pressure (m)</i>
<i>Junc J1</i>	7,96
<i>Junc J2</i>	20,00
<i>Junc J3</i>	25,99
<i>Junc J4</i>	35,98
<i>Junc J5</i>	42,97
<i>Junc J6</i>	40,97
<i>Junc J7</i>	16,27
<i>Junc J8</i>	28,75
<i>Junc J9</i>	21,92
<i>Junc J10</i>	24,80
<i>Junc J11</i>	36,70
<i>Junc J12</i>	43,70
<i>Junc J13</i>	37,92
<i>Junc J14</i>	33,99
<i>Junc J15</i>	35,59
<i>Junc J16</i>	36,50
<i>Junc J17</i>	35,87
<i>Junc J18</i>	38,76
<i>Junc J19</i>	38,47
<i>Junc J20</i>	40,46
<i>Junc J21</i>	33,44
<i>Junc J22</i>	30,69
<i>Junc J23</i>	36,49
<i>Junc J24</i>	41,87
<i>Junc J25</i>	43,97

Tabel 12. Nilai *Flow*, *Velocity* dan *Headloss* Hasil Run Software *Epanet 2.0* Kelurahan Kota Atambua

<i>Link ID</i>	<i>Flow (l/s)</i>	<i>Velocity (m/s)</i>	<i>Unit Headloss (m/km)</i>
<i>Pipe p1</i>	6,94	0,22	0,34
<i>Pipe p2</i>	0,93	0,03	0,01
<i>Pipe p3</i>	0,93	0,03	0,01
<i>Pipe p4</i>	0,91	0,03	0,01
<i>Pipe p5</i>	0,58	0,02	0,00
<i>Pipe p6</i>	6,00	0,34	1,03
<i>Pipe p7</i>	5,87	0,33	0,99
<i>Pipe p8</i>	5,70	0,32	0,94
<i>Pipe p9</i>	4,81	0,27	0,70
<i>Pipe p10</i>	4,26	0,24	0,56
<i>Pipe p11</i>	0,32	0,02	0,00
<i>Pipe p12</i>	0,39	0,02	0,01
<i>Pipe p13</i>	0,17	0,09	0,31
<i>Pipe p14</i>	0,52	0,12	0,45
<i>Pipe p15</i>	1,27	0,29	2,32
<i>Pipe p16</i>	1,97	0,45	5,25
<i>Pipe p17</i>	3,70	0,84	17,72
<i>Pipe p18</i>	1,54	0,35	3,31
<i>Pipe p19</i>	1,15	0,26	1,91
<i>Pipe p20</i>	0,64	0,33	3,49
<i>Pipe p21</i>	0,07	0,04	0,06
<i>Pipe p22</i>	0,13	0,07	0,18
<i>Pipe p23</i>	0,07	0,02	0,01
<i>Pipe p24</i>	0,07	0,02	0,01
<i>Pipe p25</i>	0,06	0,01	0,00
<i>Valve v1</i>	0,93	0,03	5,96

Berdasarkan tabel-tabel diatas, dapat dilihat bahwa nilai tekanan terbesar 43,97 m yaitu pada *junction* 25 dan nilai tekanan terendah sebesar 7,96 m pada *junction* 1. Nilai kecepatan (*velocity*) tertinggi terdapat sebesar 0,84 m/s dan nilai kecepatan terendah sebesar 0,01 m/s. Nilai debit (*flow*) terbesar 6,94 l/s dan debit terkecil 0,06 l/s. Nilai kehilangan energi tertinggi sebesar 17,72 m/km dan kehilangan energi terendah sebesar 0,00 m/km.

Simulasi hidrolis yang dilakukan dengan *software Epanet 2.0* terhadap jaringan perpipaan air bersih menunjukkan simulasi pertama dan kedua jaringan untuk Kelurahan Tenukiik dan Fatubena adalah debit terbesar 24,23 liter/detik pada simulasi pertama dan debit terkecil sebesar 0,09 liter/detik pada simulasi pertama. Untuk simulasi pertama dan kedua jaringan Kelurahan Manumutin adalah debit terbesar 13,58 liter/detik pada simulai pertama dan debit terkecil sebesar 0,19 liter/detik pada simulasi pertama, dan untuk Kelurahan Kota Atambua adalah debit terbesar 6,94 liter/detik dan debit terkecil sebesar 0,06 liter/detik. Tekanan tertinggi pada Kelurahan tenukiik dan Fatubena pada *junction* 2 sebesar 216,41 m pada simulasi kedua sedangkan tekanan terendah terdapat pada *junction* 1 sebesar 2,36 m pada simulai pertama, Kelurahan Manumutin pada *junction* 20 sebesar 25,61 m pada simulasi kedua sedangkan tekanan terendah terdapat pada *junction* 4 sebesar 2,12 m pada simulasi pertama, dan pada Kelurahan Kota Atambua pada *junction* 25 sebesar 43,97 m sedangkan tekanan terendah terdapat pada *junction* 1 sebesar 7,96 m. Tinggi tekanan yang besar disebabkan oleh perbedaan elevasi yang cukup besar. Nilai kecepatan tertinggi pada Kelurahan tenukiik dan Fatubena adalah sebesar 1,14 m/s pada simulasi pertama sedangkan kecepatan terendah sebesar 0,01 m/s pada simulai kedua, kecepatan tertinggi pada Kelurahan Manumutin sebesar 1,33 m/s pada simulasi pertama sedangkan kecepatan terendah sebesar 0,02 m/s pada simulasi kedua, dan kecepatan tertinggi pada Kelurahan Kota Atambua sebesar 0,84 m/s sedangkan kecepatan terendah sebesar 0,00 m/s. Berdasarkan syarat kriteria perencanaan menurut PERMEN PUPR no.27/ PRT/ M/ 2016 yaitu tekanan minimum adalah 10 m dan kecepatan minimum 0,3 m/s dan kecepatan maksimum 3 m/s maka hasil run Epanet 2.0 untuk 20 tahun mendatang tidak sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Nilai kehilangan energi terbesar untuk Kelurahan Tenukiik dan Fatubena sebesar 29,59 m/km, untuk Kelurahan Manumutin sebesar 46,29 m/km, dan untuk Kelurahan Kota Atambua sebesar 17,72 m/km . Nilai kehilangan energi sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran dan diameter pipa yang digunakan. Semakin besar kecepatan aliran air, semakin besar juga kehilangan energi yang dihasilkan

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa Jumlah penduduk masing-masing kelurahan adalah Kelurahan Tenukiik 7911 jiwa, Kelurahan Fatubena 12606 jiwa, Kelurahan Manumutin 16637 jiwa dan Kelurahan Kota Atambua 3562 Jiwa. Kebutuhan air yang dibutuhkan masing-masing kelurahan pada tahun 2037 yaitu Kelurahan Tenukiik dan Kelurahan Fatubena adalah 7,724 liter/detik dan 14,496 liter/detik. Untuk Kelurahan Manumutin adalah 21,420 liter/detik, sedangkan Kelurahan Kota Atambua adalah 6,177 liter/detik. Ketersediaan air yang ada tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air warga untuk waktu rencana 20 tahun pada Kelurahan Tenukiik, Fatubena dan Manumutin sedangkan untuk Kelurahan Kota Atambua masih dapat terpenuhi hingga tahun 2037.

Hasil analisis simulasi jaringan dengan *Software Epanet 2.0* menyatakan bahwa semua jaringan mendapatkan hasil sukses namun masih terdapat beberapa parameter hidrolis pada node dan link yang nilainya belum memenuhi syarat. Hasil *run epanet* tekanan air dan kecepatan air berdasarkan syarat kriteria perencanaan menurut PERMEN PUPR no.27/ PRT/ M/ 2016 yaitu tekanan minimum adalah 10 m dan kecepatan minimum 0,3 m/s dan kecepatan maksimum 3 m/s maka hasil run Epanet 2.0 untuk 20 tahun mendatang tidak sesuai dengan kriteria syarat perencanaan pipa.

Nilai kehilangan energi untuk jaringan Kelurahan Tenukiik dan Fatubena pada simulasi 1 sebesar 29,59 m/km dan simulasi 2 sebesar 13,82 m/km, untuk jaringan kelurahan Manumutin pada simulasi 1 sebesar 46,29 m/km dan simulasi 2 sebesar 38,47 m/km, dan untuk jaringan Kelurahan Kota Atambua sebesar 17,72 m/km. Nilai kehilangan energi sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran dan diameter pipa yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Belu. 2018-2019. *Kabupaten Belu dalam Angka dalam Angka*. Belu: BPS Kabupaten Belu, Belu.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2016. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor : 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Ditjen Cipta Karya. 2016. *Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas Pekerjaan Umum*. Dinas Pembangunan Umum, Jakarta
- Ditjen Cipta Karya. 1996. *Panduan Pendamping Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Perpipaan Berbasis Masyarakat*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Dwijosaputro, 1981. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan, Jakarta.
- Furqon. 2008. *Statistika Terapan Untuk Penelitian*. Djatnika, Bandung.
- Laleb, Fenny L. 2018. “Analisis Atas Jaringan Perpipaan Kelurahan Kolhua Kota Kupang”. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Luan, A. T. 2019. “Perbandingan Nilai debit Hasil Software Epanet 2.0 Dengan Metode Hardy Cross Pada Perencanaan Jaringan Perpipaan Air Bersih (Studi Kasus Jaringan Perpipaan Air Bersih Desa Camplong II Kabupaten Kupang)”. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Nugroho, S. dkk. 2014. “Analisa Jaringan Perpipaan Air Bersih Menggunakan Epanet 2.0 (Studi Kasus Di Kelurahan Harapan Baru, Kota Samarinda)”. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Universitas Mulawarman, Samarinda.
- Triatmodjo, B. 1993. *Hidrolika II*. Beta Offset, Yogyakarta

Hubungan Elemen Arus lalu lintas Dengan Metode Underwood, Greenberg dan Greenshield, Di Jalan Timor Raya Kota Kupang

The Relationship of traffic flow elements With Underwood, Greenberg and Greeshield Methodson on Timor Raya Road In Kupang City

Andi Kumalawati¹, Yuliana A. Pisinsu, Andi Kumalawati², Elsy E. Hange³, Hidayat Rizal^{4*})

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Abstrak

Article Info :

Kata kunci:

Elemen, Arus Lalu Lintas, Underwood dan Greenshield, Jalan Timor Raya

Keywords:

Elements, Traffic Flow, Timor Raya Road

Article history :

Received: 13-07-2022

Accepted: 30-09-2022

^{*}Koresponden email:

kumalawatirizal@gmail.com

Jalan Timor Raya merupakan jalan yang sering mengalami masalah lalu lintas, Hal ini disebabkan karena meningkatnya volume kendaraan setiap tahunnya. Dari hasil analisis data menunjukkan bahwa pada titik pengamatan 1 model hubungan V-S-D adalah model *Greenshield* dengan $R^2 = 0,9257$, $Sd = 0,3822$ dengan persamaan $Q = 0,0573.D - 19,374$. Pada titik pengamatan 2 model hubungan V-S-D yang sesuai adalah model *Underwood* dengan $R^2 = 0,9662$, $Sd = 0,4707$ dengan persamaan $Q = 15,364 e^{0,001.D}$. Pada titik pengamatan 3 model hubungan V-S-D yang sesuai adalah model *Greenshield* dengan $R^2 = 0,9732$, $Sd = 0,4377$ dengan persamaan $Q = 0,0499.D - 9,2086$. Pada titik pengamatan 4 model hubungan V-S-D yang sesuai adalah model *Underwood* dengan $R^2 = 0,9826$, $Sd = 0,4354$ dengan persamaan $Q = 14,861 e^{0,001.D}$. Nilai tingkat pelayanan jalan pada ke empat titik adalah C. Dimana kondisi arus lalu lintas masih dalam batas stabil.

Abstract

Timor Raya road is a often experiences traffic problems. This is due to the increasing volume of vehicles every year. From the result of data analysis, it shows that a the observation poin 1 the V-S-D relationship model that is suitable is the Greenshield model with $R^2 = 0.9257$, $Sd = 0.3822$ with the equation $Q = 0.0573. D - 19,374$. At observation point 2, the V-S-D relationship model that is suitable is the Underwood mode with $R^2 = 0,9662$, $Sd = 0.4707$ with the equation $Q = 15.364. At observation poin 3 the V-S-D relationship model that is suitable is the Greenshield model with $R^2 = 0.9732$, $Sd = 0.4377$ with the equation $Q = 0.0499.D - 9.2086$. At the observation poin 4 the V-S-D relationship model that is suitable is the Underwood model with $R^2 = 0.9826$, $Sd = 0.4354$ with the equation $Q = 14.861 e^{0,001.D}$. The value of the road service level at the four points is C. Where traffic flow conditions are still.$

Kutipan:

Copy Right to J-ForTeks

DOI :

1. Pendahuluan

Meningkatnya aktifitas pada jalan perkotaan maupun jalan luar kota yang diakibatkan bertambahnya kepemilikan kendaraan, terbatasnya sumberdaya untuk pembangunan jalan raya, dan belum optimalnya pengoperasian fasilitas lalu lintas yang ada, merupakan persoalan utama yang sering terjadi di kota besar. Masalah transportasi perkotaan saat ini sudah merupakan masalah utama yang sulit di pecahkan di kota-kota besar, dan masalah transportasi ini juga terjadi di kota Kupang, Nusa Tenggara Timur.

Kota Kupang merupakan Ibukota Provinsi Nusa Tenggara Timur yang memiliki 51 Desa/Kelurahan yang terbagi dalam 6 (enam) kecamatan dengan jumlah penduduk pada tahun 2019 mencapai 423.800 jiwa yang terdiri dari 216.796 jiwa laki-laki dan 207.004 jiwa perempuan dan kepadatannya mencapai 2.350,92 jiwa/ km² dengan kepadatan penduduk tertinggi adalah kepadatan penduduk di Kecamatan Kota Lama yaitu mencapai 10.887,89 jiwa/km² (Data Badan Pusat Statistik NTT, 2019).

Jalan Timor Raya Kota Kupang merupakan jalan yang cukup ramai lalu lintasnya karena kawasan ini dilalui oleh berbagai jenis kendaraan mulai dari sepeda motor, kendaraan pribadi, kendaraan umum maupun kendaraan angkutan berat. Tahun 2018 jumlah kendaraan bermotor terdaftar pada Samsat kota Kupang meningkat menjadi 183.989 unit, jumlah mobil penumpang 14.565 unit, jumlah truk 6.766 unit. Sehingga menyebabkan volume kendaraan meningkat, yang berdampak pada menurunnya kinerja jalan akibat pergerakan lalu lintas melebihi kapasitas ruas jalan yang ada.

Hubungan antara kecepatan dan volume lalu lintas secara mendasar dapat dinyatakan sebagai berikut: apabila arus lalu lintas pada suatu ruas jalan bertambah maka kecepatan pada ruas jalan tersebut akan berkurang. Dengan menggunakan hubungan antara kecepatan dengan volume lalu lintas, maka dapat diketahui peningkatan arus dan hasil kecepatan kendaraan pada ruas jalan tertentu sampai terjadinya kemacetan pada jalur tersebut. Hubungan kecepatan dengan volume lalu lintas tersebut dapat dipakai sebagai dasar dalam penerapan 'Manajemen Lalu lintas' (Andi Kumalawati at all, 2021)

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis elemen arus lalu lintas dan tingkat pelayanan jalan sebagai bahan pertimbangan dan pendukung dalam peningkatan kapasitas di Jalan Timor Raya dan juga untuk memberikan tolak ukur serta pengetahuan kepada instansi terkait agar memperhatikan kinerja dan tingkat pelayanan jalan terhadap pemakai jalan sehingga di harapkan bisa menjadi referensi untuk penanganan yang diperlukan kedepan.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mencari pokok-pokok permasalahan yang terjadi pada Jalan Timor Raya Kota Kupang. Setelah pokok-pokok permasalahan tersebut didapat maka permasalahan-permasalahan tersebut akan menjadi obyek utama yang akan di cari solusinya dalam penelitian ini. Setelah itu dilakukan survei lalu lintas selama 7 (tujuh) hari dari hari Senin sampai Minggu untuk menghitung volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada Jalan Timor Raya Kota Kupang dan mengacu pada (Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI), 2014) sebagai pedoman dalam perhitungan ini. Volume dan Kecepatan lalu lintas ini dianalisis dengan 3 (tiga) metode yakni metode *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*. Didapat dengan terlebih dahulu mencari hubungan matematis antara para meter volume dan

kecepatan serta koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi dan nilai standar deviasi terkecil, (Ali, 2006).

2.1. Hubungan Elemen Arus Lalu Lintas

2.1.1 Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melintas suatu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit).

Tingkat arus (*rate flow*) adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik dalam waktu kurang dari 1 (satu) jam, tetapi di ekuivalenkan ke tingkat rata-rata per jam (Khisty dan Lall, 2003)

Untuk mencari arus lalu lintas total dalam skr/jam adalah :

$$Q = \{(ekrKR \times KR) + (ekrKB \times KB) + (ekrSM \times SM)\} \quad (1)$$

Keterangan :

Q	: Jumlah arus kendaraan dalam (Skr)
Ekr KR	: Ekuivalen kendaraan ringan
KR	: Kendaraan ringan
Ekr KB	: Ekuivalen kendaraan berat
KB	: Kendaraan berat
Ekr SM	: Ekuivalen kendaraan sepeda motor
SM	: Sepeda motor

2.1.2 Kecepatan lalu lintas

Kecepatan lalu lintas kendaraan didefinisikan sebagai perbandingan antara jarak yang ditempuh dengan waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut. Hubungan Kecepatan Dan Kerapatan Digambarkan Sebagai Suatu Garis Lurus Atau Fungsi Linear Sedangkan Hubungan Volume Dan Kerapatan Digambarkan Sebagai Garis Lengkung Atau Fungsi Parabola (Rulhendri 2007). (V), kecepatan (S), dan kepadatan (D) diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) dengan menggunakan model *Greenshield*. (Greyti S.J.Timpal, at all 2018).

$$V = \frac{S}{T} \quad (2)$$

Keterangan :

V	: Kecepatan perjalanan (m/s)
S	: Jarak perjalanan (m)
T	: Waktu perjalanan (s)

2.1.3 Kepadatan lalu lintas

Kepadatan adalah jumlah kendaraan yang menempati panjang jalan yang diamati, dibagi panjang jalan yang diamati tersebut.

Ke Tiga Model menunjukkan bahwa nilai kecepatan arus bebas,kepadatan, kecepatan optimum,dan arus maksimum tiap kelas persentase sepeda motor, terdapat perbedaan,yang menunjukkan adanya pengaruh persentase sepeda motor terhadap karakteristik lalulintas campuran, Rahmat Sadili, 2011.

$$D = \frac{V}{US} \quad (3)$$

Keterangan :

- D : Kepadatan lalu lintas (kend/km)
- V : Volume lalu lintas (kend/jam)
- US : Kecepatan kendaraan (km/jam)

2.2. Model hubungan elemen arus lalu lintas

Dalam analisis data ini model yang digunakan adalah model *Greenshield*, *Greenberg* dan *Underwood*. Model *Greenshield* adalah model yang mengasumsikan hubungan antara kecepatan dan kepadatan berbentuk linear. Model *Greenberg* mengasumsikan hubungan antara kecepatan, volume dan kepadatan berbentuk logaritme. Sedangkan model *Underwood* mengasumsikan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan merupakan hubungan eksponensial (Julianto, 2010).

Menurut Ririn Gamran at all 2015 dan Suryawan at all 2015 Berdasarkan Perhitungan dari ketiga Model *Greenshield*, Model *Greenberg*, Model *Underwood*, berdasarkan nilai PKJI 2014 Model *Greenberg* Merupakan Model Yang Paling Mendekati Nilai Kapasitas

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hubungan Elemen Arus Lalu Lintas

Hubungan elemen arus lalu lintas yang diperoleh pada ruas jalan Timor Raya adalah sebagai berikut :

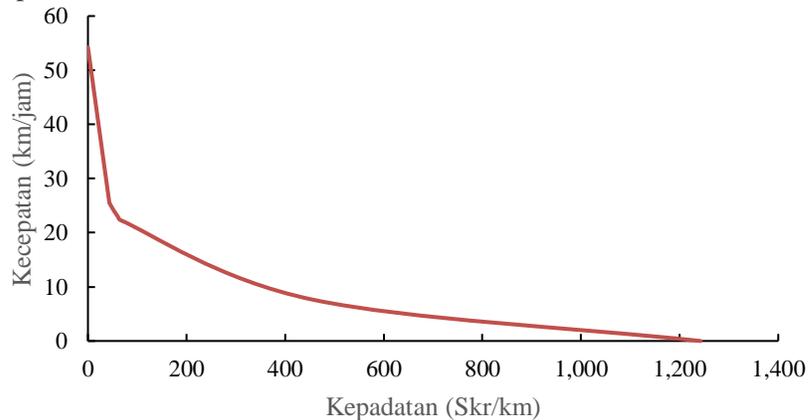
1. Volume lalu lintas yang paling maksimum pada titik 1 terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 1672,35 skr/jam, sedangkan untuk volume lalu lintas minimumnya terjadi pada hari minggu pukul 07.00-08.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 1007,50 skr/jam. Pada titik 2 volume lalu lintas maksimum terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 1628,45 skr/jam, sedangkan untuk volume lalu lintas minimumnya terjadi pada hari Jumat pukul 07.00-08.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 944,05 skr/jam. Pada titik 3 volume lalu lintas maksimum terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 1706,95 skr/jam, sedangkan untuk volume lalu lintas minimumnya terjadi pada hari Rabu pukul 08.00-09.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 877,80 skr/jam. Pada titik 4 volume lalu lintas maksimum terjadi pada hari Minggu pukul 19.00-20.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 1591,30 skr/jam, sedangkan untuk volume lalu lintas minimumnya terjadi pada hari Selasa pukul 07.00-08.00 dengan jumlah volume lalu lintasnya 842,50 skr/jam.
2. Kecepatan yang paling maksimum pada titik 1 terjadi pada hari Minggu pukul 07.00-08.00 dengan kecepatan rata-rata 28,56 km/jam, sedangkan untuk kecepatan sesaat kendaraan minimum terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan kecepatan tempuh 20,21 km/jam. Pada titik 2 kecepatan maksimum terjadi pada hari Jumat pukul 07.00-08.00 dengan kecepatan rata-rata 27,10 km/jam, sedangkan untuk kecepatan minimum terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan kecepatan rata-rata 19,24 km/jam. Pada titik 3 kecepatan maksimum terjadi pada hari Rabu pukul 08.00-09.00 dengan kecepatan tempuh 27,80 km/jam, sedangkan untuk kecepatan minimum terjadi pada hari Minggu pukul 19.00-20.00 dengan kecepatan tempuh 20,07 km/jam.
3. Kepadatan yang paling tinggi pada titik 1 terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan nilai kepadatannya 82,76 skr/km dan kepadatan paling rendah terjadi pada hari Minggu pukul 07.00-08.00 sebesar 35,28 skr/km. pada titik 2 kepadatan yang paling tinggi terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan nilai kepadatannya 84,63 skr/km dan kepadatan yang paling minimum terjadi pada hari jumat pukul 07.00-08.00 dengan nilai kepadatannya 34,83 skr/km. pada titik 3 kepadatan yang paling tinggi terjadi pada hari Sabtu pukul 19.00-20.00 dengan nilai kepadatannya 79,09 skr/km dan kepadatan yang paling minimum terjadi

pada hari Rabu pukul 08.00-09.00 dengan nilai kepadatannya 31,58 skr/km. Pada titik 4 kepadatan yang paling maksimum terjadi pada hari Minggu pukul 19.00-20.00 dengan nilai kepadatannya 79,28 skr/km dan kepadatan yang paling minimum terjadi pada hari Selasa pukul 07.00-08.00 dengan nilai kepadatannya 29,81 skr/km.

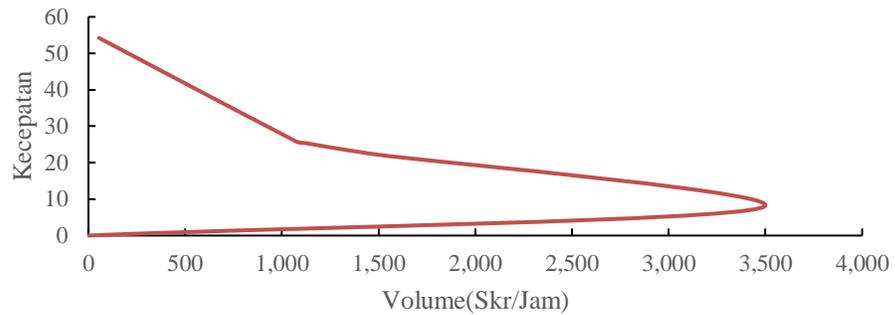
4. Model terbaik pada titik 1 untuk hubungan kecepatan dan kepadatan berdasarkan nilai r^2 terbesar dan standar deviasi terkecil yaitu model Greenberg dengan nilai $R^2= 0,7257$ dan $Sd=0,9406$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model Greenberg dengan $R= 0,4576$ dan $Sd= 0,7508$, untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model Greenshield dengan nilai $R=0,9257$ dan $Sd= 0,3822$. Pada titik 2 model terbaik untuk hubungan kecepatan dan kepadatan berdasarkan nilai R^2 terbesar dan Sd terkecil yaitu model Underwood dengan nilai $R^2= 0,7154$ dan $Sd= 0,8562$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model Underwood dengan nilai $R^2=0,5407$ dan $Sd= 0,7493$ dan untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model Underwood dengan $R^2=0,9662$ dan $Sd= 0,4707$. Pada titik 3 model terbaik untuk hubungan kecepatan dan kepadatan berdasarkan nilai R^2 terbesar dan standar deviasi terkecil yaitu model Greenberg dengan nilai $R^2=0,6776$ dan $Sd=0,7175$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model Greenberg dengan $R^2=0,5324$ dan $Sd=0,6244$, untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model Greenshield dengan $R^2=0,9732$ dan $Sd=0,4377$. Pada titik 4 model terbaik untuk hubungan kecepatan dan kepadatan berdasarkan nilai R^2 terbesar dan Sd terkecil adalah model Underwood dengan nilai $R^2=0,7787$ dan $Sd=0,7304$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model Underwood dengan $R^2=0,6694$ dan $Sd=0,6824$. Sedangkan untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model Underwood dengan nilai $R^2=0,9826$ dan $Sd=0,4354$.

3.2 Pemilihan Model Yang Sesuai

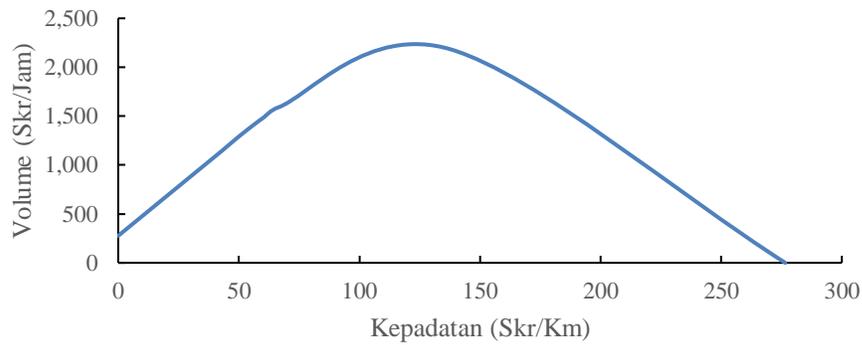
1. Model terpilih titik 1



Gambar 1. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Kepadatan Titik 1 Dengan Model *Greenberg*



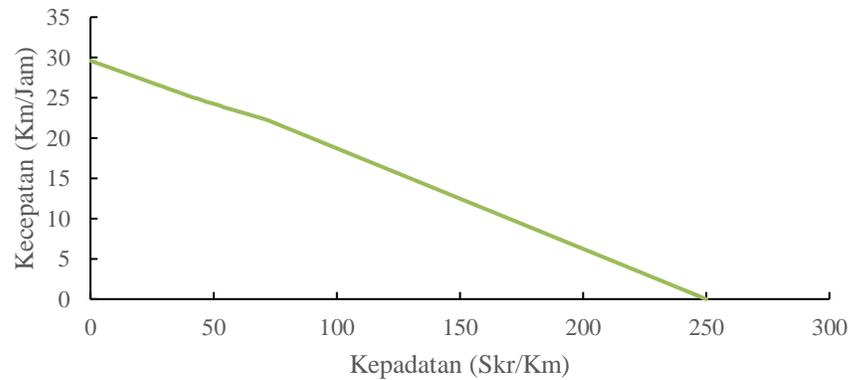
Gambar 2. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Volume Titik 1 Dengan Model *Greenberg*



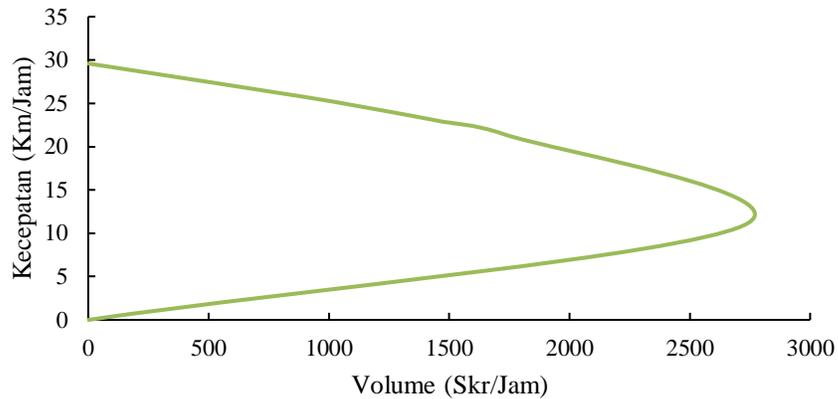
Gambar 3. Grafik Hubungan Volume Dan Kepadatan Titik 1 Dengan Model *Greenshield*

Untuk titik pengamatan 1, model *Greenberg* merupakan model terbaik untuk dua jenis hubungan yakni kecepatan dan kepadatan, kecepatan dan volume. Untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model *Greenshield*

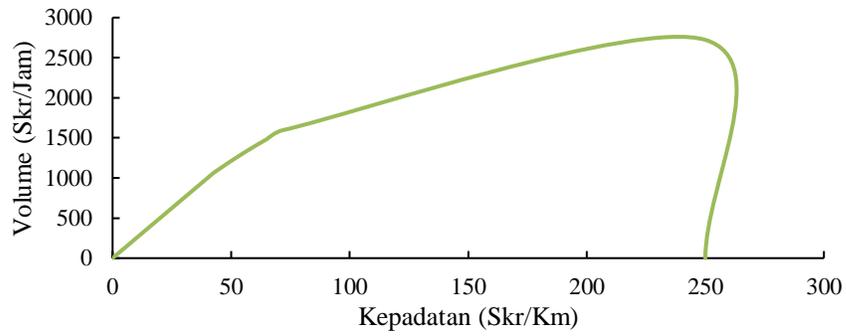
2. Model terpilih titik 2



Gambar 4. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Kepadatan Titik 2 Dengan Model *Underwood*



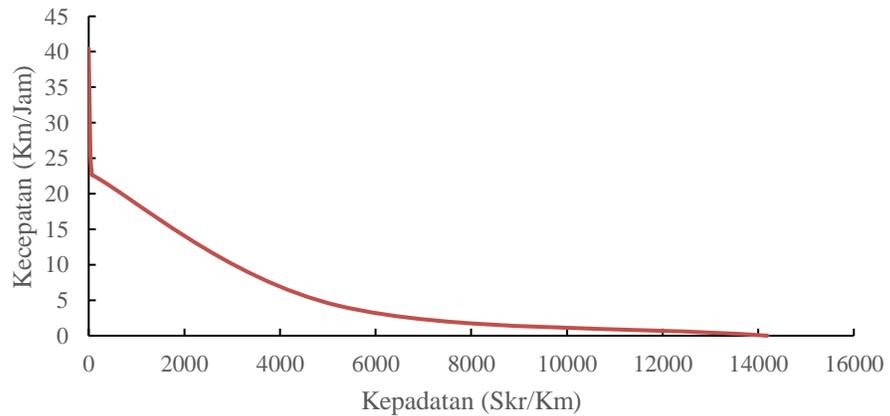
Gambar 5. Grafik Hubungan Volume Dan Kecepatan Titik 2 Dengan Model *Underwood*



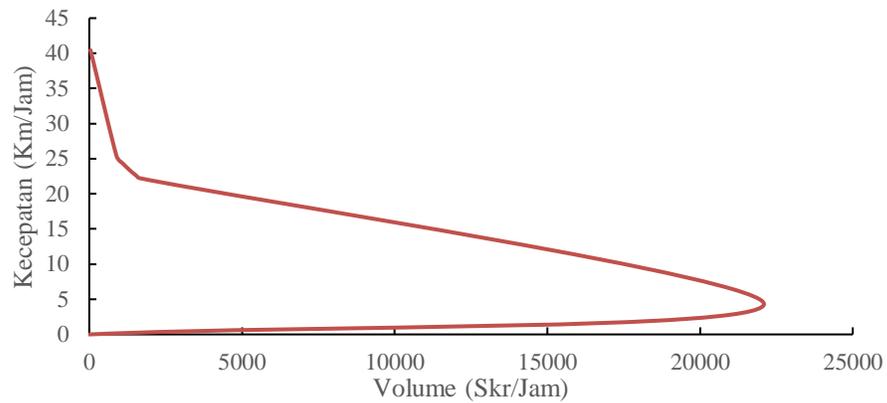
Gambar 6. Grafik Hubungan Volume Dan Kecepatan Titik 2 Dengan Model *Underwood*

Untuk titik pengamatan 2, model *Underwood* merupakan model terbaik untuk tiga hubungan, hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) terbesar dan standar deviasi terkecil (sd).

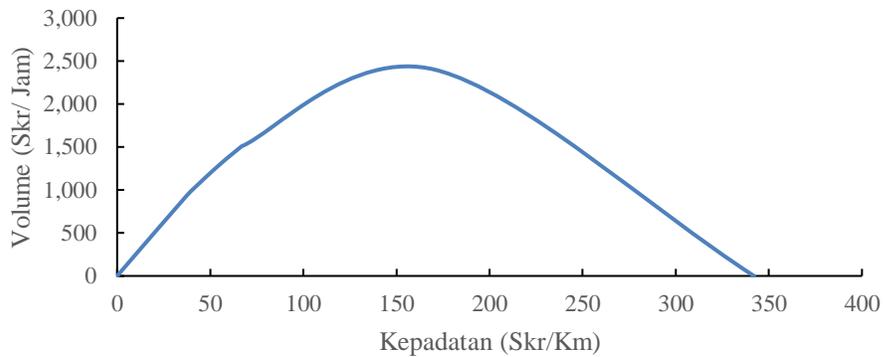
3. Model terpilih titik 3



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Kecepatan Titik 3 Dengan Model *Greenberg*



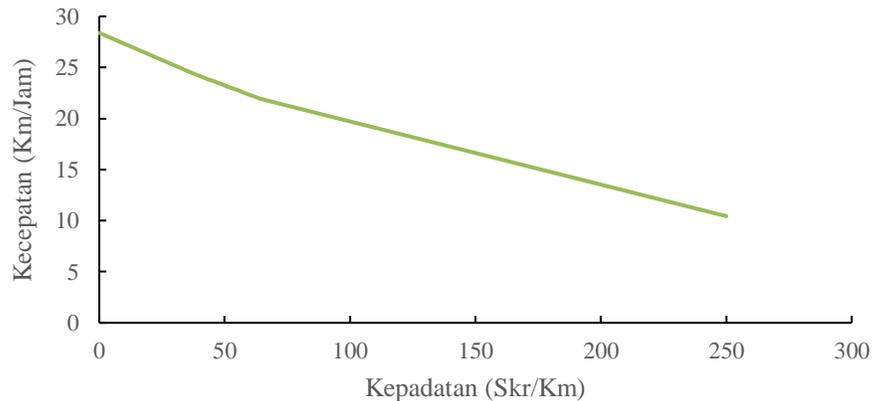
Gambar 8. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Volume Titik 3 Dengan Model *Greenberg*



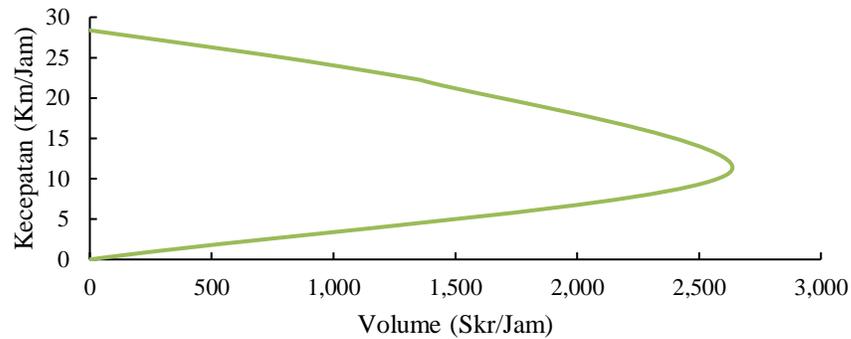
Gambar 9. Grafik Hubungan Volume Dan Kepadatan Titik 3 Dengan Model *Greenshield*

Untuk titik pengamatan 3, model *Greenberg* merupakan model terbaik untuk dua jenis hubungan yakni kecepatan dan kepadatan, kecepatan dan volume. Untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model *Greenshield*, hal ini dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) terbesar dan standar deviasi terkecil (sd).

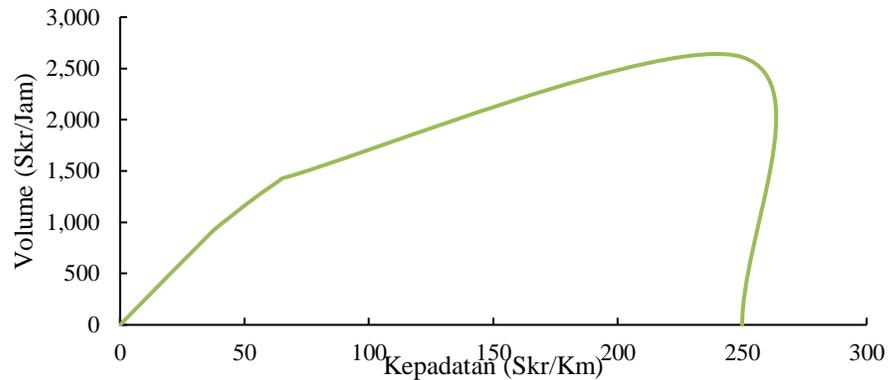
4. Model terpilih titik 4



Gambar 10. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Kepadatan Titik 4 Dengan Model *Underwood*



Gambar 11. Grafik Hubungan Kecepatan Dan Volume Titik 4 Dengan Model *Underwood*



Gambar 12. Grafik Hubungan Volume Dan Kepadatan Titik 4 Dengan Model *Underwood*

Untuk titik pengamatan 4, model *underwood* merupakan model terbaik untuk tiga jenis hubungan, hal ini dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) terbesar dan standar deviasi terkecil (sd).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis hubungan elemen arus lalu lintas, pada titik 1 untuk hubungan kecepatan dan kepadatan berdasarkan nilai r^2 terbesar dan standar deviasi terkecil yaitu model *Greenberg* dengan nilai $r^2=0,7257$ dan $sd=0,9406$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model *Greenberg* dengan nilai $r^2=0,4576$ dan $sd=0,7508$. Untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model *Greenshield* dengan nilai $r^2=0,9257$ dan $sd=0,3822$. Pada titik 2 hubungan kecepatan dan kepadatan model terbaik adalah model *Greenberg* dengan nilai $r^2=0,7538$ dan $sd=0,6925$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model *Underwood* dengan nilai $r^2=0,6484$ dan $sd=0,4995$. Untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model *Greenshield* dengan nilai $r^2=0,982$ dan $sd=0,4578$. Pada titik 3 untuk hubungan kecepatan dan kepadatan, model terbaik adalah model *Greenberg* dengan nilai $r^2=0,677$ dan $sd=0,7188$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model *Greenberg* dengan nilai $r^2=0,5325$ dan $sd=0,6245$. Untuk hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model *Greenshield* dengan nilai $r^2=0,9733$ dan $sd=0,4377$. Pada titik 4 untuk hubungan kecepatan dan kepadatan terbaik adalah model *Underwood* dengan nilai $r^2=0,7837$ dan $sd=0,7330$. Untuk hubungan kecepatan dan volume model terbaik adalah model *Underwood* dengan nilai $r^2=0,6799$ dan $sd=0,6814$. Untuk

hubungan volume dan kepadatan model terbaik adalah model Underwood dengan nilai $r^2=0,9833$ dan $sd=0,4460$.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Nur, Ramli, Muhammad Isran, (2006). Studi Model Hubungan Volume-Kecepatan-Kepadatan Pada Jalan Perkotaan Tipe 2 Lajur dan 4 Lajur Tak Terbagi (2 UD dan 4 UD), Jurnal Transportasi, No. 2, Hal. 117-128, Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanudin, Makassar.
- Andi Kumalawati, Sudiyo Utomo, John H. Frans, Judi K. Nasjono. Hubungan Volume Dan Kecepatan Lalu Lintas Terhadap Kinerja Jalan Ahmad Yani Kota Kupang, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 10, No 2, September 2021
- Badan Pusat Statistik (BPS) NTT, 2019. *Kota Kupang dalam Angka 2019*.
- Greyti S. J. Timpal dan Theo K.Sendow, Audie L. E. Rumayar, (2018). Analisa Kapasitas Berdasarkan Pemodelan *Greenshield*, *Greenberg* Dan Underwood Dan Analisa Kinerja Jalan Pada Ruas Jalan Samratulangi Manado, Jurnal Sipil Static Vol.6 No.8, Hal 599-610, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Julianto, Eko Nugroho. 2010, Hubungan Antara Kecepatan, Volume dan Kepadatan Lalu Lintas Ruas Jalan Siliwangi Semarang. Jurnal Teknik sipil Perencanaan, Hal 151 – 160.
- Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI), (2014). Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Ririn Gamran, Freddy Jansen, M. J. Paransa, (2015). Analisa Perbandingan Perhitungan Kapasitas Menggunakan Metode *Greenshields*, *Greenberg*, Dan Underwood Terhadap Perhitungan, Jurnal Sipil Static Vol.3 No.7, Hal 466-474, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi.
- Rulhendri, 2007. Analisa Penggunaan Model *Greenshields* Untuk Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan Arus Lalulintas (Studi Kasus di Jalan Tol Jogorawi), Khazana, Jurnal Ilmiah Vol. 3, No. 3, Hlm. 227-358, Dosen Tetap Fakultas Teknik UIKA, Bogor.
- Rahmat Sadili, (2011). Analisis Karakteristik Arus Lalulintas Campuran Dngan Variasi Komposisi Kendaraan Sepeda Motor Pada Jalan Di Daerah Perkotaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indonesia
- Suryawan, I Kadek Edy Wira., Negara, I. N. Widana, Wikrama, A. A. N. A. Jaya, 2015. Pemilihan Model Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan Jalan Dalam Kota (Studi kasus: Jalan Ahmad Yani, Denpasar), Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 19,

No. 1, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali.

Zulfianilsih, Fivi dan Ulfa Jusi, 2016, Analisa Kinerja Ruas Jalan berdasarkan Derajat Kejenuhan Jalan, Jurnal Teknik Sipil Siklus, Vol. 2, No. 1, April 2016

Studi Parametrik Balok Tinggi Beton Bertulang Dengan Bukaannya (Web Openings) Menggunakan Metode Strut and Tie

Parametric Study of Reinforced Concrete Deep Beams with Web Openings Using Strut and Tie Method

Fransiskus L. Kapitan¹, Remigildus Cornelis^{2*}, Sudiyo Utomo³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Balok tinggi, bukaan, Metode *Strut and Tie*

Keywords:

Deep beams, web openings, *Strut and Tie Methods*

Article history:

Received: 25-04-2022

Accepted: 20-05-2022

*Koresponden email:

1dyokapitan3@gmail.com

2remi_cor@yahoo.com

3diyotomo@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bukaan (*web opening*) terhadap perilaku struktur, konfigurasi penulangan, dan perilaku mekanik pada balok tinggi menggunakan Metode *Strut-and-Tie*. Model balok tinggi yang digunakan berperletakan sederhana dengan panjang 6 m dan tinggi 2 m. Variasi pemodelan diterapkan pada posisi bukaan yaitu pada daerah geser dan daerah lentur. Hasil dari penelitian menunjukkan bukaan pada daerah geser menyebabkan peningkatan perilaku struktur yang cukup besar sehingga diperlukan tulangan tambahan pada setiap sisi bukaan. Pada balok tinggi beton bertulang yang didesain untuk menahan beban yang sama, bukaan pada daerah geser menyebabkan struktur balok tinggi beton bertulang semakin getas sedangkan bukaan pada daerah lentur menyebabkan struktur balok tinggi beton bertulang semakin daktail.

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of web opening on structural behavior, reinforcement configurations, and mechanical behavior of deep beams using the *Strut-and-Tie Method*. The deep beams model used is a simple supported with a length of 6 m and a height of 2 m. Modeling variations are applied to the opening position i.e. on the shear area and bending area. The results showed that the opening in the shear area causes a considerable increase in the behavior of the structure so that additional reinforcement is required on each side of the opening. In reinforced concrete deep beam designed to withstand the same load, openings in the shear area cause the reinforced concrete deep beam structure to be more brittle, while the openings in the bending area cause the reinforced concrete deep beam structure to be more ductile.

Kutipan: Diisi oleh Editor

1. Pendahuluan

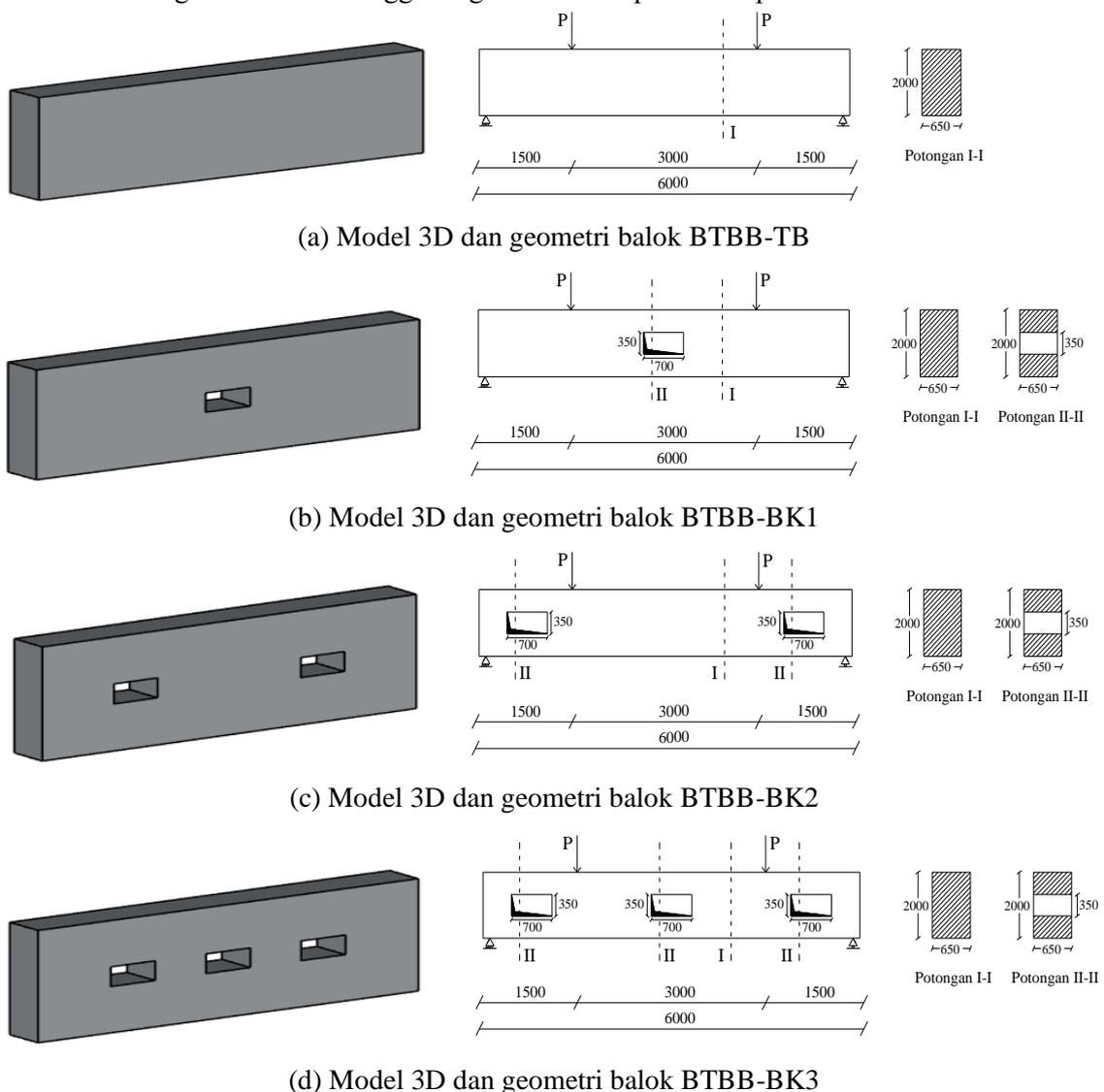
Balok tinggi didefinisikan sebagai komponen struktur dengan beban bekerja pada salah satu sisinya dan perletakan pada sisi lainnya sehingga *strut* tekan dapat terbentuk di antara beban dan perletakan (ACI 2002). Mekanisme transfer beban pada balok tinggi diteruskan ke tumpuan melalui dorongan tekan (*compression strut*) (MacGregor et al. 1997). Balok tinggi sering dijumpai pada dinding pondasi (*foundation wall*), dinding geser (*shear wall*), topi pancang (*pile cap*), balok transfer (*Transfer girder*) dari bangunan tinggi dan elemen struktur lainnya. Dalam beberapa kasus

dibutuhkan bukaan untuk keperluan utilitas dalam hal ini jaringan air bersih, pembuangan air kotor, instalasi AC sentral, jaringan listrik, dan lainnya. Bukaan pada balok tinggi dapat mempengaruhi kekuatan struktur dan perilaku mekanik, maka perlu dilakukan peninjauan desain terhadap struktur balok beton tersebut.

Balok tinggi beton bertulang dengan bukaan merupakan salah satu contoh daerah terganggu (D-Region) pada elemen struktur (S Juwana 2005). Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, beberapa metode dikembangkan untuk mendesain beton yang termasuk D-Region. Salah satunya Metode *Strut and Tie*. Dalam Metode *Strut and Tie*, aliran tegangan dapat digambarkan dengan bentuk seperti rangka batang dimana beton dapat menahan tekan dan tulangan baja menahan tarik. Dalam penelitian ini dilakukan study untuk mengetahui pengaruh bukaan (*web opening*) yang ditempatkan pada daerah geser dan daerah lentur terhadap perilaku struktur, konfigurasi penulangan, dan perilaku mekanik pada balok tinggi beton bertulang.

2. Bahan dan Metode

Model 3D dan geometri balok tinggi dengan bukaan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model 3D dan geometri balok tinggi dengan variasi bukaan

Penelitian ini dimulai dengan menentukan data yang terdiri dari data material beton bertulang, data dimensi balok tinggi dengan bukaan, dan beban yang bekerja. Pembebanan pada balok tinggi

berupa beban terpusat dengan memperhatikan pengurangan beban akibat adanya bukaan. Data – data yang memperlihatkan variasi pemodelan balok tinggi dapat dilihat pada Tabel 1.

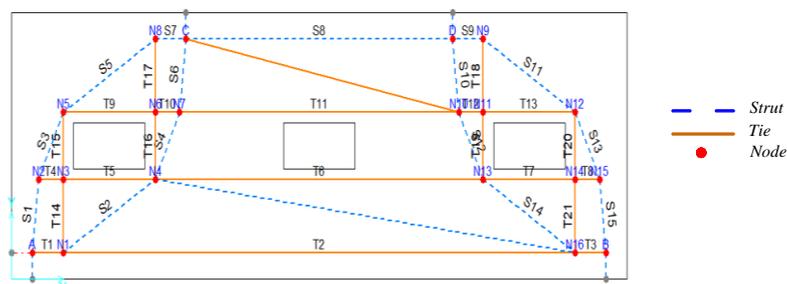
Tabel 1. Model balok tinggi dengan variasi bukaan

Tipe Pemodelan	Nama Pemodelan	Jumlah Bukaan	Ukuran 1 Bukaan (mm x mm)	Beban (P)	Panjang Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)	Lebar Balok (mm)
Balok Tinggi Beton Bertulang	BTBB-TB	-	-	1000	6000	2000	650
	BTBB-BK1	1	700 x 350	998,09	6000	2000	650
	BTBB-BK2	2	700 x 350	996,18	6000	2000	650
	BTBB-BK3	3	700 x 350	994,27	6000	2000	650

Setiap model dianalisis secara numerik dengan *software* ForcePAD untuk memperoleh trajektori tegangan guna menentukan rangka batang sebagai Model *Strut and Tie*. Selanjutnya dilakukan analisis struktur dan desain tulangan balok tinggi menggunakan Metode *Strut and Tie* secara manual berdasarkan langka-langka pada yang dijelaskan oleh (Reineck 2002) dan diverifikasi dengan *software* CAST. Hasil penulangan balok tinggi ini kemudian dimodelkan secara numerik menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) dengan bantuan *software* VecTor2 untuk analisis lendutan, tegangan, dan regangan.

2.1. Metode *Strut and Tie*

“*Strut and Tie Model*” berasal dari “*Truss-analogy-model*” yang diperkenalkan pertama kali oleh Ritter pada tahun 1899 dan Morsch pada tahun 1902 (Hardjasaputra and Tumilar 2002). Elemen dari *Strut-and-Tie-Model* yaitu *strut*, *tie*, dan *node*. Model *Strut and Tie* dapat digambarkan dalam bentuk rangka batang yang mewakili trajektori tegangan utama. Pada struktur dua dimensi, analisis elemen hingga diperlukan untuk menentukan arah tegangan atas beban yang diberikan (Schlaich, Schäfer, dan Jennewein 1987). Dalam pengembangan Model *Strut and Tie*, terserah perancang untuk menggunakan metode jalur beban atau mengandalkan analisa linear elastis untuk melacak lintasan tegangan (El-Metwally dan Chen 2017). Gambar 2 menampilkan Model *Strut and Tie* yang dikembangkan pada struktur elemen balok tinggi dengan bukaan.



Gambar 2. Model *Strut and Tie* pada benda uji BTBB-BK3 menggunakan *software* CAST

2.1.1. Batang Tekan (*Strut*)

Elemen *strut* merupakan idealisasi dari medan tegangan tekan beton dimana arah dari *strut* searah dengan tegangan tekan beton. Berdasarkan (ACI 2002), kuat tekan nominal *strut* tanpa tulangan longitudinal harus diambil lebih kecil dari:

$$F_{ns} = f_{cu} \times A_c \tag{1}$$

$$F_{cu} = 0,85 \times \beta_s \times f_c' \tag{2}$$

$$A_c = b_w \times w_s \quad (3)$$

Dimana:

- F_{ns} : kekuatan nominal strut (kN)
- f_{cu} : kekuatan efektif (Mpa)
- A_c : Luasan daerah tekan (mm^2)
- β_s : faktor reduksi kekuatan tekan pada *strut*
- f'_c : mutu beton (Mpa)
- b_w : lebar balok (mm)
- w_s : lebar *strut* (mm)

2.1.2. Batang Tarik (Tie)

Berdasarkan (ACI 2002), gaya tarik dan kekuatan nominal dari batang *tie* dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\phi F_{nt} \geq F_{ut} \quad (4)$$

$$F_{nt} \geq A_{st} f_y + A_{ps} (f_{se} + \Delta f_p) \quad (5)$$

Dimana:

- ϕ : factor reduksi = 0,75
- F_{nt} : kekuatan nominal *tie* (KN)
- F_{ut} : gaya pada batang *tie* akibat pembebanan
- A_{st} : luasan tulangan (mm^2)
- A_{ps} : luasan baja tendon prategang (mm^2)
- f_y : mutu baja (Mpa)
- f_{se} : tegangan efektif yang hilang pada baja tandon prategang (Mpa)
- Δf_p : penambahan gaya prategang disamping level load ($f_{se} + \Delta f_p$)

2.1.3. Titik Simpul (Node)

Titik simpul/*node* merupakan titik tangkap dari *strut* dan *tie* dengan berbagai kombinasi yang diidealisasikan sebagai sendi. Berdasarkan (ACI 2002), kuat tekan dari zona nodal harus diambil sebagai berikut:

$$F_{nn} = f_{cu} \times A_n \quad (6)$$

$$F_{cu} = 0,85 \times \beta_n \times f'_c \quad (7)$$

$$A_n = b_w \times w_s \quad (8)$$

$$A_n = b_w \times w_t \quad (9)$$

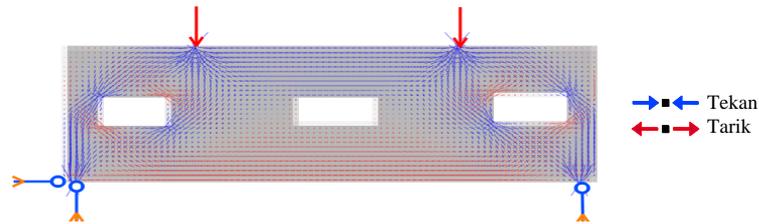
Dimana:

- F_{nn} : kekuatan nominal strut (kN)
- f_{cu} : kekuatan efektif (Mpa)
- A_n : Luasan daerah tekan (mm^2)
- β_n : faktor reduksi kekuatan tekan pada *strut*
- f'_c : mutu beton (Mpa)
- b_w : lebar balok (mm)
- w_s : lebar *strut* (mm)
- w_t : lebar *tie* (mm)

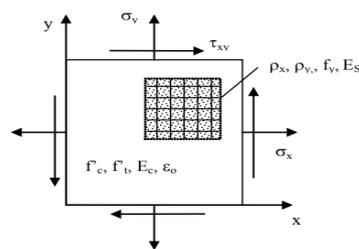
2.2. Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)

Dalam penelitian ini, pemodelan benda uji secara numerik terdiri dari pemodelan trajektori tegangan menggunakan *software* ForcePad dan pemodelan *finite element* menggunakan *software* VecTor2 sebagai program berbasis *Finite Element*. Program VecTor2 didasarkan pada *Modified Compression Field Theory* (MCFT) yang merupakan model analitik untuk memprediksi respon beban-deformasi dari elemen membrane beton bertulang yang mengalami geser dan tegangan normal, menentukan regangan dan tegangan rata-rata beton dan tulangan, serta menentukan lebar dan orientasi retakan sepanjang respon beban-deformasi elemen (Wong, Vecchio, dan Trommels

2013). Model trajektori tegangan menggunakan *software* ForcePad, *plain stress* pada elemen beton bertulang dalam MCFT, dan model *finite element* menggunakan *software* VecTor2 pada benda uji secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 5.

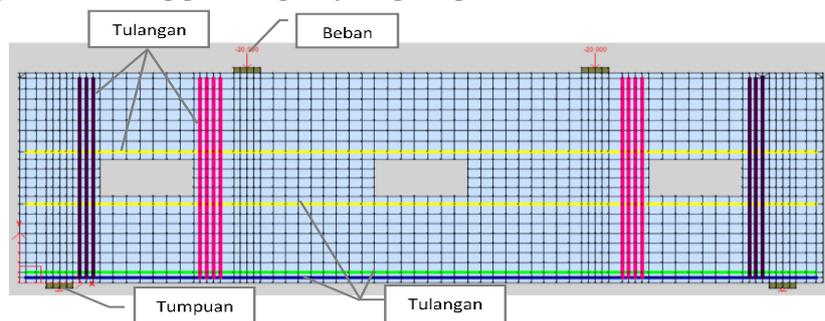


Gambar 3. Pemodelan trajektori tegangan menggunakan *software* ForcePad



Gambar 4. Membran elemen beton bertulang yang diberikan tegangan bidang (*plain stress*)

Pemodelan *finite element* untuk analisis tegangan, regangan, dan lendutan dilakukan terhadap benda uji yang telah dihitung penulangannya seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan *finite element* benda uji BTBB-BK3 pada *software* VecTor2

3. Hasil dan Pembahasan

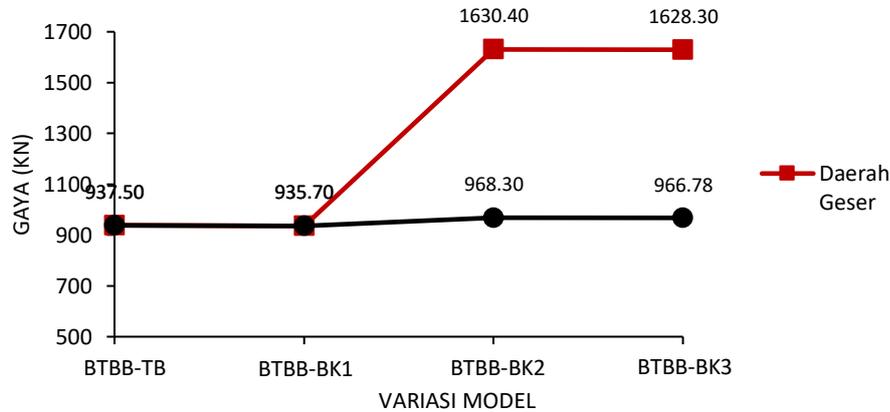
3.1. Pengaruh Bukaan (*Web Opening*) Terhadap Perilaku Struktur Balok Tinggi Beton Bertulang dengan Metode *Strut-And-Tie*

Hasil analisa perilaku struktur setiap model balok tinggi dengan variasi bukaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis perilaku struktur balok tinggi dengan variasi bukaan

Variasi Model	Daerah Geser		Daerah Lentur	
	Strut (kN)	Tie (kN)	Strut (kN)	Tie (kN)
BTBB-TB	-937.50	937.50	-937.50	937.50
BTBB-BK1	-935.70	935.70	-935.70	935.70
BTBB-BK2	-1630.40	1630.40	-968.30	968.30
BTBB-BK3	-1628.30	1628.30	-966.78	966.78

Grafik perilaku struktur balok tinggi dengan variasi bukaan dapat dilihat pada Gambar 6.

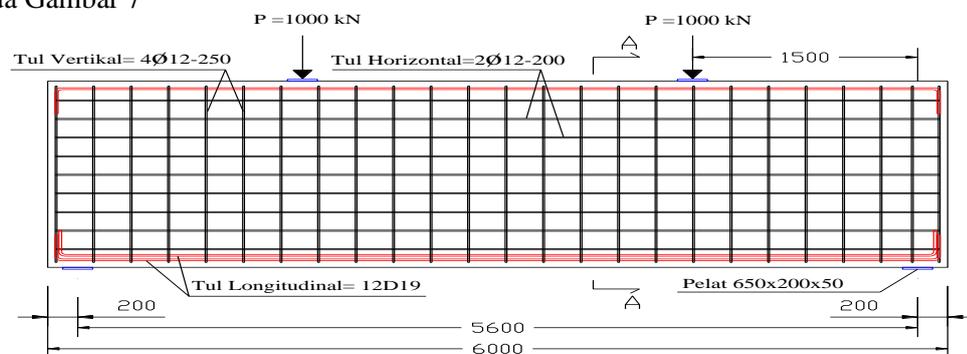


Gambar 6. Grafik perilaku struktur balok tinggi dengan variasi bukaan

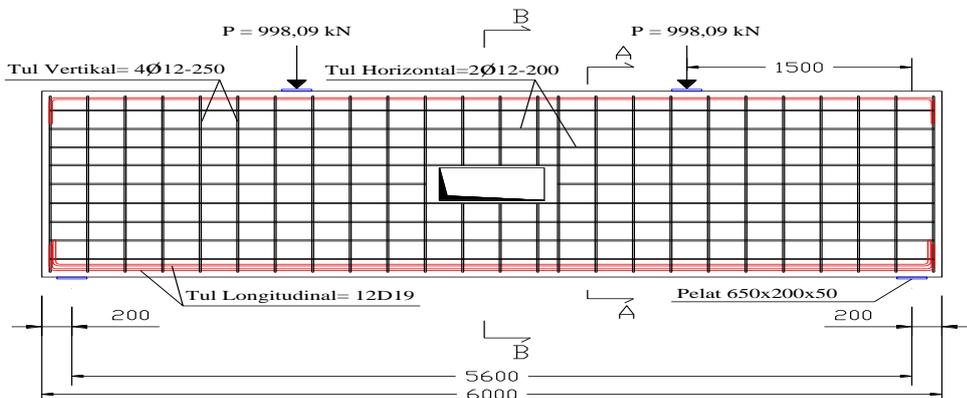
Gambar 6 menunjukkan peningkatan perilaku struktur yang cukup besar (73,80 %) pada daerah geser dan relative kecil (3,20 %) pada daerah lentur manakala bukaan ditempatkan di daerah geser (BTBB-BK2 dan BTBB-BK3). Sementara itu akibat bukaan pada daerah lentur (BTBB-BK1), terjadi penurunan perilaku struktur pada daerah geser maupun lentur yang tidak begitu signifikan (0,19 %). Hal ini menandakan bahwa, daerah geser merupakan daerah jalur beban sehingga ketika terdapat bukaan padanya maka akan menimbulkan peningkatan perilaku struktur yang berarti dibandingkan bukaan pada daerah lentur.

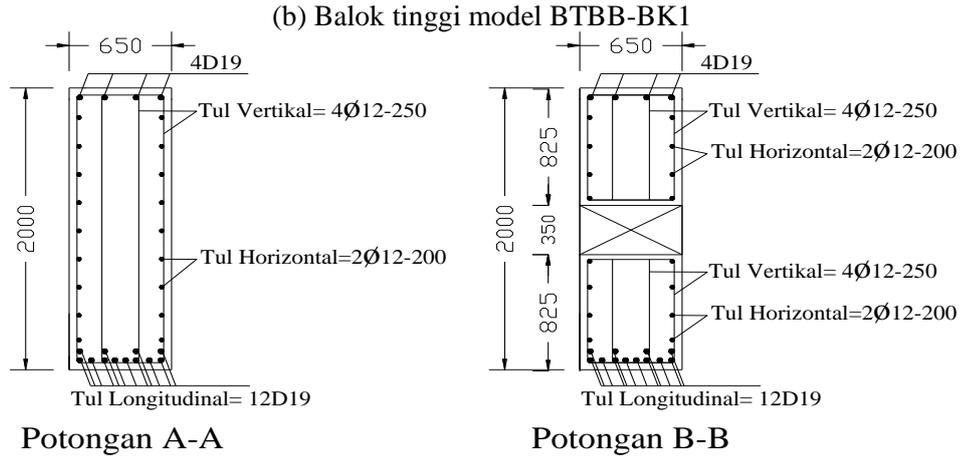
3.2. Pengaruh Bukaan (Web Opening) Terhadap Konfigurasi Tulangan Pada Balok Tinggi Beton Bertulang

Hasil analisa konfigurasi penulangan setiap model balok tinggi dengan variasi bukaan dapat dilihat pada Gambar 7

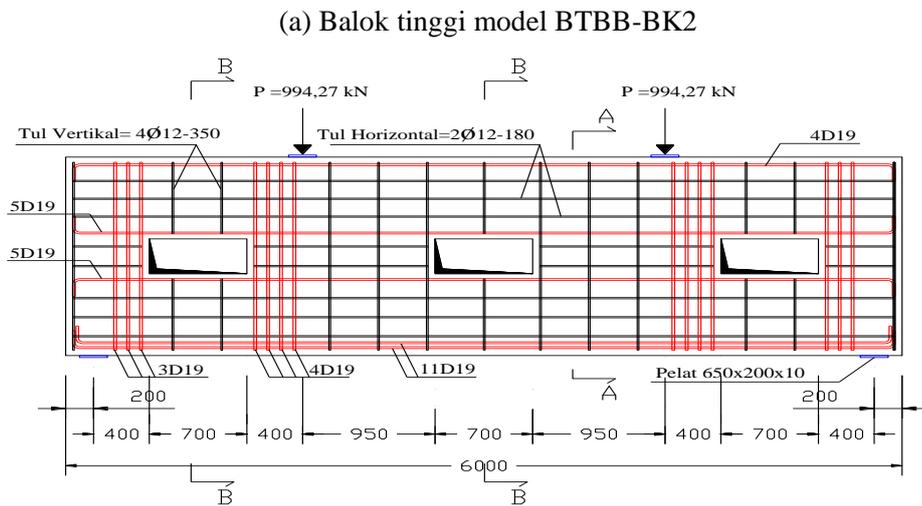
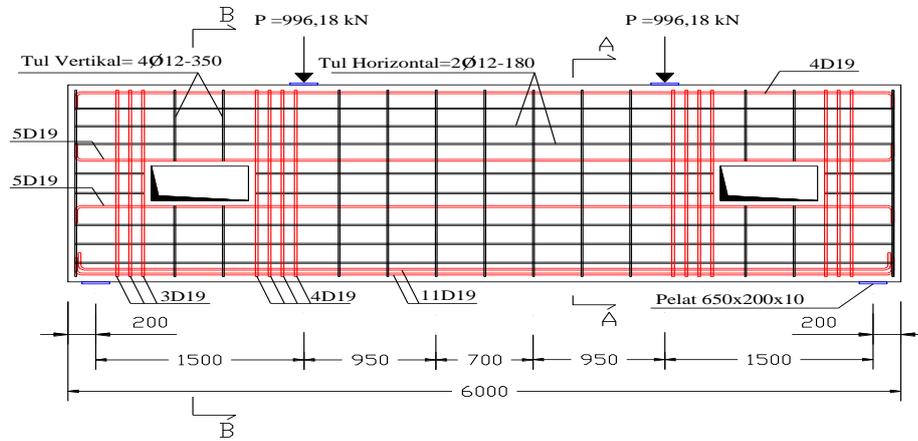


(a) Balok tinggi model BTBB-TB

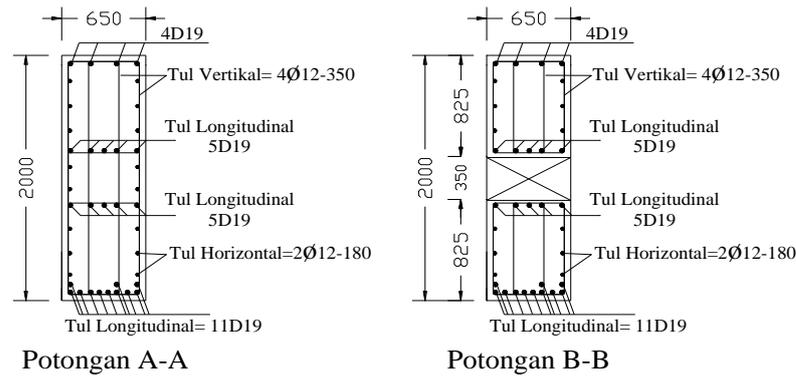




Gambar 7. Detail penulangan balok tinggi model BTBB-TB dan model BTBB-BK1 (Satuan panjang dalam mm)



(b) Balok tinggi model BTBB-BK3

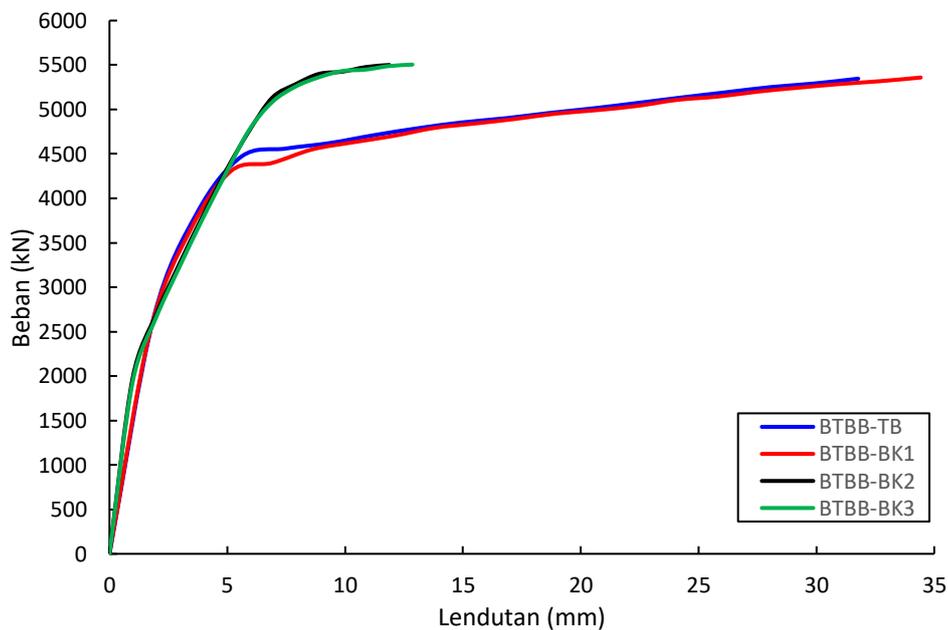


Gambar 8. Detail penulangan balok tinggi model BTBB-TB dan model BTBB-BK1 (Satuan panjang dalam mm)

Pada dasarnya konfigurasi penulangan balok tinggi mengikuti model *Strut and Tie* yang diasumsikan dari trajektori tegangan. Dimana tulangan longitudinal mewakili batang *tie* dan tulangan sengkang vertikal dan horizontal mewakili tulangan minimum pengontrol retak. Untuk pengaruh bukaan terhadap konfigurasi penulangan pada balok tinggi, hasil analisa yang diperoleh yaitu pada setiap model balok tinggi diperlukan tulangan tarik dan tulangan minimum namun untuk model BTBB-BK2 dan BTBB-BK3 diperlukan tambahan tulangan vertikal dan horizontal pada setiap sisi bukaan. Hal ini juga dilakukan untuk mencegah terjadinya retak geser pada daerah sekitar bukaan seperti yang dijelaskan oleh (Kong 1991).

3.3. Pengaruh Bukaan (*Web Opening*) Terhadap Perilaku Mekanik Pada Balok Tinggi Beton Bertulang

3.3.1. Hubungan Beban-Lendutan pada Balok Tinggi Dengan Variasi Bukaan



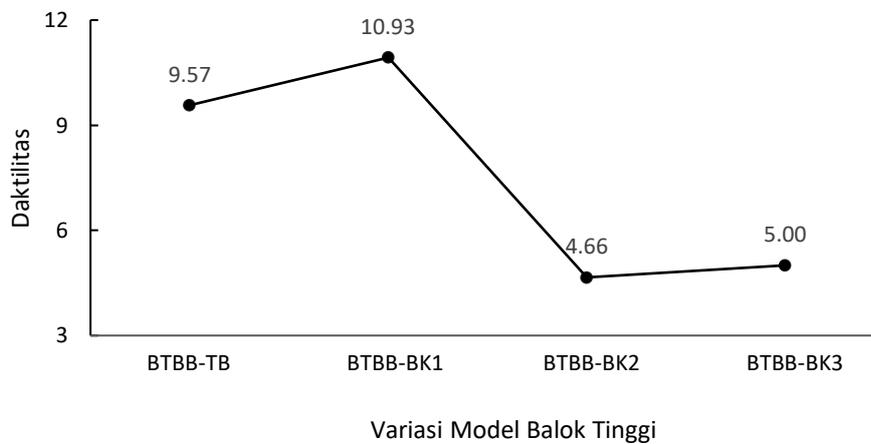
Gambar 9. Grafik hubungan beban-lendutan pada balok tinggi dengan variasi bukaan

Gambar 9 menunjukkan hubungan beban-lendutan pada balok tinggi dengan variasi bukaan. Dari hubungan beban-lendutan dapat diperhitungkan nilai beban runtuh dan nilai daktilitas seperti pada Tabel 3 berikut.

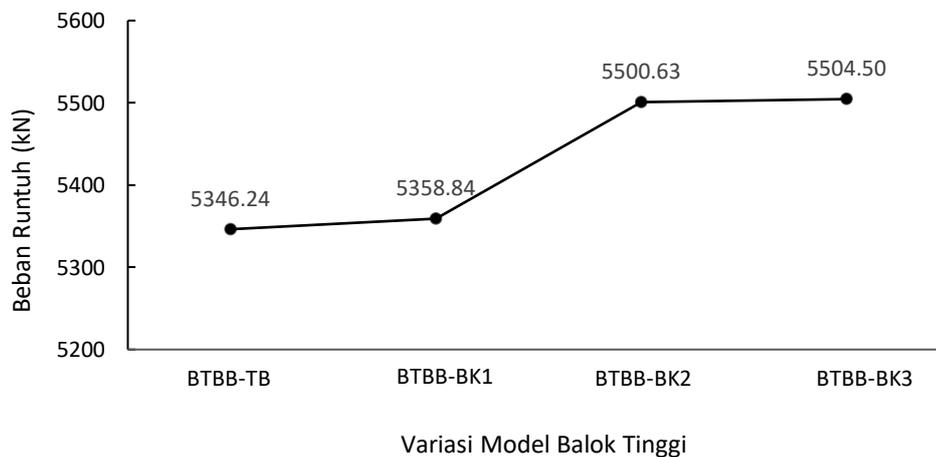
Tabel 3. Nilai daktilitas dan beban runtuh pada balok tinggi dengan variasi bukaan

Variasi Model	Jumlah Bukaan	Daktilitas	Beban Runtuh (kN)
BTBB-TB	-	9,57	5346,24
BTBB-BK1	1 Bukaan	10,93	5358,84
BTBB-BK2	2 Bukaan	4,66	5500,63
BTBB-BK3	3 Bukaan	5,00	5504,50

Grafik hubungan variasi bukaan pada balok tinggi terhadap nilai daktilitas dan beban runtuh dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Grafik hubungan variasi bukaan pada balok tinggi terhadap nilai daktilitas

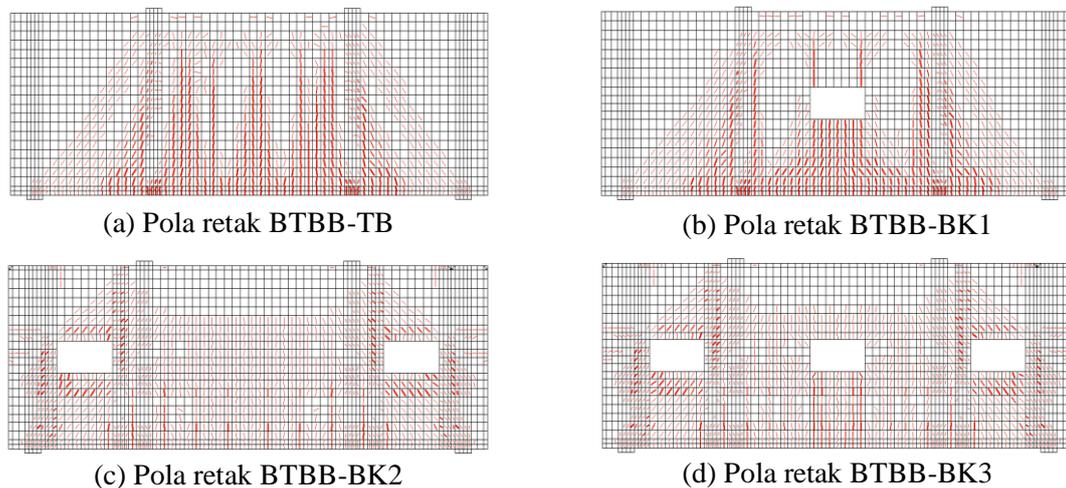


Gambar 11. Grafik hubungan variasi bukaan pada balok tinggi terhadap nilai beban runtuh

Hasil analisa yang diperoleh yaitu, ketika terdapat bukaan di daerah geser (BTBB-BK2 dan BTBB-BK3) terjadi penurunan nilai daktilitas sebesar 49,51 %. Sedangkan ketika terdapat bukaan di daerah lentur (BTBB-BK1), terjadi peningkatan nilai daktilitas sebesar 14,22 %. Sehingga dapat dikatakan bahwa bukaan pada daerah geser menyebabkan struktur balok tinggi semakin getas sedangkan bukaan pada tengah lentur menyebabkan struktur balok tinggi semakin daktil. Sementara itu untuk nilai beban runtuh ketika terdapat bukaan di daerah lentur (BTBB-BK1), terjadi peningkatan nilai beban runtuh sebesar 0,24%. Sedangkan ketika terdapat bukaan di daerah geser

(BTBB-BK2 dan BTBB-BK3) terjadi peningkatan nilai beban runtuh sebesar 2,93 %. Peningkatan nilai beban runtuh ini terjadi akibat adanya pengurangan beban pada balok tinggi dan luas tulangan terpasang yang lebih besar. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak jumlah bukaan pada balok tinggi maka semakin meningkat pula nilai beban runtuh dengan konfigurasi penulangan yang lebih besar.

3.3.2. Pola Retak pada Balok Tinggi Dengan Variasi Bukaan

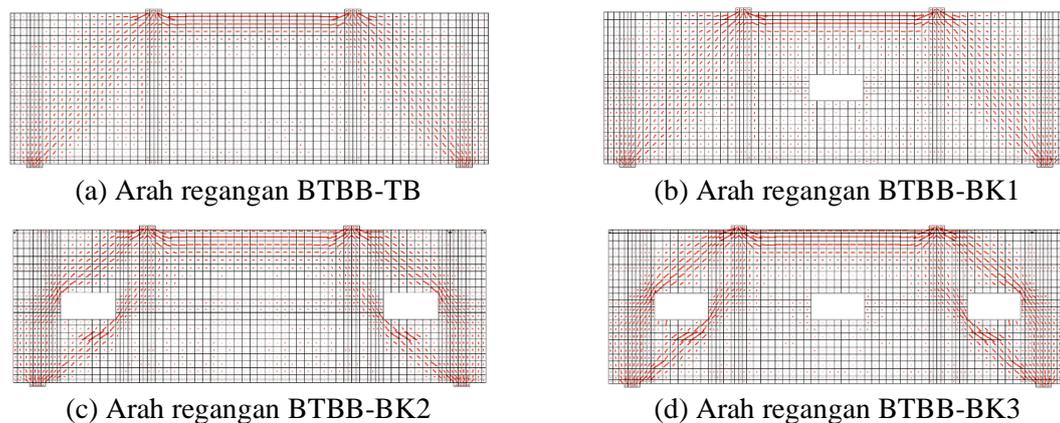


Gambar 12. Pola retak balok tinggi dengan variasi bukaan

Gambar 12 menampilkan pola retak dari setiap variasi balok tinggi ketika mencapai beban runtuh. Pada balok tinggi BTBB-TB dan BTBB-BK1, awalnya hanya terlihat retak lentur yang terjadi pada tengah bentang, tetapi ketika terjadi peningkatan beban terjadi pula retak geser sebagai retak ultimit pada daerah antara titik pembebanan dan tumpuan. Sedangkan untuk balok tinggi BTBB-BK2 dan BTBB-BK3, retak lentur pada tengah bentang dan retak geser pada sudut bukaan terjadi bersamaan. Sehingga dapat dikatakan balok tinggi beton bertulang dengan bukaan pada daerah geser dapat mempercepat terjadinya keruntuhan geser atau menyebabkan struktur balok tinggi semakin getas.

3.3.3. Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok Tinggi Dengan Variasi Bukaan

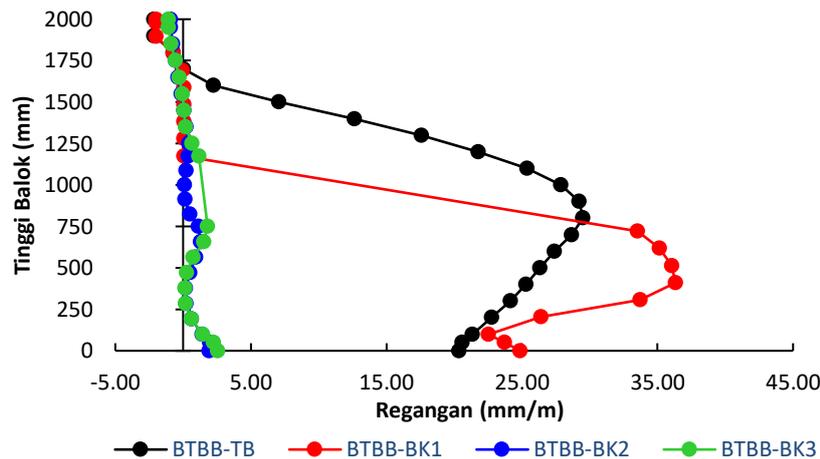
1. Arah Regangan



Gambar 13. Arah regangan balok tinggi dengan variasi bukaan

Gambar13 memperlihatkan arah regangan dari setiap variasi model balok tinggi yang menggambarkan eksistensi batang *strut*. Dari Gambar 13(a) dan 13(b), antara titik pembebanan dan tumpuan arah regangan yang terjadi membentuk *strut* seperti *bottle shape* sedangkan antara 2 titik pembeban arah regangan yang terjadi membentuk *strut* seperti *prismatic shape*. Sementara itu, dari Gambar 13(c) dan 13(d), arah regangan yang terjadi di daerah sekitar bukaan membentuk *strut* seperti *bottle shape* sedangkan antara 2 titik pembeban arah regangan yang terjadi membentuk *strut* seperti *prismatic shape*. Arah regangan ini sesuai dengan asumsi model *Strut and Tie* yang telah dilakukan sebelumnya.

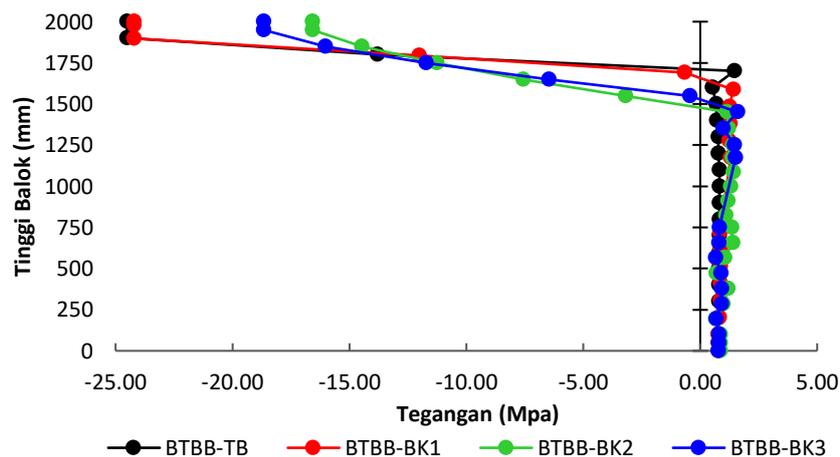
2. Regangan Lentur



Gambar 14. Grafik distribusi regangan lentur balok tinggi dengan variasi bukaan saat mencapai beban runtuh

Gambar 14 memperlihatkan grafik distribusi regangan lentur pada tengah bentang dari setiap variasi model balok tinggi saat mencapai beban runtuh. Dari grafik ini terlihat regangan lentur pada keempat model balok tinggi terdistribusi secara nonlinier yang mana sesuai dengan perilaku balok tinggi.

3. Tegangan Lentur



Gambar 15. Grafik distribusi tegangan lentur balok tinggi dengan variasi bukaan saat mencapai beban runtuh

Gambar 15 memperlihatkan grafik distribusi tegangan lentur pada tengah bentang dari setiap variasi model balok tinggi saat mencapai beban runtuh. Dari grafik ini terlihat tegangan lentur pada

keempat model balok tinggi terdistribusi secara nonlinier yang mana sesuai dengan perilaku balok tinggi yang dijelaskan oleh (Nawy, Surjaman, dan Suryoatmono 1990). Tegangan tekan meningkat dengan cepat pada sisi atas balok tinggi dan sumbu netral berpindah mendekati sisi atas balok tinggi. Sedangkan tegangan tarik relative konstan dari dasar sampai pada sumbu netral balok tinggi yaitu sebesar 2 MPa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Dengan Metode *Strut and Tie*, untuk balok tinggi dengan bukaan di daerah geser terjadi peningkatan perilaku struktur. Peningkatan perilaku struktur pada daerah geser lebih besar dibandingkan peningkatan perilaku struktur pada daerah lentur. Sedangkan untuk balok tinggi dengan bukaan di daerah lentur terjadi penurunan perilaku struktur yang relative kecil pada daerah geser dan lentur. Untuk setiap model balok tinggi diperlukan tulangan tarik dan tulangan minimum. Namun untuk balok tinggi dengan bukaan di daerah geser diperlukan tambahan tulangan vertikal dan horizontal pada setiap sisi bukaan. Pada balok tinggi beton bertulang yang didesain untuk menahan beban yang sama, bukaan pada daerah geser menyebabkan struktur balok tinggi beton bertulang semakin getas sedangkan bukaan pada daerah lentur menyebabkan struktur balok tinggi beton bertulang semakin daktail.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang ada penulis dapat memberikan saran antara lain Memperhatikan pemodelan struktur, satuan, pembebanan, dan penginputan data material pada *software* untuk menghindari kesalahan analisis. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai Metode *Strut And Tie* pada balok tinggi dengan bentuk bukaan selain persegi dan variasi pembebanan selain beban terpusat agar pengetahuan *Strut And Tie* semakin berkembang.

Daftar Pustaka

- ACI, Committee318. 2002. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-02)." In *American Concrete Institute*.
- El-Metwally, Salah El-Din E, and Wai-Fah Chen. 2017. *Structural Concrete: Strut-and-Tie Models for Unified Design*. CRC Press.
- Hardjasaputra, Harianto, and Steffi Tumilar. 2002. Universitas Pelita Harapan, Jakarta *Model Penunjang Dan Pengikat (Strut-And-Tie Model) Pada Perancangan Struktur Beton*.
- Kong, Fung Kew. 1991. *Reinforced Concrete Deep Beams*. CRC Press.
- MacGregor, James Grierson, James K Wight, Susanto Teng, and Paulus Irawan. 1997. *3 Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Nawy, Edward G, Tjun Surjaman, and Bambang Suryoatmono. 1990. *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. PT. Eresco, Bandung.
- Reineck, Karl-Heinz. 2002. *208 Examples for the Design of Structural Concrete with Strut-and-Tie Models*. Amer Concrete Inst.
- S Juwana, Ir Jimmy. 2005. *Panduan Sistem Bangunan Tinggi Untuk Arsitek Dan Praktisi Bangunan*. Erlangga.
- Schlaich, Jorg, Kurt Schäfer, and Mattias Jennewein. 1987. "Toward a Consistent Design of Structural Concrete." *PCI journal* 32(3): 74–150.
- Wong, P S, F J Vecchio, and H Trommels. 2013. "Vector2 & Formworks User's Manual Second Edition." *University of Toronto, Canada*.

Studi Analisis Tangga Helix Menggunakan Metode Fleksibilitas

Study of Helix Stairs Analysis Using Flexibility Method

Agustinus R.M Jehamat¹, Remigildus Cornelis^{2*}, I Made Udiana³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Studi, Analisis, Tangga Helix, Fleksibilitas, SAP 2000

Keywords:

Study, Analysis, Helix Stairs, Flexibility, SAP 2000

Article history:

Received: 30-05-2022

Accepted: 30-09-2022

*Koresponden email:

jehamatrio1996@gmail.com
remi@staf.undana.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain tangga helix, mencari gaya-gaya dalam pada setiap anak tangga dengan radius dan putaran sudut yang ditetapkan dan membuat grafik persamaan antara radius, gaya-gaya dalam, dan putaran sudut. Dengan menggunakan perhitungan manual dengan Metode Fleksibilitas dan perhitungan numerik menggunakan Aplikasi SAP 2000. Hasilnya adalah gaya horizontal menggunakan Metode Fleksibilitas sebesar -27,38 KN dengan Metode SAP 2000 sebesar -30,44 KN sehingga selisihnya 10,00%. Gaya vertikal menggunakan Metode Fleksibilitas sebesar 23,19 KN dengan Metode SAP 2000 sebesar 26,02 KN sehingga selisihnya 10,00%. Gaya aksial menggunakan Metode Fleksibilitas sebesar 43,86 KN dengan Metode SAP 2000 sebesar 49,17 KN sehingga selisihnya 10,00%. Momen horisontal menggunakan Metode Fleksibilitas sebesar 58,01 KNm dengan Metode SAP 2000 sebesar 60,97 KNm sehingga selisihnya 4,90%. Momen vertikal menggunakan Metode Fleksibilitas sebesar -9,68 KNm dengan Metode SAP 2000 sebesar -8,81 KNm sehingga selisihnya 9,00%. Torsi atau momen puntir menggunakan Metode Fleksibilitas sebesar 0,073 KNm dengan Metode SAP 2000 sebesar 0,071 KNm sehingga selisihnya 3%.

Abstract

This research purpose is to design a helixstairs, to find the internal forces on each rung with defined radius and angular rotation and to graph the equation between the radius, internal forces, and angular rotation. The analysis used manual calculations with Flexibility Methods and numerical calculations using the SAP 2000 Application. The results are the horizontal force using the Flexibility Method, namely -27,38 KN and with the SAP 2000 Method -30,44 KN, so the difference is 10,00%. The vertical force using the Flexibility Method is 23,19 KN and with the SAP 2000 Method is 26,01 KN, so the difference is 10,00%. The axial force using the Flexibility Method is 43,86 KN and with the SAP 2000 Method is 49,17 KN, so the difference is 10,00%. The horizontal moment using the Flexibility Method is 58,01 KNm and with the SAP 2000 Method is 60,97 KNm, so the difference is 4,90%. The vertical moment using the Flexibility Method is -9,68 KNm and with the SAP 2000 Method is -8,81 KNm, so the difference is 9,00%. Torque using the Flexibility Method is 0,073 KNm and with the SAP 2000 Method is 0,071 KNm, so the difference is 3,00%.

Kutipan:

Copy Right to J-ForTeks

DOI :

1. Pendahuluan

Dorongan untuk menguasai keterampilan memiliki lingkungan hidup yang lebih baik dan menarik saat ini juga meluas di bidang teknik, terutama di bidang teknik struktur. Selama bertahun-tahun, para insinyur dan arsitek telah berusaha meningkatkan pencapaian mereka hingga level dengan komponen struktural yang paling menarik dan efisien. Dari jumlah tersebut, salah satu komponen struktural yang dapat disebutkan adalah tangga heliks. Tangga helix memiliki penampilan menarik yang melekat di antara berbagai bentuk tangga dari sudut pandang arsitektur dan fungsional. Untuk alasan ini, tangga heliks semakin banyak digunakan di banyak bangunan penting.

Saat ini, sektor konstruksi di Indonesia meningkat secara dramatis. Seiring berkembangnya era konstruksi, kompleksitas struktur juga meningkat. Dan tangga spiral, sebagai salah satu komponen struktural yang paling fungsional, memiliki konfigurasi struktural yang kompleks. Kompleksitas ini karena geometrinya, Bangash dkk, 1999, Wadud dan Ahmad, 2005.

Secara geometris, struktur tangga heliks adalah struktur tiga dimensi dalam ruang yang terdiri dari permukaan melengkung yang dihasilkan dengan menggerakkan garis lurus menyentuh heliks sehingga garis bergerak selalu tegak lurus terhadap sumbu heliks. Pada heliks miring, garis selalu mempertahankan sudut tetap dengan heliks. Karena tangga heliks adalah elemen ruang, keenam gaya internal ikut berperan di bagian mana pun, memiliki arah dan garis gaya yang berbeda-beda. Gaya internal tersebut adalah, momen vertikal (M_v), momen lateral (M_h), geser vertikal (V_v), geser lateral (V_h), gaya aksial (N) dan torsi (T), Gizaw dkk, 2015, Kholiic dkk, 2015, Modak dkk, 1991.

Selain dari adanya enam gaya dalam, tangga heliks sebagian besar dirancang hanya untuk momen vertikal, Wadud dkk, 2002; Zolanki dkk, 1986. Selain itu, karena kompleksitasnya, sehingga untuk memudahkan analisis, maka tangga heliks disederhanakan dengan cara mereduksi heliks dan memproyeksi secara horisontal dan menghitung tangga helix dengan pendekatan sebagai balok lengkung ujung tetap, Modak dkk, 1991. Pendekatan ini sangat konservatif namun cukup representatif. Namun terdapat kelemahan yaitu pengaruh torsi dan momen akhir tidak diperhitungkan, sehingga pemodelan ini kurang mewakili sifat puntir sebenarnya dari komponen struktur. Kesulitan sering ditemukan pada saat mendesain dan menghitung kekuatan struktur pada tangga heliks, Arya dan Prakash, 1973; Harshad, 1973.

Oleh karena itu, pada penelitian ini gaya-gaya dihitung menggunakan metode fleksibilitas dan membandingkan dengan hasil SAP 2000. Dari hasil perhitungan, gaya-gaya dalam yang didapat digunakan untuk mencari grafik hubungan antar jari-jari, putaran sudut, dan kemiringan tangga yang bekerja pada tangga helix.

2. Bahan dan Metode

2.1. Metode dan Data

Berdasarkan data yang diperoleh sebelumnya, analisis data yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Modifikasi dan identifikasi struktur bangunan tangga helix yang akan dianalisis.
2. Menghitung dan menentukan jenis beban yakni, beban mati dan beban hidup.
3. Menganalisis struktur dengan dua metode yaitu, analisis manual dengan metode fleksibilitas dan menggunakan SAP 2000.
4. Menghitung gaya-gaya dalam dengan metode analisis.
5. Membuat grafik hubungan antara jari-jari, alfa, teta dan gaya-gaya dalam.

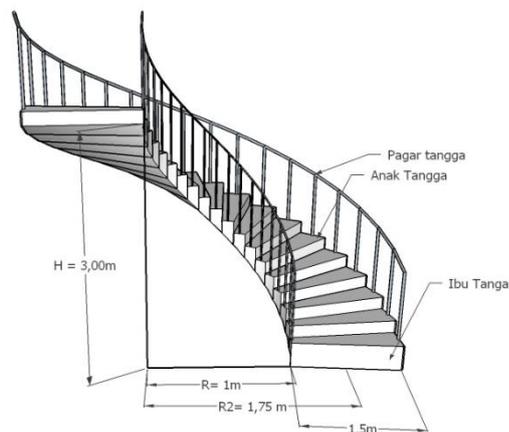
2.2. Data Model Perencanaan Tangga Helix

2.2.1. Data Primer

Data teknis mengenai model tangga yang perlu diperhatikan dalam perencanaan 10

Tinggi tangga (H)	= 3 m
Lebar tangga (L)	= 1,5 m
Tebal plat tangga (t)	= 0,18 m
Tinggi anak tangga (h)	= 0,16667 m
Tebal plat anak tangga (t_2)	= 0,0975 m

$$\begin{aligned}
 \text{Total tebal plat} &= t_1+t_2 \\
 &= 0,18 +0,0975 \\
 &= 0,2775 \text{ m} \\
 \text{Jumlah anak tangga} &= \frac{H}{t} \\
 &= \frac{3}{0,1667} \\
 &= 18 \text{ Buah Anak Tangga} \\
 \text{Lebar Anak Tangga } (\bar{G}) &= \frac{\theta}{360} \times 2\pi r \\
 \theta &= 10^\circ \\
 \text{Lebar Anak Tangga} &= 0,305 \text{ m} \\
 \text{Kemiringan Tangga } (\alpha) &= \tan^{-1} \alpha = \frac{h}{\bar{G}} \\
 &= \frac{0,1667}{0,305} \\
 &= 28,6323^\circ \\
 \sin \alpha &= 0,479187832 \\
 \cos \alpha &= 0,87771238 \\
 \tan \alpha &= 0,545950864 \\
 \text{Radius yang digunakan (R)} &= 1,75 \text{ m} \\
 \text{Putaran sudut } (\theta) &= 180^\circ \\
 \text{Mutu beton}(f_c') &= 30 \text{ MPa} \\
 E \text{ (modulus elastisitas)} &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\
 &= 25742960,2 \text{ KN/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 1. Bentuk Tangga Helix Yang Ingin Dianalisis

2.2.2. Data Sekunder

Data pembebanan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beban mati dan beban hidup.

a. **Beban Mati,**

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap; termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. (Direktorat penyelidikan masalah bangunan,1983). Beban mati yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan PPIUG (1983) yaitu 2400 kg/m^3 . berikut ini perhitungan beban mati pada tangga helix:

t (tebal plat)	: 0,18 m
t ₂ (tebal plat anak tangga):	0,0975 m
Total tebal plat	: 0,2775 m
beban mati	: 2400 kg/m^3
Total beban mati	: $0,2775 \times 2400 = 666,0913 \text{ kg/m}^2$

b. **Beban Hidup**

Merupakan semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. (Direktorat penyelidikan masalah bangunan,1983). Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan PPIUG (1983) yaitu 300 kg/m^2 .

Kemudian kedua beban yang bekerja pada tangga helix yakni beban mati dan beban hidup digabungkan atau dikombinasikan dengan kombinasi pembebanan $1,2 D + 1,6 L$. Sehingga didapat $(1,2 \times 666,0913) + (1,6 \times 300) = 1279,309 \text{ kg/m}^2$ atau $12,794 \text{ KN/m}^2$ dari hasil kombinasi dikalikan dengan lebar tangga untuk mendapatkan beban merata pada tangga helix yaitu:

$$L = 1,5 \text{ m}$$

$$q_l = 12,794 \text{ KN/m}^2$$

$$w = q_l \times L$$

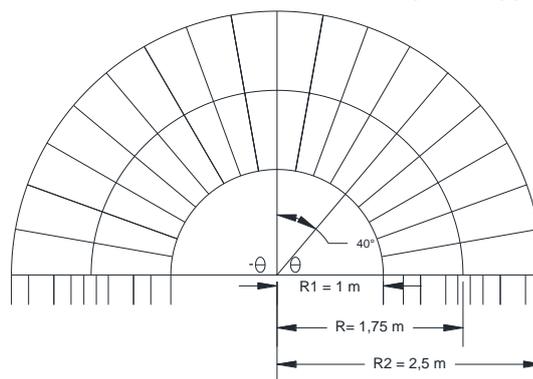
$$w = 12,794 \times 1,5$$

$$w = 19,1896 \text{ KN/m}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Tangga Helix Menggunakan Metode Fleksibilitas

Tangga helix dengan besar sudut (Θ) 180° ; lebar tangga (L) 1,5 m; jari-jari yang digunakan (R) 1,75 m; beban yang dipakai (w) 19,1896 KN/m; besar kemiringan tangga (α) $28,63^\circ$



Gambar 2. Bentuk Tangga Yang Dianalisis

3.1.1. Perhitungan Gaya Horizontal

Berdasarkan gambar 2 gaya horizontal untuk sudut 40° yaitu sebagai berikut.

$$F_h = w \cdot R \cdot [C_x \cdot \cos \theta] \tag{1}$$

$$F_h = 19,1896 \times 1,75 \times [-1,045 \cdot 0,766] = -26,879 \text{ KN}$$

Hasil perhitungan gaya horisontal lainnya dapat dilihat pada tabel 1.

3.1.2. Perhitungan Gaya Vertikal

Berdasarkan Gambar 2. maka gaya vertikal untuk sudut 40° yaitu sebagai berikut.

$$F_v = w \times R \times (\theta \cos \alpha + C_x \times \sin \theta \times \sin \alpha) \quad (2)$$

$$F_v = 19,1896 \times 1,75 \times \left(\frac{40}{57,3} \times 0,877 + (-1,045) \times 0,6427 \times 0,4791 \right) = 9,87635 \text{ KN}$$

Hasil perhitungan gaya vertikal lainnya dapat dilihat pada tabel 1

3.1.3. Perhitungan Gaya Aksial

Berdasarkan Gambar 2 diatas maka nilai gaya aksial dapat dihitung dengan nilai $C_x = -1,045$ yang dimana gaya aksial untuk sudut 40° yaitu sebagai berikut.

$$F_t = w \times R \times (\theta \sin \alpha - C_x \times \sin \theta \times \cos \alpha) \quad (3)$$

$$F_t = 19,1896 \times 1,75 \times \left(\frac{40}{57,3} \times 0,479 - (-1,045) \times 0,6427 \times 0,877 \right) = 31,0893 \text{ KN}$$

Hasil perhitungan gaya aksial lainnya dapat dilihat pada tabel 1

3.1.4. Perhitungan Momen Horizontal

Perhitungan di atas maka momen horizontal untuk sudut 40° didapat sebagai berikut.

$$M_h = (m_{sw} + X_x \cdot m_{sx} + X_r \cdot m_{sr} + e \cdot m_{st}) \quad (4)$$

$$M_h = 1,56 + 43,23 + 0,03 + 2,067$$

$$M_h = 46,89 \text{ KNm}$$

Sehingga momen horisontal pada setiap anak tangga dapat dilihat pada table 1

3.1.5. Momen Vertikal

Perhitungan momen vertikal untuk sudut 40° adalah sebagai berikut.

$$M_v = (m_{rw} + m_{rx} + m_{rr} + m_{rt}) \quad (5)$$

$$M_v = (-13,75 + 15,04 + -0,07 + (-1,47))$$

$$M_v = -0,2507 \text{ KNm}$$

Sehingga momen vertikal pada setiap anak tangga dapat dilihat pada Tabel 1.

3.1.6. Torsi

Perhitungan terhadap torsi untuk sudut 40° dapat dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\text{Torsi} = (m_{tw} + m_{tx} + m_{tr}) \quad (6)$$

$$\text{Torsi} = (2,85 + (-3,178) + 0,0527)$$

$$\text{Torsi} = -0,2738 \text{ KNm}$$

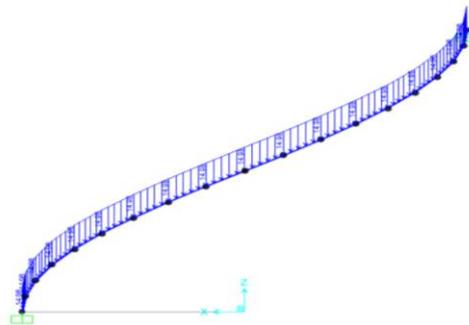
Maka dari persamaan diatas torsi lainnya dapat diliat pada Tabel 1 Rekapitulasi Gaya gaya dalam Metode Fleksibilitas.

Tabel 1. Hasil Rekap Gaya-Gaya Dalam Metode Fleksibilitas

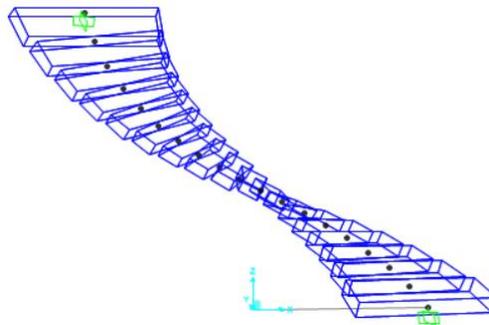
No	Θ	Mv (Knm)	Mh(Knm)	Torsi (Knm)	F Horizontal	F Vertikal	F Aksial
1	90°	-12,408	74,336	0,094	0,000	29,726	56,207
2	80°	-7,688	72,520	-0,545	-6,093	24,810	52,916
3	70°	-4,358	68,829	-0,736	-12,001	20,397	48,703
4	60°	-2,178	63,260	-0,665	-17,545	16,465	43,611
5	50°	-0,892	55,894	-0,477	-22,555	12,975	37,709
6	40°	-0,251	46,890	-0,274	-26,880	9,876	31,089
7	30°	-0,022	36,482	-0,114	-30,388	7,106	23,869
8	20°	-0,010	24,964	-0,023	-32,973	4,591	16,180
9	10°	-0,065	12,678	0,007	-34,556	2,251	8,171
10	0°	-0,093	0,000	0,000	-35,089	0,000	0,000
11	-10°	-0,065	-12,678	-0,007	-34,556	-2,251	-8,171
12	-20°	-0,010	-24,964	0,023	-32,973	-4,591	-16,180
13	-30°	-0,022	-36,482	0,114	-30,388	-7,106	-23,869
14	-40°	-0,251	-46,890	0,274	-26,880	-9,876	-31,089
15	-50°	-0,892	-55,894	0,477	-22,555	-12,975	-37,709
16	-60°	-2,178	-63,260	0,665	-17,545	-16,465	-43,611
17	-70°	-4,358	-68,829	0,736	-12,001	-20,397	-48,703
18	-80°	-7,688	-72,520	0,545	-6,093	-24,810	-52,916
19	-90°	-12,408	-74,336	-0,094	0,000	-29,726	-56,207

3.2. Analisis Tangga Helix Menggunakan Metode Numerik (SAP 2000)

SAP 2000 merupakan aplikasi yang digunakan untuk menganalisis struktur. Pada penelitian ini SAP 2000 digunakan sebagai pembanding perhitungan analisis tangga helix. Berikut ini merupakan hasil analisis tangga helix menggunakan metode SAP 2000 yang dapat dilihat pada Tabel dan gambar desain tangga helix menggunakan SAP 2000



Gambar 3. Bentuk Tangga Helix Beserta Pembebanan Pada SAP 2000



Gambar 4. Bentuk Tangga Helix Beserta Dimensi Plat Yang Digunaka

Tabel 2. Hasil Rekap Gaya-gaya dalam SAP 2000

No	θ	Mv (KNm)	MH(KNm)	Torsi (KNm)	F Horizontal	F Vertikal	F Aksial	
1	90	°	-11,58	77,77	0,15	-3,40	33,08	62,64
2	80	°	-7,15	76,25	-0,45	-10,08	27,79	58,61
3	70	°	-4,17	72,65	-0,68	-16,46	23,05	53,37
4	60	°	-2,36	66,96	-0,57	-22,34	18,82	47,19
5	50	°	-1,38	59,29	-0,40	-27,55	15,06	40,16
6	40	°	-0,94	49,81	-0,23	-31,91	11,70	32,40
7	30	°	-0,77	38,79	-0,10	-35,30	8,67	24,04
8	20	°	-0,64	26,55	-0,03	-37,63	5,87	15,24
9	10	°	-0,40	13,49	0,00	-38,81	3,23	6,18
10	0	°	0,06	0,002	0,004	-38,80	0,627	2,979
11	-10	°	-0,40	-13,49	0,00	-38,81	-3,23	-6,18
12	-20	°	-0,64	-26,55	0,03	-37,63	-5,87	-15,24
13	-30	°	-0,77	-38,79	0,10	-35,30	-8,67	-24,04
14	-40	°	-0,94	-49,81	0,23	-31,91	-11,70	-32,40
15	-50	°	-1,38	-59,29	0,40	-27,55	-15,06	-40,16
16	-60	°	-2,36	-66,96	0,57	-22,34	-18,82	-47,19
17	-70	°	-4,17	-72,65	0,68	-16,46	-23,05	-53,37
18	-80	°	-7,15	-76,25	0,45	-10,08	-27,79	-58,61
19	-90	°	-11,58	-77,77	-0,15	-3,40	-33,08	-62,64

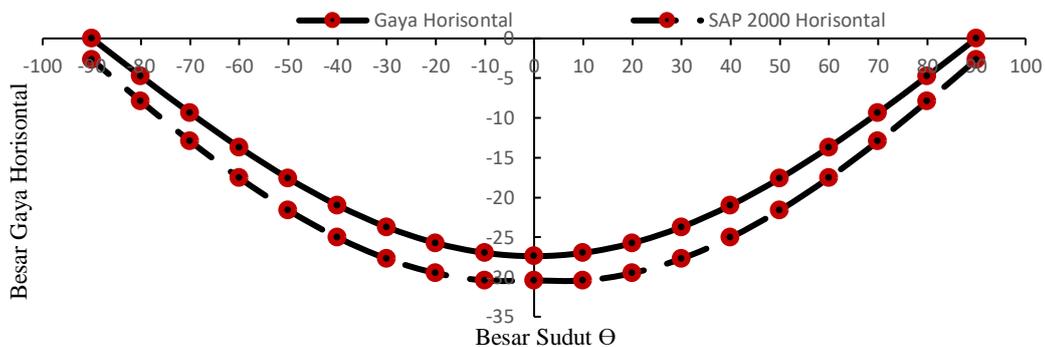
3.3. Perbandingan Hasil Perhitungan

Untuk analisis ini dilakukan perbandingan hasil hitungan Metode Fleksibilitas dan perhitungan dengan Metode SAP 2000). Berikut ini merupakan hasil perbandingan yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

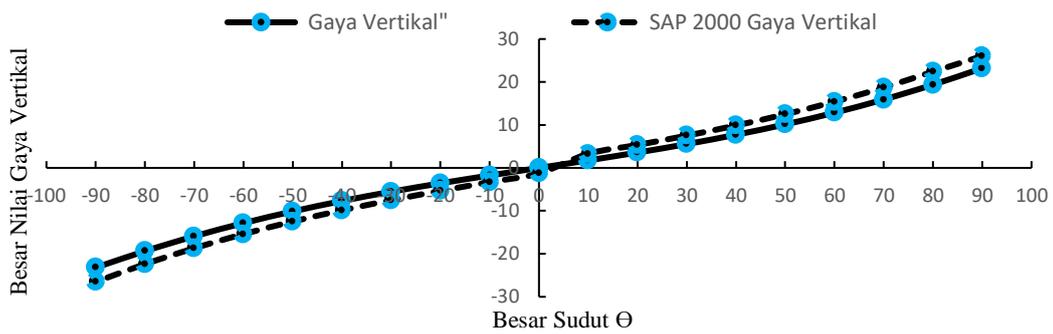
Tabel 3. Hasil Perbandingan Metode Fleksibilitas Dan Metode SAP 2000

Gaya-Gaya Dalam	Metode Fleksibilitas	Metode SAP 200	Selisih
Gaya Horizontal Max	-35,089	-38,806	9,6 %
Gaya Vertikal Max	29,726	33,075	10 %
Gaya Aksial Max	56,2066324	62,63841497	10 %
Momen Horizontal Max	74,33609074	77,76629287	4,4 %
Momen Vertikal Max	-12,40836414	-11,58446174	6,6 %
Torsi Max	-0,735542104	-0,68156446	7,3 %

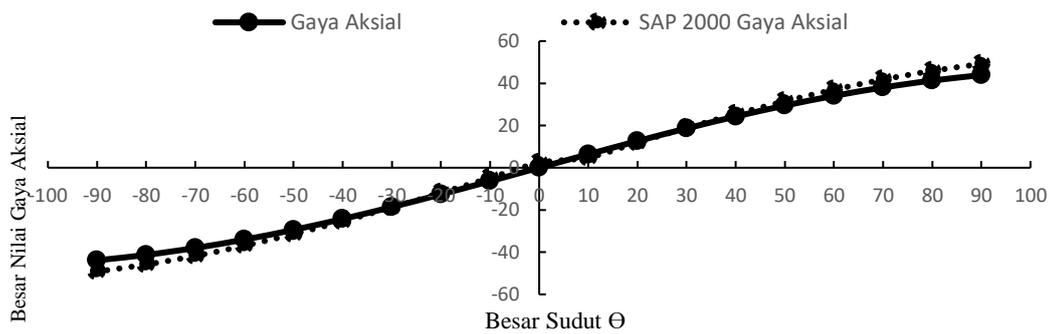
Berdasarkan hasil perbandingan diatas maka dibuatlah grafik perbandingan gaya-gaya dalam antara metode fleksibilitas dan metode SAP 2000 sebagai berikut.



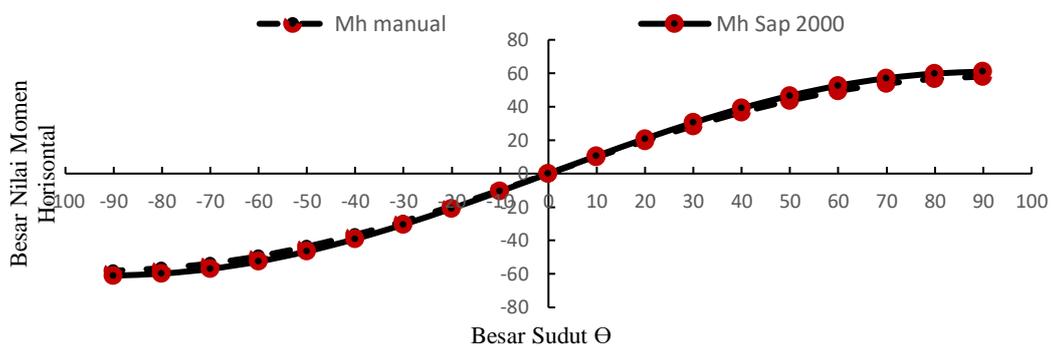
Gambar 5. Grafik Perbandingan Gaya Horizontal



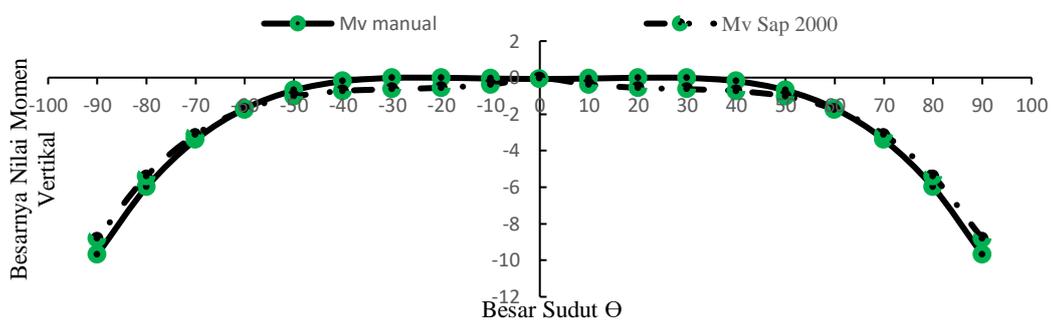
Gambar 6. Grafik Perbandingan Gaya Vertikal



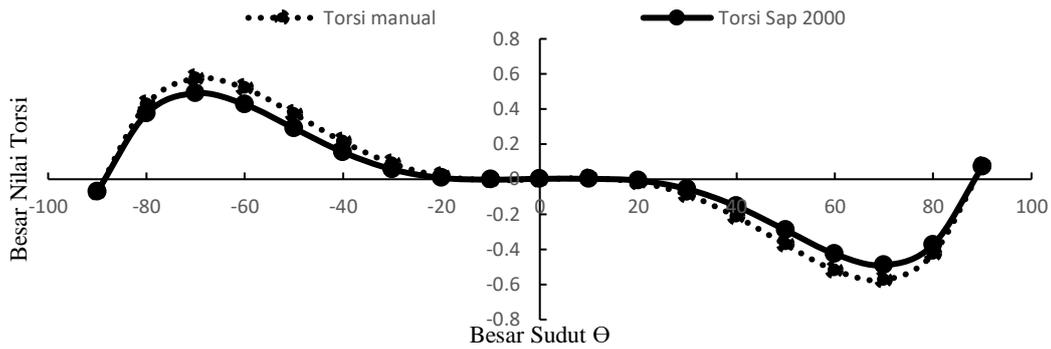
Gambar 7. Grafik Perbandingan Gaya Aksial



Gambar 8. Grafik Perbandingan Momen Horisontal



Gambar 9. Grafik Perbandingan Momen Vertikal

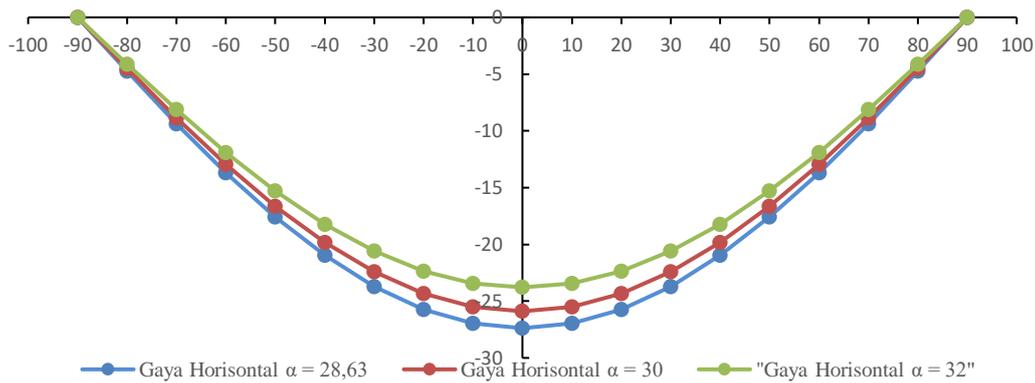


Gambar 10. Grafik Perbandingan Momen Torsi

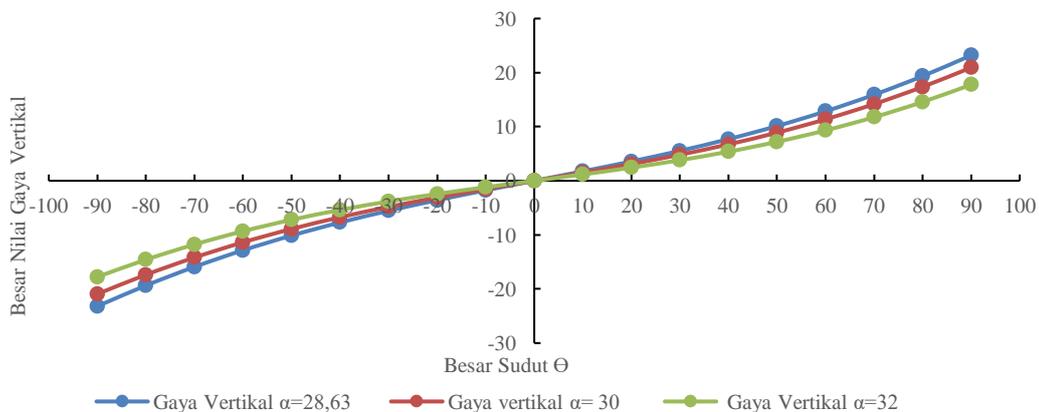
Berdasarkan grafik perbandingan gaya-gaya dalam yang tertera dalam gambar (4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32) maka hasil perhitungan gaya-gaya dalam menggunakan Metode Fleksibilitas dan pembandingnya Metode SAP 2000 dapat dikatakan sama atau mencapai tingkat kesamaan dengan tingkat kesalahan dibawah 10,00%.

3.4. Variasi Teta Dengan Jari-Jari Dan Alfa Konstan

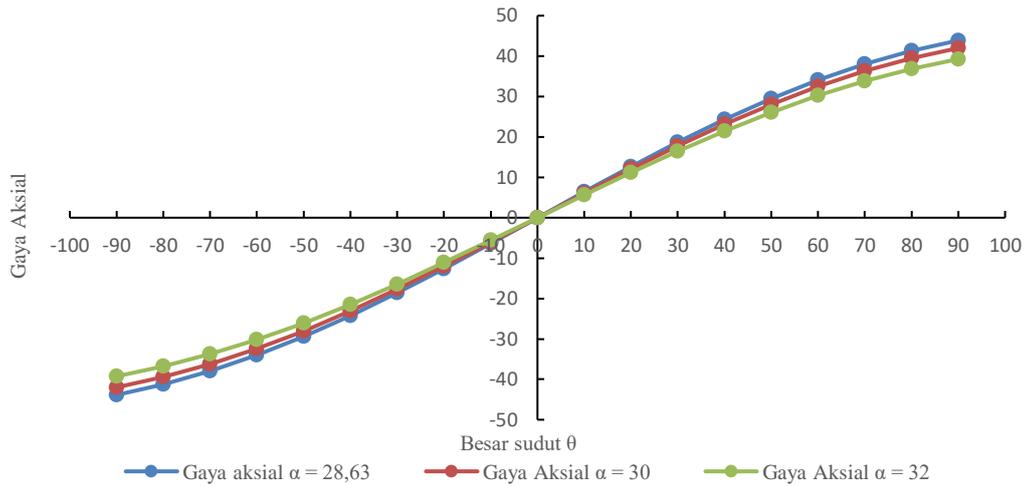
Dalam penelitian ini dilakukan variasi alfa dan jari-jari dengan besar alfa 28.63° , 30° , 32° dengan jari-jari 1,75, 1,65, 1,52 dan teta yang konstan. Dengan besar nilai teta 180° .



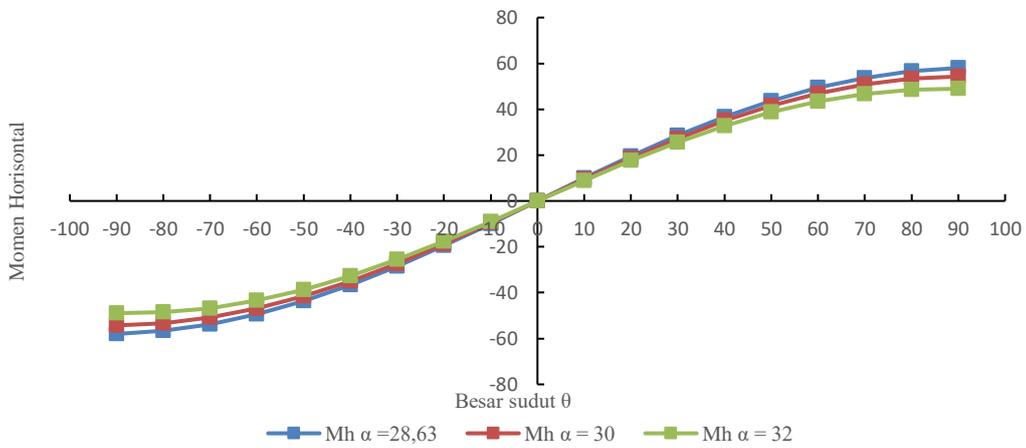
Gambar 11. Grafik Gaya Horizontal Variasi Alfa dan Jari-Jari



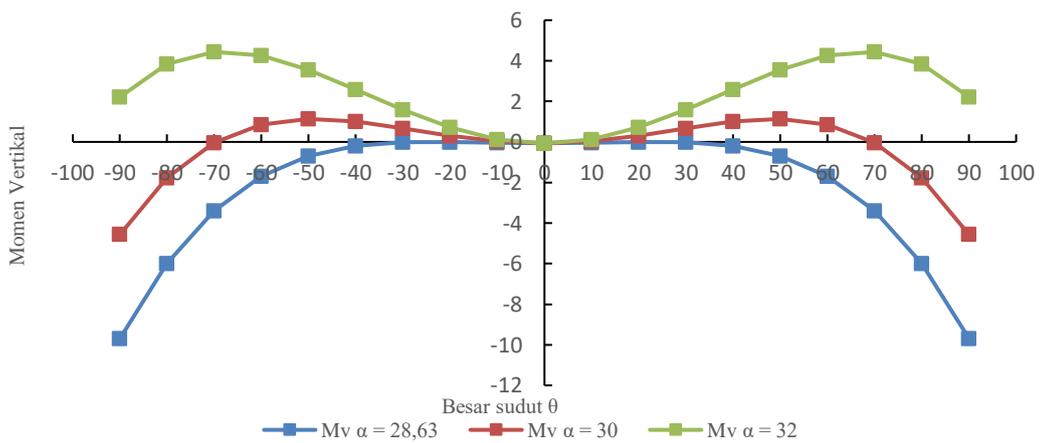
Gambar 12. Grafik Gaya Vertikal Variasi Alfa



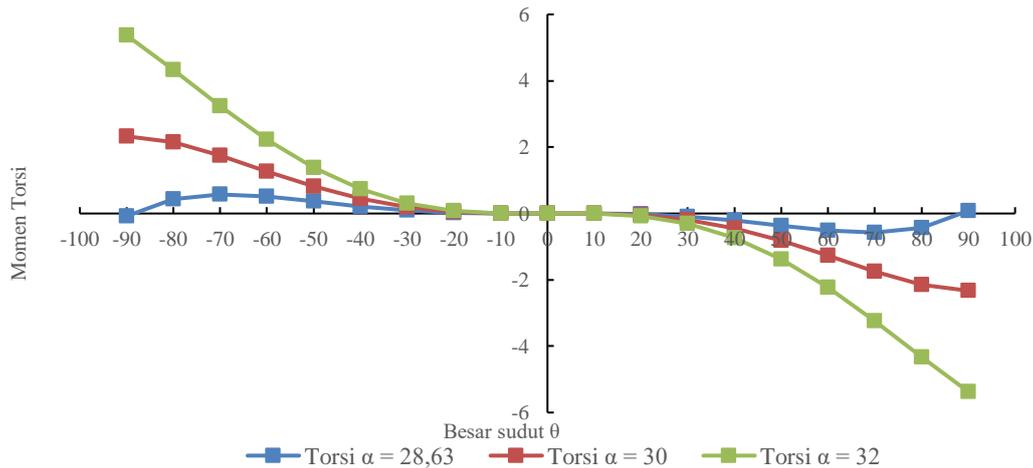
Gambar 13. Grafik Gaya Aksial Variasi Alfa



Gambar 14. Grafik Momen Horizontal Variasi Alfa



Gambar 15. Grafik Momen Vertikal Variasi Alfa



Gambar 16. Grafik Momen Torsi Variasi Alfa

Berdasarkan grafik variasi alfa dengan jari-jari dan teta yang konstan, dapat dikatakan:

1. Semakin besar nilai alfa maka semakin kecil gaya-gaya dalam yang bekerja pada tangga helix yaitu gaya vertikal, gaya horisontal, gaya aksial, momen vertikal, momen horisontal.
2. Semakin besar nilai alfa maka semakin besar momen torsi yang bekerja pada tangga helix

3.5. Pembahasan

Analisis terhadap tangga helix sulit dilakukan karena bentuknya yang spiral. Metode fleksibilitas merupakan salah satu metode dalam menganalisis suatu struktur statis tak tentu. Hasil penelitian tentang studi analisis tangga spiral menggunakan Metode Fleksibilitas telah diperoleh dan dibandingkan dengan perhitungan numerik menggunakan Aplikasi SAP 2000. Dari hasil penelitian tersebut dapat dikatakan bahwa studi analisis tangga helix menggunakan metode fleksibilitas tersebut mencapai tingkat kesalahan yang signifikan yaitu dibawah 10,00%.

Ada beberapa variasi yang dilakukan yaitu sudut α dan jari-jari tangga dengan sudut Θ yang konstan, dan variasi sudut Θ dengan jari-jari dan sudut α yang konstan. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar jari-jari maka nilai gaya-gaya dalam yaitu gaya aksial, gaya vertikal, momen horisontal, torsi meningkat secara signifikan di titik perletakan atau meningkat secara signifikan seiring perubahan besar sudut yang terjadi. Semakin besar jari-jari semakin besar pula gaya horisontal namun semakin kecil pada titik perletakan dan makin besar pada tengah bentang plat. Semakin besar Θ maka nilai gaya-gaya dalam yaitu gaya aksial, gaya vertikal, momen horisontal, dan torsi meningkat namun tidak signifikan terjadi pada titik perletakan. Semakin besar Θ semakin besar pula gaya horisontal namun besarnya semakin kecil pada titik perletakan dan makin besar pada tengah bentang plat. Semakin besar nilai α maka semakin besar nilai momen torsi, gaya aksial namun peningkatannya tidak terlalu signifikan. Semakin besar nilai sudut α maka semakin kecil nilai gaya vertikal dan momen vertikal. Semakin besar nilai sudut α maka nilai momen horisontal dan gaya horisontal semakin meningkat namun peningkatannya sangatlah kecil.

4. Kesimpulan

Analisis tangga helix menggunakan Metode Fleksibilitas dan metode SAP 2000 didapat hasil perbandingan kedua metode yaitu dibawah 10%. Dari hasil perbandingan ini dapat dikatakan bahwa perhitungan secara manual menggunakan Metode Fleksibilitas memiliki akurasi yang cukup baik.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dapat dilihat pada grafik gaya-gaya dalam maka jika nilai besar sudut Θ semakin besar maka nilai gaya-gaya dalam pun semakin besar. Begitu pula dengan semakin besar jari-jari semakin besar pula nilai gaya-gaya dalam yang bekerja pada tangga helix. Dan jika nilai α atau kemiringan tangga semakin besar maka nilai dari gaya-gaya dalam akan semakin kecil. Demikian juga nilai momen torsi semakin besar.

Daftar Pustaka

- A S Arya and A Prakash. 'Analysis of Helicoidal Staircases with Intermediate Landing' in 'Analysis of Structural System for Torsion,' SP 35, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1973.
- Bangash, M. dan Bangash, T., 1999. *Stair Structural Analisis And Design Cases*, A.A Balkema, Rotterdam.
- PPBUG, 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Gizaw, Y. 2015. "Analisis Aid Preparation For Self Supporting Fixed Ended Helical Stair", Magister Teknik Sipil Universitas Addis Ababa, Adidis Ababa.
- H T Solanki. 'Helicoidal Staircases with Intermediate Landing.' Structural Engineering Practice, vol 3, no 2, 1986, pp 133-140
- Harshad J. Shah," Study of Helical stairs", ACI Journal, 1972, Proceedings, vol 61, no 1, April 1973, pp 85-101
- Kholiq, A. 2015. "Analisis Struktur Tangga Proyek Pembangunan Rsud Cideres Maja Lengka", Teknik Sipil Universitas Majalengka, Majalengka.
- Modak, S. 1991.A "Design Rationale For Helicoidal Stair Slabs", Depertemen Of Civil Engginingr Banglades University, Bangladesh.
- Wadud, Z. 2002. "A Simple Design Approach For Helicoidal Stair", Depertemen Of Civil Engineering Bangladesh University Of Enggineering And Technology, Bangladesh.
- Wadud, Z. dan Ahmad, S., 2005. "Simple Design Charts For Helicoidal Stair Slabs With Intermediate Landings". Depertemen Of Civil Enggineering Bangladesh University Of Enggineering And Technology, Bangladesh.