



JURNAL

FORUM TEKNIK SIPIL (ForTekS)

P-ISSN :2776-6012

E-ISSN :2776-8155

Evaluasi Pembiayaan Pembangunan Infrastruktur Pedesaan

Danang Gunarto I dan Trimawan

Pengaruh Variasi Girder Terhadap Perilaku Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Akibat Gempa Horizontal

Septiano H. E. Tefa, Dantje A. T. Sina, Hj. Andi Kumalawati

Pengembangan Program Aplikasi Analisis Pelat 2D Dengan Metode Finite Difference Menggunakan Matlab

Alexander Bria Seran Malik, Remigildus Cornelis, Ruslan Ramang

Hubungan Ketersebaran Dinding Geser Sebidang Secara Horizontal Terhadap Drift Bangunan Tingkat Tinggi

Raynaldo Nara Rihi, Jusuf J. S. Pah, Rosmiyati A. Bella

Evaluasi Kinerja Embung Kecil di Kabupaten Kupang

Since Deta Adelfina Fallo, I Made Udiana, Sudiyo Utomo

Analisis Kinerja Kolom Pipih Dan Kolom Konvensional Pada Bangunan Bertingkat Rendah

Tersianus Rada Sakti, Dolly W. Karels, Remigildus Cornelis

Analisis Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Gedung dengan Pelat Konvensional, Waffle Slab, dan Flat Slab

Yohanes Alexander Rupidara, Remigildus Cornelis, Tri M. W. Sir

Pengaruh Fly Ash pada Stabilisasi Lempung Ekspansive Terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR

Elsy E. Hangge, Remigildus Cornelis, Antonius Y. Dom

Analisis Indeks Kekeringan Menggunakan Standardized Precipitation Index (SPI) Method Pada Daerah Kabupaten Timor Tengah Selatan

Willybrordus K. Hima, I Made Udiana, Judi K. Nasjono

Evaluasi Pembiayaan Pembangunan Infrastruktur Pedesaan

Finance Evaluation Rural Infrastructure Development

Danang Gunarto^{1*} dan Trimawan¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak 78124, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Pembiayaan, infrastruktur, pedesaan

Keywords:

Financing, infrastructure, rural

Article history:

Received: 02-11-2021

Accepted: 11-05-2022

*Koresponden email:

dananggunarto.untan@gmail.com

Abstrak

Dalam suatu pekerjaan konstruksi, estimasi volume dan biaya pekerjaan pelaksanaan memerlukan perhitungan yang tidak kalah pentingnya dengan perhitungan teknis. Penelitian ini mengkaji pembiayaan pembangunan infrastruktur pedesaan yang dilakukan tanpa perencanaan yang memadai. Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel 9 pembangunan infrastruktur. Metode pelaksanaan penelitian adalah dengan membandingkan antara pagu anggaran yang tersedia dan perhitungan perkiraan biaya berdasar pengamatan lapangan. Analisa harga satuan menggunakan metode SNI (Standart Nasional Indonesia). Dari hasil analisis, biaya hasil perhitungan dan pagu anggaran yang tersedia terdapat perbedaan. Rata-rata pagu anggaran yang tersedia mencapai Rp 116.000.000,00, lebih tinggi dibanding perhitungan biaya berdasar pengukuran lapangan yang hanya Rp 105.900.000,00. Standar deviasi nilai anggaran pada perhitungan lapangan menunjukkan Rp 46.400.000 sedangkan pagu hanya Rp 15,7 juta. Hal ini menunjukkan kualitas pelaksanaan kegiatan sangat bervariasi untuk masing-masing kegiatan.

Abstract

Volume estimation and the financial project are essential as technical calculations. This research is to study urban project finances held without proper planning, and the research sample is nine urban. The research method compares the budget available and the estimation calculation based on field observation according to field observation. Unit price analysis use SNI (Standart Nasional Indonesia) method. From the analysis results, the calculated cost and budget ceiling are different. According to field observation, the average budget ceiling is Rp 116,000,000.00, higher than the computed cost of Rp 105,900,000.00. However, according to field observation, the standard deviation of estimation calculation is Rp 46,400,000.00, and the budget is Rp 15,700,000.00. This matter shows that the quality of urban infrastructure projects is varied.

1. Pendahuluan

Pada dasarnya proyek konstruksi di Indonesia dari waktu ke waktu semakin berkembang, hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya pembangunan yang dilakukan di Indonesia, sesuai dengan Nawa Cita pemerintah periode 2014 - 2019 salah satunya poinnya tentang Membangun Indonesia dari pinggiran dengan memperkuat daerah-daerah dan desa dalam kerangka negara kesatuan. Hal ini terus dilanjutkan dalam Nawa Cita Jilid II di pemerintahan periode 2019-2024, yakni pembangunan infrastruktur yang akan terus dilanjutkan untuk mendukung aktivitas rakyat, termasuk untuk mendukung pengembangan perekonomian dan kemudahan aksesibilitas (Simanjuntak and Victor 2020).

Pengendalian biaya dan waktu diperlukan untuk menjaga kesesuaian antara perencanaan dan pelaksanaan (Wospoga and Wardhani 2015). Keberhasilan ataupun kegagalan dari pelaksanaan proyek sering kali disebabkan oleh kurang terencananya kegiatan proyek tersebut, serta pengendalian yang kurang efektif, sehingga kegiatan proyek tidak efisien. Hal ini akan menyebabkan keterlambatan serta menurunnya kualitas pekerjaan, dan mengakibatkan membengkaknya biaya pelaksanaan. Manajemen proyek dilakukan untuk mengelola proyek dari awal pelaksanaan hingga selesainya proyek tersebut (Hidayah, Ridwan, and Cahyo 2018)

Analisis pembiayaan dan finansial proyek adalah suatu kegiatan analisis untuk mengetahui kesesuaian pembiayaan dari suatu proyek yang direncanakan. Dalam suatu pekerjaan konstruksi, estimasi volume dan biaya pekerjaan pelaksanaan memerlukan perhitungan yang tidak kalah pentingnya dengan perhitungan teknis. Dengan metode perhitungan tertentu yang sudah baku, suatu pekerjaan dapat dilaksanakan dengan biaya yang pantas, dan kemungkinan terjadi kesalahan hitungan finansial sangat kecil. Dengan estimasi yang tepat, kebocoran-kebocoran keuangan proyek dapat dicegah, disamping dilakukan pula pekerjaan pengawasan (supervisi).

Pada tahap awal, estimasi biaya digunakan untuk mengetahui berapabesar biaya yang dibutuhkan untuk mewujudkan suatu proyek (Astana 2017). Norma, standart, pedoman dan manual diperlukan sebagai acuan dalam menjamin mutu konstruksi. Tanpa itu mutu produk konstruksi tidak dapat diandalkan dan tidak memiliki daya saing (Effendi 2007)

Langkah yang dilakukan untuk menghitung rencana anggaran biaya bangunan adalah mengidentifikasi setiap item pekerjaan yang ada dalam proyek yang sedang dihitung (Sahiman and Dhiniati 2016).

Setiap pekerjaan pada suatu proyek pada umumnya telah direncanakan dengan baik dan benar serta dapat dipertanggungjawabkan. Untuk mencapai perencanaan yang baik maka diperlukan suatu keahlian dan keterampilan yang memadai serta didukung oleh tenaga-tenaga profesional di bidangnya. Salah satu indikasi untuk melihat dan menilai seseorang, perusahaan atau lembaga dapat dilihat dari kelengkapan administrasi dan laporan yang baik serta dapat dipertanggungjawabkan. Laporan yang baik adalah laporan yang mudah dipahami, sistematis dan dapat memberikan gambaran secara umum pada pihak yang terkait.

Penelitian ini bertujuan mengkaji pembiayaan infrastruktur pedesaan berdasar analisa harga satuan standar (SNI) yang dibiayai dengan skema bantuan keuangan dan mengomparasi pembiayaan infrastruktur pedesaan dengan AHSP di beberapa titik pembangunan infrastruktur pedesaan Kabupaten Bengkayang.

2. Metode

2.1. Estimasi Volume

Estimasi volume diperoleh berdasar :

- a. Pengukuran lapangan
Pengukuran lapangan dilakukan dengan menggunakan alat-alat sederhana, seperti meteran, penggaris, cangkul dll
- b. Penggambaran data lapangan
Dari hasil pengukuran lapangan dilakukan penggambaran berdasar data pengamatan lapangan
- c. Perhitungan volume
Perhitungan volume didasarkan gambar yang sudah diperoleh.

2.2. Perhitungan Biaya

Dalam pelaksanaan praktik konstruksi dibutuhkan beberapa macam estimasi yang berbeda didasarkan tujuan penggunaan dan peruntukannya. Pada tahap awal perencanaan proyek pemeliharaan berkala jalan, seperti pada saat penyusunan anggaran proyek, jelas estimasi tidak mungkin didasarkan pada perhitungan kuantitas (volume) pekerjaan karena uraian dan spesifikasi pekerjaan belum tersusun (Eman, Lintong, and Jansen 2019).

Biaya tidak langsung (*indirect cost*) adalah pengeluaran untuk manajemen, supervisi, dan pembayaran material serta jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi instalasi atau produk permanen, tetapi diperlukan dalam rangka proses pembangunan proyek (Prataxis 2013). Biaya langsung adalah seluruh biaya yang berkaitan langsung dengan fisik proyek, yaitu meliputi seluruh biaya dari kegiatan yang dilakukan di proyek (dari persiapan hingga penyelesaian) dan biaya mendatangkan seluruh sumber daya yang diperlukan oleh proyek tersebut. Biaya langsung dibagi menjadi lima, yaitu (APRILIANI 2019):

- a. Biaya bahan / material
- b. Biaya upah kerja
- c. Biaya alat
- d. Biaya subkontraktor
- e. Biaya lain-lain Biaya lain-lain biasanya relatif kecil.

Adalah biaya yang telah disusun atau ditetapkan estimator dalam menentukan biaya produksi. Rencana Biaya (RABI) rencana anggaran biaya (RAB) merupakan salah satu dokumen kelengkapan yang dibutuhkan dalam operasional pelaksanaan proyek dan sebagai acuan pada pengukuran analisis indeks (Bermula, Tjakra, and Inkiriwang 2020)

2.3. Harga Upah dan Bahan

Analisa bahan suatu pekerjaan, ialah menghitung banyaknya atau volume masing-masing bahan, serta besarnya biaya yang dibutuhkan. Kebutuhan bahan dapat dicari dengan rumus umum sebagai berikut (Pratama and Limanto 2017):

$$\Sigma \text{ Bahan} = \text{Volume pekerjaan} \times \text{Koefisien analisa bahan.} \quad (1)$$

Penelitian ini membandingkan antara pagu anggaran yang disiapkan pemerintah dengan perhitungan biaya hasil pengukuran volume dilapangan. Volume lapangan diamati berdasarkan volume terpasang yang ada di lapangan. Harga satuan dihitung berdasarkan harga satuan dengan menggunakan metode SNI. Harga upah dan bahan menggunakan ketentuan yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum setempat. Objek penelitian adalah Sembilan bangunan infrastruktur pedesaan yang dibangun di Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat yaitu tambatan nelayan, 3 bangunan brojong, 2 bangunan *Box Culvet*, 2 jalan rambat beton dan drainase.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pembiayaan

Hasil pembiayaan terdiri dari komponen volume dan harga untuk masing-masing kegiatan. Berikut adalah hasil perhitungan volume dan harga yang diperoleh dari hasil perhitungan. Tabel 1 menunjukkan volume dan harga satuan serta total perkiraan biaya pembangunan tambatan nelayan (1).

Tabel 1. Volume dan Biaya Pembangunan Tambatan Nelayan

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
I	1. Pengukuran	Ls	1,00	1.500.000,00	1.500.000,00
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.500.000,00
II Pekerjaan Dermaga					
1. Tangga Dermaga					
a. Pekerjaan Tongkat Kayu Belian					
	- Tongkat Belian 8x8-4 m, 12 unit	m ³	0,48	17.071.670,00	8.128.846,39
	- Pemancangan	Unit	12,00	200.000,00	2.400.000,00
	- Baut	Unit	24,00	10.000,00	240.000,00
b. Pekerjaan Rangka Kayu Belian					
	- Balok	m ³	0,08	17.071.670,00	1.311.104,26
	- Gelegar	m ³	0,19	17.071.670,00	3.277.760,64
	- Papan Dudukan Lantai Tangga	m ³	0,19	28.781.750,00	3.990.096,00
	- Railing, Pegangan Tangan	m ³	0,06	17.071.670,00	1.092.586,88
c. Lantai Tangga					
	- Lantai Tangga	m ³	0,46	20.781.750,00	9.576.230,40
d. Alat Bantu					
	- Beugel, dll	Ls	1,00	500.000,00	500.000,00
2. Dermaga					
a. Pekerjaan Tongkat Kayu Belian					
	- Tongkat Belian 8x8-4, 12 unit	m ³	0,84	17.071.670,00	14.422.146,82
	- Pemancangan Tongkat Belian	unit	12,00	200.000,00	2.400.000,00
	- Baut	unit	30,00	10.000,00	300.000,00
	- Tongkat Tambatan Bawah	m ³	0,03	17.071.670,00	491.664,10
b. Pekerjaan Rangka Kayu Belian					
	- Balok	m ³	0,14	17.071.670,00	2.403.691,14
	- Gelegar	m ³	0,38	17.071.670,00	6.555.521,28
	- Selempang	m ³	0,14	17.071.670,00	2.403.691,14
	- Pengaman Dermaga	m ³	0,10	17.071.670,00	1.748.139,01
	- Balok (Tambatan Bawah)	m ³	0,01	17.071.670,00	163.888,03
c. Lantai					
	- Lantai Dermaga	m ³	0,91	20.781.750,00	18.952.956,00
	- lantai (Tambatan Bawah)	m ³	0,06	20.781.750,00	1.330.032,00
d. Alat bantu					
	- Beugel, dll	Ls	1,00	500.000,00	500.000,00
Jumlah Pekerjaan Dermaga					82.188.354,07

Tabel 2 dan 3 menunjukkan volume dan harga satuan serta total perkiraan biaya pembangunan bronjong (2) dan box culvert (3).

Tabel 2. Volume dan Biaya Pembangunan Bronjong

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pengukuran	Ls	1,00	1.000.000,00	1.000.000,00
2	Pemasangan Bouwplank	m	12,00	61.932,20	743.186,40
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.743.186,40
II Pekerjaan Bronjong					
-	Galian Tanah	m ³	28,70	87.450,00	2.509.815,00
-	Pekerjaan Bronjong	m ³	86,10	1.575.115,67	135.617.458,90
Jumlah Pekerjaan Jalan Rabat Beton					138.127.273,90

Tabel 3. Volume dan Biaya Pembangunan *Box Culvert* 1

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pemasangan Bouwplank	m	12,00	56.982,20	683.786,40
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					683.786,40
II Pekerjaan Box Culvert					
1 Pekerjaan Tanah					
-	Galian Tanah	m ³	3,67	79.500,00	292.051,20
2 Pekerjaan Pasangan					
-	Bekesting	m ²	38,18	211.640,00	8.079.568,64
-	Beton K-225	kg	5,85	2.113.925,00	12.357.159,98
-	Pasangan Batu	m ³	3,33	1.836.560,00	6.119.417,92
-	Tulangan	kg	484,34	37.912,60	18.362.715,96
-	Plesteran	m ²	12,88	99.594,00	1.282.770,72
Jumlah Pekerjaan Box Culvert					46.493.684,42

Tabel 4 dan 5 menunjukkan perhitungan volume dan harga satuan serta total perkiraan biaya pembangunan box culvert (4) dan jalan rabat beton (5). Perhitungan volume dan perkiraan biaya pembangunan jalan rabat beton (6) diberikan pada tabel 6.

Tabel 4. Volume dan Biaya Pembangunan *Box Culvert*

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pemasangan Bouwplank	m	12,00	56.982,20	683.786,40
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					683.786,40
II Pekerjaan Box Culvert					
1 Pekerjaan Tanah					
-	Galian Tanah	m ³	3,67	79.500,00	292.051,20
2 Pekerjaan Pasangan					
-	Bekesting	m ²	38,18	211.640,00	8.079.568,64
-	Beton K-225	kg	5,85	2.113.925,00	12.357.159,98
-	Pasangan Batu	m ³	3,33	1.836.560,00	6.119.417,92
-	Tulangan	kg	484,34	37.912,60	18.362.715,96
-	Plesteran	m ²	12,88	99.594,00	1.282.770,72
Jumlah Pekerjaan Box Culvert					46.493.684,42

Tabel 5. Volume dan Biaya Pembangunan Jalan Rabat Beton

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1.	Pengukuran	Ls	1,00	1.000.000,00	1.000.000,00
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.000.000,00
II Pekerjaan Jalan Rabat Beton					
1. Rehab Bendung Bangkak Eksisting					
a. Pekerjaan Pendukung					
-	Galian Tanah	m ³	14,50	87.450,00	1.268.025,00
-	Bekesting	m ²	41,76	233.640,00	9.756.806,40
b. Pekerjaan Struktur					
-	Urugan Pasir	m ³	14,50	456.060,00	6.612.870,00
-	Beton K - 125	m ³	26,10	1.865.875,00	48.699.337,50
Jumlah Pekerjaan Jalan Rabat Beton					66.337.038,90

Tabel 6. Volume dan Biaya Pembangunan Jalan Rabat Beton

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pengukuran	Ls	1,00	1.000.000,00	1.000.000,00
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.000.000,00
II Pekerjaan Jalan Rabat Beton					
1 Rehab Bendung Bangkak Eksisting					

a Pekerjaan Pendukung					
-	Galian Tanah	m ³	17,10	87.450,00	1.495.395,00
-	Bekesting	m ²	41,04	233.640,00	9.588.585,60
b Pekerjaan Struktur					
-	Urugan Pasir	m ³	17,10	456.060,00	7.798.626,00
-	Beton K - 125	m ³	41,04	1.904.375,00	78.155.550,00
Jumlah Pekerjaan Jalan Rabat Beton					97.038.156,60

Tabel 7. Volume dan Biaya Pembangunan Jalan Rabat Beton (6)

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pemasangan Bouwplank	m	20,00	56.982,20	1.139.644,00
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.139.644,00
II Pekerjaan Struktur					
a. Pekerjaan Pendukung					
-	Galian Tanah	m ³	24,52	87.450,00	2.144.274,00
b. Pekerjaan Pasangan					
-	Pasangan Batu	m ³	48,78	1.308.340,00	63.814.283,50
-	Plesteran	m ²	302,60	89.130,80	26.970.980,08
Jumlah Pekerjaan Struktur					92.929.537,58

Tabel 7 menunjukkan volume dan harga satuan serta total perkiraan biaya pembangunan drainase (7). Sementara perhitungan volume dan harga satuan serta total pembangunan bronjong (8) dan bronjong (9) diberikan pada tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Volume dan Biaya Pembangunan Bronjong

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pengukuran	Ls	1,00	1.000.000,00	1.000.000,00
2	Pemasangan Bouwplank	m	12,00	61.932,20	743.186,40
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.743.186,40
II Pekerjaan Bronjong					
-	Galian Tanah	m ³	18,50	87.450,00	1.617.825,00
-	Pekerjaan Bronjong	m ³	74,00	1.326.790,67	98.182.509,33
Jumlah Pekerjaan Jalan Rabat Beton					99.800.334,33

Tabel 9. Volume dan Biaya Pembangunan Bronjong

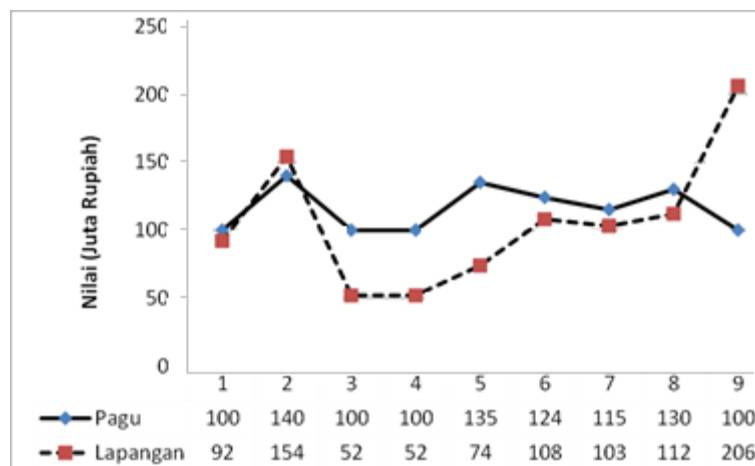
No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I Pekerjaan Pendahuluan					
1	Pengukuran	Ls	1,00	1.000.000,00	1.000.000,00
2	Pemasangan Bouwplank	m	12,00	61.932,20	743.186,40
Jumlah Pekerjaan Pendahuluan					1.743.186,40
ii Pekerjaan Bronjong					
-	Galian Tanah	m ³	14,10	87.450,00	1.233.045,00
-	Pekerjaan Bronjong	m ³	141,00	1.310.107,33	184.725.133,53
Jumlah Pekerjaan Jalan Rabat Beton					185.958.178,53

3.2. *Komparasi*

Dari hasil perhitungan, nilai pagu anggaran dan hasil perhitungan disajikan pada gambar 1. Berdasar gambar 1. terlihat perbedaan yang sangat signifikan antara nilai pagu anggaran dan hasil perhitungan. Secara umum nilai pagu anggaran lebih tinggi dibanding hasil pengukuran, walaupun pada beberapa lokasi menunjukkan hasil sebaliknya.

Rata-rata nilai pagu anggaran mencapai Rp 116.000,000,00 sementara nilai perhitungan lapangan hanya Rp 105.900.000,00. Perbedaan nilai rata-rata pagu dan perhitungan lapangan menunjukkan potensi kurangnya volume pekerjaan atau inefisiensi anggaran.

Standar deviasi pada pagu anggaran hanya Rp 15,7 juta sedangkan perhitungan data lapangan Rp 46,4 juta. Perbedaan nilai standar deviasi menunjukkan bahwa kualitas pekerjaan pada masing-masing lokasi tidak merata. Kualitas pekerjaan sangat dipengaruhi pelaksana atau lokasi kegiatan.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Nilai Pagu Anggaran dan Hasil Perhitungan

4. **Kesimpulan**

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan diketahui bahwa terdapat perbedaan hasil perhitungan biaya hasil pengamatan lapangan dengan pagu anggaran yang disiapkan pemerintah daerah, rata-rata nilai pembiayaan fisik lapangan lebih rendah dengan standar deviasi yang lebih tinggi dibanding pagu anggaran yang tersedia. Sehingga dapat disimpulkan kualitas pembiayaan fisik lapangan sangat

ditentukan pelaksana dibanding metode yang digunakan dan standar deviasi nilai kegiatan menunjukkan bahwa kualitas pelaksana pekerjaan tidak merata di seluruh lokasi. Hal ini terjadi akibat pengawasan yang lemah akibat sulitnya akses menuju lokasi.

Daftar Pustaka

- Apriliani, Sella Triasari Galuh. 2019. "Optimasi Waktu Dan Biaya Proyek Pembangunan Fasilitas Pelabuhan Waikelo Ntt Dengan Metode CPM".
- Astana, I. Nyoman Yudha. 2017. "Estimasi Biaya Konstruksi Gedung Dengan Cost Significant Model". *Jurnal Riset Rekayasa Sipil* 1(1):7–15.
- Bermula, Kerby, Jermias Tjakra, dan Revo L. Inkiriwang. 2020. "Pengendalian Biaya Struktur Konstruksi Beton Bertulang Dengan Menggunakan Analisis Indeks Pada Pembangunan Kalyana Residence Pall 2 Manado". *Jurnal Sipil Statik* 8(4).
- Effendi, Achmad Hidajat. 2007. "Penerapan Nspm Bidang Keselamatan Terhadap Bahaya Kebakaran Dalam Pembangunan Infrastruktur Perumahan Dan Permukiman". *Jurnal Standardisasi* 9(2):56–63.
- Eman, Peter A., Elisabeth M. Lintong, dan Freddy Jansen. 2019. "Estimasi Biaya Konstruksi Menggunakan Metode Parameter Pada Proyek Pemeliharaan Berkala Jalan Di Kota Manado". *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 8(2).
- Hidayah, Rohmatun, Ahmad Ridwan, dan Yosef Cahyo. 2018. "Analisa Perbandingan Manajemen Waktu Antara Perencanaan Dan Pelaksanaan". *Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil* 1(2):281–90.
- Pratama, Dani, dan Sentosa Limanto. 2017. "Studi Kasus Harga Satuan Upah Dan Bahan Untuk Proyek Bangunan Satu Lantai". *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil* 6(2):28–33.
- Pratisis, Pingkan Ane Kristy. 2013. "Pengendalian Biaya Dengan Cash Flow Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Universitas X". *Tekno* 10(57).
- Sahiman, Sahiman, dan Fameira Dhiniati. 2016. "Analisis Rencana Anggaran Biaya Pada Proyek Peningkatan Jalan Aur Duri–Rantau Unji (A. Hotmix) Tahap Iii Sepanjang 3, 2 Km Kota Pagar Alam". *Jurnal Ilmiah Bering 'S* 3(1):21–27.
- Simanjuntak, Manlian Ronald A., dan Victor Victor. 2020. "Analisis Faktor–Faktor Manajemen Pembiayaan Proyek Yang Dikerjakan Kontraktor Pada Proyek Konstruksi Di Tangerang". *Prosiding Snitt Poltekba* 4:479–85.
- Wospoga, Refi, dan Nurul Wardhani. 2015. "Analisa Pembiayaan Proyek Pembangunan Lanjutan Gedung Laboratorium Terpadu Fkip Universitas Tanjungpura Pontianak". *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura* 2(2).

Pengaruh Variasi Girder Terhadap Perilaku Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Akibat Gempa Horizontal

The Effect of Girder Variations on the Behavior of Superstructure Prestressed Concrete Bridge Due to Horizontal Earthquake

Septiano H. E. Tefa¹, Dantje A. T. Sina^{2*}, Hj. Andi Kumalawati³

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:

Girder, perilaku struktur, prategang, jembatan, gempa Horizontal

Keywords:

Beam girder, structure behavior, prestress, bridge, horizontal earthquake

Article history:

Received: 22-04-2022

Accepted: 12-05-2022

*)Koresponden email:

¹yanotefa01@gmail.com

²dantjesina@staf.undana.ac.id

Abstrak

Gempa bumi merupakan bencana alam berbahaya dan menimbulkan kerusakan dalam skala yang besar. Sebagai antisipasi dari kerusakan tersebut, desain struktur tahan gempa sudah menjadi kewajiban dalam merancang suatu struktur, salah satunya adalah struktur jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui partisipasi massa struktur, kapasitas dan tingkat kinerja struktur menggunakan metode respon spektrum, metode *pushover* dan metode *FEMA-356* pada jembatan beton prategang tipe I dengan panjang 37 m dan lebar 4 m menggunakan 10 variasi girder yang berlokasi di Bendungan Temef. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu kondisi struktur paling kritis terjadi pada arah melintang. Kapasitas geser dasar struktur maksimum lebih besar pada arah longitudinal dibandingkan dengan arah melintang, sedangkan kapasitas perpindahan struktur maksimum lebih besar pada arah melintang dibandingkan dengan arah longitudinal. Pengaruh luas penampang dan inersia penampang girder terhadap kapasitas struktur adalah semakin besar luas dan inersia penampang girder maka kapasitas struktur akan semakin besar. Tingkat kinerja struktur dari 10 variasi adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

Abstract

Earthquakes are dangerous natural disasters and cause damage on a large scale. Therefore, this study aimed to determine the mass participation of the structure, structure capacity, and performance levels. The analysis was carried out based on the spectral response, pushover, and FEMA-356 methods. In anticipation of the damage, the design of earthquake-resistant structures has become essential in structural design, especially in the bridge structure design. The bridge samples in this study were type I prestressed concrete bridges with a length of 37 m and a width of 4 m using ten variations of girders located at the Temef Dam. The results obtained are the most critical structural conditions occur in the transverse direction. The base shear maximum capacity is more significant in the longitudinal direction than in the transversal direction. The maximum displacement capacity is higher in the transversal direction than in the longitudinal direction. The effect of cross-sectional area and cross-sectional inertia of the beam girder on the structure's capacity is the greater the cross-sectional area and inertia of the beam girder, the greater the capacity of the structures. All of The structure performance levels were Immediate Occupancy (IO).

Kutipan:

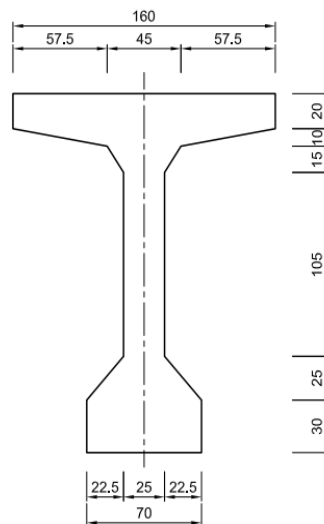
1. Pendahuluan

Gempa bumi merupakan bencana alam berbahaya dan menimbulkan kerusakan yang besar. Kerusakan jembatan yang disebabkan oleh gempa bumi adalah kerusakan jembatan I-Jiang di Taiwan akibat dari gempa Chi-chi (Moehle dkk. 1999) dan kerusakan jembatan Beburung 2 di Lombok Timur (Saputra 2020). Sebagaiantisipasi dari kerusakan tersebut, desain struktur tahan gempa menjadi kewajiban dalam perancangan suatu struktur.

Wilayah NTT khususnya Pulau Timor termasuk kawasan rawan terjadi gempa bumi tektonik karena berdasarkan peta gempa tahun 2017, wilayah NTT ditemukan 11 sesar aktif, patahan benua berada di selatan terdapat lempeng Australia yang menyusup ke utara dan ke bawah lempeng Eurasia serta patahan lokal yang berada di sebelah barat Pulau Timor dan sebelah utara Kefamenanu (Albar dkk. 2020). Berdasarkan beberapa penelitian terkait, penggunaan metode analisis yang digunakan sama yaitu metode respon spektrum tetapi yang menjadi perbedaan pada penelitian ini adalah mengetahui perilaku struktur dan kinerja struktur atas jembatan menggunakan variasi penampang girder yang berbeda. Variasi penampang yang digunakan adalah 10 variasi tipe *PCI-Girder* pada struktur atas jembatan dengan Panjang 37 m dan lebar 4 m yang memiliki fungsi sebagai penghubung dari *Spillway* ke *Intake* saluran pengelak Bendungan Temef Kabupaten TTS Propinsi NTT (Djubida 2020). Penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software CSiBridge v22.1.0*.

2. Bahan dan Metode

Dimensi penampang girder yang digunakan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi Girder *Eksisting* (Satuan dalam centimeter)

Dimensi *eksisting* sesuai gambar di atas digunakan sebagai acuan 100% pada girder variasi 6 (*GV-6*). Data perencanaan struktur dari 10 variasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Sampel Penelitian

Variasi Sampel (Model)	Dimensi Girder (m)			Presentase Luasan Variasi Sampel
	Lebar Atas	Lebar Bawah	Tinggi	
Variasi 1 (<i>GV-1</i>)	1,60	0,70	1,80	Perkecil 5,86%
Variasi 2 (<i>GV-2</i>)	1,60	0,70	1,85	Perkecil 4,69%
Variasi 3 (<i>GV-3</i>)	1,60	0,70	1,90	Perkecil 3,52%
Variasi 4 (<i>GV-4</i>)	1,60	0,70	1,95	Perkecil 2,34%
Variasi 5 (<i>GV-5</i>)	1,60	0,70	2,00	Perkecil 1,17%

Variasi Sampel (Model)	Dimensi Girder (m)			Presentase Luasan Variasi Sampel
	Lebar Atas	Lebar Bawah	Tinggi	
Variasi 6 (GV-6)	1,60	0,70	2,05	100% (acuan)
Variasi 7 (GV-7)	1,60	0,70	2,10	Perbesar 1,17%
Variasi 8 (GV-8)	1,60	0,70	2,15	Perbesar 2,34%
Variasi 9 (GV-9)	1,60	0,70	2,175	Perbesar 2,93%
Variasi 10 (GV-10)	1,60	0,70	2,20	Perbesar 3,52%

Penelitian ini berlokasi di Bendungan Temef Kabupaten TTS Propinsi NTT dengan titik koordinat $9^{\circ}42'47,4''$ LS dan $124^{\circ}27'22,4''$ BT. Waktu penelitian dilakukan sampai analisis data hasil penelitian dari bulan Juni 2021 sampai bulan Februari 2022 yang dimulai dengan mengumpulkan data informasi jembatan yang terdiri dari data primer (dimensi jembatan, dimensi penampang girder, jenis dan spesifikasi material) dan data sekunder berupa data seismik respon spektrum (Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan 2021). Kemudian dilakukan pemodelan struktur atas jembatan menggunakan 10 variasi girder dan dilanjutkan perhitungan pembebanan pada struktur atas jembatan (SNI 1725:2016) dan diinput pada *software* untuk masing-masing variasi. Setelah itu dilanjutkan dengan analisis dinamik *respon spektrum* yang digunakan sebagai gempa dinamik (V_D). Tahap selanjutnya dilakukan analisis struktur atas jembatan dan dilakukan pengecekan pada periode getar alami struktur ($T_D \leq T_S$). Jika pengecekan tersebut memenuhi maka dilakukan perhitungan gempa statik atau lateral (V_S) dan dilakukan pengecekan pada geser dasar ragam ($V_D \geq 0,85V_S$). Jika pengecekan tidak memenuhi maka dicari koreksi faktor skala baru agar pengecekan bisa memenuhi, setelah memenuhi dilakukan lagi pengecekan pada partisipasi massa struktur (arah kritis $\geq 90\%$). Selanjutnya dilakukan analisis *pushover* untuk mengetahui kapasitas struktur, kemudian dilanjutkan dengan tingkat kinerja struktur menggunakan metode *FEMA-356* untuk memperoleh performa level struktur jembatan dari 10 variasi girder.

2.1. Analisis Struktur Atas Jembatan Tahan Gempa

Ada 3 parameter penting yang digunakan untuk menghitung gempa statik atau lateral yaitu koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) respon spektrum, berat efektif struktur (W_t) dan faktor modifikasi respon (R) (SNI 2833:2016). Prosedur perhitungan gempa statik atau lateral:

1. Koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) respon spektrum

Penentuan koefisien respon gempa elastik sebagai berikut:

- Periode lebih kecil dari T_0 ditentukan dengan Persamaan 1.

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad (1)$$

- Periode lebih besar sama dengan T_0 dan lebih kecil sama dengan T_s , maka $C_{sm} = S_{DS}$.
- Periode lebih besar T_s ditentukan dengan Persamaan 2.

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2)$$

2. Berat efektif struktur (W_t)

Berat efektif struktur ditentukan dengan Persamaan 3.

$$W_t = 1,00 DL + 1,00 LL \quad (3)$$

3. Faktor modifikasi respon (R)

Faktor modifikasi respon ditentukan berdasarkan model bangunan bawah, yaitu tipe dinding untuk sumbu kuat (arah-x) dan tipe kolom tunggal untuk sumbu lemah (arah-y).

4. Geser dasar statik (V_S)

Geser dasar statik ditentukan dengan Persamaan 4.

$$V_S = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (4)$$

2.2. Kontrol Geser Dasar dan Partisipasi Massa Struktur

1. Kontrol geser dasar ragam

Nilai geser dasar dinamik (V_D) harus lebih besar sama dengan 85% geser dasar statik ($0,85V_S$). Jika geser dasar dinamik lebih kecil, maka harus dikali dengan $(0,85V_S/V_D) \geq 0$ agar memenuhi syarat (SNI 1726:2012).

2. Respon partisipasi massa struktur

Respon partisipasi massa struktur digunakan untuk mengetahui arah kritis struktur dengan syarat rasio minimum 90% (SNI 1726:2012).

2.3. Analisis Statik Non-linear Pushover

Analisis statik non-linear *pushover* digunakan untuk mengetahui kapasitas pada step maksimum suatu struktur.

2.4. Tingkat Kinerja Struktur Metode FEMA-356

Tingkat kinerja struktur menggunakan metode *FEMA-356* (FEMA 356 2000) ditentukan untuk memperoleh target perpindahan (δ_T) dengan Persamaan 5.

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (5)$$

Keterangan:

δ_T : Target perpindahan (m)

T_e : Waktu getar efektif (detik).

C_0 : Faktor modifikasi untuk mengkonversi *spectral displacement* struktur *SDOF* ekuivalen menjadi *roof displacement* struktur sistem *MDOF*, sesuai Tabel 3-2 *FEMA-356*.

C_1 : Faktor modifikasi untuk menghubungkan peralihan inelastik maksimum dengan peralihan respons elastik linear.

C_2 : Faktor modifikasi untuk memperlihatkan efek dari *hysteresis shape* pada respon perpindahan maksimum struktur sesuai Tabel 3-3 *FEMA 356*.

C_3 : Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek *P-delta*.

S_a : Akselerasi respon spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau

g : Percepatan gravitasi bumi = 9,81 m/detik²

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Beban Gempa Statik (V_S)

Gempa statik dari 10 variasi girder arah-x (UX) dan arah-y (UY) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban Gempa Statik (V_S)

Variasi Sampel	Gempa Statik (V_S)		Satuan
	UX	UY	
Variasi 1 ($GV-1$)	819,515	614,636	kN
Variasi 2 ($GV-2$)	852,012	639,009	kN
Variasi 3 ($GV-3$)	887,423	665,567	kN
Variasi 4 ($GV-4$)	917,954	688,466	kN
Variasi 5 ($GV-5$)	951,458	713,594	kN
Variasi 6 ($GV-6$)	985,300	738,975	kN
Variasi 7 ($GV-7$)	1019,464	764,598	kN
Variasi 8 ($GV-8$)	1054,018	790,514	kN
Variasi 9 ($GV-9$)	1071,376	803,532	kN
Variasi 10 ($GV-10$)	1088,866	816,650	kN

3.2. Kontrol Geser Dasar Ragam

Nilai geser dasar ragam diperoleh dari hasil analisis dinamik (V_D) sebesar 85% dari geser dasar statik ($0,85V_S$) atau dapat ditulis $V_D \geq 0,85V_S$. Kontrol awal geser dasar ragam arah-x (UX) dan arah-y (UY) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kontrol Awal Geser Dasar Ragam

Variasi Sampel	Arah Gempa	Geser Dinamik	85% Geser Statik	Kontrol ($V_D \geq 0,85V_S$)	Satuan
Variasi 1 (GV-1)	UX	4,612	696,588	No	kN
	UY	161,819	522,441	No	kN
Variasi 2 (GV-2)	UX	3,797	724,210	No	kN
	UY	163,487	543,158	No	kN
Variasi 3 (GV-3)	UX	3,341	754,310	No	kN
	UY	165,126	565,732	No	kN
Variasi 4 (GV-4)	UX	3,077	780,261	No	kN
	UY	166,740	585,196	No	kN
Variasi 5 (GV-5)	UX	2,927	808,740	No	kN
	UY	168,320	606,555	No	kN
Variasi 6 (GV-6)	UX	2,849	837,505	No	kN
	UY	169,879	628,129	No	kN
Variasi 7 (GV-7)	UX	2,807	866,544	No	kN
	UY	171,415	649,908	No	kN
Variasi 8 (GV-8)	UX	2,789	895,915	No	kN
	UY	172,928	671,937	No	kN
Variasi 9 (GV-9)	UX	2,788	910,669	No	kN
	UY	173,678	683,002	No	kN
Variasi 10 (GV-10)	UX	2,793	925,536	No	kN
	UY	174,422	694,152	No	kN

Dari Tabel 3 di atas, hasil kontrol belum memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga perlu dicari faktor skala baru untuk dikalikan dengan koordinat respon spektrum menggunakan persamaan $0,85V_S / V_D$. Hasil kontrol ulang geser dasar ragam menggunakan faktor skala baru arah-x (UX) dan arah-y (UY) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kontrol Ulang Geser Dasar Ragam

Variasi Sampel	Arah Gempa	Geser Dinamik	85% Geser Statik	Kontrol ($V_D \geq 0,85V_S$)	Satuan
Variasi 1 (GV-1)	UX	696,645	696,588	Oke	kN
	UY	522,512	522,441	Oke	kN
Variasi 2 (GV-2)	UX	724,256	724,210	Oke	kN
	UY	543,158	543,158	Oke	kN
Variasi 3 (GV-3)	UX	754,352	754,310	Oke	kN
	UY	565,737	565,732	Oke	kN
Variasi 4 (GV-4)	UX	780,335	780,261	Oke	kN
	UY	585,197	585,196	Oke	kN
Variasi 5 (GV-5)	UX	808,785	808,740	Oke	kN
	UY	606,625	606,555	Oke	kN
Variasi 6 (GV-6)	UX	837,539	837,505	Oke	kN
	UY	628,212	628,129	Oke	kN

Variasi Sampel	Arah Gempa	Geser Dinamik	85% Geser Statik	Kontrol ($V_D \geq 0,85 V_S$)	Satuan
Variasi 7 (GV-7)	UX	866,608	866,544	Oke	kN
	UY	650,004	649,908	Oke	kN
Variasi 8 (GV-8)	UX	895,934	895,915	Oke	kN
	UY	672,000	671,937	Oke	kN
Variasi 9 (GV-9)	UX	910,795	910,669	Oke	kN
	UY	683,005	683,002	Oke	kN
Variasi 10 (GV-10)	UX	925,685	925,536	Oke	kN
	UY	694,199	694,152	Oke	kN

Dari Tabel 4 di atas, hasil kontrol geser dasar ragam sudah memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga nilai faktor koreksi baru sudah benar dan bisa digunakan.

3.3. Respon Partisipasi Massa Struktur

Presentase respon partisipasi massa struktur arah-x (UX) dan arah-y (UY) dalam penentuan arah kritis struktur dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Modal Load Participation Ratio

Variasi Sampel	Output Case	Load Participation (%)	
		UX	UY
Variasi 1 (GV-1)	Modal	0,19	99,84
Variasi 2 (GV-2)	Modal	0,24	99,84
Variasi 3 (GV-3)	Modal	0,29	99,84
Variasi 4 (GV-4)	Modal	0,37	99,84
Variasi 5 (GV-5)	Modal	0,43	99,84
Variasi 6 (GV-6)	Modal	0,53	99,84
Variasi 7 (GV-7)	Modal	0,64	99,84
Variasi 8 (GV-8)	Modal	0,77	99,83
Variasi 9 (GV-9)	Modal	0,85	99,83
Variasi 10 (GV-10)	Modal	0,94	99,83

Dari Tabel 5 di atas menunjukkan kondisi kritis pada kekuatan struktur jembatan adalah pada arah-y (UY), karena melebihi rasio minimum partisipasi massa struktur yaitu 90% ($\geq 90\%$).

3.4. Kapasitas Geser Dasar Struktur (Base Shear Capacity)

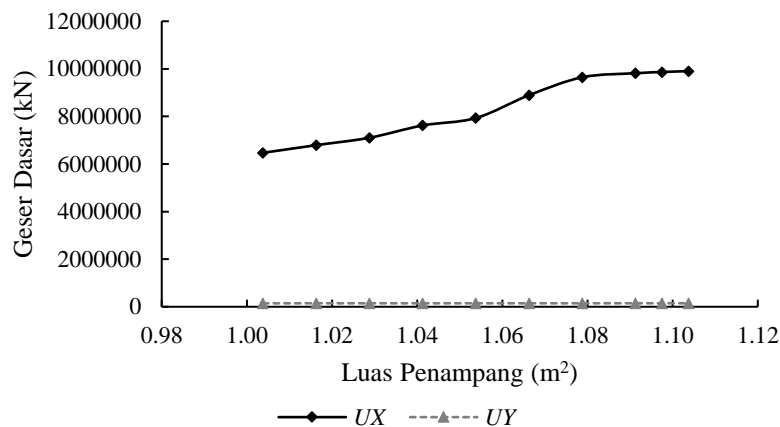
Kapasitas geser dasar struktur step max arah-x (UX) dan arah-y (UY) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kapasitas Geser Dasar Struktur (Base Shear) Step Maksimum

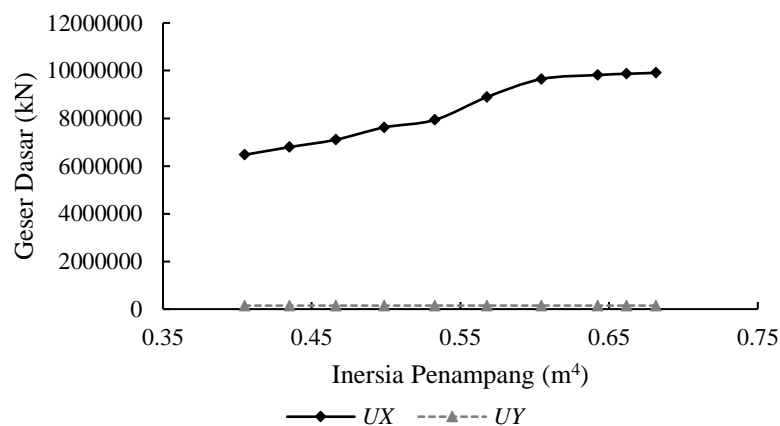
Variasi Sampel	Luas (m ²)	Inersia (m ⁴)	Kapasitas Geser Dasar (kN)		Step Max
			UX	UY	
Variasi 1 (GV-1)	1,0038	0,4049	UX	6470657,154	7
			UY	146662,175	100
Variasi 2 (GV-2)	1,0163	0,4350	UX	6792890,310	6
			UY	146820,227	100
Variasi 3 (GV-3)	1,0288	0,4663	UX	7104079,738	8
			UY	147011,275	100
Variasi 4 (GV-4)	1,0413	0,4989	UX	7621498,840	6
			UY	147231,896	100

Variasi Sampel	Luas (m ²)	Inersia (m ⁴)	Kapasitas Geser Dasar (kN)	Step Max
Variasi 5 (GV-5)	1,0538	0,5328	UX	7933553,804
			UY	147385,213
Variasi 6 (GV-6)	1,0663	0,5680	UX	8894586,317
			UY	147610,105
Variasi 7 (GV-7)	1,0788	0,6045	UX	9646305,230
			UY	147743,249
Variasi 8 (GV-8)	1,0913	0,6424	UX	9815637,256
			UY	147915,604
Variasi 9 (GV-9)	1,0975	0,6618	UX	9866299,337
			UY	148053,369
Variasi 10 (GV-10)	1,1038	0,6816	UX	9906299,337
			UY	148089,817

Dari Tabel 6 di atas diperoleh bahwa kapasitas geser dasar struktur step max lebih besar pada arah-x (UX) karena gempa lateral terjadi lebih besar pada arah-x (UX) dibandingkan dengan arah-y (UY). Grafik pengaruh luas penampang girder (A) dan inersia penampang girder (I) terhadap kapasitas geser dasar struktur (V) step max dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Luas Penampang (A) terhadap Kapasitas Geser Dasar Struktur (V) Step Maksimum



Gambar 3. Grafik Pengaruh Inersia Penampang (I) terhadap Kapasitas Geser Dasar Struktur (V) Step Maksimum

Dari grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa semakin besar luas penampang girder (A) dan inersia penampang girder (I), maka kapasitas geser dasar struktur (V) step max juga akan lebih besar jika dibandingkan dengan luas penampang girder (A) dan inersia penampang girder (I) yang lebih kecil.

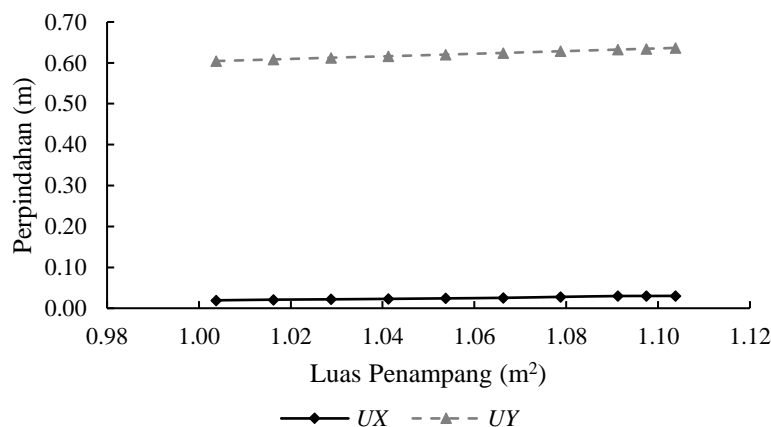
3.5. Kapasitas Perpindahan Struktur (*Displacement Capacity*)

Kapasitas perpindahan struktur step max arah-x (UX) dan arah-y (UY) dapat dilihat pada Tabel 7.

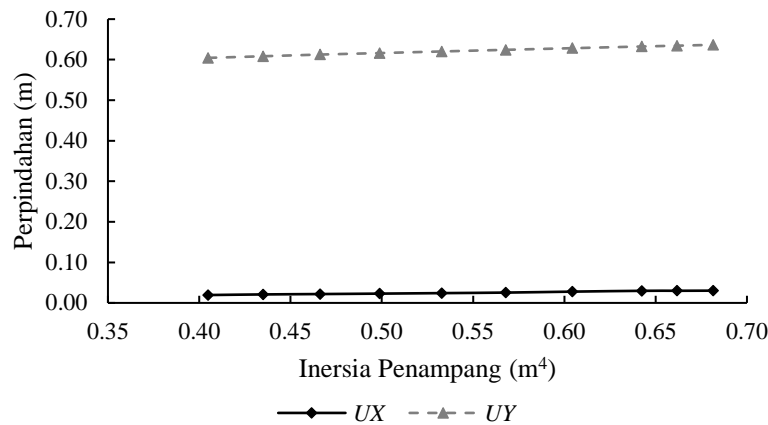
Tabel 7. Kapasitas Perpindahan Struktur (*Displacement*) Step Maksimum

Variasi Sampel	Luas (m ²)	Inersia (m ⁴)	Kapasitas Perpindahan (m)		Step Max
Variasi 1 (GV-1)	1,0038	0,4049	UX	0,0194	7
			UY	0,6045	100
Variasi 2 (GV-2)	1,0163	0,4350	UX	0,0209	6
			UY	0,6084	100
Variasi 3 (GV-3)	1,0288	0,4663	UX	0,0218	8
			UY	0,6126	100
Variasi 4 (GV-4)	1,0413	0,4989	UX	0,0228	6
			UY	0,6163	100
Variasi 5 (GV-5)	1,0538	0,5328	UX	0,0241	5
			UY	0,6203	100
Variasi 6 (GV-6)	1,0663	0,5680	UX	0,0254	10
			UY	0,6243	100
Variasi 7 (GV-7)	1,0788	0,6045	UX	0,0278	11
			UY	0,6284	100
Variasi 8 (GV-8)	1,0913	0,6424	UX	0,0298	9
			UY	0,6325	100
Variasi 9 (GV-9)	1,0975	0,6618	UX	0,0299	10
			UY	0,6345	100
Variasi 10 (GV-10)	1,1038	0,6816	UX	0,0302	10
			UY	0,6366	100

Grafik pengaruh luas penampang girder (A) dan inersia penampang girder (I) terhadap kapasitas perpindahan struktur (D) step max dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Luas Penampang (A) terhadap Kapasitas Perpindahan Struktur (D) Step Maksimum

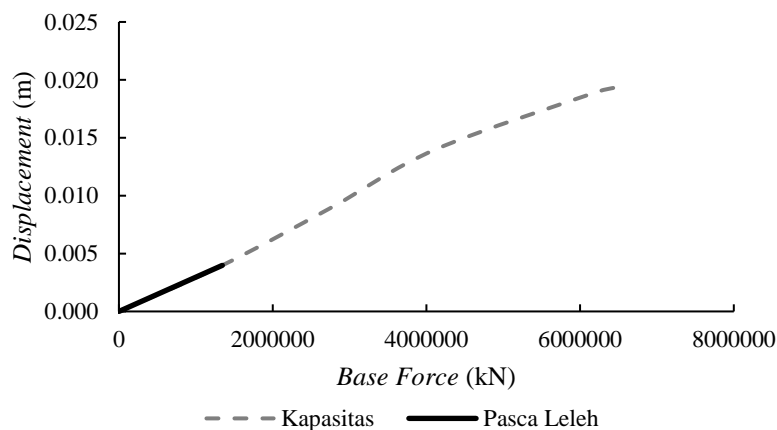


Gambar 5. Grafik Pengaruh Inersia Penampang (*I*) terhadap Kapasitas Perpindahan Struktur (*D*) Step Maksimum

Dari grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa semakin besar luas penampang girder (*A*) dan inersia penampang girder (*I*), maka kapasitas perpindahan struktur (*D*) step max juga akan lebih besar jika dibandingkan dengan luas penampang girder (*A*) dan inersia penampang girder (*I*) yang lebih kecil.

3.6. Tingkat Kinerja Struktur Metode FEMA-356

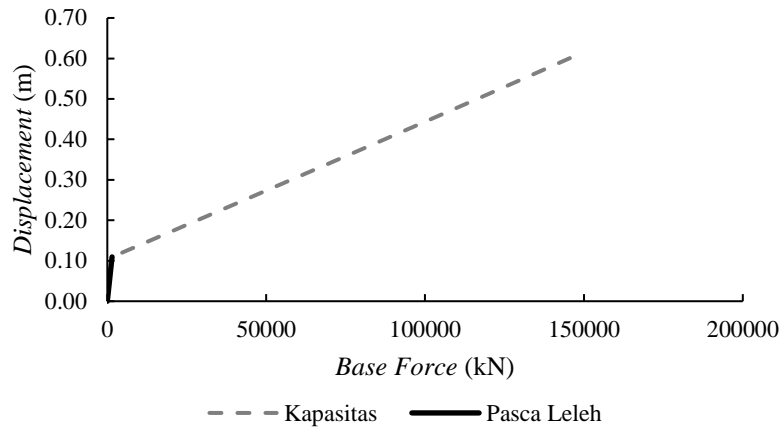
Tingkat kinerja struktur berdasarkan metode FEMA-356 digunakan untuk mengetahui tingkat keruntuhan struktur pasca gempa berdasarkan target perpindahan struktur (δ_T). Tingkat kinerja struktur yang digunakan sebagai contoh adalah girder variasi 1 (*GV-1*) mewakili 10 variasi lainnya. Kurva *bilinear pushover* arah-x (*UX*) dan arah-y (*UY*) girder variasi 1 (*GV-1*) dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Kurva *Bilinear Pushover* Arah-x Girder Variasi 1 (*GV-1*)

Dari kurva *bilinear pushover* pada Gambar 6 di atas, diperoleh nilai-nilai yang digunakan untuk menghitung target perpindahan struktur arah-x (δ_{T-x}) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \delta_{T-x} &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\
 &= (0,989)(1)(1)(1)(0,492) \frac{0,020^2}{4\pi^2} (9,81) \\
 &= 0,0000484 \text{ m Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$



Gambar 7. Kurva *Bilinear Pushover* Arah-y Girder Variasi 1 (*GV-1*)

Dari kurva *bilinear pushover* pada Gambar 7 di atas, diperoleh nilai-nilai yang digunakan untuk menghitung target perpindahan struktur arah-x (δ_{T-Y}) sebagai berikut:

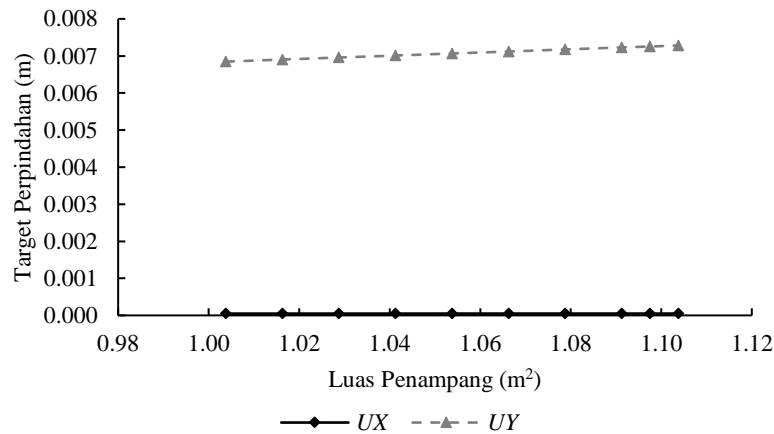
$$\begin{aligned} \delta_{T-Y} &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= (1,017)(1,447)(1)(1)(0,941) \frac{0,141^2}{4\pi^2} (9,81) \\ &= 0,00685 \text{ m Immediate Occupancy} \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi nilai target perpindahan struktur (δ_T) berdasarkan metode *FEMA-356* dari 10 variasi girder arah-x (*UX*) dan arah-y (*UY*) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Target Perpindahan Struktur (δ_T) Metode *FEMA-356*

Variasi Sampel	Luas (m ²)	Target Perpindahan, δ_T (m)	
		<i>UX</i>	<i>UY</i>
Variasi 1 (<i>GV-1</i>)	1,0038	0,0000484	0,00685
Variasi 2 (<i>GV-2</i>)	1,0163	0,0000485	0,00690
Variasi 3 (<i>GV-3</i>)	1,0288	0,0000486	0,00696
Variasi 4 (<i>GV-4</i>)	1,0413	0,0000486	0,00701
Variasi 5 (<i>GV-5</i>)	1,0538	0,0000488	0,00707
Variasi 6 (<i>GV-6</i>)	1,0663	0,0000488	0,00712
Variasi 7 (<i>GV-7</i>)	1,0788	0,0000490	0,00718
Variasi 8 (<i>GV-8</i>)	1,0913	0,0000491	0,00723
Variasi 9 (<i>GV-9</i>)	1,0975	0,0000491	0,00725
Variasi 10 (<i>GV-10</i>)	1,1038	0,0000492	0,00728

Dari Tabel 8 di atas, kemudian dibuat dalam satu grafik yaitu grafik target perpindahan struktur (δ_T) dari 10 variasi girder berdasarkan luas penampang girder (*A*) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Target Perpindahan Struktur (δ_T) Metode *FEMA-356* Berdasarkan Luas Penampang Girder (*A*)

Dari grafik pada Gambar 8 di atas menunjukkan bahwa target perpindahan struktur terbesar terjadi pada arah-y jika dibandingkan dengan arah-x, hal ini dikarenakan nilai inersia penampang pada arah-y (sumbu lemah) lebih kecil dari nilai inersia penampang pada arah-x (sumbu kuat).

Tingkat kinerja atau performa level struktur dari 10 variasi berdasarkan metode *FEMA-356* arah-x (*UX*) dan arah-y (*UY*) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Tingkat Kinerja Struktur Metode *FEMA-356*

Variasi Sampel	Arah	Parameter <i>FEMA-356</i>				Performa Level Struktur
		Pasca Leleh		Target Perpindahan		
		<i>Displ, δ_y</i> (m)	<i>Base Force, V_y</i> (kN)	<i>Displ, δ_T</i> (m)	<i>Base Force, V_T</i> (kN)	
Variasi 1 (<i>GV-1</i>)	<i>UX</i>	0,00398	1345156,443	0,0000484	16457,267	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1095	1494,163	0,00685	92,917	<i>IO</i>
Variasi 2 (<i>GV-2</i>)	<i>UX</i>	0,00402	1349140,264	0,0000485	16378,459	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1134	1494,477	0,00690	90,467	<i>IO</i>
Variasi 3 (<i>GV-3</i>)	<i>UX</i>	0,00406	1362562,811	0,0000486	16411,997	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1176	1495,261	0,00696	87,932	<i>IO</i>
Variasi 4 (<i>GV-4</i>)	<i>UX</i>	0,00410	1386785,319	0,0000486	16570,203	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1213	1496,422	0,00701	86,042	<i>IO</i>
Variasi 5 (<i>GV-5</i>)	<i>UX</i>	0,00413	1388870,347	0,0000488	16504,361	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1253	1496,970	0,00707	83,973	<i>IO</i>
Variasi 6 (<i>GV-6</i>)	<i>UX</i>	0,00416	1413301,568	0,0000488	16679,250	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1293	1498,358	0,00712	82,044	<i>IO</i>
Variasi 7 (<i>GV-7</i>)	<i>UX</i>	0,00419	1414512,971	0,0000490	16624,794	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1334	1498,854	0,00718	80,200	<i>IO</i>
Variasi 8 (<i>GV-8</i>)	<i>UX</i>	0,00422	1427103,151	0,0000491	16691,322	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1375	1499,849	0,00723	78,433	<i>IO</i>
Variasi 9 (<i>GV-9</i>)	<i>UX</i>	0,00424	1445877,737	0,0000491	16857,377	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1395	1500,873	0,00725	77,629	<i>IO</i>
Variasi 10 (<i>GV-10</i>)	<i>UX</i>	0,00425	1439543,851	0,0000492	16765,532	<i>IO</i>
	<i>UY</i>	0,1416	1500,898	0,00728	76,778	<i>IO</i>

Catatan: Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), Collapse Prevention (CP)

Dari Tabel 6 di atas diperoleh nilai target perpindahan struktur berdasarkan FEMA-356 berada di bawah nilai pasca leleh struktur ($\delta_T \leq \delta_y$), hal ini menunjukkan bahwa struktur mengalami kerusakan yang kecil atau kerusakan yang tidak berarti dan kekakuan struktur setelah terjadi gempa hampir sama seperti sebelum terjadi gempa (Manalip dkk. 2014). Sehingga dari 10 variasi girder yang digunakan, tingkat kinerja atau performa level struktur termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy (IO)*.

4. Kesimpulan

Kondisi struktur paling kritis terhadap kekuatan struktur adalah pada arah-y (*UY*), karena partisipasi massa struktur pada arah-y (*UY*) melebihi rasio minimum ($\geq 90\%$). Kapasitas geser dasar struktur step maksimum lebih besar pada arah-x (*UX*), sedangkan kapasitas perpindahan struktur step maksimum lebih besar pada arah-y (*UY*). Pengaruh luas penampang girder dan inersia penampang girder terhadap kapasitas struktur step maksimum adalah semakin besar luas dan inersia maka kapasitas juga akan lebih besar. Tingkat kinerja struktur berdasarkan metode *FEMA-356* untuk 10 variasi adalah pada level performa *Immediate Occupancy (IO)*.

Daftar Pustaka

- Albar, Moh G, Partogi H Simatupang, dan Wilhelmus Bunganaen. 2020. "Respon Struktur Jembatan Prategang Oelnaikbesi Akibat Pengaruh Gempa." *Jurnal Teknik Sipil* 9(2): 277–90.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Djubida, Sandro. 2020. "Gambar Teknik Struktur Jembatan Penghubung Spillway ke Intake Saluran Pengelak Bendungan Temef."
- FEMA 356. 2000. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Manalip, H, Reky S Windah, dan Servie O Dapas. 2014. "Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium." *Jurnal Sipil Statik* 2(4): 201–13.
- Moehle, Jack dkk. 1999. "The Chi-Chi, Taiwan Earthquake of September 21, 1999." *Earthquake Engineering Research Intitute's Learning from Earthquakes Project*: 1–12.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. 2021. "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa dan Pedoman Penentuan Spektrum Respons Desain di Permukaan Tanah Untuk Jembatan." <http://lini.binamarga.pu.go.id/> (accessed June 3, 2021).
- Saputra, Endra Piqriawan. 2020. "Analisis Metode Perbaikan Jembatan Akibat Gempa (Studi Kasus Jembatan Beburung 2 Lombok Timur)." Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram.

Pengembangan Program Aplikasi Analisis Pelat 2D Dengan Metode Finite Difference Menggunakan Matlab

Development of 2D Plate Analysis Programming Based on Finite Difference Method Using Matlab

Alexander Bria Seran Malik¹, Remigildus Cornelis^{2*)}, Ruslan Ramang³

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:

Matlab, pelat 2D, finite difference, lendutan, momen, tegangan

Keywords:

Matlab, 2D slab, finite difference, displacement, moment, stress

Article history:

Received: 26-04-2022

Accepted: 10-05-2022

*)Koresponden email:

alex27malik@gmail.com

remi@staf.undana.ac.id

ruslan.ramang@gmail.com

Abstrak

Pesatnya perkembangan teknologi konstruksi, tentu berdampak pada program aplikasi yang diciptakan untuk mempermudah perhitungan struktur pada bangunan, terkhususnya dalam merancang pelat pada bangunan. Program yang sering digunakan dalam perhitungan struktur adalah SAP 2000 dan harganya sangat mahal. Dalam penelitian ini program yang digunakan membuat program perhitungan adalah Matlab. Matlab adalah program untuk menganalisis dan memodelkan data numerik yang dikembangkan menggunakan konsep matriks. Tujuan penelitian ini adalah membuat program menggunakan matlab. Metode yang digunakan metode *finite diference* yang merupakan metode pendekatan numerik berbasis persamaan diferensial parsial. Program aplikasi ini dikembangkan dengan melakukan perhitungan dari lendutan, momen, dan tegangan, yang ditampilkan dalam bentuk contour. Program ini dikembangkan dengan persamaan yang dimasukan kedalam *coding* untuk masing masing pemodelan yang ada. Kemudian hasil yang didapatkan di dapatkan di bandingkan dengan hasil perhitungan momen pelat pada PBI-1971.

Abstract

The rapid development of construction technology has an impact on application programs that are created to facilitate the calculation of structures in buildings, especially in designing plates in buildings. Program applications such as SAP 2000 software are often used in structural calculations but are costly. This study develops MATLAB to produce an application program for analyzing and modeling numerical data based on the matrix concept. The method used is the finite difference method which is a numerical approach method based on partial differential equations. This application program was developed by calculating the deflection, moment, and stress, which are displayed in the form of contour. This program was designed with the equations entered into the coding for each of the existing models. Then the results obtained are compared with the results of the calculation of the plate moment on PBI-1971.

1. Pendahuluan

Pelat adalah elemen struktur datar yang ketebalannya lebih kecil dibandingkan dengan dimensi permukaan, dan merupakan elemen struktur penting (Kelly, P, 2013). Sebagai elemen struktur yang berperan penting, maka perlu adanya ketelitian dalam merancang dan menghitung struktur terlebih khusus pada bagian struktur pelat. Sudah banyak program yang digunakan untuk membantu dalam mendesain struktur bangunan atau pelat bangunan, namun kebanyakan program yang digunakan merupakan program bajakan atau ilegal, dan tentu hal itu dapat mempengaruhi perhitungan yang kurang akurat. Salah satu program yang sering digunakan dalam perhitungan struktur adalah SAP 2000. Dalam penelitian ini program yang digunakan untuk membantu membuat program perhitungan adalah Matlab. Matlab dikembangkan menggunakan konsep matriks. Matlab juga digunakan untuk simulasi fungsi matematika dengan model matematika yang kompleks (Tjolleng, A, 2017). Maka dari itu Matlab berfungsi sebagai sarana pengembangan program aplikasi perhitungan pada suatu struktur. Maka dari itu tujuan dilakukan penelitian ini adalah membuat program menggunakan Matlab dan kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungana SAP 2000. Adapun metode analisis yang digunakan untuk membantu menganalisis struktur pelat dua dimensi, yaitu Metode *Finite Difference*. Metode *Finite Diference* merupakan metode pendekatan numerik berbasis persamaan diferensial parsial.

2. Kajian Pustaka

2.1 Persamaan Diferensial Pelat

Kekakuan lentur, dilambangkan dengan D, dari pelat dinyatakan dengan persamaan. (1) dalam hal ketebalan (t), modulus elastisitas (E), dan Radio Poisson (ν). Hubungan antara momen dan perpindahan transversal atau defleksi (w) dapat diperoleh dalam hal kekakuan lentur dan Rasio Poisson dari pelat.

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \tag{1}$$

Dalam persamaan ini w menunjukkan defleksi dalam arah z karena beban pz pada permukaan xy. Istilah D menunjukkan kekakuan lentur atau lentur pelat. (Md. Roknuzzaman dkk, 2015)

$$M_x = -D \left(\frac{d^2w}{dx^2} + \nu \frac{d^2w}{dy^2} \right), M_y = -D \left(\frac{d^2w}{dy^2} + \nu \frac{d^2w}{dx^2} \right), M_{xy} = -D(1 - \nu) \frac{d^2w}{dxdy} \tag{2}$$

Hubungan tegangan dan momen dapat dilihat berikut.

$$\sigma_{xx} = -\frac{M_x z}{h^3/12}, \sigma_{yy} = -\frac{M_y z}{h^3/12}, \sigma_{xy} = +\frac{M_{xyz}}{h^3/12} \tag{3}$$

2.2 Metode Finite Difference

Suatu turunan eksak dimana limit suatu fungsi menuju titik nol, sedang turunan pendekatan dimana limit suatu fungsi tidak menuju ke titik nol tapi mempunyai besaran tertentu yang kecil. Pemakaian pertama persailnaan diferensial berhingga (Timoshenko, 1992) pada elastisitas oleh C. Runge untuk menyelesaikan masalah-masalah puntiran, penyelesaian ini dengan menyederhanakan masalah menjadi suatu sistem persamaan aljabar linier.

Turunan Eksak:

$$f'(x) = \left(\frac{dy}{dx} \right)_j = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_j \tag{4}$$

Turunan Pendekatan:

$$f'(x) = \left(\frac{dy}{dx} \right)_j = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_j = \left(\frac{y_{j+1} - y_j}{\pi x} \right) \Rightarrow \text{selisih maju} \tag{5}$$

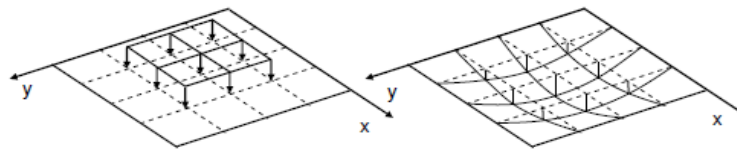
$$f'(x) = \left(\frac{dy}{dx} \right)_j = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_j = \left(\frac{y_j - y_{j-1}}{\pi x} \right) \Rightarrow \text{selisih mundur} \tag{6}$$

$$f'(x) = \left(\frac{dy}{dx} \right)_j = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)_j = \left(\frac{y_{j+1} - y_j}{2\pi x} \right) \Rightarrow \text{selisih tengah} \tag{7}$$

2.3 Metode Finite Difference Terhadap Lendutan

Dalam menerapkan metode beda hingga biasa, turunan dalam persamaan diferensial pelat pengatur adalah digantikan oleh perbedaan jumlah di beberapa titik yang dipilih dan persamaan

diferensial pelat telah diubah menjadi satu set persamaan aljabar. Konvergensi tepatnya solusi masalah pembengkokan pelat dengan finite klasik metode perbedaan lambat karena kesalahan yang digunakan dalam menurunkan ekspresi beda hingga, aproksimasi kondisi batas dan penggunaan rata-rata beban. (Ergun dan Kumbasar, 2010)



Gambar 1. Beban $q(x, y)$ kasus dan defleksi yang dihasilkan pada pelat yang sebenarnya

Mendistribusikan ke persamaan diferensial pelat menggunakan sejumlah titik-titik pada bidang pelat. Jarak antara titik-titik yang berdekatan adalah Δx dan Δy , dengan i dan j titik kisi masing-masing pada arah x dan y . Diasumsikan $\Delta x = \Delta y = \Delta$ untuk menyederhanakan diskritisasi. Lendutan (pergeseran keluar bidang) pelat pada. Untuk menggambarkan reprintsasi titik grid tersebut dapat dilihat pada persamaan-persamaan berikut.

$$\frac{d^4 w_{i,j}}{dx^4} = \frac{w_{i+2,j} - 4w_{i+1,j} + 6w_{i,j} - 4w_{i-1,j} + w_{i-2,j}}{\Delta^4} \tag{8}$$

$$\frac{d^4 w_{i,j}}{dy^4} = \frac{w_{i,j+2} - 4w_{i,j+1} + 6w_{i,j} - 4w_{i,j-1} + w_{i,j-2}}{\Delta^4} \tag{9}$$

$$\frac{d^4 w_{i,j}}{dx^2 dy^2} = \frac{4w_{i,j} - 2(w_{i,j-1} + w_{i,j+1} + w_{i-1,j} + w_{i+1,j}) + w_{i+1,j-1} + w_{i-1,j-1} + w_{i+1,j+1} + w_{i-1,j+1}}{\Delta^4} \tag{10}$$

Untuk titik-titik interior diperoleh sebagai persamaan aljabar persamaan. (11). (Jhon dan Sherman, 2019)

$$\frac{1}{\Delta^4} \cdot \{20w_{i,j} - 8(w_{i,j-1} + w_{i,j+1} + w_{i-1,j} + w_{i+1,j}) + 2(w_{i+1,j-1} + w_{i-1,j-1} + w_{i+1,j+1} + w_{i-1,j+1}) + (w_{i,j-2} + w_{i,j+2} + w_{i-2,j} + w_{i+2,j})\} = \frac{q}{D} \tag{11}$$

Jika jepit maka nilai lendutan di $w_{i+1,j}$ sama dengan nilai $w_{i-1,j}$, dan untuk sendi sebaliknya nilai lendutan di $w_{i+1,j}$ kebalikan dari nilai $w_{i-1,j}$ sama dengan $-w_{i-1,j}$. Ini menjadi satu nilai imajiner atau nilai asumsi di luar pelat, untuk membantu mencari nilai pada titik-titik di dalam pelat. Persamaan. (14) perlu diselesaikan untuk setiap poin. Maka metode matriks digunakan untuk menyelesaikan himpunan aljabar persamaan yang diperoleh dari penggunaan metode ini. Persamaan (15) akan digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut. (Jhon dan Sherman, 2019)

$$K U = V \tag{12}$$

U adalah matriks dari nilai defleksi i dan j pada titik-titik yang ada, di mana i dan j adalah angkanya titik grid sepanjang sumbu x dan sumbu y , masing-masing. V adalah matriks berdimensi $i \times j$. K adalah matriks $i \times j$ dengan elemen-elemennya mewakili Taylor koefisien seri (untuk titik interior). Matriks K untuk mendapatkan defleksi (U) dari titik yang berbeda pada pelat.

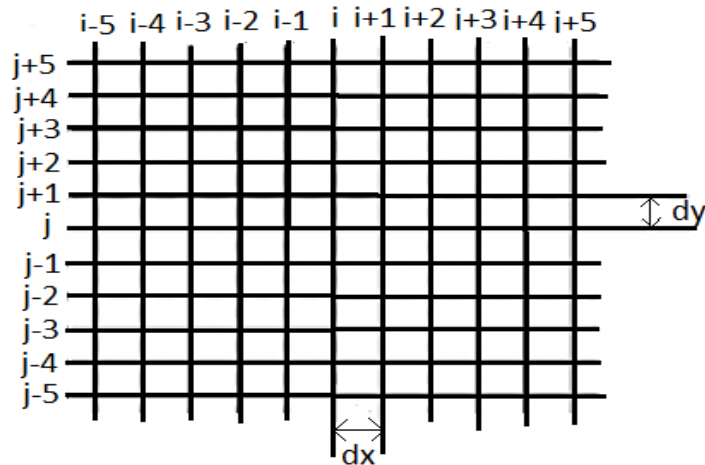
$$U = K^{-1} V \tag{13}$$

Ini memberikan defleksi pelat di bawah beban yang diketahui. Mirip pendekatan dapat diadopsi untuk skema perbedaan maju atau mundur (Jhon dan Sherman, 2019).

2.4 Metode Penelitian

Dalam pembuatan program pada skripsi ini yaitu terdiri dari tiga bagian, yaitu dimulai menentukan data-data program yang dapat diketahui saat menentukan urutan perhitungan. Kemudian membuat desain tampilan menggunakan bagian utama Matlab, yakni program utamanya dan sub-sub program yang dimasukkan dalam Matlab. Kemudian dilakukan perbandingan perhitungan pada program matlab yang dibuat dengan perhitungan SAP 2000, dengan data sesuai pemodelan benda uji.

Metode beda hingga adalah metode numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial. Saat memecahkan masalah lentur pelat, penurunan fungsi defleksi, momen dan gaya geser didekati dengan perbedaan hingga defleksi di titik-titik tetangga. Titik-titik ini disebut node dan mewakili jaring *finite difference*. Saat menyelesaikan pembengkokan pelat, kami menggunakan jaring dua dimensi, yang ditunjukkan pada Gambar 2. (Picasik dkk, 2019)



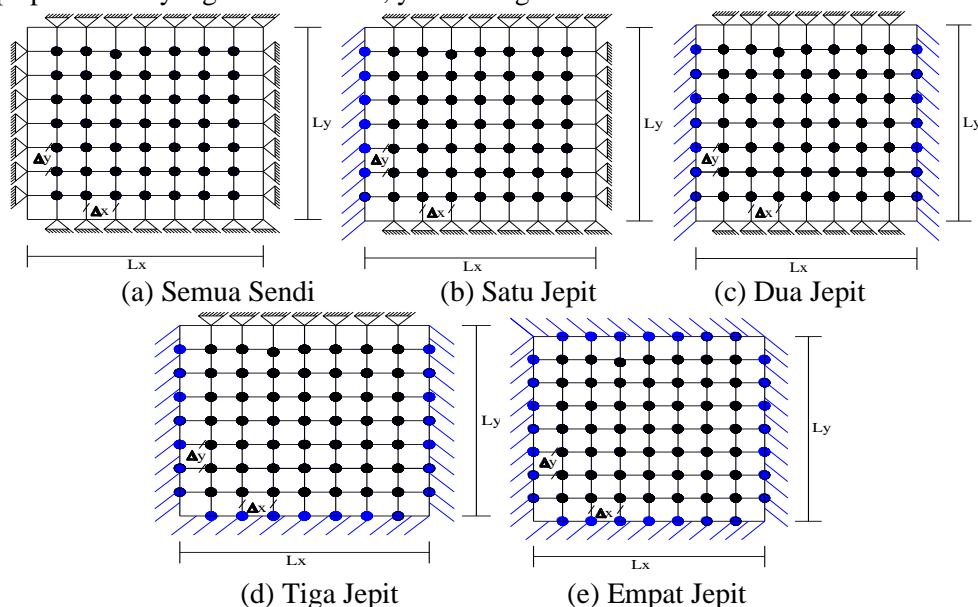
Gambar 2. Jaring finite difference

2.4.1. Benda Uji

Pada pengujian ini dilakukan pada pelat dua arah, dimana pada Pelat ini memiliki beberapa data uji yang menjadi acuan dalam perhitungan, antara lain:

- Panjang bentang x, (L_x) = 2000 mm = 2 m
- Panjang bentang y, (L_y) = 2000 mm = 2 m
- Tebal pelat, (t) = 10 mm = 0,01 m
- Ratio Poisson, (ν) = 0,3
- Beban pada pelat, (q) = 10 kN/m²
- Modulus Elastisitas, (E) = 2×10^{11} Pa = 200000000 kN/m
- Jarak antar *grid* pada tiap bentang, ($\Delta x = \Delta y$) = 250 mm = 0,25 m

Untuk karakteristik pelat ini merupakan pelat dua arah, karena pada keempat sisi pelat ini memiliki tumpuan sesuai dengan pemodelan yang dimodelkan dalam beberapa pemodelan sesuai beberapa perletakan yang berbeda-beda, yaitu sebagai berikut.



Gambar 3. Pemodelan Pelat

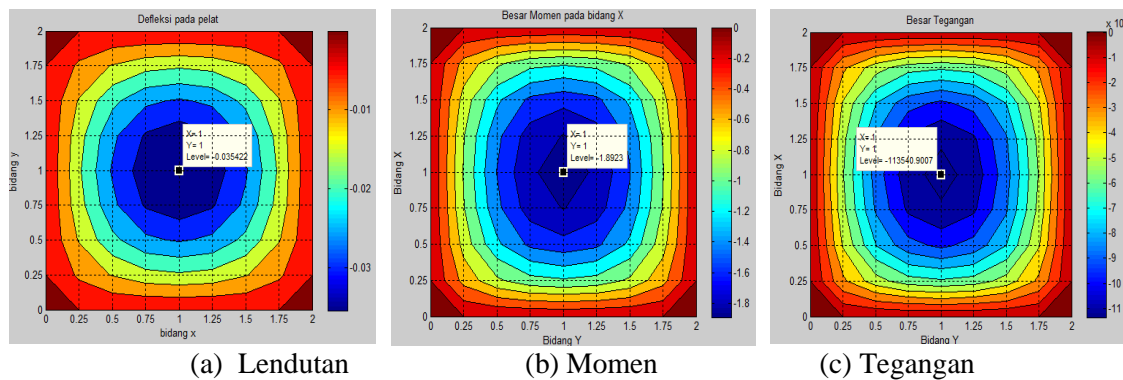
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Dengan Matlab

Untuk pengembangan program pada semua perhitungan disemua macam pemodelan dimasukkan data pelat sesuai benda uji dan terbagi menjadi lima program berbeda sesuai dengan pemodelan benda uji yang telah dirancang. Dan kemudian masukan persamaan metode *finite difference* terhadap lendutan, momen, dan tegangan dengan persamaan (13), (4), dan (5) yang sudah ada ke program matlab. Untuk kebutuhan validasinya, kemudia dibandingkan dengan perhitungan momen sesuai dengan PBI 1971.

3.1.1. Perletakan Semua Sisi Sendi

Hasilnya output yang di dikeluarkan oleh matlab untuk perhitungan masing-masing lendutan, momen, dan tegangan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Ouput Matlab

Untuk hasil perhitungan lendutan, momen, dan tegangan dirangkum dalam Tabel 1 sesuai beberapa titik tinjauan, sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Output Lendutan, Momen, dan Tegangan pada Matlab

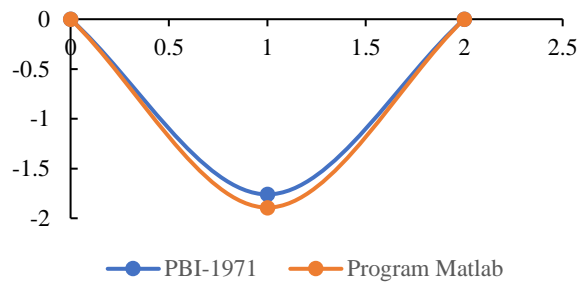
Titik (i,j)	Besar Lendutan (m) W	Besar Momen (kNm) M	Besar Tegangan (kN/m ²) Σ
(0,4)	0,0000	0,0000	0,0000
(1,4)	-0,0142	-0,9812	-58870,7018
(2,4)	-0,0257	-1,5351	-92186,1311
(3,4)	-0,0329	-1,8100	-108600,9813
(4,4)	-0,0354	-1,8923	-113540,9007
(5,4)	-0,0329	-1,8100	-108600,9813
(6,4)	-0,0257	-1,5351	-92186,1311
(7,4)	-0,0142	-0,9812	-58870,7018
(8,4)	0,0000	0,0000	0,0000

Hasil lendutan, momen, dan tegangan terbesar pada bentangan x dititik (4,4). Untuk lendutan 0,0354 m, momen sebesar +1,8923, dan untuk tegangan sebesar -113540,9007 kN/m². Untuk uji validasinya maka hanya diambil hasil momen pada perletakan ini pada hasil *output* program matlab dan dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan PBI-1971. Yang dimana hasilnya diambil sesuai titik momen terbesar yang ada pada tumpuan dan lapangan sesuai Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Momen

Titik	Hasil Perhitungan Momen		selisih (%)
	PBI-1971 (kNm)	Program Matlab (kNm)	
M04	0	0	
M44	-1,7600	-1,8923	7,0%
M84	0	0	

Selisih dari hasil perbandingan kedua hasil perhitungan selisihnya 7,0 %, Untuk gambaran bentuk momennya bisa dilihat pada grafik perbandingan pada Gambar 5 berikut.

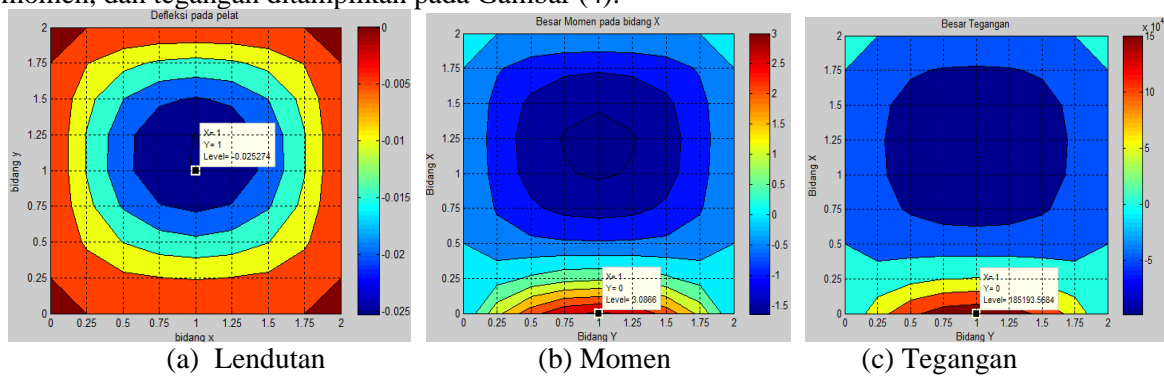


Gambar 5. Grafik Perbandingan Momen

Pada grafik di Gambar 5 ini bisa dilihat bahwa bentuk dan pola momen yang digambarkan dari kedua hasil perhitungan selisih perbedaannya bisa dilihat dari jarak kedua garis.

3.1.2 Perletakan Satu Jepit (Sisi Lainnya Sendi)

Hasilnya output yang di keluarkan oleh matlab untuk perhitungan masing-masing lendutan, momen, dan tegangan ditampilkan pada Gambar (4).



Gambar 6. Hasil Ouput Matlab

Untuk hasil perhitungan lendutan, momen, dan tegangan dirangkum dalam Tabel 3 sesuai beberapa titik tinjauan, sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Output Lendutan, Momen, dan Tegangan pada Matlab

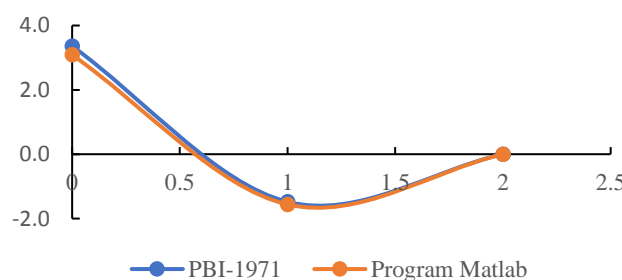
Titik (i,j)	Besar Lendutan (m) W	Besar Momen (kNm) M	Besar Tegangan (kN/m ²) Σ
(0,4)	0,0000	3,0866	185193,5684
(1,4)	-0,0053	0,8725	52347,9461
(2,4)	-0,0137	-0,4562	-27371,5511
(3,4)	-0,0211	-1,2017	-72100,8877
(4,4)	-0,0253	-1,5617	-93699,0861
(5,4)	-0,0251	-1,6384	-98305,6407
(6,4)	-0,0204	-1,4523	-87140,5708
(7,4)	-0,0116	-0,9484	-56903,8815
(8,4)	0,0000	0,0000	0,0000

Hasil lendutan, momen, dan tegangan terbesar pada bentangan x dititik (4,4) dan yang terbesar ditumpuan pada titik (0,4). Untuk lendutan 0,0253 m, momen sebesar +1,5617, dan untuk tegangan sebesar -93699,0861 kN/m². Untuk titik pada tengah tumpuan perletakan jepit pada titik (0,4) momen sebesar -3,0866 kN dan untuk tegangannya 185193,5684 kN/m². Untuk uji validasinya maka hanya diambil hasil momen pada perletakan ini pada hasil *output* program matlab dan dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan PBI-1971. Yang dimana hasilnya diambil sesuai titik momen terbesar yang ada pada tumpuan dan lapangan sesuai Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Perbandingan Momen

Titik	Hasil Perhitungan Momen		Selisih (%)
	PBI-1971 (kNm)	Program Matlab (kNm)	
M04	3,3600	3,0866	8,1%
M44	-1,4800	-1,5617	5,2%
M84	0	0	

Selisih dari hasil perbandingan kedua hasil perhitungan ditumpuannya selisih 8,1% dan di tengah bentangnya 52%, Untuk gambaran bentuk momennya bisa dilihat pada grafik perbandingan pada Gambar 7 berikut.

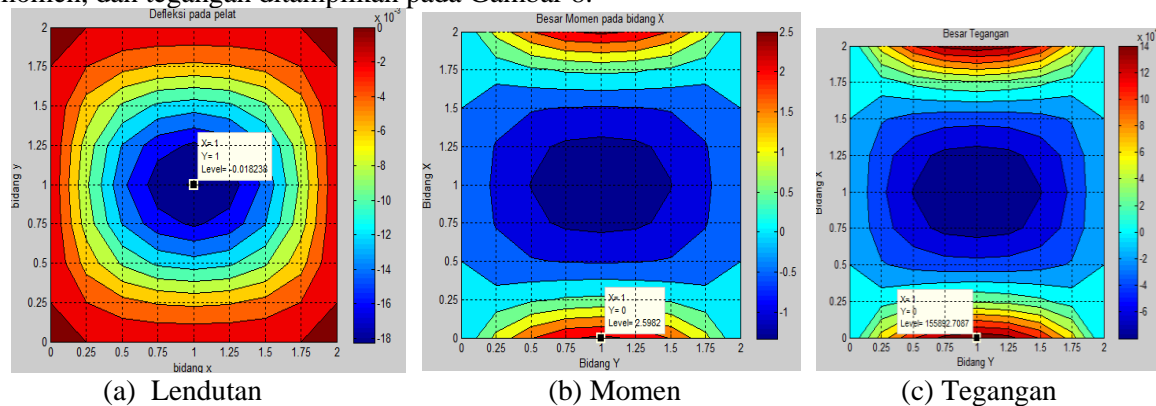


Gambar 7. Grafik Perbandingan Momen

Pada grafik di Gambar 7 ini bisa dilihat bahwa bentuk dan pola momen yang digambarkan dari kedua hasil perhitungan selisih perbedaannya bisa dilihat dari jarak kedua garis.

3.1.3 Perletakan Dua Jepit (Sisi Lainnya Sendi)

Hasilnya output yang di keluarkan oleh matlab untuk perhitungan masing-masing lendutan, momen, dan tegangan ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Ouput Matlab

Untuk hasil perhitungan lendutan, momen, dan tegangan dirangkum dalam Tabel 5 sesuai beberapa titik tinjauan, sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Output Lendutan, Momen, dan Tegangan pada Matlab

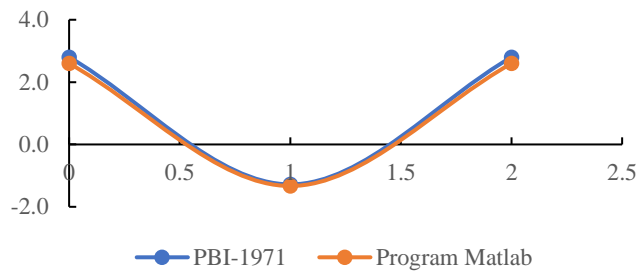
Titik	Besar Lendutan (m)	Besar Momen (kNm)	Besar Tegangan (kN/m ²)
(i,j)	W	M	Σ
(0,4)	0,0000	2,5982	155892,7087
(1,4)	-0.0044	0,61258	36753,6360
(2,4)	-0.0111	-0,5520	-33119,5255
(3,4)	-0.0163	-1,1495	-68968,9508
(4,4)	-0.0182	-1,3321	-79924,9621
(5,4)	-0.0163	-1,1495	-68968,9508
(6,4)	-0.0111	-0,5520	-33119,5255
(7,4)	-0.0044	0,61258	36753,6360
(8,4)	0,0000	2,5982	155892,7087

Hasil lendutan, momen, dan tegangan terbesar pada bentangan x dititik (4,4) dan untuk yang terbesar ditumpuan pada titik (0,4) dan (8,4). Untuk lendutan 0,0182 m, momen sebesar +1,3321, dan untuk tegangan sebesar -79924,9621 kN/m². Untuk titik pada tengah tumpuan perletakan jepit pada titik (0,4) dan (8,4) momen sebesar -2,5982 kN dan untuk tegangannya 155892,7087 kN/m². Untuk uji validasinya maka hanya diambil hasil momen pada perletakan ini pada hasil output program matlab dan dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan PBI-1971. Yang dimana hasilnya diambil sesuai titik momen terbesar yang ada pada tumpuan dan lapangan sesuai Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Perbandingan Momen

Titik	Hasil Perhitungan Momen		Selisih (%)
	PBI-1971 (kNm)	Program Matlab (kNm)	
M04	2,8000	2,5982	7,2%
M44	-1,2800	-1,3321	3,9%
M84	2,8000	2,5982	7,2%

Selisih dari hasil perbandingan kedua hasil perhitungan selisih untuk tengah bentang 3,9% dan untuk dikedua tumpuan 7,2%, Untuk gambaran bentuk momennya bisa dilihat pada grafik perbandingan pada Gambar 9 berikut.

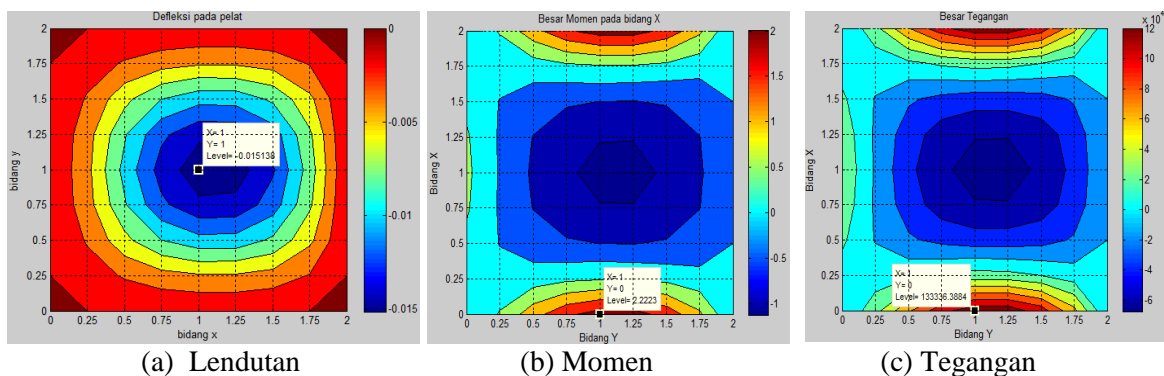


Gambar 9. Grafik Perbandingan Momen

Pada grafik di Gambar 9 ini bisa dilihat bahwa bentuk dan pola momen yang digambarkan dari kedua hasil perhitungan selisih perbedaannya bisa dilihat dari jarak kedua garis.

3.1.4 Perletakan Tiga Jepit (Sisi Lainnya Sendi)

Hasilnya output yang di keluarkan oleh matlab untuk perhitungan masing-masing lendutan, momen, dan tegangan ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Ouput Matlab

Untuk hasil perhitungan lendutan, momen, dan tegangan dirangkum dalam Tabel 7 sesuai beberapa titik tinjauan, sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil Output Lendutan, Momen, dan Tegangan pada Matlab

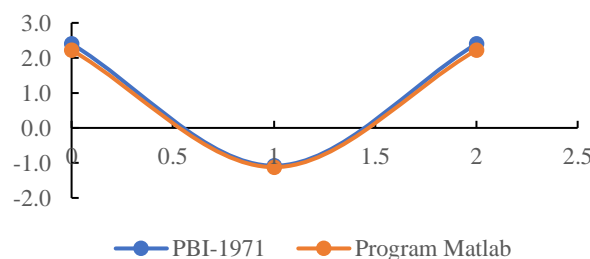
Titik (i,j)	Besar Lendutan (m)	Besar Momen (kNm)	Besar Tegangan (kN/m ²)
(i,j)	W	M	Σ
(0,4)	0,0000	2,2223	133336,3884
(1,4)	-0.0038	0,4654	27925,3235
(2,4)	-0.0093	-0,5072	-30432,5345
(3,4)	-0.0136	-0,98081	-58848,4466
(4,4)	-0.0151	-1,1208	-67247,6489
(5,4)	-0.0136	-0,98081	-58848,4466
(6,4)	-0.0093	-0,5072	-30432,5345
(7,4)	-0.0038	0,4654	27925,3235
(8,4)	0,0000	2,2223	133336,3884

Hasil lendutan, momen, dan tegangan terbesar pada bentangan x dititik (4,4) dan terbesar ditumpuan pada titik (0,4) dan (8,4). Untuk lendutan 0,0151 m, momen sebesar +1,1208, dan untuk tegangan sebesar -67247,6489 kN/m². Untuk titik pada tengah tumpuan perletakan jepit pada titik (0,4) dan (8,4) momen sebesar -2,2223 kN dan untuk tegangannya 133336,3884 kN/m². Untuk uji validasinya maka hanya diambil hasil momen pada perletakan ini pada hasil *output* program matlab dan dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan PBI-1971. Yang dimana hasilnya diambil sesuai titik momen terbesar yang ada pada tumpuan dan lapangan sesuai Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Perbandingan Momen

Titik	Hasil Perhitungan Momen		selisih (%)
	PBI-1971 (kNm)	Program Matlab (kNm)	
M04	2,4000	2,2223	7,4%
M44	-1,0800	-1,1208	3,6%
M84	2,4000	2,2223	7,4%

Selisih dari hasil perbandingan kedua hasil perhitungan selisih ditengan bentang 3,6 % dan di tumpuannya 7,4%. Untuk gambaran bentuk momennya bisa dilihat pada grafik perbandingan pada Gambar 11 berikut.

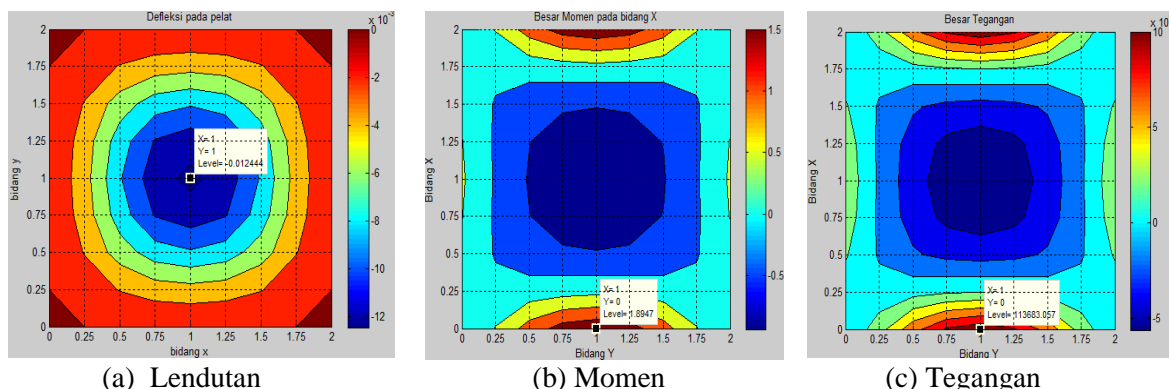


Gambar 11. Grafik Perbandingan Momen

Pada grafik di Gambar 11 ini bisa dilihat bahwa bentuk dan pola momen yang digambarkan dari kedua hasil perhitungan selisih perbedaannya bisa dilihat dari jarak kedua garis.

3.1.5 Perletakan Semua Jepit

Hasilnya output yang di keluarkan oleh matlab untuk perhitungan masing-masing lendutan, momen, dan tegangan ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Ouput Matlab

Untuk hasil perhitungan lendutan, momen, dan tegangan dirangkum dalam Tabel 9 sesuai beberapa titik tinjauan, sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil Output Lendutan, Momen, dan Tegangan pada Matlab

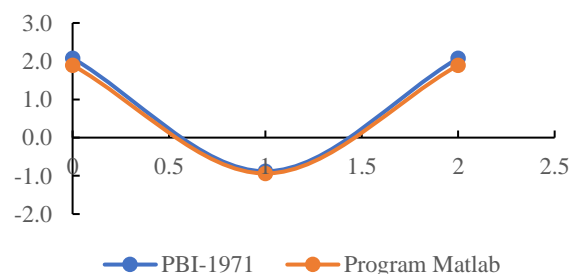
Titik (i,j)	Besar Lendutan (m) W	Besar Momen (kNm) M	Besar Tegangan (kN/m ²) Σ
(0,4)	0,0000	1,8947	113683,0570
(1,4)	-0.0032	0,3376	20255,5372
(2,4)	-0.0078	-0,4679	-28075,0312
(3,4)	-0.0112	-0,8343	-50055,2750
(4,4)	-0.0124	-0,9375	-56250,5340
(5,4)	-0.0112	-0,8343	-50055,2750
(6,4)	-0.0078	-0,4679	-28075,0312
(7,4)	-0.0032	0,3376	20255,5372
(8,4)	0,0000	1,8947	113683,0570

Hasil lendutan, momen, dan tegangan terbesar pada bentangan x dititik (4,4). Untuk lendutan 0,0124 m, momen sebesar +0,9375, dan untuk tegangan sebesar -56250,5340 kN/m². Untuk titik pada tengah tumpuan perletakan jepit pada titik (0,4) dan (8,4) momen sebesar -1,8947 kN dan untuk tegangannya 113683,0570 kN/m². Untuk uji validasinya maka hanya diambil hasil momen pada perletakan ini pada hasil *output* program matlab dan dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan PBI-1971. Yang dimana hasilnya diambil sesuai titik momen terbesar yang ada pada tumpuan dan lapangan sesuai Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Perbandingan Momen

Titik	Hasil Perhitungan Momen		selisih (%)
	PBI-1971 (kNm)	Program Matlab (kNm)	
M04	2,0800	1,8947	8,9%
M44	-0,8800	-0,9375	6,1%
M84	2,0800	1,8947	8,9%

Selisih dari hasil perbandingan kedua hasil perhitungan selisih ditengah bentang 6,1 % dan dikedua tumpuan 8,9%. Untuk gambaran bentuk momennya bisa dilihat pada grafik perbandingan pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Momen

Pada grafik di Gambar 13 ini bisa dilihat bahwa bentuk dan pola momen yang digambarkan dari kedua hasil perhitungan selisih perbedaannya bisa dilihat dari jarak kedua garis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengembangan program perhitungan tegangan pelat 2D dengan metode *finite difference* dengan menggunakan Program aplikasi matlab ini di kembangkan dengan cara melakukan perhitungan dari lendutan, momen, dan tegangan yang hasilnya di tampilkan dalam bentuk contour. Program ini dibuat secara masing masing berdasarkan perletakan yang sudah dimodelkan. Program ini di kembangkan dengan persamaan-persamaan yang dimasukan kedalam *coding* untuk masing masing pemodelan. Hasil outputnya dirangkum dalam sebuah tabel, dimana pada tabel dimasukan beberapa titik yang menjadi acuan. Titik yang diambil adalah titik-titik tengah melintang bidang arah sumbu x yang dimana di ambil 9 titik dari 81 titik yang didapat hasilnya. Setelah mendapat hasil output dari matlab kemudian dibandingkan dengan hasil perbandingan manual menurut perhitungan PBI-1971 yang dimana ini hanya diambil hasil momennya saya. Ini juga merupakan tahap validasi data yang dihasilkan matlab.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memotivasi, mendorong, dan telah membantu penulis dalam menyelesaikan artikel ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

Daftar Pustaka

- Departemen Pekejaan Umum. (1971). *Peraturan Umum bahan Bangunan Indonesia (PBI)*. Bandung: Departemen Pekejaan Umum.
- Ergun, Ali; dan Kumbasar, Nahit. (2010). A new approach of improved finite difference scheme. *Scientific Research and Essays*.
- Jhon P.T.Mo, Sherman Cheung,Raj Das. (2019). *Demystifying Numerical Models*. oxford: elsevier science & technology.
- Kelly, P. (2013). *Engineering Solid Mechanics Part II*. Auckland: The University of Auckland .
- Md. Roknuzzaman, Md. Belal Hossain, Md. Rashedul Haque, Dr. Tarif Uddin Ahmed. (2015). Analysis of Rectangular Plate with Opening by Finite Difference Method. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*.
- Picasic, Katarina; Horvat, Marko; dan Botak, Zlatko. (2019). Finite Difference Solution of Plate Bending Using Wolfram Mathematica. *Technicki Glasnik*.
- Saloma dan Anwar Dolu. (2007). Analisis Stabilitas Struktur Pelat Dengan Solusi Deret Fourier Dan Finite Difference.
- Stephen Timosenko, S. Woinowsky Krieger. (1992). *Teori Pelat dan Cangkang*, Erlangga.
- Tjolleng, A. (2017). *Pengantar Pemrograman MATLAB*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Widiasono, T. (2005). *Tutorial Praktis Belajar MATLAB*. Jakarta.

Hubungan Ketersebaran Dinding Geser Sebidang Secara Horizontal Terhadap Drift Bangunan Tingkat Tinggi

The Relationship Of Horizontal Shear Wall Distribution and High-rise Building Drift

Raynaldo Nara Rihi¹, Jusuf J. S. Pah^{2*}, Rosmiyati A. Bella³

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:

Dinding geser, drift, ketersebaran

Keywords:

Shear wall, drift, distribution

Article history:

Received: 30-04-2022

Accepted: 10-05-2022

^{*}Koresponden email:

nararihi@gmail.com

yuserpbdaniel@yahoo.co.id

Abstrak

Persebaran dinding geser secara horizontal memiliki pengaruh terhadap simpangan horizontal (*drift*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara distribusi massa dinding geser secara horizontal terhadap drift bangunan tingkat tinggi. Model Gedung yang dianalisis berupa gedung berbentuk segi empat dengan 40 lantai dengan ukuran 20 m x 20 m. Model terdiri atas 4 variasi yaitu model G1, model G2, model G3, dan model G4. Analisis dilakukan berdasarkan SNI - 1726 - 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dan menggunakan *software SAP 2000*. Hasil analisis dari penelitian ini diketahui bahwa distribusi massa dinding geser secara horizontal memiliki pengaruh terhadap simpangan struktur akibat beban gempa. Dinding geser didistribusi secara berdampingan lebih efisien dari pada dinding geser yang didistribusi secara berjarak.

Abstract

The distribution of the shear wall horizontally influences the drift. This study was conducted to determine the relationship between the horizontally mass distribution of shear walls and high-rise buildings' drift. The model analyzed was a rectangular building with 40 floors of 20 m x 20 m. The model consists of 4 variations, namely G1, G2, G3, and G4 models. The analysis was carried out based on SNI - 1726 - 2019 regarding The Procedures of Earthquake Resistance Planning for Building and Non-Building Structures and using SAP 2000 software. The analysis results revealed that horizontal shear wall mass distribution influences the structural deviation due to earthquake loads. Shear walls distributed side by side are more efficient than shear walls distributed spatially.

1. Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang kian pesat dan dibarengi dengan adanya keterbatasan lahan kosong sehingga mendorong pembangunan gedung secara vertikal. Sejumlah gedung terutama gedung-gedung untuk publik dibangun bertingkat agar dapat memenuhi kebutuhan ruangan di tanah yang terbatas. Bangunan tingkat tinggi berstruktur beton bertulang menjadi favorit karena memiliki daya dukung dan kemampuan layan yang baik. Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana alam, salah satunya gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi dapat mengakibatkan adanya gaya yang bekerja secara lateral pada struktur bangunan tingkat tinggi yang disebut gaya gempa. Dengan demikian dalam perencanaan struktur bangunan tingkat tinggi, di daerah gempa prinsip yang harus diperhatikan adalah meningkatkan kekuatan struktur untuk menahan gaya lateral yang bekerja. Dinding geser adalah slab beton yang dipasang dengan posisi vertikal pada sisi gedung dan berfungsi untuk menambah kekakuan struktur serta menyerap gaya lateral yang semakin besar seiring dengan bertambahnya tinggi struktur. Fungsi lain dari dinding geser dalam suatu struktur bertingkat adalah untuk menopang lantai pada struktur dan memastikannya tidak runtuh ketika terjadi gaya lateral. Persebaran dinding geser secara horizontal ternyata memiliki pengaruh terhadap simpangan horizontal (*drift*). Berdasarkan hasil penelitian Sansujaya (2021) diketahui bahwa 2 model bangunan gedung tingkat tinggi yang memiliki volume dinding geser sama dapat memiliki drift yang berbeda. Hal ini dikarenakan adanya penempatan dinding geser yang berbeda. Dengan demikian distribusi massa dinding geser secara horizontal memiliki pengaruh terhadap drift bangunan. Ketika dinding geser didistribusikan secara horizontal pada lokasi tertentu yang cocok, maka dinding tersebut dapat digunakan secara efisien untuk menyediakan tahanan beban horizontal yang diperlukan.

2. Bahan dan Metode

2.1. *Bangunan Tingkat Tinggi*

Bangunan bertingkat pada umumnya terbagi menjadi dua, yaitu bangunan bertingkat rendah dan bangunan bertingkat tinggi. Bangunan tingkat tinggi adalah bangunan yang memiliki tinggi lebih dari 23 m atau sekitar 7 lantai (NFPA, 2011). *Emporis standards* (2020) mendefinisikan bangunan tingkat tinggi sebagai struktur bertingkat yang tingginya 35-100 m, atau setinggi 12-39 lantai Gedung bertingkat tinggi adalah struktur dengan jumlah lantai lebih dari 6 lantai, serta tingginya lebih dari 20,00 m (Mulyono, 2000). Maka dapat disimpulkan bahwa Bangunan tingkat tinggi adalah bangunan yang mempunyai lebih dari 6 lantai secara vertikal.

2.2. *Dinding Geser*

Dinding geser (shear wall) adalah jenis struktur dinding yang berbentuk beton bertulang yang biasanya dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.

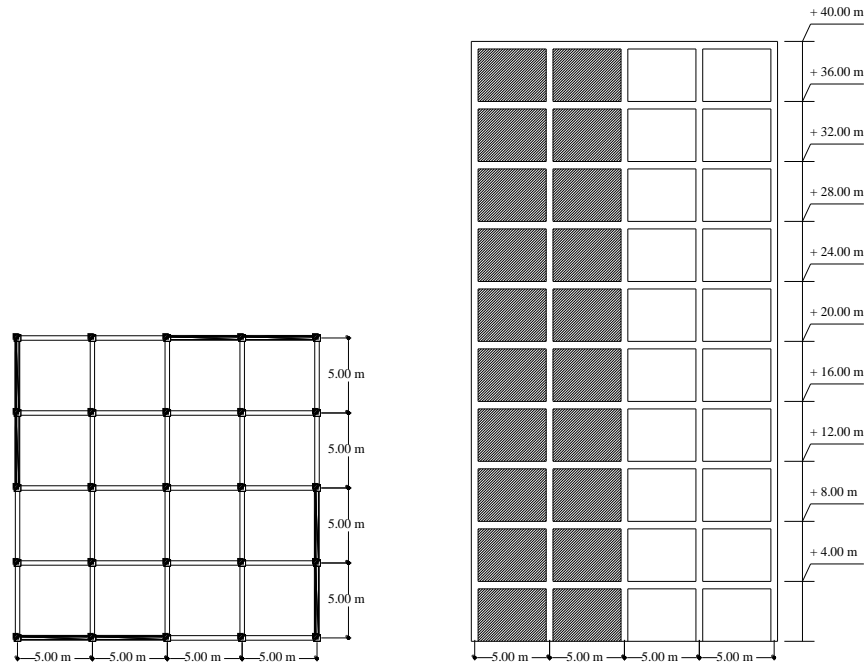
2.3. *Simpangan Struktur (Drift)*

Simpangan struktur (*drift*) adalah perpindahan lateral relative antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (horizontal story to story deflection) (Kuningsih 2011)[WU1]. Gaya gempa lateral akan menghasilkan simpangan struktur dalam arah lateral. Dalam proses perencanaan struktur, maka simpangan lateral antar lantai tingkat (*story drift*) harus selalu diperiksa sesuai SNI – 1726 - 2019 untuk menjamin stabilitas struktur, mencegah kerusakan elemen-elemen nonstruktural, serta untuk menjamin kenyamanan penggunaan bangunan.

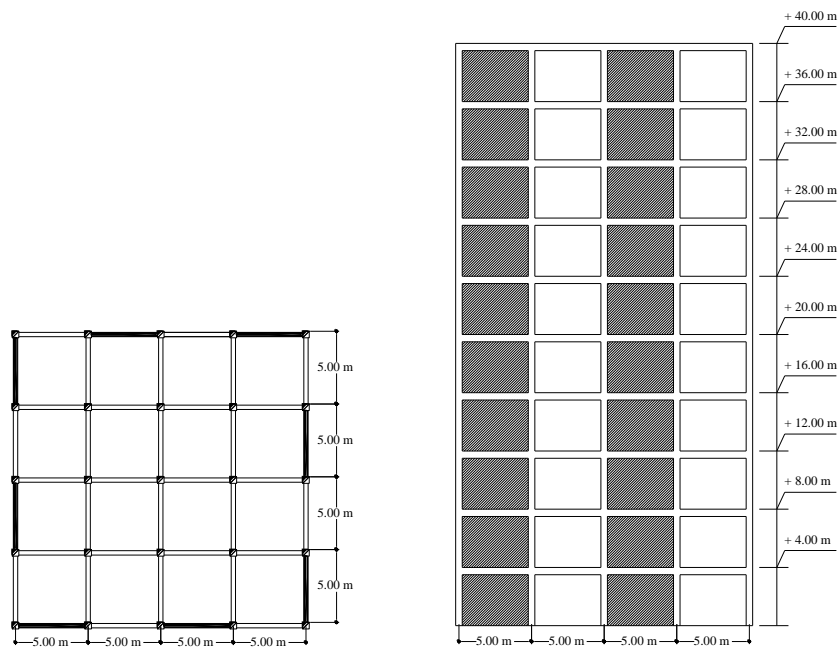
Permodelan Struktur

Dalam kajian ini akan membandingkan struktur bangunan tingkat tinggi yang memiliki volume dinding geser dengan jumlah yang sama tetapi distribusi massa secara horisontalnya berbeda, maka dari itu akan dimodelkan dalam 4 spesimen dengan gambar sebagai berikut:

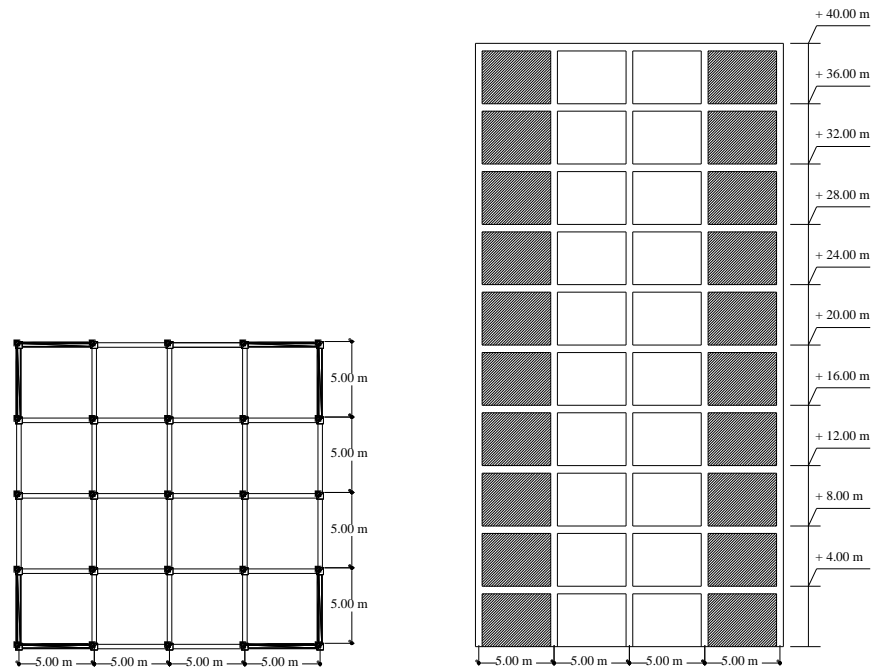
2.4.



Gambar 1. Model Struktur G1

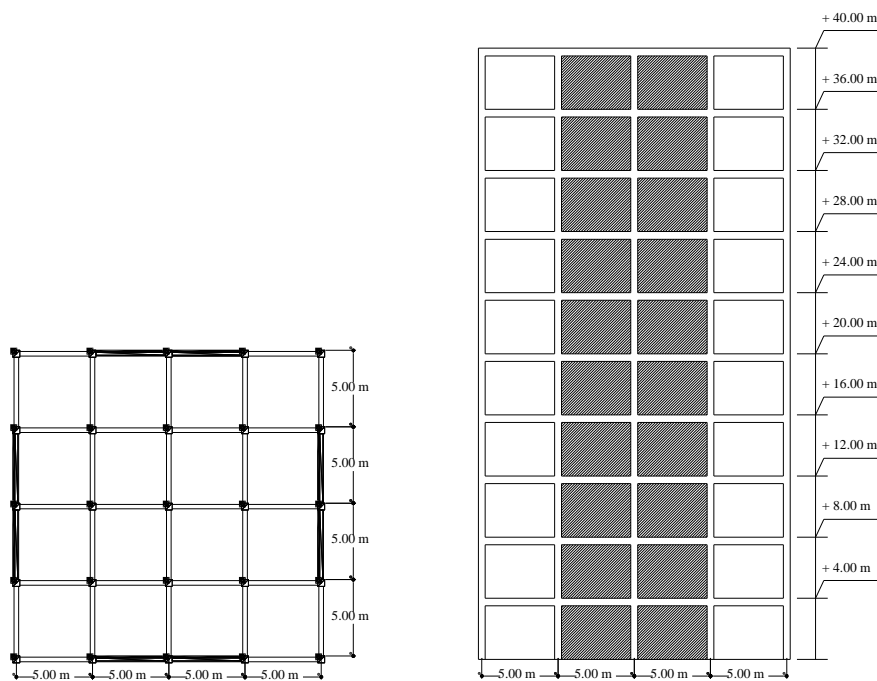


Gambar 2. Model Struktur G2



Gambar 3. Model Struktur G3

2.5.



Gambar 4. Model Struktur G4

Pembebanan

Dalam kajian ini akan membandingkan struktur bangunan tingkat tinggi yang memiliki volume. Beban yang dihitung dalam penelitian ini adalah beban mati dan beban gempa. Beban mati yang merupakan berat sendiri gedung dan beban hidup yang disesuaikan dengan fungsional gedung berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG, 1983). Beban mati menurut PPIUG (1983) Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung Pasal 2.1 beban mati terbagi atas 2 kelompok, yaitu berat sendiri bahan bangunan dan berat elemen struktur gedung. Dalam penelitian ini bahan bangunan untuk elemen-elemen struktur adalah beton bertulang dengan berat jenis 2400

kg/m³. Beban hidup yang diperhitungkan dalam penelitian ini diambil sesuai PPIUG 1983 beban hidup yang bekerja pada lantai sebesar 250 kg/m² dan beban hidup yang bekerja pada atap sebesar 100 kg/m² (PPIUG 1983). Beban Gempa diambil berdasarkan SNI 1726-2019 karena sifat struktur gedung yang beraturan, maka perhitungan pengaruh gempa dapat dilakukan dengan menggunakan metode analisis gempa statik ekuivalen ((BSN) 2019).

Analisa Struktur Dengan Program SAP 2000

Hasil analisa statik ekuivalen adalah gaya geser pada tiap lantai akibat beban gempa. Gaya geser tersebut akan diinput pada aplikasi SAP 2000 v20 yang dibuat oleh *Computers and Structures, Inc. Recognized Globally, California 94596*. Output analisa struktur dengan aplikasi SAP 2000 pada setiap model akibat beban gravitasi dan beban gempa adalah: *Joint Displacement* atau simpangan struktur tiap lantai (Alwi n.d.).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Klasifikasi Situs Tanah

Hasil analisa dari penyelidikan tanah kampus undana tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata $N = 43,93$ (Suparman 2015). Menurut SNI 1726 (2012) klasifikasi situs untuk tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata $N = 43,93$ diatas berada diantara $N = 15,00$ sampai $N = 50,00$, maka tanah Kampus Undana, Kota Kupang tergolong SD (tanah sedang)((BSN) 2003).

3.2. Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen

3.2.1. Eksentrisitas

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemodelan struktur dan penempatan dinding geser untuk semua model adalah simetris dan tidak mengalami eksentrisitas karena pusat massa dan pusat kekakuan terletak pada titik yang sama, dimana pusat massa terletak pada titik X,Y(10,00 m , 10,00 m) dan pusat kekakuan terletak pada titik X,Y (10,00 m , 10,00 m)

3.2.2. Distribusi vertikal gaya gempa pada tiap portal (Pi)

Distribusi vertikal gaya gempa pada setiap portal untuk semua model struktur dibagi berdasarkan lebar tributaris (Ltrb) struktur yang dipikul oleh portal yang ditinjau dibagi lebar struktur (Lstr) seluruhnya, dikali gaya gempa per lantai FX untuk arah X dan arah Y sama.

Tabel 1. Distribusi Vertikal Gaya Gempa Per Portal Model G1

Lantai	Fx (kN)	Portal A		
		Ltrb (m)	Lstr (m)	Pi (kN)
1	23,26	2,50	20,00	4,65
2	46,53	2,50	20,00	9,31
3	69,79	2,50	20,00	13,96
4	93,06	2,50	20,00	18,61
5	116,32	2,50	20,00	23,26
6	139,59	2,50	20,00	27,92
7	162,85	2,50	20,00	32,57
8	186,12	2,50	20,00	37,22
9	209,38	2,50	20,00	41,88
Atap	178,18	2,50	20,00	35,64

Tabel 2. Distribusi Vertikal Gaya Gempa Per Portal Model G2

Lantai	Fx	Portal A		
		Ltrb (m)	Lstr (m)	Pi (kN)
1	22,67	2,50	20,00	4,53
2	45,33	2,50	20,00	9,07
3	68,00	2,50	20,00	13,60
4	90,66	2,50	20,00	18,13
5	113,33	2,50	20,00	22,67
6	135,99	2,50	20,00	27,20
7	158,66	2,50	20,00	31,73
8	181,32	2,50	20,00	36,26
9	203,99	2,50	20,00	40,80
Atap	175,15	2,50	20,00	35,03

Tabel 3. Distribusi Vertikal Gaya Gempa Per Portal Model G3

Lantai	Fx	Portal A		
		Ltrb (m)	Lstr (m)	Pi (kN)
1	23,26	2,50	20,00	4,65
2	46,53	2,50	20,00	9,31
3	69,79	2,50	20,00	13,96
4	93,06	2,50	20,00	18,61
5	116,32	2,50	20,00	23,26
6	139,59	2,50	20,00	27,92
7	162,85	2,50	20,00	32,57
8	186,12	2,50	20,00	37,22
9	209,38	2,50	20,00	41,88
Atap	178,18	2,50	20,00	35,64

Tabel 4. Distribusi Vertikal Gaya Gempa Per Portal Model 4

Lantai	Fx	Portal A		
		Ltrb (m)	Lstr (m)	Pi (kN)
1	23,26	2,50	20,00	4,65
2	46,53	2,50	20,00	9,31
3	69,79	2,50	20,00	13,96
4	93,06	2,50	20,00	18,61
5	116,32	2,50	20,00	23,26
6	139,59	2,50	20,00	27,92
7	162,85	2,50	20,00	32,57
8	186,12	2,50	20,00	37,22
9	209,38	2,50	20,00	41,88

3.2.3. Analisa struktur dengan aplikasi SAP 2000 v20

Distribusi vertikal beban gempa diatas diinput kedalam aplikasi SAP 2000 untuk mengetahui besarnya simpangan per lantai untuk setiap model struktur. Rekapitulasi *drift* per lantai hasil Analisa struktur untuk masing-masing model adalah sebagai berikut:

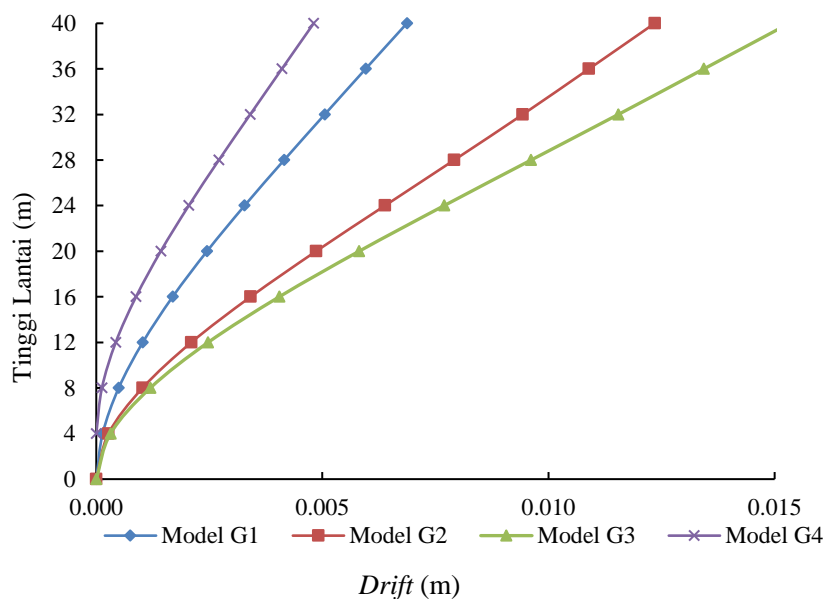
Tabel 5. Rekapitulasi *Drift* per lantai

Lantai	hx (m)	di (m)			
		G1	G2	G3	G4
1	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	8	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001
3	12	0,0005	0,0010	0,0012	0,0004
4	16	0,0010	0,0021	0,0025	0,0009
5	20	0,0017	0,0034	0,0040	0,0014
6	24	0,0024	0,0049	0,0058	0,0020
7	28	0,0033	0,0064	0,0077	0,0027
8	32	0,0042	0,0079	0,0096	0,0034
9	36	0,0051	0,0094	0,0115	0,0041
Atap	40	0,0060	0,0109	0,0134	0,0048

3.3. Pembahasan

3.3.1. Pengaruh ketersebaran dinding geser sebidang secara horizontal terhadap drift

Hasil analisa struktur dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 pada Tabel 5 menunjukkan pengaruh penempatan dinding geser terhadap simpangan struktur seperti tergambar dalam grafik di bawah ini



Gambar 5. Grafik Perbandingan Simpangan per Lantai Akibat Beban Gempa Untuk Semua Model

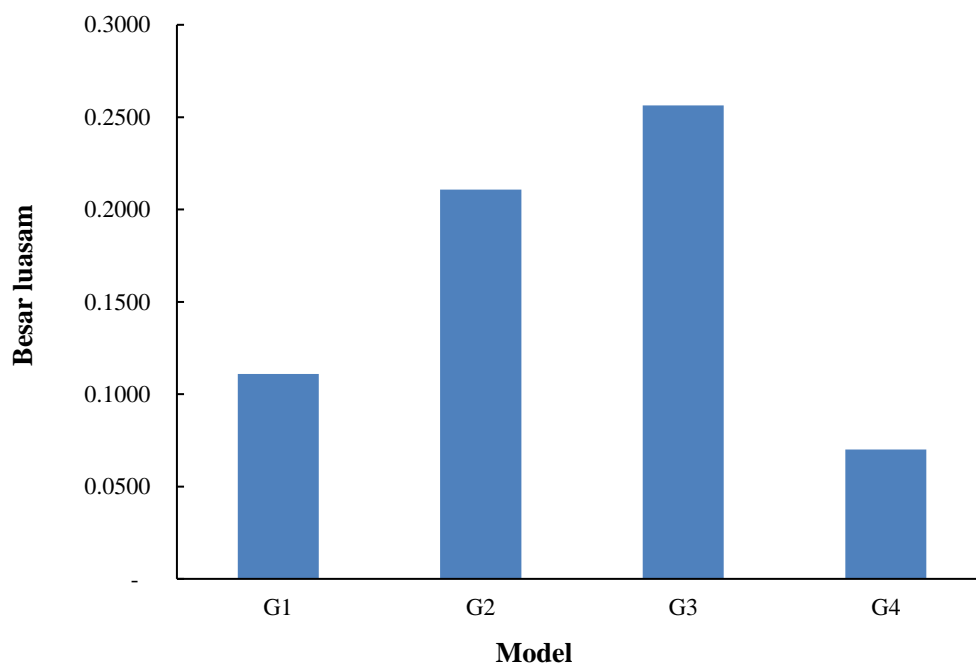
Berdasarkan gambar 5 model-model tersebut yang memiliki volume yang sama ternyata memiliki simpangan struktur yang berbeda-beda. Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketersebaran dinding geser secara horizontal berpengaruh terhadap simpangan struktur akibat beban gempa. Dari grafik tersebut ada perbedaan yang terlihat jelas yaitu antara dinding geser yang terdistribusi berdampingan dengan yang terdistribusi berjarak

3.3.2. Luas Daerah Simpangan Struktur

Ketika terjadi simpangan struktur pada gedung, maka kita dapat menghitung luas daerah simpangan struktur tersebut. Luasan daerah simpangan struktur dapat dilihat dari besarnya luasan grafik yang dihasilkan oleh persamaannya. Rekapitulasi nilai besaran luasan dapat dilihat di tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6. Besar Luasan Grafik untuk Semua Model

Model	Besar Luasan
G1	0,1109
G2	0,2107
G3	0,2564
G4	0,0700



Gambar 6. Grafik Perbandingan Besaran Luasan Grafik untuk semua Model

Dari grafik di atas bisa dilihat besaran luasan grafik dari masing-masing model. Besaran grafik tersebut bisa menggambarkan besar luas simpangan struktur pada setiap model. Secara berurutan Model yang memiliki besaran luasan grafik yang paling kecil adalah model G4, model G1, model G2, dan model G3. Model yang memiliki besaran luasan yang lebih kecil adalah model yang lebih efisien dalam menahan simpangan struktur. Model yang memiliki distribusi dinding geser secara berjarak memiliki besaran luasan yang lebih besar, artinya model tersebut kurang efisien dibandingkan yang terdistribusi berjarak

3.3.3. Analisis Jarak Antara Dinding Geser

Analisa hubungan jarak antara dinding geser dilakukan untuk mengetahui lebih detail tentang hubungan jarak antara dinding geser terhadap efisiensi dinding geser dalam menahan gaya lateral. Analisis dilakukan dengan meninjau masing – masing model dengan dua parameter jarak dinding geser yaitu jarak bentang dinding geser terhadap sisi kiri dan jarak bentang antara masing – masing dinding geser. Jarak antara dinding geser pada setiap model dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. Jarak Antara Dinding Geser pada Setiap Model

Model	Besarnya Luasan	Tipe Dinding Geser	Jarak	
			Terhadap Sisi Kiri (Bentang)	Antara Dinding Geser (Bentang)
G4	0,1109	Berdampingan	1	0
G1	0,2107	Berdampingan	0	0
G2	0,2564	Berjarak	0	1
G3	0,0700	Berjarak	0	2

Dari tabel di atas, dapat dilihat secara berurutan model paling efisien dalam menahan gaya lateral adalah model G4, model G1, model G2, dan yang terakhir adalah model G3. Model G4 adalah model yang paling efisien dalam menahan gaya lateral. Model G4 memiliki jarak bentang terhadap sisi kiri adalah satu bentang dan jarak antara dinding geser adalah 0 bentang (dinding geser berdampingan). Model yang kurang efisien untuk menahan gaya lateral adalah model G3 di mana dinding gesernya memiliki jarak antar bentang yang paling besar yaitu dua bentang. Dengan analisis di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak bentang antara dinding geser maka semakin kurang efektif dalam menahan gaya lateral.

3.3.4. Hubungan Ketersebaran Dinding Geser secara horizontal terhadap Drift

Ketersebaran dinding geser secara horizontal memiliki hubungan terhadap simpangan struktur akibat beban gempa. Dalam hasil penelitian ini semua model penelitian yang direncanakan memiliki volume dinding geser yang sama tetapi memiliki hasil simpangan struktur yang berbeda-beda akibat beban gempa. Jika dilihat gambar 5, ada perbedaan yang terlihat jelas yaitu antara dinding geser yang terdistribusi berdampingan dengan yang terdistribusi berjarak. Dinding geser yang terdistribusi berdampingan memiliki simpangan struktur (*drift*) yang lebih kecil dari dinding geser yang terdistribusi berjarak. Hal ini menunjukkan dinding geser yang terdistribusi berdampingan lebih efisien dalam menahan simpangan struktur akibat beban gempa. Jika dianalisis lebih detail, maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar jarak bentang antara dinding geser maka semakin kurang efisien dalam menahan gaya lateral akibat beban gempa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa, ketersebaran dinding geser secara horizontal memiliki pengaruh terhadap simpangan struktur akibat beban gempa. Drift dari dinding geser menentukan drift bangunan. Dinding geser yang didistribusi secara berdampingan lebih efisien dari pada dinding geser yang didistribusi secara berjarak. Semakin kecil jarak bentang antara dinding geser maka semakin efisien dalam menahan gaya lateral. Ketika dinding geser didistribusi secara berdampingan maka munculah kekakuan potensial sehingga dinding geser tersebut mengalami simpangan yang lebih kecil daripada dinding geser terdistribusi berjarak.

Ucapan terima kasih

Penulis menyadari bahwa artikel ini tidak dapat terselesaikan tanpa bimbingan, dorongan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membanu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Daftar Pustaka

- (BSN), Badan Standarisasi Nasional. 2003. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- (BSN), Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- (BSN), Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 2847:2019)*. Jakarta: Badan Standarisasi

Nasional.

- (NFPA), National Fire Protection Association. 2011. *High-Rise Building Fires*. National Fire Protection Association Fire Analysis and Research Division. https://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/70E/NEC_StyleManual_2011.pdf.
- Alwi, Irbar Darmansyah. *Modul SAP Dengan Tutorial Bahasa Indonesia*. https://www.academia.edu/30097325/Modul_SAP_Dengan_Tutorial_Bahasa_Indonesia (accessed June 17, 2021)
- High-rise Building (ESN 18727). “Emporis Standard.” <https://www.emporis.com/building/standard/3/high-rise-building> (accessed June 17, 2021).
- Kuningsih, T.W. 2011. “Simpangan (Drift) Akibat Gaya gempa.” <https://triwahyukuningsih.wordpress.com/2011/05/13/> (accessed September 30, 2021).
- Mulyono. 2000. *Petunjuk Standarisasi Desain Gedung Bertingkat*. Bandung: Ganeca Exact.
- PPIUG. 1983. “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung.” Stensil, Bandung.
- Sansujaya, Evantianus, Jusuf J.S. Pah, and I Made Udiana. 2021. “Studi Kefektifan Dinding Geser Pada Bangunan Tingkat Tinggi Dalam Mengurangi Simpangan Struktur.” *Jurnal Forum Teknik Sipil (J-ForTekS)* 1(1): 24–34.
- Suparman. 2015. *Penyelidikan Tanah Kampus Undana*. Kupang.

Evaluasi Kinerja Embung Kecil di Kabupaten Kupang

Performance Evaluation of Small Dam in Kupang District

Since Deta Adelfina Fallo¹, I Made Udiana^{2*)}, Sudiyo Utomo³

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:

Evaluasi , kinerja, embung kecil, operasi embung

Keywords:

Evaluation, performance, small dam, embung operation

Article history:

Received: 27-05-2021

Accepted: 12-05-2022

*Koresponden email:

[1sincdeta@gmail.com](mailto:sincdeta@gmail.com)

[2imadeudiana10@gmail.com](mailto:imadeudiana10@gmail.com)

[3diyotomo@gmail.com](mailto:diyotomo@gmail.com)

Abstrak

Pembangunan embung kecil di Kabupaten Kupang bertujuan membantu memenuhi kebutuhan air bagi sektor pertanian, sektor peternakan, serta kebutuhan manusia saat musim kemarau. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja 30 embung kecil yang dibangun di Kabupaten Kupang melalui tiga aspek yaitu aspek fisik, aspek pemanfaatan, dan aspek operasi dan pemeliharaan. Metode yang digunakan adalah Metode Survei, Analisis Deskriptif dan Metode Skala Likert. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja aspek fisik embung kecil di Kabupaten Kupang berada dalam kondisi tidak baik dengan nilai persentase tidak baik adalah 73,23%, kinerja aspek pemanfaatan embung kecil di Kabupaten Kupang berada dalam keadaan baik dengan nilai persentase baik sebesar 55,75%, dan kinerja aspek operasi dan pemeliharaan embung kecil di Kabupaten Kupang berada dalam kondisi tidak baik dengan nilai persentase tidak baik sebesar 63,74%. Secara keseluruhan persentase embung kecil yang diteliti di Kabupaten Kupang mengalami penurunan fungsi sebesar 69,63% dan persentase embung kecil yang masih berfungsi dengan baik sebesar 31,37%.

Abstract

The construction of a small dam in the Kupang District aims to help supply water needs for the agricultural sector, livestock sector, and human needs during the dry season. This study aimed to evaluate the performance of 30 small dams built in Kupang Regency through three aspects, namely physical aspects, utilization aspects, and operation and maintenance aspects. The method used is the Survey Method, Descriptive Analysis and the Likert Scale Method. The results showed that the performance of the small dam's physical aspects in Kupang Regency was in bad condition, with a bad percentage value of 73.23%. The minor dam utilization aspects in Kupang Regency were in good condition with a good percentage value of 55.75%. The operation and maintenance aspects of the small dam in Kupang Regency were in bad condition, with a bad percentage value of 63.74%. Overall, the percentage of small dams studied in the Kupang Regency that experienced a decline in function was 69.63%, and the percentage of small reservoirs that were still functioning was 31.37%.

1. Pendahuluan

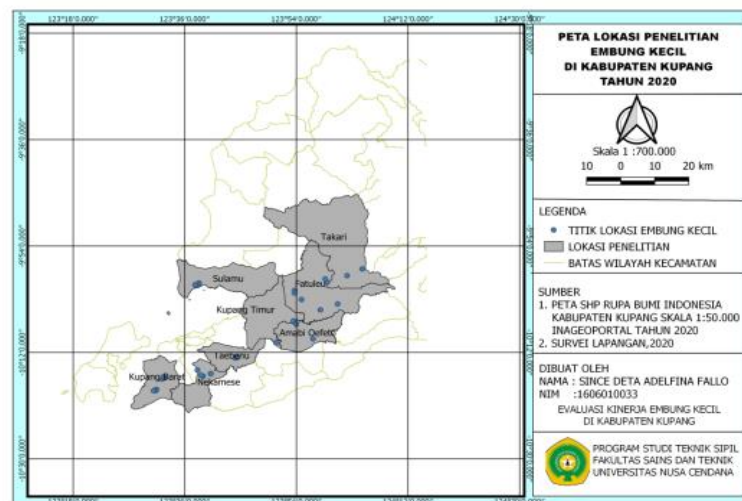
Anomali cuaca dan iklim menyebabkan sebagian besar wilayah Indonesia memiliki perhitungan musim kemarau yang berlangsung 8-9 bulan, seperti yang terjadi di wilayah Provinsi Nusa Tenggara Timur dimana musim hujan berlangsung relatif pendek yakni berkisar bulan November-Januari atau bulan Desember-Februari, dengan jumlah hari hujan berkisar 40-110 hari per tahun dan musim kemarau 8-9 bulan dengan rata-rata curah hujan 1200 mm/tahun sedangkan musim kemarau berlangsung lebih dari enam bulan (Djunaedi 2018). Hal inilah yang menyebabkan ketersediaan air permukaan sebagai penyedia air pada musim kemarau sangat terbatas.

Embung adalah dam air buatan yang digunakan untuk menampung air hujan dan air permukaan dengan kapasitas tampung air maksimum 100.000 m³ pada musim hujan untuk dimanfaatkan sepanjang tahun, terutama di musim kemarau (Widiyono 2019). Pembangunan embung kecil di Kabupaten Kupang bertujuan membantu memenuhi kebutuhan air bagi sektor pertanian, sektor peternakan, serta kebutuhan manusia saat musim kemarau. Tercatat jumlah embung yang telah dibangun sampai dengan tahun 2018 sebanyak 1125 buah embung (embung serbaguna dan embung irigasi) dari yang dibutuhkan sekitar 4000 buah embung untuk Provinsi Nusa Tenggara Timur (AntaraNews NTT n.d.).

Berdasarkan pengamatan, 30 buah embung kecil yang telah dibangun di Kabupaten Kupang mengalami penurunan fungsi sebagai penyedia air bersih. Suatu embung dikatakan baik bila ditinjau dari aspek fisik, embung tersebut tidak terdapat kerusakan yang cukup berarti pada komponen-komponen fisik selama masa layanannya. Sedangkan untuk aspek pemanfaatan embung dikatakan berhasil jika embung dapat memberikan kecukupan air untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat, dan untuk aspek operasi dan pemeliharaan, suatu embung dikatakan baik dinilai dari kelancaran kegiatan institusi atau kelompok pengelolaan dan pemeliharaan sarana embung oleh masyarakat (Suni, H 2018).

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan terhadap 30 embung kecil yang tersebar di delapan Kecamatan di Kabupaten Kupang, yakni Kecamatan Nekamese sebanyak empat buah embung, Kecamatan Kupang Barat sebanyak tujuh buah embung, Kecamatan Kupang Timur sebanyak dua buah embung, Kecamatan Taebenu sebanyak dua buah embung, Kecamatan Amabi Oefeto sebanyak dua buah embung, Kecamatan Fatuleu sebanyak dua buah embung, Kecamatan Sulamu sebanyak empat buah embung dan Kecamatan Takari sebanyak dua buah embung. Peta lokasi penelitian di Kabupaten Kupang dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini data primer meliputi data hasil pengamatan langsung oleh peneliti terhadap aspek fisik embung di lokasi dan data hasil pengisian kuisioner oleh para responden terhadap aspek pemanfaatan dan aspek operasional dan pemeliharaan (O&P) embung kecil. Data sekunder yang

digunakan berupa data inventaris embung kecil Kabupaten Kupang sampai dengan tahun anggaran 2011 (Balai Wilayah Sungai NT II 2019).

2.1. Aspek Yang ditinjau

Pada embung terdapat tiga aspek yang sangat penting yaitu aspek fisik, aspek pemanfaatan, dan aspek operasi dan pemeliharaan. Setiap aspek terdiri dari beberapa variabel antara lain :

2.1.1. Aspek fisik

Aspek fisik yang ditinjau terdiri lima bagian, yaitu :

1. Tanggul terdiri dari variabel daerah basah karena rembesan melalui tubuh embung yang menyebabkan terjadinya longsoran lokal karena tanah jenuh, daerah basahan memanjang di tubuh embung dan menimbulkan rembesan, retakan melintang pada tubuh embung, retakan memanjang di tubuh embung pada bagian puncak (bisa lurus/melengkung), retakan susut (biasanya pendek, dangkal, sempit, banyak, dan tidak teratur), erosi alur di tubuh embung, tumbuhan tinggi di tubuh embung
2. Pelimpah terdiri dari variabel runtuh di saluran pelimpah, erosi di saluran pelimpah, gerusan lokal di sepanjang pelimpah, tumbuhan tinggi di sepanjang pelimpah
3. Kolam tampungan terdiri dari variabel endapan lumpur, kotoran/ranting pohon lapuk pada kolam, pagar di sekeliling kolam, papan duga, pelampung, ketersediaan air, kotoran/ranting pohon lapuk pada kolam, pagar di sekeliling kolam, papan duga, pelampung, ketersediaan air
4. Pipa jaringan distribusi terdiri dari variabel pipa transmisi dan pipa distribusi
5. Bak layanan terdiri dari variabel bak air bersih/ bak air keperluan manusia, bak air keperluan ternak, bak air keperluan kebun/sawah.

2.1.2 Aspek pemanfaatan

Aspek pemanfaatan yang ditinjau terdiri dari tiga variabel, yaitu :

1. Pembagian air
2. Rasa nyaman dengan adanya jaminan air embung
3. Peningkatan kualitas hidup/kesehatan

2.1.3 Aspek operasional dan pemeliharaan

Aspek operasional dan pemeliharaan yang ditinjau terdiri dari tiga variabel, yaitu :

1. Ketaatan melaksanakan operasi dan pemeliharaan
2. Ketersediaan sarana dan dana O&P
3. Subsidi
4. Kegiatan pelatihan O&P

2.2. Metode Penilaian Kinerja

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Survei dan Analisis Deskriptif yakni menguraikan nilai tertentu terhadap suatu variabel atau aspek yang ditinjau (Asmirullah 2015). Penilaian untuk setiap aspek yakni aspek fisik, aspek pemanfaatan dan aspek operasional dan pemeliharaan (O&P) menggunakan Metode Skala Likert.

2.2.1. Populasi dan sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah jumlah penduduk pengguna embung di delapan kecamatan di Kabupaten Kupang. Pengambilan sampel menggunakan Teknik Sampel Probabilitas (*probability sampling*). Sampel total dan sampel strata didapat dengan Rumus Slovin dalam persamaan 1 dan 2.

1. Sampel total (Sujarweni 2014)

$$n = \frac{N}{Nd^2 + 1} \quad (1)$$

Dimana

n = Besaran sampel

N = Besaran populasi

d = Nilai kritis (batas ketelitian) yang diinginkan (persen kelonggaran ketidaktelitian karena kesalahan penarikan sampel) sebesar 10% dan tingkat kepercayaan 90%

Setelah didapat jumlah sampel total kemudian dicari jumlah sampel untuk pengguna masing-masing embung dengan menggunakan rumus Slovin dalam persamaan 2.

2. Sampel tiap strata (Sugiyono 2015)

$$N_i = \frac{X_i}{Y} \cdot n \tag{2}$$

Dimana

N_i = Sampel tiap strata

X_i = Besaran populasi tiap strata

Y = Besaran populasi keseluruhan

n = Jumlah sampel untuk populasi keseluruhan

2.2.2 Teknik analisa data

Dalam penelitian ini kegiatan analisis data dilakukan peneliti melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan analisis data dengan menggunakan Metode Skala Likert yakni memberikan nilai pada masing-masing variabel dengan mengacu pada tabel kriteria penilaian serta kuisisioner yang sudah dibuat. Nilai yang diberikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai Kondisi Tanggung Embung Kecil Oben

Aspek	Nilai Kondisi			
	Sangat Tidak Baik	Tidak Baik	Baik	Sangat Baik
Fisik	1,00 - 1,50	1,51-2,50	2,51-3,50	3,51-4,00
Pemanfaatan	1,00 - 1,50	1,51-2,50	2,51-3,50	3,51-4,00
Operasional dan Pemanfaatan	1,00 - 1,50	1,51-2,50	2,51-3,50	3,51-4,00

2. Setelah didapatkan nilai setiap variabel maka dilakukan penjumlahan variabel untuk mendapatkan nilai rata-rata masing-masing variabel. Nilai rata-rata diperoleh dengan menggunakan persamaan 3 dan persamaan 4.
 - a. Nilai rata-rata masing-masing variabel (Bunganaen 2013)

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \tag{3}$$

Dimana :

\bar{x} = Rata-rata (*mean*)

x_1, x_2, \dots, x_n = Nilai variabel ke-n berdasarkan skala likert

n = Jumlah variabel

- b. Nilai rata-rata masing-masing variabel (Bunganaen 2013)

$$\bar{x} = \frac{\sum f_i \cdot x_i}{\sum x_i} \tag{4}$$

Dimana :

\bar{x} = Rata-rata (*mean*)

f_i = Jumlah responden

x_1, x_2, \dots, x_n = Nilai variabel ke-n berdasarkan skala likert

3. Menentukan nilai keseluruhan dari kinerja sebuah embung digunakan Persamaan 5

$$N_{akhir} = \frac{N_{AF} + N_{AP} + N_{AOP}}{3} \quad (5)$$

Dimana :

N_{akhir} = Nilai akhir

N_{AF} = Nilai rata-rata aspek fisik

N_{AP} = Nilai rata-rata aspek pemanfaatan

N_{AOP} = Nilai rata-rata aspek O&P

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Aspek Fisik

Pada aspek fisik yang ditinjau terdiri dari lima bagian yaitu tanggul, pelimpah, kolam tampungan, pipa jaringan distribusi, bak layanan. Setiap bagian terdiri dari variabel-variabel akan dianalisis menggunakan Metode Skala Likert.

3.1.1 Tanggul

Tanggul embung-embung kecil yang ada di lokasi penelitian rata-rata terbuat dari timbunan tanah homogen dan urugan batu. Embung urugan adalah embung yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) dari embung itu sendiri tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran serta kimia (Soedibyo 2007). Salah satu embung yang diteliti adalah embung kecil Oben yang terletak di Kecamatan Nekamese dengan nilai kondisi tanggul dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Kondisi Tanggul Embung Kecil Oben

No	Variabel	Kondisi	Kriteria	Nilai
1	Daerah basah karena rembesan melalui tubuh embung atau fondasi yang menyebabkan terjadinya longsoran lokal karena tanah jenuh	Sangat Baik	Tidak ada daerah basah karena rembesan melalui tubuh embung atau fondasi yang menyebabkan terjadinya longsoran lokal/tanah jenuh	4
2	Daerah basahan memanjang di tubuh embung dan menimbulkan rembesan	Sangat Baik	Tidak adanya daerah basahan memanjang pada tubuh embung	4
3	Retakan melintang ditubuh embung	Sangat Baik	Tidak adanya retakan melintang pada tubuh embung	4
4	Retakan memanjang di tubuh embung pada bagian puncak (bisa lurus/ melengkung)	Sangat Baik	Tidak adanya retakan memanjang pada tubuh embung di bagian puncak	4
5	Retakan susut, retakan biasanya pendek, dangkal, sempit, banyak, dan berarah tidak teratur	Baik	Adanya sedikit retakan susut pada tubuh embung	3
6	Erosi alur ditubuh embung	Sangat Baik	Tidak adanya erosi alur pada tanggul	4
7	Tumbuhan tinggi di tubuh embung	Sangat Tidak Baik	Adanya tanaman tinggi lebih dari 0,5 meter di sepanjang tubuh embung dari bagian hulu ke hilir	1
Jumlah				24
Rerata Nilai = $\frac{24}{7}$				3,43

3.1.2 Saluran pelimpah

Salah satu embung yang diteliti adalah embung kecil Oben yang terletak di Kecamatan Nekamese dengan nilai kondisi saluran pelimpah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kondisi Saluran Pelimpah Embung Kecil Oben

No	Variabel	Kondisi	Kriteria	Nilai
1	Runtuhan di saluran pelimpah	Tidak Baik	Terdapat runtuh / longsor pada bagian kanan atau kiri saluran pelimpah, namun air masih bisa mengalir	2
2	Erosi alur di saluran pelimpah	Tidak Baik	Terdapat bekas erosi pada dasar saluran dan scouring pada dinding saluran pelimpah semakin panjang sampai ke hulu dan hilir	2
3	Gerusan lokal di pelimpah	Baik	Terdapat tanda-tanda gerusan lokal pada saluran pelimpah	3
4	Tumbuhan tinggi di sepanjang pelimpah	Tidak Baik	Terdapat tumbuhan dengan tinggi lebih dari 0,5 meter di sepanjang saluran pelimpah namun tidak mempengaruhi fungsi pelimpah	2
Jumlah				9
Rerata Nilai = $\frac{9}{4}$				2,25

3.1.3 Kolam tampungan

Kolam embung kecil memiliki kapasitas tampung air maksimum 100.000 m³ (Widiyono 2019). Nilai kondisi survei Embung Kecil Oben yang terletak di Kecamatan Nekamese terhadap kolam tampungan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kondisi Kolam Tampungan Embung Kecil Oben

No	Variabel	Kondisi	Kriteria	Nilai
1	Endapan lumpur pada kolam tampungan	Tidak Baik	Terdapat endapan lumpur pada seluruh kolam yang mempengaruhi fungsi kolam	2
2	Kotoran/ ranting pohon lapuk pada kolam	Baik	Terdapat kotoran dan ranting pohon lapuk pada kolam namun tidak membahayakan dan tidak mempengaruhi kualitas air	3
3	Pagar di sekeliling kolam	Tidak Baik	Pagar di sekeliling kolam tampungan sudah rusak berat	2
4	Papan duga	Sangat Tidak Baik	Tidak ada/ hilang papan duga pada kolam tampungan	1
5	Pelampung	Tidak Baik	Pelampung tersumbat dan tidak berfungsi	2
6	Ketersediaan air	Tidak Baik	Air yang tersedia hanya dapat melayani kebutuhan air bersih untuk masyarakat saja atau ternak atau kebun saja selama musim kemarau	2
Jumlah				12
Rerata Nilai = $\frac{12}{6}$				2,00

3.1.4 Pipa jaringan distribusi

Nilai kondisi survei Embung Oben yang terletak di Kecamatan Nekamese terhadap pipa jaringan distribusi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kondisi Pipa Jaringan Distribusi Embung Kecil Oben

No	Variabel	Kondisi	Kriteria	Nilai
1	Pipa transmisi	Tidak Baik	Ada kerusakan parah seperti tersumbat atau putus pada jaringan pipa transmisi sehingga tidak berfungsi	2
2	Pipa distribusi	Tidak Baik	Ada kerusakan parah seperti kebocoran besar dan patah pada jaringan pipa distribusi sehingga tidak berfungsi	2
Jumlah				4
Rerata Nilai = $\frac{4}{2}$				2,00

3.1.5 Bak Layanan

Nilai kondisi hasil survei pada bak layanan Embung Kecil Oben pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Kondisi Bak Layanan Embung Oben

No	Variabel	Kondisi	Kriteria	Nilai
1	Bak air bersih/ bak air keperluan manusia	Tidak Baik	Bak air ada namun air tidak dapat tertampung karena kondisi bak rusak dan semua instrumennya dalam kondisi rusak	2
2	Bak air keperluan ternak	Sangat Tidak Baik	Bak air tidak ada	1
3	Bak air keperluan kebun	Sangat Baik	Bak air ada dan berfungsi dengan baik	4
Jumlah				7
Rerata Nilai = $\frac{7}{3}$				2,33

3.1.6 Analisis aspek fisik embung kecil

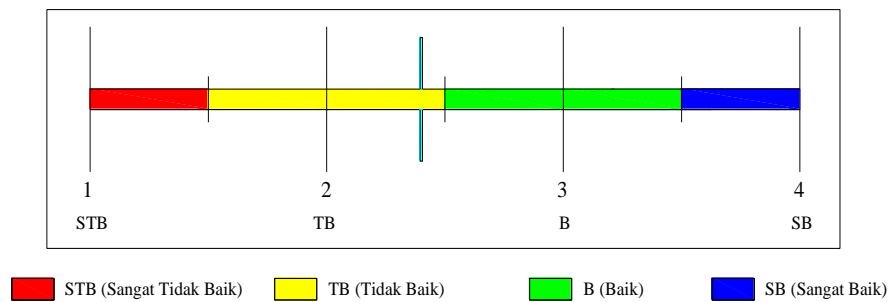
Nilai rata-rata untuk aspek fisik diperoleh dengan merata-ratakan nilai kondisi tanggul, pelimpah, kolam tampungan, pipa jaringan dsitribusi, dan bak layanan. Hasil perhitungan untuk kondisi fisik embung kecil Oben dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini :

Tabel 7. Nilai Kondisi Aspek Fisik Embung Kecil Oben

No	Bagian/Komponen	Kondisi	Nilai Kinerja
1	Tanggul	Baik	3,43
2	Pelimpah	Tidak Baik	2,25
3	Kolam Tampungan	Tidak Baik	2,00
4	Pipa Jaringan Distribusi	Tidak Baik	2,00
5	Bak Layanan	Tidak Baik	2,33
Jumlah			12,18
Rerata Nilai = $\frac{12,01}{5}$			2,40

Penilaian untuk kondisi aspek fisik embung kecil Oben menggunakan skala pengukuran

kinerja dapat dilihat pada Gambar 2 di berikut ini.



Gambar 2. Skala Pengukuran Kondisi Fisik Embung Kecil Oben

Berdasarkan Tabel 7 nilai kinerja aspek fisik embung kecil Oben yang diperoleh adalah 2,40. Berdasarkan skala pengukuran pada Gambar 2 menunjukkan bahwa kondisi fisik dari embung kecil Oben berada pada nilai kondisi yang tidak baik.

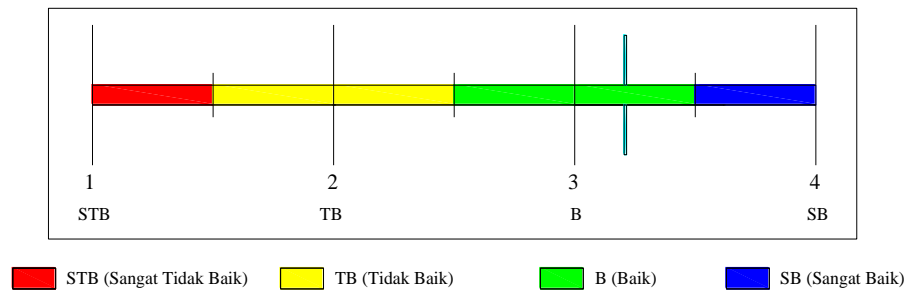
3.2. *Aspek Pemanfaatan*

Pengumpulan data untuk aspek pemanfaatan diperoleh dari jawaban responden terhadap kuisioner yang diberikan, dengan jumlah responden untuk masing-masing embung adalah tujuh orang. Data penilaian masing-masing variabel untuk aspek pemanfaatan Embung Kecil Oben didapat dari jawaban responden terhadap kuisioner yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Kondisi Aspek Pemanfaatan Embung Kecil Oben

No	Variabel	Nomor Pertanyaan (n)	Jumlah Responden(fi) pada Nilai (xi)				Jumlah Responden	$\frac{(\sum fi \cdot xi)}{(\sum fi)}$	\bar{x}
			4	3	2	1			
1	2	3	4				5	6	7
1	Pembagian Air	1	1	0	6	0	7	2,29	2,57
		2	0	6	1	0	7	2,86	
2	Rasa nyaman dengan adanya jaminan air embung	3	1	6	0	0	7	3,14	3,50
		4	5	2	0	0	7	3,71	
		5	7	0	0	0	7	4,00	
		6	1	6	0	0	7	1,71	
3	Peningkatan kualitas hidup/ kesehatan	7	3	4	0	0	7	1,57	3,57
		8	5	2	0	2	7	1,71	
		Jumlah						9,64	
		Rerata Nilai						3,21	

Penilaian untuk kondisi aspek pemanfaatan embung kecil Oben menggunakan skala pengukuran kinerja dapat dilihat pada Gambar 3 di berikut ini.



Gambar 3. Skala Pengukuran Kondisi Pemanfaatan Embung Kecil Oben

3.3. *Aspek Operasi dan Pemeliharaan*

Pengumpulan data untuk aspek operasi dan pemeliharaan diperoleh dari jawaban responden terhadap kuisioner yang diberikan, dengan jumlah responden untuk masing-masing embung adalah tujuh orang. Responden sendiri merupakan masyarakat yang tinggal di hulu dan hilir embung.

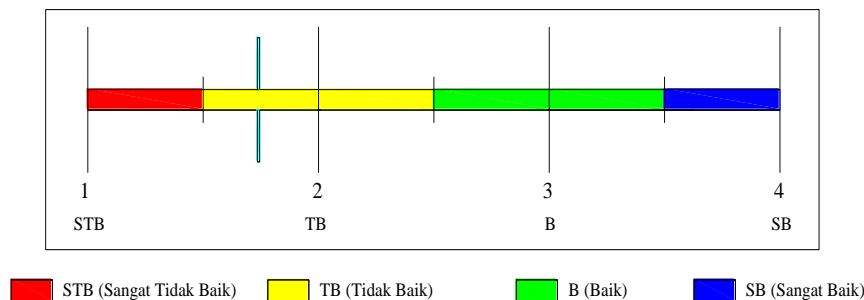
3.3.1 *Analisis aspek operasional dan pemeliharaan embung*

Salah satu embung yang diteliti adalah embung kecil Oben yang terletak di Kecamatan Nekamese. Data penilaian masing-masing variabel untuk aspek operasional dan pemeliharaan Embung Kecil Oben didapat dari jawaban responden terhadap kuisioner yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Nilai Kondisi Aspek O&P Embung Kecil Oben

No	Variabel	Nomor Pertanyaan	Jumlah Responden(fi) pada Nilai Skala Pengukuran (xi)				Jumlah Responde n (fi)	$\frac{(\sum fi \cdot xi)}{(\sum fi)}$	\bar{x}
			4	3	2	1			
1	2	3	4				5	6	7
1	Ketaatan melaksanakan operasi dan pemeliharaan	9	0	7	0	0	7	3,00	2,82
		10	0	7	0	0	7	3,00	
		11	0	6	1	0	7	2,86	
		12	0	5	0	2	7	2,43	
2	Ketersediaan Sarana dan dana O & P	13	1	0	6	0	7	2,29	2,14
		14	1	0	6	0	7	2,29	
		15	0	0	7	0	7	2,00	
		16	0	0	7	0	7	2,00	
3	Subsidi	17	0	0	0	7	7	1,00	1,00
4	Kegiatan pelatihan O&P	18	0	0	0	7	7	1,00	1,00
		19	0	0	0	7	7	1,00	
		20	0	0	0	7	7	1,00	
Jumlah								6,96	
Rerata Nilai								1,74	

Penilaian untuk kondisi aspek operasi dan pemeliharaan Embung Kecil Oben menggunakan skala pengukuran kinerja dapat dilihat pada Gambar 4 di berikut ini.



Gambar 4. Skala Pengukuran Kondisi O & P Embung Kecil Oben

Berdasarkan Tabel 9 nilai kinerja aspek operasi dan pemeliharaan embung kecil Oben yang diperoleh adalah 1,74. Berdasarkan skala pengukuran pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kondisi O&P dari embung kecil Oben berada pada nilai kondisi yang tidak baik.

3.4 Rekapitulasi Nilai dan Kondisi Keseluruhan Semua Embung Yang Diteliti

Persentase nilai dan kondisi keseluruhan dari embung-embung kecil yang diteliti dapat dilihat dalam Tabel 10 dibawah ini.

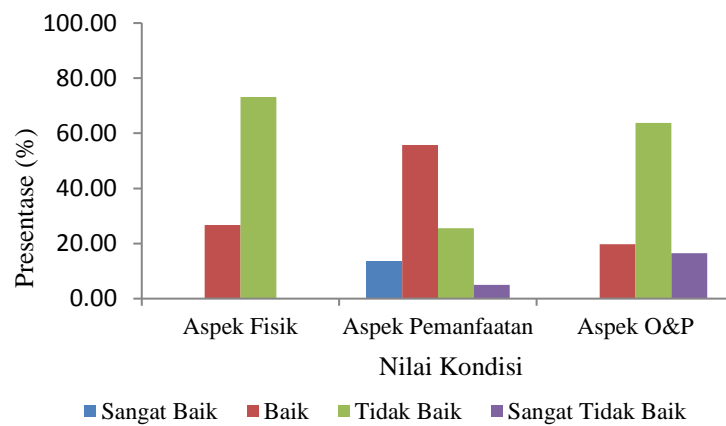
Tabel 10. Hasil Rekapitulasi Nilai Dan Kondisi Keseluruhan Semua Embung Kecil Yang Diteliti

No	Nama Embung	Nilai dan Kondisi Keseluruhan			Nilai Rerata	Ket
		Aspek Fisik	Aspek Pemanfaatan	Aspek O & P		
1	Oben	2,40	3,21	1,74	2,45	TB
2	Oelomin	2,56	2,80	2,02	2,46	TB
3	Oemasi	2,52	3,45	2,36	2,78	B
4	Fatumetan	2,11	2,11	1,81	2,01	TB
5	Tesabela I	2,73	2,18	1,82	2,24	TB
6	Tesabela II	1,91	2,18	1,54	1,88	TB
7	Tesabela III	1,56	1,24	1,59	1,46	STB
8	Tuasikan	1,76	1,32	1,20	1,43	STB
9	Bone Ana	2,55	3,33	2,89	2,93	B
10	Tuaset	1,98	3,21	1,59	2,26	TB
11	Oematfunu	1,59	1,74	1,75	1,69	TB
12	Senenu I	2,24	3,64	1,98	2,62	B
13	Senenu II	1,80	2,01	1,66	1,82	TB
14	Kaerane	1,67	3,27	2,70	2,55	B
15	Oehendak	1,81	3,62	1,02	2,15	TB
16	Oelpuah	2,36	3,32	1,36	2,35	TB
17	Pathua	1,60	1,41	1,00	1,34	STB
18	Ekateta	2,57	3,57	2,27	2,80	B
19	Oelnunu	2,95	3,13	2,04	2,71	B
20	Silu	2,02	2,95	1,09	2,02	TB

21	Nunpisa	2,00	2,98	2,68	2,56	B
22	Oelbima	3,03	3,25	1,78	2,69	B
23	Nefonautan	1,35	3,11	1,02	1,83	TB
24	Oemenuk	1,36	1,94	1,07	1,46	STB
25	Oetupi	1,50	1,80	1,00	1,43	STB
26	Sulamu	2,26	2,88	2,06	2,40	TB
27	Kelapa Empat	2,11	3,20	1,75	2,35	TB
28	Sulamu	1,60	2,13	1,00	1,58	TB
29	Natlomi	1,66	2,02	1,00	1,56	TB
30	Tanah Putih	1,56	2,11	1,02	1,56	TB

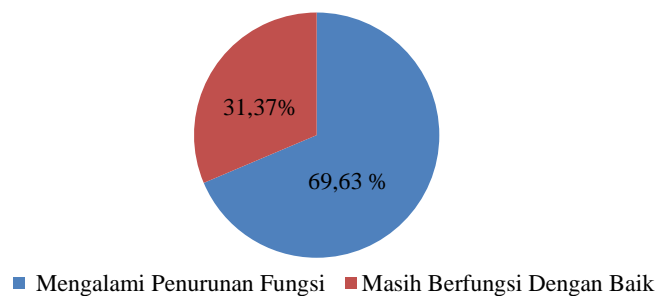
Keterangan : STB (Sangat Tidak Baik) ; TB (Tidak Baik) ; B (Baik) ; SB (Sangat Baik)

Berdasarkan tabel hasil rekapitulasi diatas dibuat grafik rekapitulasi persentase nilai dan kondisi keseluruhan embung-embung kecil yang diteliti seperti yang dilihat pada grafik di Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Rekapitulasi Nilai Kondisi Keseluruhan Embung Kecil Yang Diteliti

Berdasarkan grafik dalam Gambar 5 diperoleh bahwa nilai kondisi aspek fisik embung kecil yang diteliti berada dalam kondisi tidak baik dengan nilai presentase tidak baik sebesar 73,23%, nilai kondisi aspek pemanfaatan embung kecil yang diteliti berada dalam kondisi baik dengan nilai presentase baik sebesar 55,75%, dan nilai kondisi aspek operasi dan pemeliharaan embung kecil yang diteliti berada dalam kondisi tidak baik dengan nilai presentase tidak baik sebesar 63,74 %. Presentase embung yang mengalami penurunan fungsi dapat dilihat dalam Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Grafik Presentase Embung Kecil Yang Diteliti di Kabupaten Kupang

Berdasarkan grafik dalam Gambar 6 diperoleh bahwa presentase embung kecil yang mengalami penurunan fungsi adalah sebesar 69,63 % dan presentase embung kecil yang masih berfungsi dengan baik adalah sebesar 31,37 %.

4. Kesimpulan

Nilai kondisi aspek fisik embung kecil yang diteliti di Kabupaten Kupang berada dalam kondisi tidak baik dengan nilai presentase tidak baik sebesar 73,23%, nilai kondisi aspek pemanfaatan embung kecil yang diteliti di Kabupaten Kupang berada dalam kondisi baik dengan nilai presentase baik sebesar 55,75%, dan nilai kondisi aspek operasi dan pemeliharaan embung kecil yang diteliti di Kabupaten Kupang berada dalam kondisi tidak baik dengan nilai presentase tidak baik sebesar 63,74 %. Presentase embung kecil yang mengalami penurunan fungsi adalah sebesar 69,63 % dan presentase embung kecil yang masih berfungsi dengan baik adalah sebesar 31,37 %.

Daftar Pustaka

- AntaraNews NTT. "NTT Butuh 4000 Embung." <https://www.google.com/amp/s/kupang.antaranews.com/amp/berita/10239/ntt-butuh-4000-embung/> (February 27, 2020).
- Asmirullah. 2015. *Metode Penelitian Manajemen*. Malang: Bayumedia Publishing.
- Balai Wilayah Sungai NT II. 2019. "Data Embung Kecil Timor Kepulauan." <https://id.scribd.com/document/410433288/> (February 13, 2020).
- Bunganaen, W. 2013. "Analisis Kinerja Embung Oelomin Di Kabupaten Kupang." *Jurnal teknik Sipil* 2: 23–36.
- Djunaedi, D. 2018. "Kajian Penataan Ruang Kota Kupang Berbasis Konservasi Tanah Dan Air Di DAS Dendeng Propinsi Nusa Tenggara Timur." *JUTEKS: Jurnal Teknik Sipil* 2(2): 179–96.
- Soedibyo. 2007. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Sugiyono. 2015. *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Sujarweni, V.Wiratna. 2014. *Metodelogi Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Suni, H, A. 2018. "Evaluasi Kinerja Embung-Embung Kecil Yang Telah Dibangun Di 4 Kecamatan Di Kabupaten Belu." Universitas Nusa Cendana.
- Widiyono, W. 2019. *Pendekatan Lanskap Ekosistem Embung Untuk Pemanfaatan Air Irigasi Di Lahan Beriklim Kering Nusa Tenggara Timur*. LIPI Press Sipil.

Analisis Kinerja Kolom Pipih Dan Kolom Konvensional Pada Bangunan Bertingkat Rendah

Performance Analysis of Flat Columns and Conventional Columns in Low-Rise Building

Tersianus Rada Sakti¹, Dolly W. Karels^{2*}, Remigildus Cornelis³

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:

Kolom pipih, kolom konvensional, bangunan bertingkat rendah

Keywords:

Unconventional column, Conventional Columns, Low-Rise Building

Article history:

Received: 22-04-2022

Accepted: 12-05-2022

*Koresponden email:

radatersianus@gmail.com

dollywkarels@gmail.com

remi@staf.undana.ac.id

Abstrak

Kolom pipih sangat familiar digunakan dalam dunia konstruksi bangunan modern karena berdampak pada fungsi ruangan menjadi efisien, sedangkan, kolom konvensional berdampak pada kurangnya efisiensi fungsi ruangan. Analisis perbandingan kinerja kedua jenis kolom tersebut menggunakan analisis *pushover* metode spektrum kapasitas dengan *software* ETABS ver. 16.1.0. Hasil level kinerja kedua jenis kolom pada bangunan bertingkat rendah adalah sama yaitu *Immediate Occupancy*. The largest maximum base shear force is in low-rise buildings with flat columns where the pushover force in the east is 20,815.90 kN and the maximum displacement is 160.00 mm, and the smallest base shear force is in low-rise buildings with conventional columns where the pushover force is 2,478.83 kN with a maximum displacement of 90.11 mm. So it can be concluded that conventional columns are stronger than flat columns.

Abstract

Unconventional columns are very familiar in modern building construction because they impact the room's efficiency. Meanwhile, conventional columns affect the lack of efficiency in the room's functions. The performance analysis of the two types of columns used pushover analysis of the capacity spectrum method using ETABS v 16.1.0 software. The performance level results of the two types of columns in low-rise buildings are the same, which is *Immediate Occupancy*. The most significant maximum shearing force is at a low-rise building with an unconventional column with a maximum displacement on the east side of 160,00 mm. The smallest is a low-rise building with a conventional column in the east direction with maximum displacement on the North side of 90,11 mm. Thus, comparing the performance of the two types of columns can be concluded that conventional columns are stronger than unconventional columns.

1. Pendahuluan

Kota Kupang merupakan ibu kota Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan luas wilayah 180,27 km² dan jumlah penduduk ±423.800 jiwa. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2012 dan 2019), laju pertumbuhan penduduk di Kota Kupang tahun 2011-2018 adalah 3,07% yang termasuk kategori tinggi. Hal ini berdampak pada keterbatasan lahan dalam mendirikan bangunan tempat tinggal. Salah satu solusi dalam mengatasi masalah tersebut adalah dengan membangun gedung untuk tempat tinggal secara vertikal atau bertingkat. Ada dua komponen penting dalam mendesain suatu bangunan bertingkat yaitu struktur dan non- struktur. Komponen struktur adalah struktur utama suatu bangunan yang berfungsi untuk mendukung keberadaan komponen non-struktur.. Komponen struktur menjadi komponen yang paling penting dalam mendirikan bangunan.

Komponen-komponen struktur utama suatu bangunan gedung meliputi balok, kolom dan fondasi. Berdasarkan karakteristik kekakuan elemen, balok dan kolom merupakan elemen kaku yang tidak mengalami perubahan bentuk yang cukup besar apabila mengalami tekanan beban. Kolom merupakan elemen struktur vertikal yang berfungsi memikul beban berupa gaya aksial serta momen lentur dari elemen horizontal untuk diteruskan ke fondasi. Pada struktur bangunan bertingkat rendah dapat digunakan kolom konvensional dengan penampang berbentuk segiempat dan bulat, atau kolom non-konvensional yakni kolom pipih berbentuk L, T, plus (+), dan I. Saat ini semakin banyak digunakan kolom pipih pada bangunan bertingkat rendah dengan pertimbangan bahwa kolom tersebut permukaannya rata dengan dinding sehingga memiliki nilai estetika yang lebih dibandingkan kolom konvensional. Oleh karena itu perlu diteliti kinerja dari kolom pipih dan kolom konvensional.

2. Bahan dan Metode

Pada struktur yang stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban pada umumnya kecil. Gaya internal yang timbul di dalam struktur mempunyai kecenderungan mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula apabila bebannya dihilangkan. Sedangkan pada struktur yang tidak stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban pada umumnya mempunyai kecenderungan untuk terus bertambah selama struktur tersebut dibebani (Suryatmono 1991).

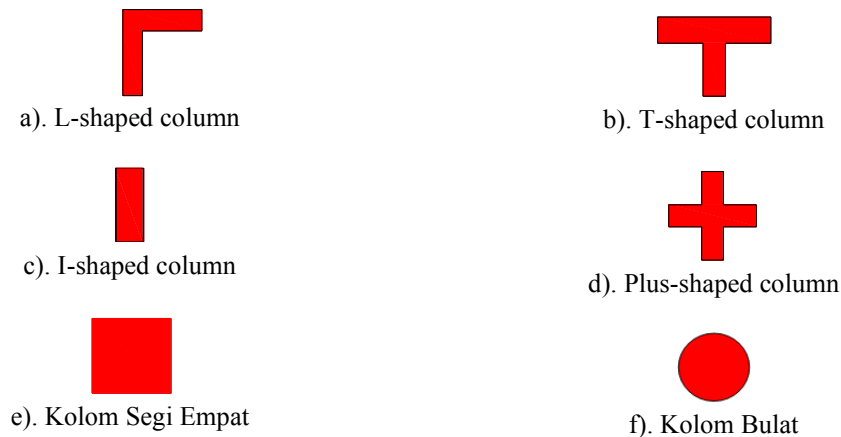


(a) Susunan Kolom dan Balok

(b) Ketidakstabilan Terhadap Beban Horizontal

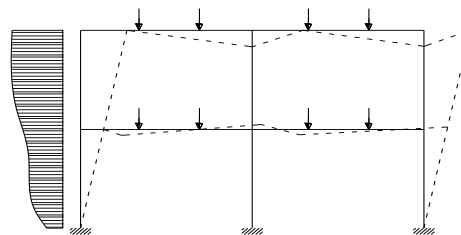
Gambar 1. Ketidakstabilan Struktur terhadap Kondisi Pembebebanan

Kolom merupakan elemen vertikal yang menerima beban aksial tekan serta momen lentur. Kolom pipih mempunyai 4 bentuk yaitu L-shaped column, T-shaped column, plus-shaped column, dan I-shaped column, sedangkan kolom konvensional mempunyai 2 bentuk yaitu kolom segi empat dan kolom bulat. Bentuk kolom pipih dan konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Kolom Pipih dan Kolom Konvensional

Pembebanan yang digunakan yaitu beban mati dan beban hidup sesuai dengan PPIUG (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983). Analisis pushover menggunakan metode capacity spectrum. Metode spektrum kapasitas adalah metode untuk mengetahui kinerja dari struktur dengan diberikan beban dorong statis non-linier (pushover) secara bertahap hingga beberapa komponen struktur mengalami leleh dan berdeformasi inelastic. Ilustrasi pushover dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Ilustrasi Pushover

Kurva yang dihasilkan dari analisis statis pushover non-linier yaitu hubungan antara gaya geser dasar (base shear) dengan perpindahan atap (roof displacement). Kurva kapasitas hasil dari analisis pushover dapat dikonversikan ke dalam format ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectra) menggunakan persamaan sebagai berikut:

Modal Participation Factor Mode 1:

$$PF = \frac{[\sum_{i=1}^n w_1 \cdot \phi_{i1} / g]}{[\sum_{i=1}^n (w_1 \cdot \phi_{i1})^2 / g]} \tag{1}$$

Modal Mass Coefficient Mode 1:

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^n w_1 \cdot \phi_{i1} / g]}{[\sum_{i=1}^n w_1 / g] [\sum_{i=1}^n (w_1 \cdot \phi_{i1})^2 / g]} \tag{2}$$

Spectrum Acceleration:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \tag{3}$$

Spectrum Displacement:

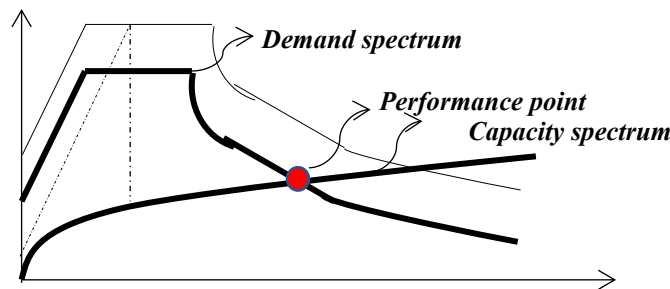
$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \cdot \phi_{roof,1}} \tag{4}$$

Keterangan:

- PF_1 : Modal participation factor untuk mode pertama
- α_1 : modal mass coefficient untuk mode pertama
- S_a : spectral acceleration
- S_d : spectral displacement
- ϕ_{i1} : amplitud untuk mode pertama
- V : gaya geser
- W : beban mati bangunan ditambah beban hidup
- Δ_{roof} : roof displacement

2.1. Performance Point

Performance point adalah titik dimana kurva kapasitas berpotongan dengan single demand. Performance point dapat ditentukan dengan melakukan plot demand spectrum dan menggabungkan dengan capacity spectrum. Grafik titik kinerja dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Performance Point (ATC-40 1996)

2.2. Performance Level

Performance level merupakan batasan kerusakan pada struktur dan beban gempa yang ada. Menurut ATC 40, perilaku suatu struktur diukur dari tingkat kerusakan struktural dan non-struktural berdasarkan level kinerja ATC 40. Persamaan yang digunakan dalam menentukan level kinerja adalah:

$$\text{Maximum drift} = \frac{D_t}{H} \tag{5}$$

$$\text{Maximum inelastic drift} = \frac{D_t - D_1}{H_{total}} \tag{6}$$

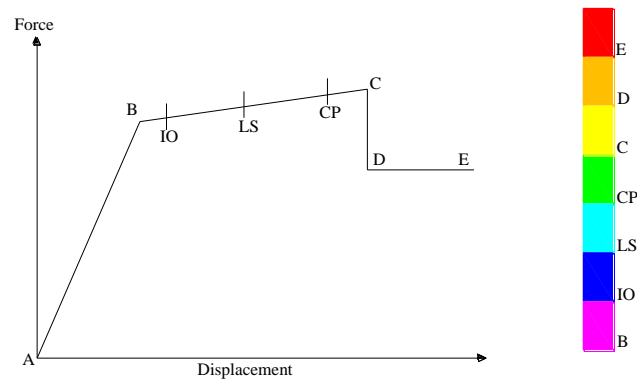
Keterangan:

- D_t : Target displacement
- D_1 : Displacement pada step 1
- :

H_{total} Tinggi total struktur

2.3. Properti Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam. Pemodelan sendi plastis diaplikasikan pada elemen kolom untuk mengetahui perbandingan pola keruntuhan dari kolom pipih dan konvensional. Adapun keterangan mengenai karakteristik sendi plastis dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Properti Sendi Plastis (ETABS v 16.1.0.)

Pemodelan sendi plastis pada struktur bangunan bertingkat rendah menggunakan kolom pipih dan konvensional dapat diaplikasikan dengan bantuan program *ETABS version 16.1.0*. Dalam penelitian ini elemen kolom menggunakan tipe sendi default-PMM (pemikul momen menengah) dengan pertimbangan bahwa elemen kolom terdapat hubungan gaya aksial dengan momen (diagram interaksi P-M).

2.4. Standar Nasional Indonesia 03-1726-2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non- Gedung

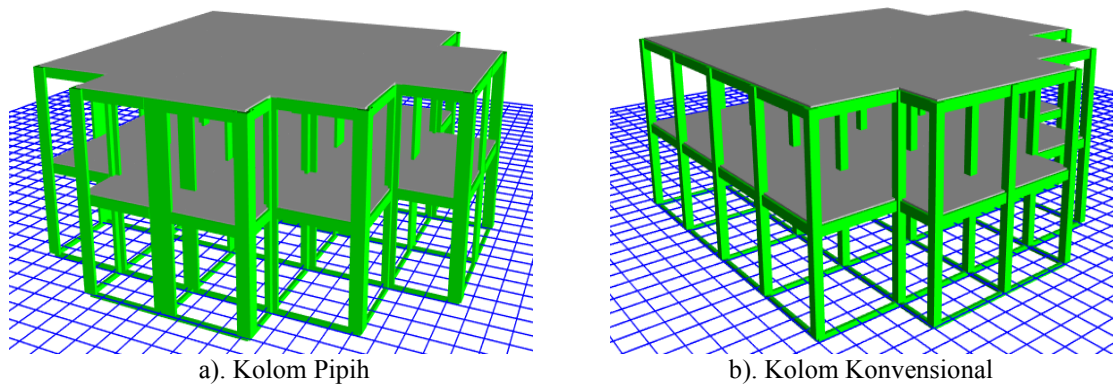
Simpangan antar lantai maksimum yang berkaitan dengan gaya lateral rencana termasuk perpindahan akibat deformasi vertikal dari sistem isolasi tidak boleh melebihi batasan berikut ini:

1. Simpangan antar lantai maksimum dari struktur sistem isolasi yang dihitung dengan analisis spektrum respons tidak boleh melebihi $0,015 h_{sx}$
2. Simpangan antar lantai maksimum struktur sistem isolasi yang dihitung dengan menggunakan analisis riwayat *respons* berdasarkan karakteristik gaya-lendutan dari elemen-elemen non-linier sistem penahan gaya gempa tidak boleh melebihi $0,020 h_{sx}$

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 8.2.1, syarat untuk memenuhi kinerja batas ultimit struktur gedung dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

2.5. Analisis Data

Data pembebanan yaitu beban mati dan beban hidup dihitung berdasarkan PPIUG 1983. Untuk analisis struktur dan kinerja kolom pipih dan kolom konvensional digunakan software ETABS version 16.1.0. Penentuan level kinerja didasarkan pada standard ATC 40. Pemodelan kolom pipih dan kolom konvensional dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan Kolom 3 Dimensi Menggunakan Etabs version 16.1.0

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap akibat beban dorong pushover. Beban pushover yang diberikan ditingkatkan secara bertahap hingga struktur tersebut runtuh. Kurva ini dapat diperoleh dengan menggunakan ASCE-NSP Etabs v.16.1.0.

3.1.1.1 Kolom Pipih.

Rekapitulasi gaya geser dasar maksimum kolom pipih dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Maksimum Kolom Pipih

Arah Pushover	Displacement (mm)	Base Shear (kN)
Arah Timur	160,00	20815,90
Arah Utara	154,13	19889,54

3.1.1.2 Kolom Konvensional.

Rekapitulasi gaya geser dasar maksimum kolom konvensional dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Maksimum Kolom Konvensional

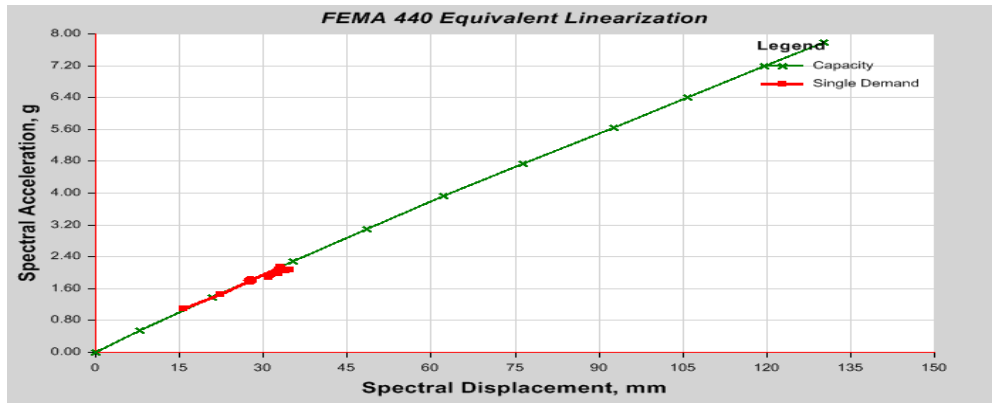
Arah Pushover	Displacement (mm)	Base Shear (kN)
Arah Timur	88,82	2478,83
Arah Utara	90,11	2264,30

3.2. Performance Point

Performance point adalah titik dimana kurva kapasitas berpotongan dengan single demand. Performance point yang dihasilkan dari analisis pushover berupa grafik dari FEMA 440 Etabs v 16.1.0.

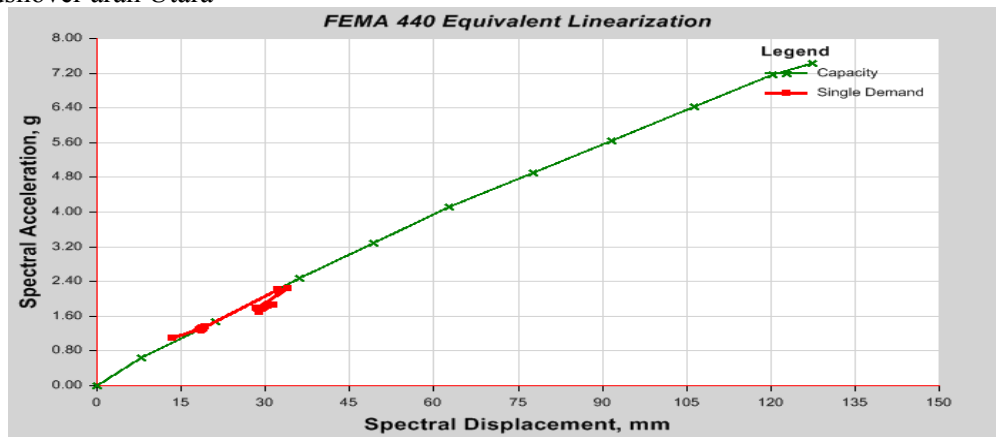
3.2.1.1 Kolom Pipih.

- Pushover arah timur



Gambar 7. Kurva Capacity Spectrum Pushover Arah Timur

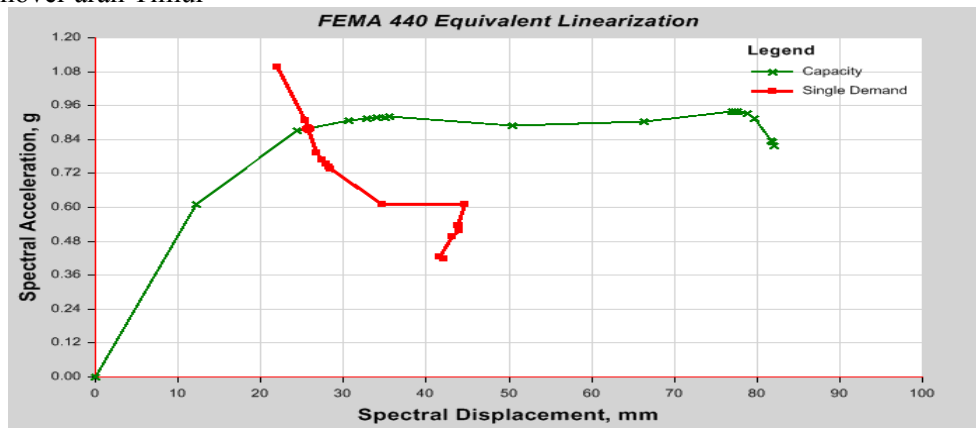
- Pushover arah Utara



Gambar 8. Kurva Capacity Spectrum Pushover Arah Utara

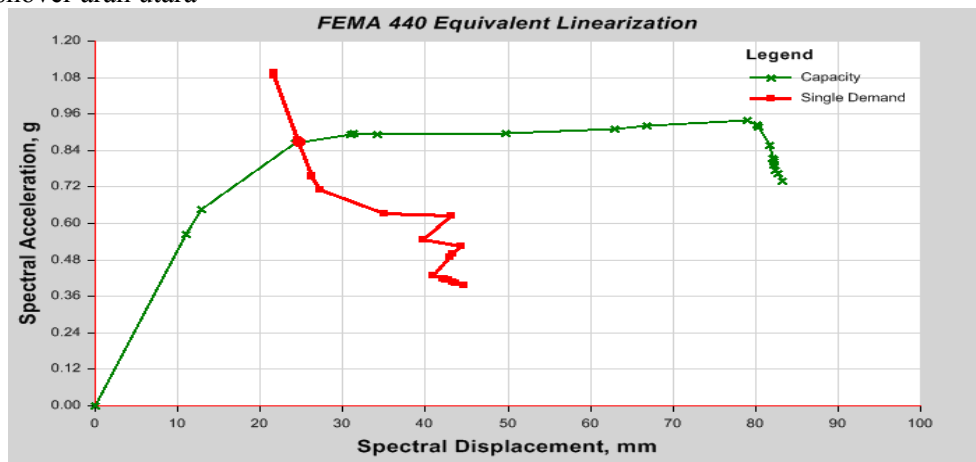
3.2.1.2 Kolom Konvensional.

- Pushover arah Timur



Gambar 9. Kurva Capacity Spectrum Pushover Arah Timur

- Pushover arah utara



Gambar 10. Kurva Capacity Spectrum Pushover Arah Utara

3.3. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan (ATC 40)

1. Kinerja Batas Berdasarkan SNI 2012

Perhitungan kinerja batas berdasarkan SNI 2012 untuk kolom pipih dan konvensional dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Maksimum Kolom Konvensional

Kolom	Pushover arah	Δ (m)	hsx (m)	$0,020$ hsx	$\Delta < 0,020$ hsx	Keterangan
Kolom pipih	Timur	0,160	8	0,16	$0,160 = 0,160$	Tidak Memenuhi
	Utara	0,154	8	0,16	$0,154 < 0,160$	Memenuhi
Kolom konvensional	Timur	0,089	8	0,16	$0,089 < 0,160$	Memenuhi
	Utara	0,090	8	0,16	$0,090 < 0,160$	Memenuhi

2. Level Kinerja Berdasarkan ATC 40

Rekapitulasi *performance point* kolom pipih dan kolom konvensional dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Performance Point Kolom Pipih dan Kolom Konvensional

Bangunan	Arah	Performance Point					
		V (kN)	D (mm)	Sa (g)	Sd (m)	Teff (det)	β_{eff} (%)
Kolom Pipih	Timur	4822,74	33,90	1,80	27,62	0,38	0,17
	Utara	3595,85	22,98	1,32	18,63	0,29	0,12
Kolom Konvensional	Timur	2535,68	30,56	0,88	25,73	0,33	0,09
	Utara	2508,95	29,24	0,87	24,62	0,32	0,08

Hasil perhitungan level kinerja berdasarkan ATC 40 untuk kolom pipih dan kolom konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Level Kinerja Berdasarkan ATC 40

Bangunan	Pushover Arah Timur		Level Kinerja Bangunan
	Maximum Drift (m)	Maximum Inelastic Drift	
Kolom Pipih	0,0042 m	0,0030	Tidak Terjadi Kerusakan Struktural (<i>Immediate Occupancy</i>)
Kolom Konvensional	0,0038 m	0,0020	Tidak Terjadi Kerusakan Struktural (<i>Immediate Occupancy</i>)

3.4. Mekanisme Sendi Plastis

Skema distribusi sendi plastis diambil keseluruhan dari portal utama yang menjadi parameter apabila terjadi keruntuhan total. Gambar yang akan ditampilkan yaitu pada kondisi maksimum yang menentukan.

1. Distribusi Sendi Plastis pada Kolom Pipih

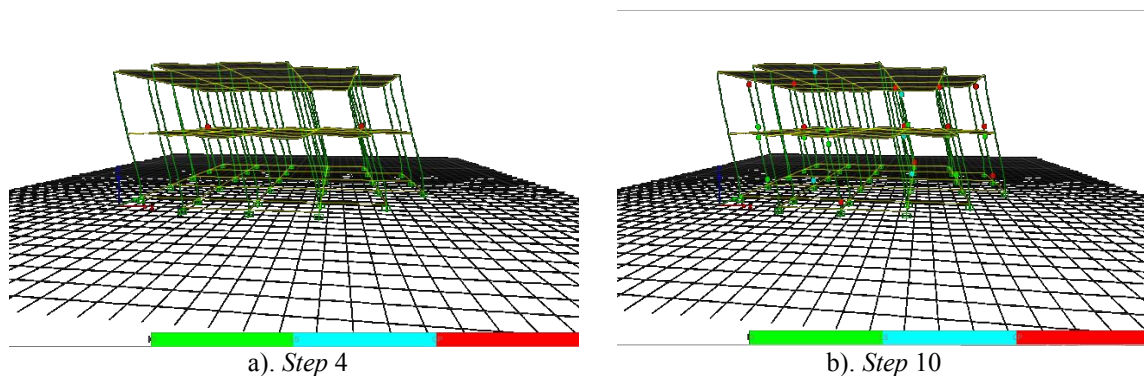
- Pushover Arah Timur

Hasil pushover arah Timur untuk kolom pipih dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pushover Arah Timur untuk Kolom Pipih

Distribusi Sendi Plastis	Step	Besar Perpindahan (mm)	Gaya Geser Dasar (kN)
Pertama Kali Terjadi Pelelehan Sendi Plastis	4	59,36 mm	8.295,26 kN
Kondisi Maksimum	10	160 mm	20.815,899 kN

Kondisi distribusi sendi plastis pushover arah Timur untuk kolom pipih dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Distribusi Sendi Plastis pada Kolom Pipih Pushover Arah Timur

- Pushover Arah Utara

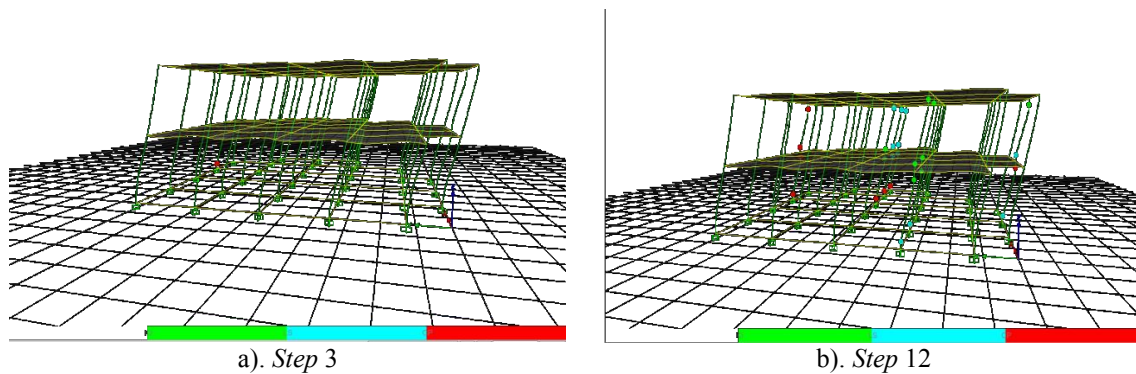
Hasil pushover arah Utara untuk kolom pipih dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pushover Arah Utara untuk Kolom Pipih

Distribusi Sendi Plastis	Step	Besar Perpindahan (mm)	Gaya Geser Dasar (kN)
Pertama Kali Terjadi Pelelehan Sendi Plastis	3	44,03 mm	6.678,40 kN

Kondisi Maksimum	12	154,13 mm	19.889,54 kN
------------------	----	-----------	--------------

Kondisi distribusi sendi plastis pushover arah Utara untuk kolom pipih dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Distribusi Sendi Plastis pada Kolom Pipih *Pushover* Arah Utara

2. Distribusi Sendi Plastis pada Kolom Konvensional

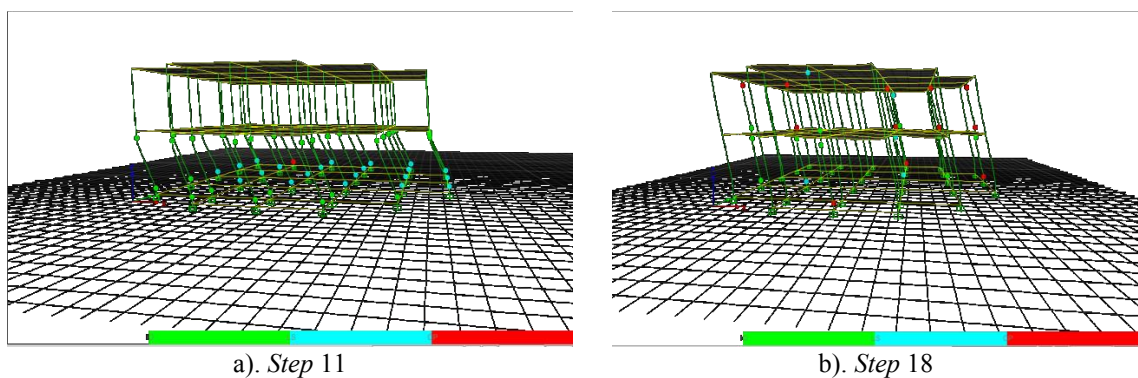
• *Pushover* Arah Timur

Hasil *pushover* arah Timur untuk kolom konvensional dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil *Pushover* Arah Timur untuk Kolom Konvensional

Distribusi Sendi Plastis	Step	Besar Perpindahan (mm)	Gaya Geser Dasar (kN)
Pertama Kali Terjadi Pelelelahan Sendi Plastis	11	84,26 mm	2.848,12 kN
Kondisi Maksimum	18	88,82 mm	2.478,83 kN

Kondisi distribusi sendi plastis pushover arah Timur untuk kolom konvensional dapat dilihat pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 13. Distribusi Sendi Plastis pada Kolom Konvensional *Pushover* Arah Timur

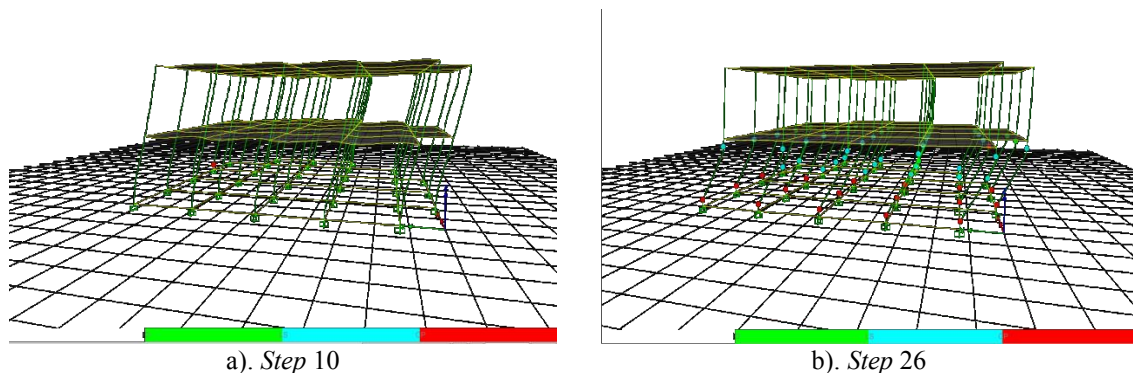
• *Pushover* Arah Utara

Hasil *pushover* arah Utara untuk kolom konvensional dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil *Pushover* Arah Utara untuk Kolom Konvensional

Distribusi Sendi Plastis	Step	Besar Perpindahan (mm)	Gaya Geser Dasar (kN)
Pertama Kali Terjadi Pelelelahan Sendi Plastis	10	86,01 mm	2.863,26 kN
Kondisi Maksimum	26	90,112 mm	2.264,30 kN

Kondisi distribusi sendi plastis pushover arah Utara untuk kolom konvensional dapat dilihat pada Gambar 14 berikut ini.



Gambar 14. Distribusi Sendi Plastis pada Kolom Konvensional *Pushover* Arah Utara

Kinerja bangunan menggunakan kolom pipih dari kurva kapasitas yaitu: Gaya geser dasar maksimum pushover arah Timur: 20.815,90 kN dan arah Utara: 19.889,54 kN dengan Perpindahan maksimum arah Timur: 160,00 mm dan arah Utara: 154,13 mm, serta Level kinerja berdasarkan ATC 40: **Immediate Occupancy**

Kinerja bangunan menggunakan kolom konvensional dari kurva kapasitas yaitu: Gaya geser dasar maksimum pushover arah Timur: 2.478,83 kN dan arah Utara: 2.264,30 kN dengan Perpindahan maksimum arah Timur: 88,82 mm dan arah Utara: 90,11 mm, serta Level kinerja berdasarkan ATC 40: **Immediate Occupancy**

Perbandingan kinerja dari kedua jenis kolom tersebut adalah Gaya geser dasar maksimum arah Timur dan arah Utara lebih kecil 1 : 10 dan Perpindahan maksimum arah Timur dan arah Utara lebih kecil 1 : 2 Mekanisme sendi plastis

- *Pushover* arah Timur pada kolom pipih
Mengalami keruntuhan *step* ke 10 yang merupakan kondisi maksimum. Pada *step* ke 10 ini besar perpindahan adalah 160 mm dan gaya geser dasar 20.815,899 kN dibandingkan
- *Pushover* arah Utara pada kolom konvensional
Yang mengalami keruntuhan pada *step* ke 26 yang merupakan kondisi maksimum. Pada *step* ke 26 ini besar perpindahan adalah 90,112 mm dan gaya geser dasar 2.264,30 kN.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis menggunakan ETABS v. 16.1.0, perbandingan kinerja dari kedua jenis kolom yaitu kolom pipih dan kolom konvensional dapat disimpulkan bahwa kolom konvensional lebih kuat dari kolom pipih karena gaya geser dasar maksimum dan perpindahan maksimum pada kolom pipih yang bernilai besar.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memotivasi, mendorong, dan telah membantu penulis dalam menyelesaikan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Asroni, Ali. 2010. *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*. California: Applied Technology Council.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta: BSN.

- BPS. "Kota Kupang Dalam Angka 2012 Dan 2019." www.bps.go.id (February 24, 2020).
- Frans, R, F Thioriks, J Tanijaya, and H T Kalangi. 2013. "Analisis Diagram Interaksi Kolom Pada Perencanaan Kolom Pipih Beton Bertulang." 7(KoNTekS 7): 54–60.
- Gurki, J. Thambah Sembiring. 2010. *Beton Bertulang Edisi Revisi*. Bandung: Rekayasa Sains.
- P, Anindityo Budi. 2011. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Prosedur A Menggunakan Program ETABS v 9.50*. Surakarta: Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- PPIUG. 1983. *Peraturan-Pembebanan-Indonesia-1983*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah bangunan.
- Suryoatmono, Bambang. 1991. *Struktur*. Bandung: Eresco.
- Umum, Departemen Pekerjaan. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*. Bandung: Yayasan Badan Penerbit PU.

Analisis Indeks Kekeringan Menggunakan Standardized Precipitation Index (SPI) Method Pada Daerah Kabupaten Timor Tengah Selatan

Drought Index Analysis Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method In The Regency Of Timor Tengah Selatan

Willybrordus K. Hima¹, I Made Udiana², Judi K. Nasjono^{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:

Kekeringan, indeks kekeringan, Metode SPI, peta sebaran kekeringan

Keywords:

Drought, drought index, SPI Method, drought distribution map

Article history:

Received: 2-12-2021

Accepted: 18-05-2021

*Koresponden email:

wawanhima998@gmail.com

judi.nasjono@staf.undana.ac.id

Abstrak

Akibat rendahnya curah hujan, kondisi air hujan relatif tidak merata di setiap kecamatan pada Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS) menyebabkan beberapa sungai mengalami kekeringan pada musim kemarau. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks kekeringan terbesar dan pemetaan sebaran kekeringan pada Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS). Analisis indeks kekeringan menggunakan *Standardized Precipitation Index (SPI) Method* dimana data yang digunakan yaitu data curah hujan bulanan selama 10 tahun (2009-2018) dari 10 stasiun hujan, sedangkan pemetaan sebaran kekeringan menggunakan *ArcGis Software*. Hasil analisis indeks kekeringan menunjukkan bahwa pada periode defisit 1 bulanan, indeks kekeringan terbesar yaitu -3,61 yang terjadi pada bulan Maret tahun 2014 di Stasiun Hujan Oeekam. Sedangkan pada periode defisit 3 bulanan, indeks kekeringan terbesar yaitu -3,19 yang terjadi pada bulan Maret tahun 2010 di Stasiun Hujan Nulle dan pada bulan November tahun 2015 di Stasiun Hujan Kesetnana. Hasil analisis peta sebaran kekeringan menunjukkan bahwa pada periode defisit 1 bulanan semua kecamatan mengalami kekeringan secara merata pada bulan Januari, Februari dan April. Sedangkan pada periode defisit 3 bulanan, semua kecamatan mengalami kekeringan secara merata hanya pada bulan Juni.

Abstract

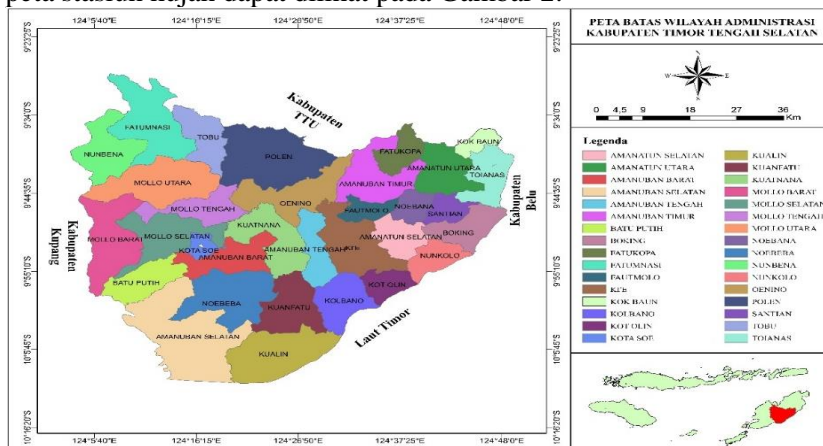
Due to the low rainfall, it is relatively uneven in each sub-district in Timor Tengah Selatan (TTS) Regency. It causes some rivers to be drought-prone in the dry season. This study aims to determine the largest drought index and map the drought distribution in the South Central Timor (TTS) Regency. The drought index analysis uses the Standardized Precipitation Index (SPI) Method. The data used is monthly rainfall data for ten years (2009-2018) of ten rain stations. Then, mapping of drought distribution rainfall using ArcGIS Software. The results of the drought index analysis showed that in the 1-month deficit period, the largest drought index was -3.61, which occurred in March 2014 at the Oeekam Rain Station. In the 3-month deficit period, the largest drought index was -3.19, which occurred in March 2010 at the Nulle Rain Station and in November 2015 at the Kesetnana Rain Station. The findings of the drought distribution map study suggest that during the 1-month shortfall period, all sub-districts experienced drought in January, February, and April. Meanwhile, in the 3-month deficit period, drought occurs evenly for all sub-districts only in June.

1. Pendahuluan

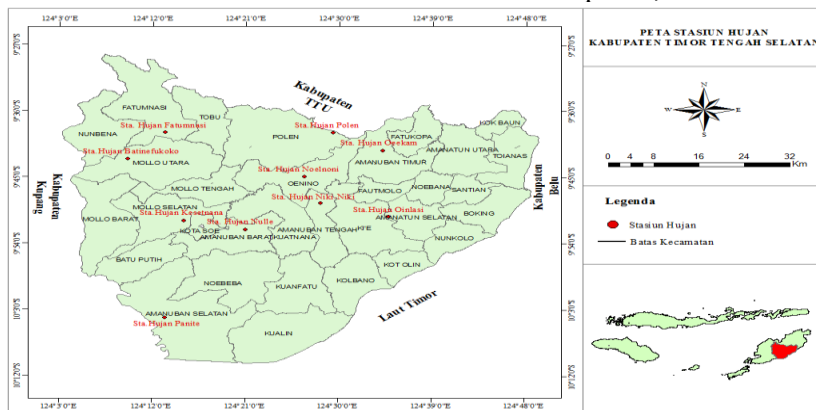
Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS) merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang sering mengalami bencana kekeringan. Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS) merupakan Kabupaten dengan luasan wilayah sebesar 3.955,36 km², dengan wilayah administrasi terbagi atas 32 kecamatan. Tercatat ada 3 kecamatan yang pernah mengalami kekeringan pada tahun 2014 dan 2015 lalu yaitu Kecamatan Amanuban Selatan, Kecamatan Kualin dan Kecamatan Kolbano. Kekeringan yang terjadi pada ketiga kecamatan ini disebabkan oleh musim kemarau berkepanjangan sejak tahun 2014 (Noviana 2015), dimana hujan yang turun hanya empat kali pada tahun 2014 dan hanya dua kali pada 2015 yaitu pada bulan Juni dan Desember (Jocom dkk. 2016). Sebagai langkah awal untuk mengantisipasi kekeringan diperlukan suatu analisis yaitu penentuan nilai indeks kekeringan. Analisis indeks kekeringan merupakan analisis yang menunjukkan tingkat kelas atau derajat kekeringan karena tingkat kekeringan suatu wilayah berbeda satu dengan yang lainnya (Ahsanita 2018). Metode yang masih sering digunakan dalam analisis kekeringan yaitu *Standardized Precipitation Index (SPI) Method* dimana metode tersebut menggunakan data curah hujan sebagai parameter analisisnya. Metode indeks kekeringan *SPI* merupakan indeks yang digunakan untuk menentukan penyimpangan curah hujan terhadap normalnya dalam satu periode yang panjang (bulanan, dua bulanan, tiga bulanan, dan seterusnya) (Saidah dkk. 2017).

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di Kabupaten Timor Tengah Selatan, dimana stasiun hujan yang digunakan yaitu 10 stasiun hujan (Stasiun Hujan Batinefukoko, Fatumnasi, Kesetnana, Niki-Niki, Noelnoni, Nulle, Oeekam, Oinlasi, Panite, dan Polen). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 sedangkan peta stasiun hujan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian. Sumber : Ina-Geoportal, 2021.



Gambar 2. Peta Stasiun Hujan Kabupaten TTS. Sumber : Hasil Analisis Arcgis, 2021.

Dalam penelitian ini data primer meliputi data hasil pengamatan langsung oleh peneliti berupa dokumentasi di lokasi penelitian sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data curah hujan

bulanan selama 10 tahun (2009-2018), koordinat stasiun hujan dan peta batas wilayah administrasi Kabupaten TTS.

2.1. Kekeringan

Kekeringan (*drought*) merupakan kurangnya pasokan air pada suatu wilayah dalam masa yang berkepanjangan. Kejadian ini biasanya muncul apabila suatu wilayah secara terus-menerus mengalami curah hujan di bawah rata-rata sehingga menyebabkan berkurangnya ketersediaan cadangan air dalam tanah. Kekeringan merupakan suatu keadaan tanpa hujan berkepanjangan atau masa kering di bawah normal yang cukup lama sehingga mengakibatkan keseimbangan hidrologi terganggu (Aziz dan Masduqi 2013).

Dampak dari kekeringan muncul sebagai akibat dari kurangnya air, atau perbedaan-perbedaan antara permintaan dan persediaan akan air (Reed 1995). Menurut Reed (1995) kekeringan dapat diklasifikasikan berdasarkan jenisnya.

1. Kekeringan Meteorologi

Berasal dari kurangnya curah hujan dan didasarkan pada tingkat kekeringan relative terhadap tingkat kekeringan normal atau rata-rata dan lamanya periode kering. Perbandingan ini haruslah bersifat khusus untuk daerah tertentu dan bisa diukur pada musim harian dan bulanan, atau jumlah curah hujan skala waktu tahunan.

2. Kekeringan Hidrologi

Mencakup berkurangnya sumber-sumber air seperti sungai, air tanah, danau dan tempat-tempat cadangan air. Definisinya mencakup data tentang ketersediaan dan tingkat penggunaan yang dikaitkan dengan kegiatan wajar dari sistem yang dipasok.

3. Kekeringan Pertanian

Merupakan dampak dari kekeringan meteorologi dan hidrologi terhadap produksi tanaman pangan dan ternak. Kekeringan ini terjadi ketika kelembaban tanah tidak mencukupi untuk mempertahankan hasil dan pertumbuhan rata-rata tanaman. Dampak dari kekeringan pertanian sulit untuk bisa diukur karena rumitnya pertumbuhan tanaman dan kemungkinan adanya faktor-faktor lain yang bisa mengurangi hasil seperti hama, alang-alang, tingkat kesuburan tanah yang rendah dan harga hasil tanaman yang rendah.

4. Kekeringan Sosial Ekonomi

Berhubungan dengan persediaan dan permintaan akan barang-barang dan jasa dengan tiga jenis kekeringan yang disebutkan sebelumnya. Ketika persediaan barang-barang seperti air, jerami, atau jasa seperti tenaga listrik tergantung pada cuaca, kekeringan bisa menyebabkan kekurangan. Konsep kekeringan sosial ekonomi mengenali hubungan antara kekeringan dan aktivitas-aktivitas manusia.

2.2. Metode Analisa Indeks Kekeringan

Indeks kekeringan merupakan suatu cara dalam mendeteksi, memantau dan mengevaluasi fenomena kekeringan. Untuk menentukan indeks kekeringan pada suatu wilayah dapat menggunakan beberapa metode yang dalam proses perhitungannya dapat menggunakan beberapa data seperti data iklim maupun data kelengasan tanah (Sila 2016).

Beberapa metode analisa indeks kekeringan yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*

Pada prinsipnya perhitungan nilai indeks Palmer didasarkan pada besarnya curah hujan dan kemampuan tanah dalam menampung air sesuai dengan jenis tanahnya. Input data dalam metode ini adalah data curah hujan, kapasitas air tanah, dan evapotranspirasi potensial.

2. *Thornthwaite Mather*

Metode ini berdasarkan konsep neraca air yaitu persentase perbandingan besarnya curah hujan dengan evapotranspirasi potensial.

3. *Percent of Normal*

Persentase terhadap hujan normal dapat didefinisikan sebagai akumulasi curah hujan yang diamati dalam satu bulan dibagi dengan rata-rata jumlah jangka panjang bulan yang diamati dan dikalikan dengan 100. Untuk klasifikasi kekeringan diperlukan juga menghitung jumlah curah

hujan normal. Curah hujan normal adalah nilai rata-rata hujan suatu bulan di seluruh tahun pengamatan.

4. *Moisture Adequacy Index (MAI)*

Keseimbangan air menggambarkan tentang masuknya air dalam bentuk curah hujan dan hilangnya air dalam bentuk penguapan dan evapotranspirasi. Metode analisis kekeringan ini mengukur kelembaban berdasarkan kelembaban suatu wilayah dan dapat dicari dengan menghitung perbandingan antara evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual.

5. *Theory of Run*

Metode ini bertujuan untuk melakukan perhitungan indeks kekeringan berupa durasi kekeringan terpanjang (dalam satuan bulan) dan jumlah kekeringan terbesar (dalam satuan mm) pada lokasi stasiun hujan yang tersebar di suatu wilayah.

6. *Standardized Precipitation Index (SPI)*

Metode *Standardized Precipitation Index (SPI)* dimanfaatkan untuk mengetahui dan memonitoring kekeringan. Metode Indeks kekeringan *SPI* merupakan indeks yang digunakan untuk menentukan penyimpangan curah hujan terhadap normalnya dalam satu periode yang panjang (bulanan, dua bulanan, tiga bulanan dan seterusnya).

2.3. *Standardized Precipitation Index (SPI) Method*

Indeks kekeringan *SPI* merupakan indeks yang digunakan untuk menentukan penyimpangan curah hujan terhadap normalnya dalam satu periode yang panjang (bulanan, dua bulanan, tiga bulanan dan seterusnya) (Saidah dkk. 2017). Kekeringan terjadi pada waktu *SPI* secara berkesinambungan negatif dan mencapai intensitas kekeringan dengan *SPI* bernilai -1 atau kurang, sedangkan kekeringan akan berakhir apabila nilai *SPI* menjadi positif.

Klasifikasi nilai indeks kekeringan menggunakan Metode *SPI* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Nilai *SPI*

No	Nilai	Klasifikasi
1	$\geq (2,00)$	Sangat basah
2	$(1,50) - (1,99)$	Basah
3	$(1,00) - (1,49)$	Agak Basah
4	$(-0,99) - (0,99)$	Normal
5	$(-1,00) - (-1,49)$	Agak Kering
6	$(-1,50) - (-1,99)$	Kering
7	$\leq (-2,00)$	Sangat kering

Sumber : Hayes dkk. 1999.

Perhitungan nilai *SPI* berdasarkan jumlah sebaran gamma yang didefinisikan sebagai fungsi frekuensi atau peluang kejadian dirumuskan dalam persamaan 1-10.

1. Menghitung distribusi gamma (Hayes dkk. 1999).

$$G(x) = x \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \tag{1}$$

Nilai α dan β diestimasi untuk setiap stasiun hujan dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\bar{x}^2}{Sd^2} \tag{2}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n-1}} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{4}$$

Dimana :

- $G(x) = g(x)$ = Distribusi gamma
- x = Jumlah curah hujan (mm)
- α = Parameter bentuk
- β = Parameter skala

- γ = Nilai fungsi gamma
- \bar{x} = Curah hujan rata-rata (mm)
- Sd = Standar deviasi

2. Menghitung transform gamma distribusi (Hayes dkk. 1999).

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(x)} \right]} \text{ untuk } 0 < H(x) \leq 0,5 \tag{5}$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \text{ untuk } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \tag{6}$$

Dengan :

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \tag{7}$$

$$q = m/n \tag{8}$$

Dimana :

- t = Transform gamma
- H(x) = Probabilitas kumulatif
- q = Peluang kejadian hujan = 0 mm
- m = Jumlah bulan tanpa kejadian hujan
- n = Jumlah data hujan

3. Menghitung nilai *SPI* (Hayes dkk. 1999).

Untuk $0 < H(x) \leq 0,5$

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \tag{9}$$

Untuk $0,5 < H(x) \leq 1,0$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \tag{10}$$

Dengan :

- $c_0 = 2,515517$ $d_1 = 1,432788$
- $c_1 = 0,802853$ $d_2 = 0,189269$
- $c_2 = 0,010328$ $d_3 = 0,001308$

Dimana :

- $Z = SPI$ = Nilai *SPI*
- H(x) = Probabilitas kumulatif
- t = Transform gamma
- $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ = Konstanta

2.4. Perhitungan Indeks Kekeringan *SPI* Periode Defisit 1 Bulanan dan 3 Bulanan

Data yang digunakan pada metode ini merupakan data curah hujan bulanan selama 10 tahun (2009-2018). Pada penelitian ini, analisis indeks kekeringan dihitung untuk periode defisit 1 bulanan dan 3 bulanan.

Analisis Indeks kekeringan *SPI* untuk periode defisit 1 bulanan merupakan perbandingan curah hujan selama periode 1 bulan tertentu dengan curah hujan dari periode 1 bulan yang sama untuk semua tahun. Sedangkan analisis Indeks kekeringan *SPI* untuk periode defisit 3 bulanan merupakan perbandingan curah hujan selama periode 3 bulan tertentu dengan curah hujan dari periode 3 bulan yang sama untuk semua tahun yang ada data historisnya. *SPI* 3 bulanan ini mencerminkan kondisi kekeringan jangka pendek dan menengah serta mencerminkan kondisi hujan musiman. Pada *SPI* 3 bulanan, data curah hujan bulanan dimulai pada bulan ke 3 dan akumulasi data curah hujan bulanan dihitung setiap bulannya terhadap seri data hujan bulanan sebelumnya.

Sebagai contoh perhitungan indeks kekeringan *SPI* periode defisit 1 bulanan dan 3 bulanan diambil pada Stasiun Hujan Kesetnana. Hasil perhitungan indeks kekeringan *SPI* Stasiun Hujan Kesetnana untuk periode defisit 1 bulanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Indeks Kekeringan *SPI* Periode Defisit 1 Bulanan Stasiun Hujan Kesetnana








No	Tahun	Indeks <i>SPI</i>											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2009	-1,34	-0,98	-1,22	-0,90	-0,18	-1,28	-1,28	0,74	0,75	0,00	0,17	-0,21
2	2010	-0,97	-0,37	-1,34	1,38	1,60	0,63	1,10	2,01	1,80	2,19	0,99	1,00
3	2011	1,11	0,17	1,49	1,44	0,61	-0,05	0,76	0,34	1,01	0,92	-0,03	1,39
4	2012	-0,64	0,23	0,58	0,26	-0,34	-0,75	0,21	-0,84	0,25	0,00	-1,09	-0,43
5	2013	0,70	1,38	1,00	0,34	1,26	1,90	1,25	0,54	0,25	1,11	-0,67	-0,23
6	2014	0,94	0,75	-1,29	-0,11	0,33	0,04	0,19	0,88	0,25	0,00	0,14	0,91
7	2015	0,94	-0,23	-0,65	-1,43	-1,58	-0,16	-0,89	0,12	0,25	0,00	-3,44	-2,50
8	2016	0,05	1,53	0,53	-1,52	0,64	0,49	1,51	0,00	2,22	1,34	-0,10	-0,54
9	2017	-1,74	-1,09	0,67	1,04	-1,41	1,10	-0,66	-0,84	0,25	0,89	1,53	0,91
10	2018	0,91	-1,21	0,26	-1,10	-1,41	0,03	-0,51	0,57	0,25	0,00	1,19	-0,46

Kategori indeks kekeringan periode defisit 1 bulanan pada Stasiun Hujan Kesetnana dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kategori Indeks Kekeringan Periode Defisit 1 Bulanan Stasiun Hujan Kesetnana

No	Tahun	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2009	AK	N	AK	N	N	AK	AK	N	N	N	N	N
2	2010	N	N	AK	AB	B	N	AB	SB	B	SB	N	AB
3	2011	AB	N	AK	AB	N	N	N	N	AB	N	N	AB
4	2012	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	AK	N
5	2013	N	AB	AB	N	AB	B	AB	N	N	AB	N	N
6	2014	N	N	AK	N	N	N	N	N	N	N	N	N
7	2015	N	N	N	AK	K	N	N	N	N	N	SK	SK
8	2016	N	B	N	K	N	N	B	N	SB	AB	N	N
9	2017	K	AK	N	AB	AK	AB	N	N	N	N	B	N
10	2018	N	AK	N	AK	AK	N	N	N	N	N	AB	N

Keterangan :

Warna	Simbol	Keterangan
	SB	Sangat Basah
	B	Basah
	AB	Agak Basah
	N	Normal
	AK	Agak Kering
	K	Kering
	SK	Sangat kering

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa Stasiun Hujan Kesetnana pada umumnya berada dalam kondisi “normal” untuk periode defisit 1 bulanan. Namun pada tahun 2015, Stasiun Hujan Kesetnana pernah berada dalam kondisi sangat “sangat kering” yang terjadi pada bulan November dan Desember.

Hasil perhitungan indeks kekeringan *SPI* Stasiun Hujan Kesetnana untuk periode defisit 3 bulanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Indeks Kekeringan *SPI* Periode Defisit 3 Bulanan Stasiun Hujan Kesetnana

No	Tahun	Indeks SPI											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2009			-1,68	-1,69	-1,21	-0,90	-0,72	-1,40	-0,65	-0,08	-0,16	-0,21
2	2010	-0,49	-1,21	-1,23	0,11	1,06	1,49	1,29	1,04	1,44	1,83	1,67	1,49
3	2011	1,20	1,09	1,15	1,48	1,54	1,00	0,37	-0,02	0,27	0,29	-0,13	0,75
4	2012	0,47	0,62	0,02	0,34	0,11	-0,27	-0,51	-0,68	-0,21	-1,28	-1,20	-0,84
5	2013	-0,36	0,66	1,36	1,23	1,00	1,26	1,66	1,80	0,40	0,39	-0,52	-0,41
6	2014	-0,05	0,48	0,36	-0,26	-0,64	-0,09	0,09	-0,09	0,01	-0,05	-0,20	0,45
7	2015	0,76	0,72	0,03	-1,05	-1,44	-1,72	-1,37	-0,92	-0,83	-0,51	-3,19	-2,74
8	2016	-1,83	-0,45	1,01	0,68	-0,02	-0,17	0,69	0,62	1,69	1,42	0,87	-0,26
9	2017	-1,02	-2,24	-0,96	0,28	0,48	0,55	-0,19	0,52	-0,76	0,06	0,99	1,17
10	2018	1,35	0,30	-0,04	-1,07	-0,79	-1,39	-1,06	-0,47	-0,42	-0,23	0,66	0,25

Kategori indeks kekeringan periode defisit 3 bulanan pada Stasiun Hujan Kesetnana dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kategori Indeks Kekeringan Periode Defisit 3 Bulanan Stasiun Hujan Kesetnana

No	Tahun	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1	2009			K	K	AK	N	N	AK	N	N	N	N
2	2010	N	AK	AK	N	AB	AB	AB	AB	AB	B	B	AB
3	2011	AB	AB	AB	AB	B	AB	N	N	N	N	N	N
4	2012	N	N	N	N	N	N	N	N	N	AK	AK	N
5	2013	N	N	AB	AB	AB	AB	B	AB	N	N	N	N
6	2014	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
7	2015	N	N	N	AK	AK	K	AK	N	N	N	SK	SK
8	2016	K	N	AB	N	N	N	N	N	B	AB	N	N
9	2017	AK	K	N	N	N	N	N	N	N	N	N	AB
10	2018	AB	N	N	AK	N	AK	AK	N	N	N	N	N

Keterangan :

Warna	Simbol	Keterangan
	SB	Sangat Basah
	B	Basah
	AB	Agak Basah
	N	Normal
	AK	Agak Kering
	K	Kering
	SK	Sangat kering

Berdasarkan Tabel 4 dan 5 dapat dilihat bahwa Stasiun Hujan Kesetnana pada umumnya berada dalam kondisi “normal” untuk periode defisit 3 bulanan. Namun pada tahun 2015, Stasiun Hujan Kesetnana pernah berada dalam kondisi sangat “sangat kering” yang terjadi pada bulan November dan Desember.

2.5. ArcGis Software

ArcGis merupakan produk sistem kebutuhan *software* yang merupakan kumpulan dari produk-produk *software* lainnya dengan tujuan untuk membangun sistem SIG yang lengkap (Novitasari dkk. 2015). Visualisasi tingkat kekeringan aplikasi ArcGis yang digunakan adalah ArcMap, ArcCatalog, dan ArcToolbox. Dimana pengertian dari masing-masing aplikasi (Febyana 2016) tersebut adalah sebagai berikut:

1. *ArcMap* merupakan aplikasi utama yang digunakan dalam *ArcGis* dengan fungsi untuk mengolah, membuat (*create*), menampilkan (*viewing*), memilih (*query*), (*editing, composing, dan publishing*) peta.
2. *ArcCatalog* merupakan aplikasi yang berfungsi untuk mengatur atau mengorganisir berbagai macam data spasial yang digunakan dalam pekerjaan SIG. Fungsi ini meliputi tool untuk menjelajah (*browsing*), mengatur (*organizing*), membagi (*distribution*) dan menyimpan (*documentation*) data-data SIG.
3. *ArcToolbox* merupakan tool yang tersedia di dalam setiap komponen *ArcGis*, terdiri dari kumpulan aplikasi yang berfungsi sebagai *tool/perangkat* dalam melakukan berbagai macam analisis keruangan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Indeks Kekeringan Terbesar Periode Defisit 1 Bulanan dan 3 Bulanan

3.3.1 Periode defisit 1 bulanan

Indeks kekeringan terbesar periode defisit 1 bulanan pada masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Indeks Kekeringan *SPI* Terbesar Periode Defisit 1 Bulanan Pada Masing-Masing Stasiun Hujan

Stasiun Hujan	SPI	Kategori	Bulan	Tahun
Batinefukoko	-2,45	Sangat Kering	November	2012
Kesetnana	-3,44	Sangat Kering	November	2015
Niki-Niki	-2,24	Sangat Kering	Januari	2014
Noelnoni	-2,88	Sangat Kering	Januari	2010
Nulle	-3,55	Sangat Kering	Maret	2010
Oeekam	-3,61	Sangat Kering	Januari	2014
Oinlasi	-2,27	Sangat Kering	Maret	2013
Panite	-2,66	Sangat Kering	Januari	2009
Polen	-2,30	Sangat Kering	April	2009

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa indeks kekeringan terbesar yang terjadi pada Kabupaten Timor Tengah Selatan untuk periode defisit 1 bulanan sebesar -3,61 dengan kategori “sangat kering” yang terjadi pada bulan Januari tahun 2014 di Stasiun Hujan Oeekam.

3.3.2 Periode defisit 3 bulanan

Tabel 7 berikut ini merupakan tabel indeks kekeringan terbesar periode defisit 3 bulanan pada masing-masing stasiun hujan.

Tabel 7. Indeks Kekeringan *SPI* Terbesar Periode Defisit 3 Bulanan Pada Masing-Masing Stasiun Hujan

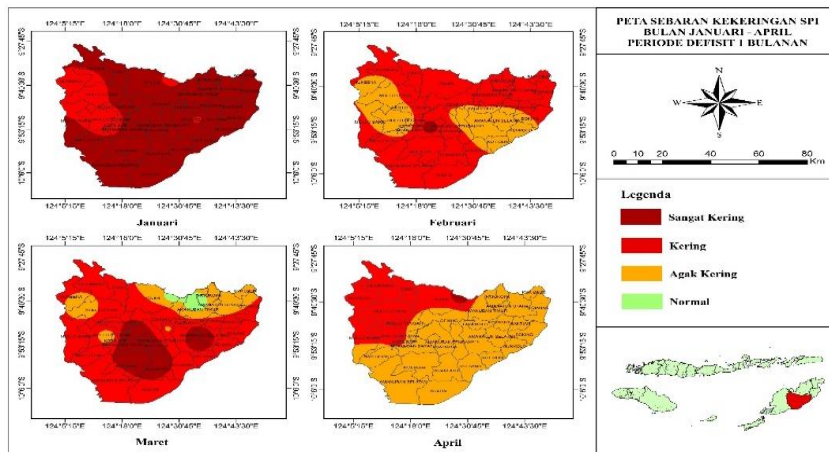
Stasiun Hujan	SPI	Kategori	Bulan	Tahun
Batinefukoko	-2,36	Sangat Kering	Juni	2018
Kesetnana	-3,19	Sangat Kering	November	2015
Niki-Niki	-2,03	Sangat Kering	Januari	2010
Noelnoni	-2,69	Sangat Kering	Juni	2018
Nulle	-3,19	Sangat Kering	Maret	2010
Oeekam	-1,92	Kering	Juni	2015
Oinlasi	-2,07	Sangat Kering	Desember	2015
Panite	-1,74	Kering	Desember	2015
Polen	-1,91	Kering	Juni	2018

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa indeks kekeringan terbesar yang terjadi pada Kabupaten TTS untuk periode defisit 3 bulanan sebesar -3,19 dengan kategori “sangat kering” yang terjadi pada bulan Maret tahun 2010 di Stasiun Hujan Nulle dan pada bulan November tahun 2015 di Stasiun Hujan Kesetnana.

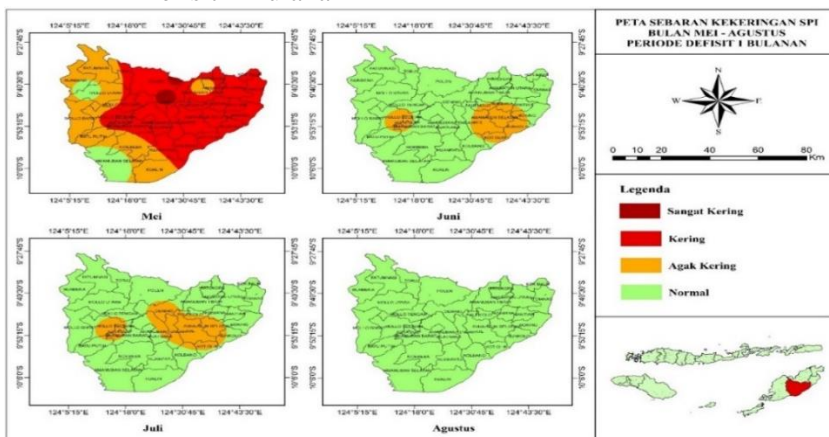
3.2. Peta Sebaran Kekeringan Kabupaten TTS

3.2.1. Peta sebaran kekeringan periode defisit 1 bulanan

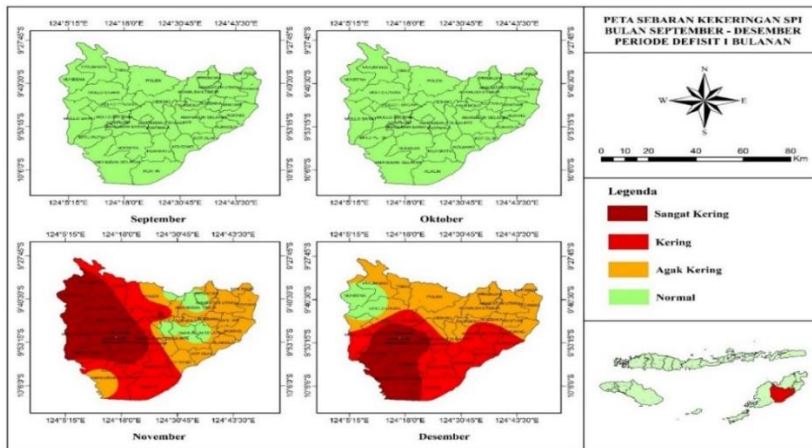
Gambar 3 sampai Gambar 5 menunjukkan peta sebaran kekeringan pada Kabupaten TTS berdasarkan indeks kekeringan bulanan terbesar periode defisit 1 bulanan dari masing-masing stasiun hujan.



Gambar 3. Peta Sebaran Kekeringan *SPI* Terbesar Bulan Januari-April Periode Defisit 1 Bulan



Gambar 4. Peta Sebaran Kekeringan *SPI* Terbesar Bulan Mei-Agustus Periode Defisit 1 Bulan

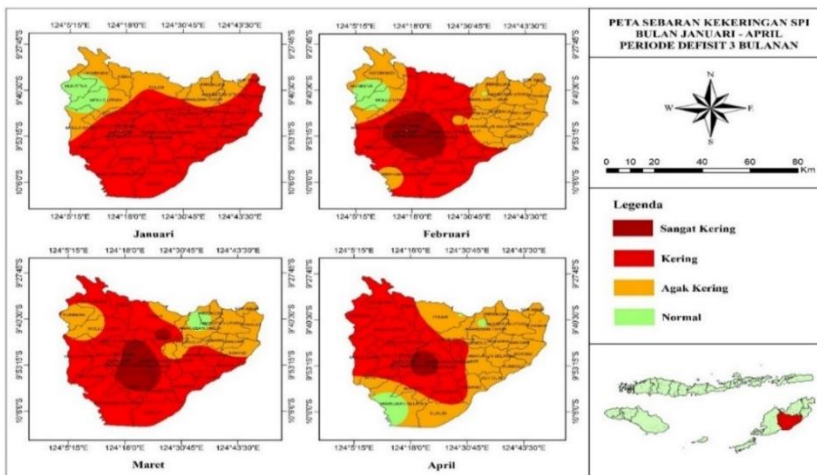


Gambar 5. Peta Sebaran Kekeringan *SPI* Terbesar Bulan September-Desember Periode Defisit 1 Bulanan

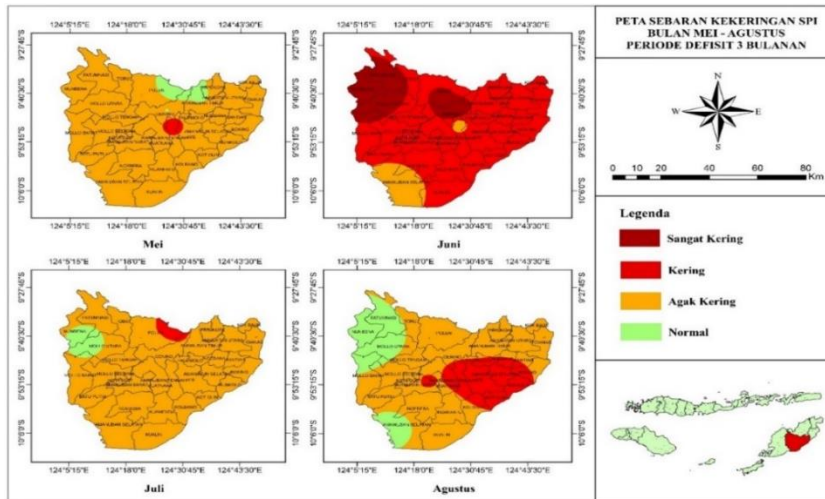
Berdasarkan Gambar 3 sampai Gambar 5 dapat dilihat bahwa berdasarkan indeks kekeringan terbesar periode defisit 1 bulanan, bulan Januari merupakan bulan dengan tingkat kekeringan terparah dimana semua kecamatan di Kabupaten Timor Tengah Selatan pernah berada dalam kondisi “sangat kering”.

3.2.2. Peta sebaran kekeringan periode defisit 1 bulanan

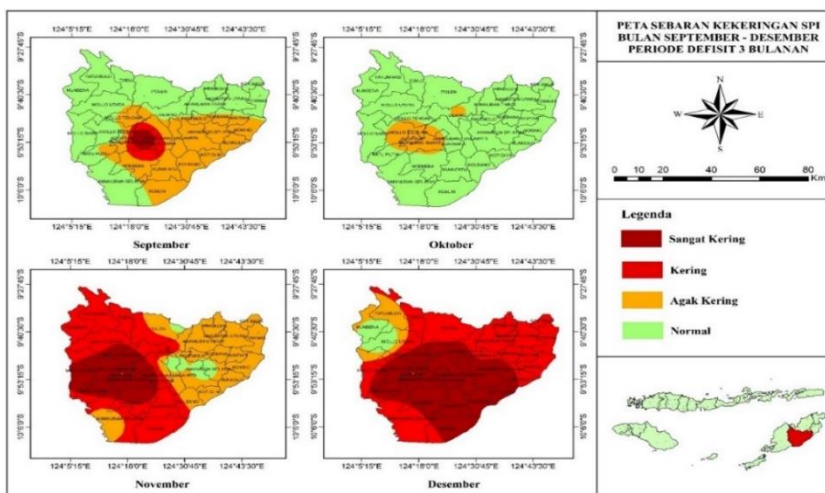
Gambar 6 sampai Gambar 8 menunjukkan peta sebaran kekeringan pada Kabupaten TTS berdasarkan indeks kekeringan bulanan terbesar periode defisit 3 bulanan dari masing-masing stasiun hujan.



Gambar 6. Peta Sebaran Kekeringan *SPI* Terbesar Bulan Januari-April Periode Defisit 3 Bulanan



Gambar 7. Peta Sebaran Kekeringan *SPI* Terbesar Bulan Mei-Agustus Periode Defisit 3 Bulan



Gambar 8. Peta Sebaran Kekeringan *SPI* Terbesar Bulan September-Desember Periode Defisit 3 Bulan

Berdasarkan Gambar 6 sampai Gambar 8 dapat dilihat bahwa berdasarkan indeks kekeringan terbesar periode defisit 3 bulan, bulan Desember merupakan bulan dengan tingkat kekeringan terparah dimana terdapat 20 kecamatan pada Kabupaten Timor Tengah selatan yang wilayahnya pernah berada dalam kondisi “sangat kering”.

3.2.3. Analisis peta sebaran kekeringan Kabupaten TTS

Berdasarkan hasil pemetaan kekeringan terbesar yang telah ditunjukkan pada Gambar 3 sampai Gambar 5 untuk periode defisit 1 bulan dan Gambar 5 sampai Gambar 8 untuk periode defisit 3 bulan yang telah diperoleh, maka selanjutnya akan dilakukan analisis untuk menentukan daerah-daerah yang mengalami kekeringan.

1. Periode Defisit 1 Bulan

Berdasarkan hasil analisis, semua kecamatan mengalami kekeringan secara merata pada bulan Januari, Februari dan April. Bulan Januari merupakan bulan dengan tingkat kekeringan terparah dimana semua kecamatan pernah berada dalam kondisi “sangat kering”.

2. Periode Defisit 3 Bulan

Berdasarkan hasil analisis, semua kecamatan mengalami kekeringan secara merata hanya pada bulan Juni. Namun bulan Desember merupakan bulan dengan tingkat kekeringan terparah dimana terdapat 20 kecamatan yang wilayahnya pernah berada dalam kondisi “sangat kering”.

4. Kesimpulan

Hasil analisis indeks kekeringan terbesar menggunakan *Standardized Precipitation Index (SPI) Method* pada Kabupaten Timor Tengah Selatan diperoleh untuk periode defisit 1 bulanan indeks kekeringan terbesar yaitu -3,61 dengan kategori “sangat kering” yang terjadi pada bulan Maret tahun 2014 di Stasiun Hujan Oekam, sedangkan untuk periode defisit 3 bulanan indeks kekeringan terbesar yaitu -3,19 dengan kategori “sangat kering” yang terjadi pada bulan Maret tahun 2010 di Stasiun Hujan Nulle dan pada bulan November tahun 2015 di Stasiun Hujan Kesetnana. Hasil analisis peta sebaran kekeringan pada Kabupaten Timor Tengah Selatan diperoleh untuk periode defisit 1 bulanan semua kecamatan mengalami kekeringan secara merata pada bulan Januari, Februari dan April. Bulan Januari merupakan bulan dengan tingkat kekeringan terparah dimana semua kecamatan pernah berada dalam kondisi “sangat kering”, sedangkan untuk periode defisit 3 bulanan semua kecamatan mengalami kekeringan secara merata hanya pada bulan Juni, namun bulan Desember merupakan bulan dengan tingkat kekeringan terparah dimana terdapat 20 kecamatan yang wilayahnya pernah berada dalam kondisi “sangat kering”.

5. Saran

Diharapkan pemerintah setempat dapat mengambil langkah antisipasi yang tepat dalam mengatasi masalah kekeringan di masa yang akan datang. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat diharapkan menggunakan data hujan dengan durasi lebih dari 20 tahun. Juga diperlukan adanya perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode lain dan diperlukan adanya analisa kekeringan setidaknya menggunakan dua metode yang berbeda agar dapat dijadikan pembandingan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kekeringan pada suatu daerah.

Daftar Pustaka

- Ahsanita, Dian. 2018. “Analisa Kekeringan Menggunakan Metode Palmer Drought Severity Index (PDSI) Dan Thornthwaite-Mather Di Kecamatan Praya Timur Kabupaten Lombok Tengah.” Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram.
- Aziz, Abdul, and Ali Masduqi. 2013. “Indeks Kekeringan Di Kabupaten Nganjuk.” Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Febyana Dwy Triesna, Kadek. 2016. “Analisis Tingkat Kekeringan Di Wilayah Lombok Bagian Selatan Dengan Menggunakan Metode EDI (Effective Drought Index).” Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram.
- Hayes, Michael J, Mark D Svoboda, Donald A Wihite, and Olga v Vanyarkho. 1999. “Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index.” *Bulletin of the American meteorological society* 80(3): 429–38.
- Ina-Geoportal. 2021. “Peta SHP Kabupaten Timor Tengah Selatan.” <https://tanahair.indonesia.go.id> (Februari 1, 2021).
- Jocom, Hary, Daniel D Kameo, Intiyas Utami, and A Ign Kristijanto. 2016. “Air Dan Konflik: Studi Kasus Kabupaten Timor Tengah Selatan.” *Jurnal Ilmu Lingkungan* 14(1): 51–61.
- Noviana, Ana. 2015. “Kekeringan: 10 Sumur Bor Di Timor Tengah NTT.” *Bisnis.com*. <https://kabar24.bisnis.com/read/20150626/78/447683/kekeringan-10-sumur-bor-di-timor-tengah-ntt> (June 24, 2021).
- Novitasari, Nyoman Winda, Arief Laila Nugraha, and Andri Suprayogi. 2015. “Pemetaan Multi Hazards Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kabupaten Demak Jawa Tengah.” *Jurnal Geodesi Undip* 4(4): 181–90.
- Reed, Shelia. 1995. “Pengantar Tentang Bahaya.” *Program Pelatihan Manajemen Bencana. UNDP*.
- Saidah, Humairo, M Bagus Budianto, and Lilik Hanifah. 2017. “Analisa Indeks Dan Sebaran Kekeringan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) Dan Geographical Information System (GIS) Untuk Pulau Lombok.” *Jurnal Spektran* 5(2): 173–79.
- Sila, Candri. 2016. “Analisa Kekeringan Di Kecamatan Sekotong Dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) Dan Desil.” Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram.

Analisis Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Gedung dengan Pelat Konvensional, Waffle Slab, dan Flat Slab

Comparative Analysis of Seismic Performance of Building Structures with Conventional Slab, Waffle Slab, and Flat Slab

Yohanes Alexander Rupidara, Remigildus Cornelis^{2*)}, Tri M. W. Sir³

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:

Kinerja seismik, pelat konvensional, waffle slab, flat slab

Keywords:

Seismic performance, conventional slab, waffle slab, flat slab

Article history:

Received: 1-04-2022

Accepted: 11-05-2022

^{*)}Koresponden email:

yohanesarupidara@gmail.com

remi_cor@yahoo.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara dengan risiko gempa yang tinggi, karena letaknya yang berada pada jalur gempa teraktif di dunia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja seismik dari struktur gedung dengan pelat konvensional, *waffle slab*, dan *flat slab* dengan metode *time history analysis*. Terdapat 3 model struktur yang dikaji yaitu struktur gedung dengan pelat konvensional, struktur gedung dengan *waffle slab*, dan struktur gedung dengan *flat slab*, dengan sistem struktur 5 lantai, dimana bentang terpanjang dan terpendek mempunyai ukuran yang sama yakni 20 m dan tinggi setiap tingkat 4 m. Hasil penelitian ini menunjukkan *displacement* terbesar adalah 235,82 mm pada struktur gedung dengan *waffle slab* dan *displacement* terkecil adalah 146,49 mm pada struktur gedung dengan *flat slab*. *Drift* terbesar adalah 0,012 pada struktur gedung dengan *waffle slab* dan *drift* terkecil adalah 0,007 pada struktur gedung dengan *flat slab*. Tingkat kinerja seismik yang dihasilkan dari ketiga jenis struktur bervariasi dari *immediate occupancy* (IO) sampai *damage control* (DC).

Abstract

Indonesia is a country with high earthquake risk because it is located in the path of the most active earthquake in the world. It makes Indonesia situated in a region with a high earthquake intensity. The study aimed to determine the seismic performance levels of building structures with conventional slabs, waffle slabs, and flat slabs with the time history analysis method. There are three models of structures studied, namely building structures with conventional plates, building structures with waffle slabs, and building structures with flat slabs, with a 5-story structure system, where the longest and shortest span has the same size of 20 m and the height of each level 4 m. This study showed the largest displacement was 235.82 mm in building structures with waffle slabs and the smallest displacement was 146.49 mm in building structures with flat slabs. The largest drift is 0.012 on a building structure with a waffle slab, and the smallest drift is 0.007 on a building structure with a flat slab. The level of seismic performance produced from all three types of structures varies from immediate occupancy (IO) to damage control (DC).

1. Pendahuluan

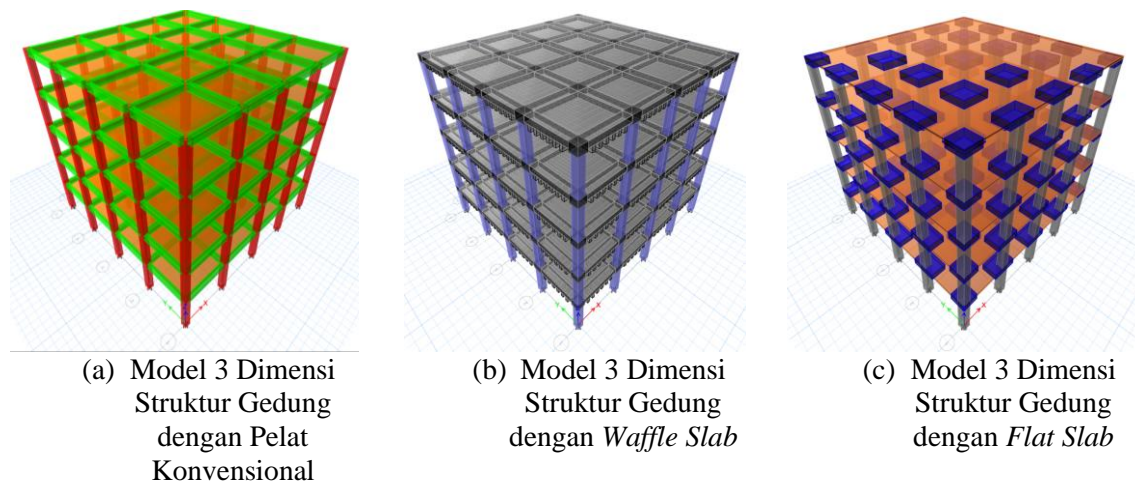
Indonesia merupakan negara dengan risiko gempa yang tinggi, karena letaknya yang berada pada jalur gempa tektonik di dunia dan berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia. Hal ini membuat Indonesia terletak pada wilayah dengan intensitas gempa yang tinggi. Kondisi wilayah Indonesia tersebut sangat berpengaruh pada perencanaan gedung khususnya gedung tinggi.

Sistem pelat terdiri dari beberapa macam yaitu sistem *flat plate*, sistem *waffle slab*, sistem *flat slab*, dan sistem pelat konvensional. Masing-masing sistem pelat memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Pemilihan berbagai sistem pelat ini disesuaikan dengan tujuan dari struktur yang diinginkan. Fungsi sistem pelat pada struktur gedung yaitu sebagai diafragma yang menyalurkan beban gempa.

Penelitian mengenai perbandingan ketiga sistem pelat yakni sistem pelat konvensional, sistem *waffle slab*, dan sistem *flat slab* ini sudah dilakukan oleh beberapa peneliti tetapi khusus untuk analisis kinerja *time history* untuk ketiga model struktur bangunan tersebut belum pernah dilakukan. Berdasarkan hal tersebut dipandang perlu untuk mengkaji kinerja ketiga model struktur bangunan tersebut terhadap beban gempa sehingga dapat diketahui model struktur dengan sistem pelat yang paling efisien dalam menahan beban gempa.

2. Bahan dan Metode

Model struktur 3 dimensi ketiga model struktur bangunan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model 3 Dimensi Ketiga Model Struktur Bangunan

Penelitian dimulai dengan menentukan desain awal dari struktur yakni menentukan dimensi elemen struktur, mutu material, dan pembebanan yang bekerja pada ketiga model struktur yang akan dianalisis. Kemudian membuat pemodelan struktur 3 dimensi pada ketiga model struktur dan memeriksa rasio kecukupan kapasitas tiap elemen struktur (*capacity ratio* < 1). Setelah rasio kecukupan kapasitas tiap elemen struktur pada ketiga model struktur telah memenuhi syarat rasio kapasitas, selanjutnya dilakukan analisis statik ekuivalen dan pemeriksaan terhadap simpangan antar tingkat (simpangan antar tingkat \leq simpangan antar tingkat izin), kemudian dilakukan analisis dinamik *time history* untuk analisis kinerja seismik serta dilakukan pemeriksaan jumlah ragam gerak struktur dan kontrol terhadap gaya geser dasar (*base shear*) dimana $V_{dinamik} \geq V_{statik}$. Jika pemeriksaan tersebut sudah memenuhi maka selanjutnya dilakukan pendetailan pada elemen struktur untuk mendapatkan luas tulangan aktual terpasang pada tiap elemen struktur. Setelah mendapatkan luas tulangan aktual pada tiap elemen struktur, kemudian dilakukan analisis beban dorong (*pushover*) pada ketiga model struktur yakni model struktur dengan pelat konvensional (MPK), model struktur dengan *waffle slab* (MWS), dan model struktur dengan *flat slab* (MFS). Setelah itu, dilanjutkan

dengan evaluasi kinerja seismik struktur dengan metode *ATC-40* untuk mendapatkan level kinerja struktur pada ketiga model struktur yang dianalisis.

2.1. *Time History Analysis*

1. Percepatan puncak permukaan tanah (*Peak ground acceleration / PGA*)
Percepatan puncak permukaan tanah (PGA) diperoleh dari SNI 1726:2019 atau dari aplikasi RSA 2019.
2. Pemilihan data akselerogram
Akselerogram yang dipilih dalam analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) pada level gempa rencana harus memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan dalam Pasal 7.9.2.3 SNI 1726:2019.
3. Penskalaan percepatan gempa masukan
Penskalaan percepatan gempa masukan dihitung berdasarkan Pasal 7.9.1.2 SNI 1726:2019 sebagai berikut:

$$PGA_{M(diskalakan)} = \frac{F_{PGA} \times PGA}{\left(\frac{R}{e}\right)} \tag{1}$$

4. Kontrol gaya geser dasar
Kontrol gaya geser dasar berdasarkan pada Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019, dimana Gaya geser dasar hasil analisis dinamik ($V_{dinamik}$) harus lebih besar atau sama dengan 100% gaya geser dasar analisis statik (V_{statik}) atau dituliskan $V_{dinamik} \geq V_{statik}$. Jika gaya geser dasar hasil analisis dinamik *time history* lebih kecil atau $V_{dinamik} < V_{statik}$, maka percepatan gempa masukan harus dikali dengan $V_{statik}/V_{dinamik}$ hingga memenuhi syarat.

2.2. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur*

Evaluasi kinerja seismik struktur menggunakan metode *ATC-40*

3. Hasil dan Pembahasan

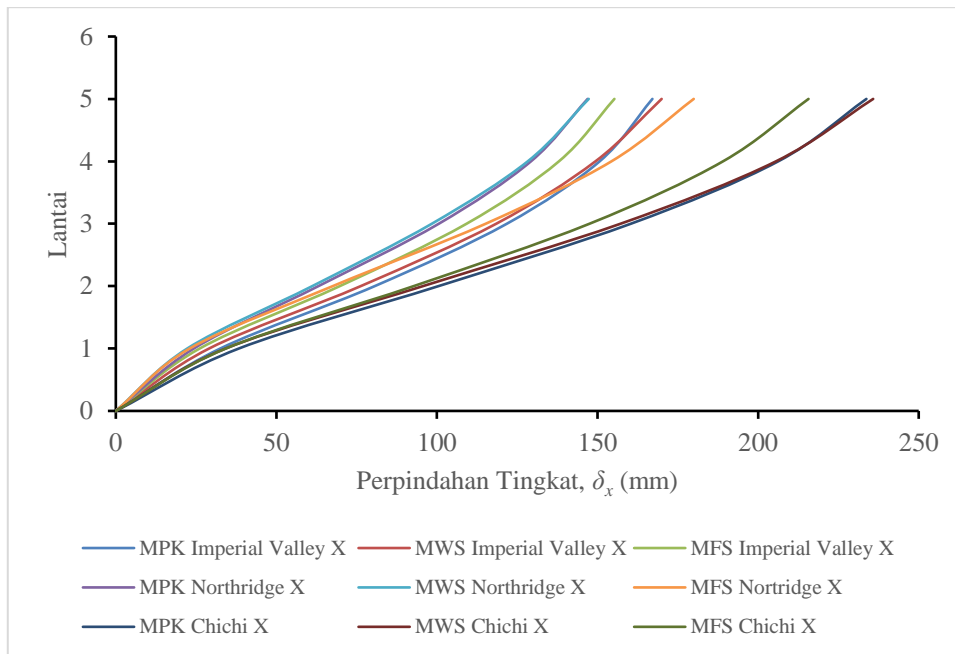
3.1. *Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X*

Perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS
		δ_x	δ_x	δ_x	δ_x	δ_x	δ_x	δ_x	δ_x	δ_x
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	20000	167,08	169,96	155,25	146,91	147,26	179,95	233,71	235,82	215,69
4	16000	150,65	149,35	137,98	129,27	128,27	154,33	206,26	205,56	189,07
3	12000	121,76	118,44	109,21	100,57	98,40	115,16	160,36	157,15	147,49
2	8000	80,61	76,25	69,73	63,07	61,17	67,55	100,46	95,62	92,74
1	4000	32,51	29,03	26,09	24,27	22,23	22,98	38,28	34,18	34,21
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Perpindahan tingkat (*story displacement*) merupakan perpindahan lateral dari tingkat relatif terhadap dasar struktur. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi secara keseluruhan menunjukkan bahwa struktur gedung dengan *flat slab* (MFS) memiliki perpindahan tingkat terkecil pada arah X, meskipun perpindahan tingkat akibat gempa Northridge sendiri pada struktur dengan *flat slab* (MFS) memiliki perpindahan tingkat yang lebih besar daripada struktur gedung dengan pelat konvensional (MPK).

Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab* (*waffle slab*). Kemudian penelitian dari Shaga dan Polisetty (2016) dalam penelitian mengenai *Seismic Performance of Flat Slab with Drop and Conventional Slab Structure* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat maksimum terjadi pada struktur pelat konvensional bila dibandingkan dengan struktur *flat slab*.

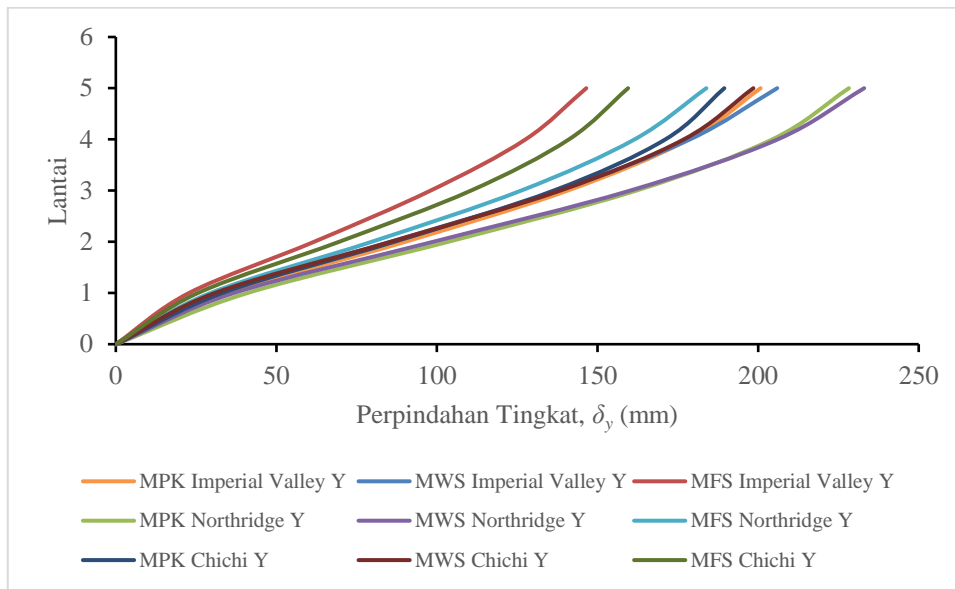
3.2. Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa masukan arah Y pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS
		δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)
5	20000	200,76	205,94	146,49	228,27	233,02	183,88	189,474	198,51	159,51
4	16000	178,40	178,74	127,57	204,41	206,08	161,51	171,11	176,85	141,08
3	12000	140,67	137,69	98,00	162,05	160,15	126,20	136,33	138,35	110,59
2	8000	90,10	85,49	61,73	103,46	98,82	79,65	86,68	85,55	69,51
1	4000	35,17	31,31	22,79	41,02	36,78	29,50	33,19	30,88	25,57
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa Northridge pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Perpindahan tingkat (*story displacement*) merupakan perpindahan lateral dari tingkat relatif terhadap dasar struktur. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi secara keseluruhan menunjukkan bahwa struktur gedung dengan *flat slab* (MFS) memiliki perpindahan tingkat terkecil pada arah Y bila dibandingkan dengan struktur gedung dengan pelat konvensional dan struktur gedung dengan *waffle slab*.

Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab* (*waffle slab*). Kemudian penelitian dari Shaga dan Polisetty (2016) dalam penelitian mengenai *Seismic Performance of Flat Slab with Drop and Conventional Slab Structure* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat maksimum terjadi pada struktur pelat konvensional bila dibandingkan dengan struktur *flat slab*.

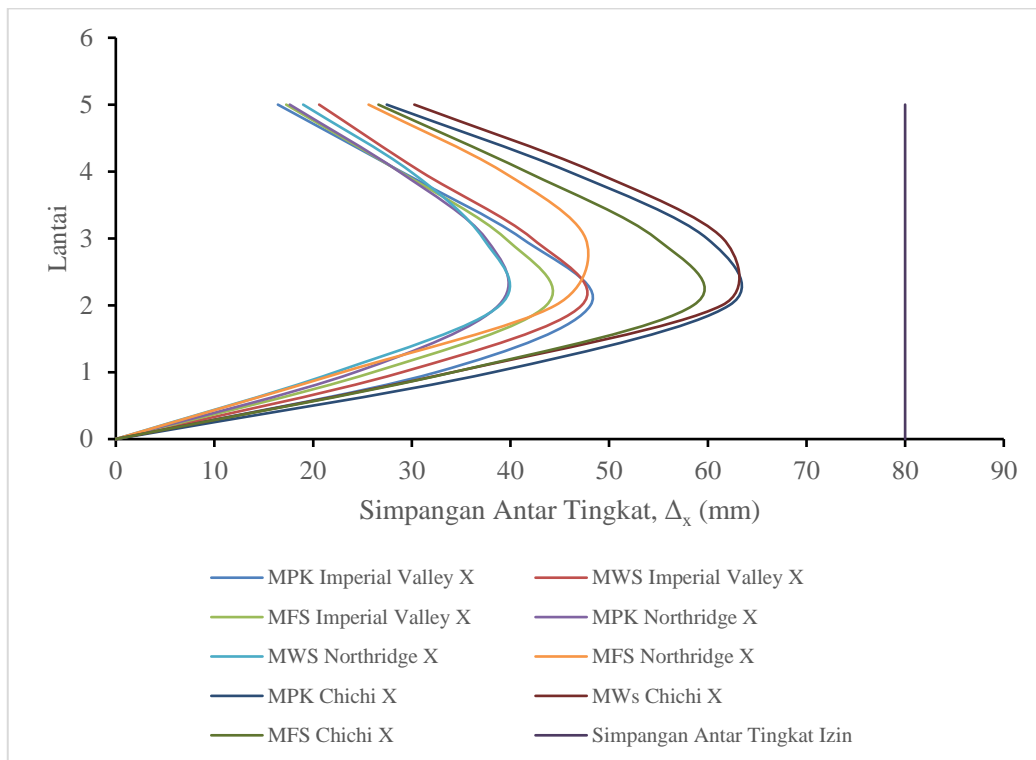
3.3. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK Δ_x (mm)	MWS Δ_x (mm)	MFS Δ_x (mm)	MPK Δ_x (mm)	MWS Δ_x (mm)	MFS Δ_x (mm)	MPK Δ_x (mm)	MWS Δ_x (mm)	MFS Δ_x (mm)
5	20000	16,43	20,61	17,27	17,63	18,99	25,62	27,46	30,26	26,62
4	16000	28,89	30,90	28,77	28,70	29,87	39,17	45,89	48,41	41,57
3	12000	41,15	42,19	39,48	37,49	37,23	47,61	59,91	61,53	54,75
2	8000	48,11	47,22	43,64	38,80	38,93	44,56	62,18	61,44	58,53
1	4000	32,51	29,03	26,09	24,27	22,23	22,98	38,28	34,18	34,21
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Simpangan antar tingkat (*interstory drift*) merupakan simpangan relatif antar tingkat yang berdekatan atau selisih nilai perpindahan dua tingkat yang berdekatan. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh besaran perpindahan struktur, apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya besar maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur juga besar dan sebaliknya apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya kecil maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur nilainya juga kecil.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi menunjukkan bahwa secara keseluruhan simpangan antar tingkat dari struktur gedung dengan *flat slab* memiliki nilai simpangan yang lebih kecil, meskipun simpangan antar tingkat akibat gempa Northridge pada struktur gedung dengan *flat slab* memiliki nilai yang lebih besar dikarenakan perpindahan tingkat yang dialami oleh struktur gedung dengan *fat slab* juga besar. Dari penelitian terdahulu Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa simpangan antar tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab (waffle slab)*.

Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa ketiga model struktur yang dianalisis dengan ketiga gempa masukan (gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi) aman terhadap pemeriksaan simpangan antar tingkat yang ditandai dengan seluruh kurva simpangan antar tingkat dari ketiga model struktur (MPK, MWS, dan MFS) pada grafik kurang dari kurva simpangan antar tingkat izin.

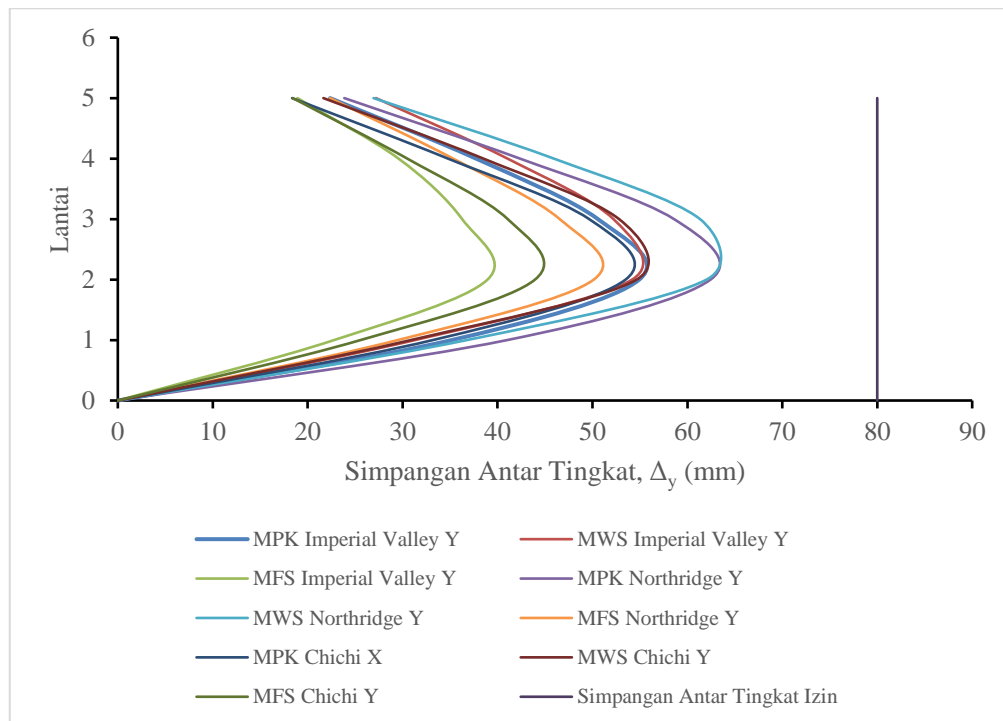
3.4. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah Y pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS
		Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)
5	20000	22,36	27,19	18,92	23,86	26,94	22,36	18,36	21,66	18,43
4	16000	37,73	41,05	29,57	42,36	45,93	35,32	34,78	38,51	30,49
3	12000	50,57	52,21	36,27	58,59	61,33	46,55	49,65	52,80	41,07
2	8000	54,93	54,18	38,95	62,44	62,03	50,14	53,49	54,66	43,95
1	4000	35,17	31,31	22,79	41,02	36,78	29,50	33,19	30,88	25,57
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah Y pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Simpangan antar tingkat (*interstory drift*) merupakan simpangan relatif antar tingkat yang berdekatan atau selisih nilai perpindahan dua tingkat yang berdekatan. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh besaran perpindahan struktur, apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya besar maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur juga besar dan sebaliknya apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya kecil maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur nilainya juga kecil.

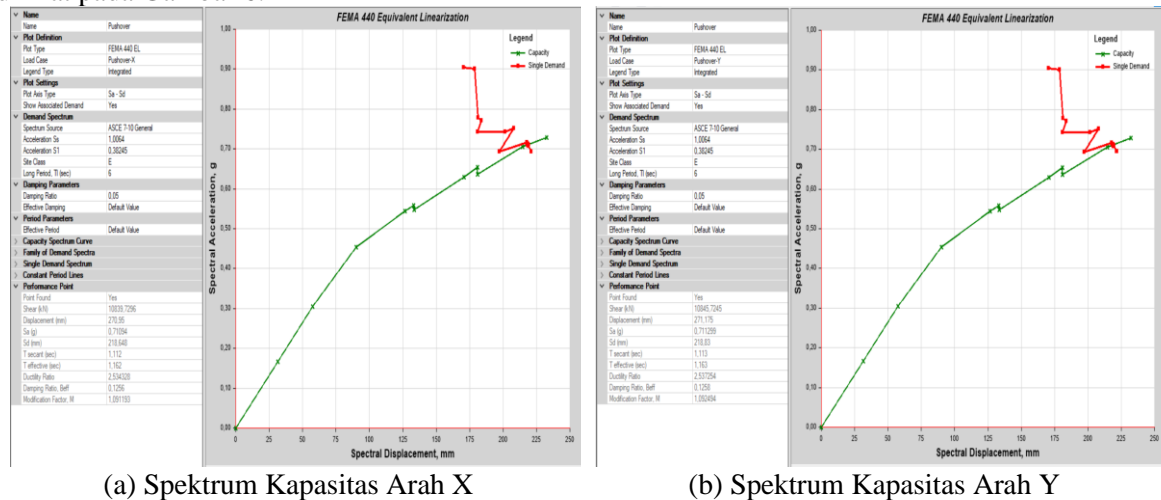
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi menunjukkan bahwa secara keseluruhan simpangan antar tingkat dari struktur gedung dengan *flat slab* memiliki nilai simpangan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur gedung dengan pelat konvensional dan struktur gedung dengan *waffle slab*. Dari penelitian terdahulu Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa simpangan antar

tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab* (*waffle slab*).

Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa ketiga model struktur yang dianalisis dengan ketiga gempa masukan (gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi) aman terhadap pemeriksaan simpangan antar tingkat yang ditandai dengan seluruh kurva simpangan antar tingkat +dari keriga model struktur (MPK, MWS, dan MFS) pada grafik kurang dari kurva simpangan antar tingkat izin.

3.5. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan dengan Pelat Konvensional

Grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan dengan pelat konvensional (MPK) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum Kapasitas pada Struktur Bangunan MPK

Kinerja seismik struktur adalah tingkatan kinerja suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan kinerja suatu struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada suatu struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam *ATC-40* digunakan metode spektrum kapasitas untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tingkatan kinerja struktur ini ditunjukkan dalam sebuah plot grafik antara *spectral displacement* dan *spectral acceleration* yang biasa disebut dengan grafik spektrum kapasitas.

Dari kedua grafik di atas yakni grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan MPK dikedua arah ortogonalnya menunjukkan terdapat tingkat kinerja seismik struktur yang ditandai dengan ditemukannya titik potong antara *capacity curve* dan *single demand curve*. Titik potong inilah yang disebut dengan titik kinerja struktur yang digunakan untuk mengetahui tingkatan kinerja dari struktur. Perhitungan tingkat kinerja seismik mengambil nilai dari simpangan total maksimum (*maximum total drift*) yang mana simpangan total maksimum ini adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Perhitungan tingkat kinerja seismik pada struktur gedung dengan pelat konvensional adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah X} \\
 \text{Drift X} &= \frac{\text{Displacement arah x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{270,950}{20000} \\
 &= 0,014.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

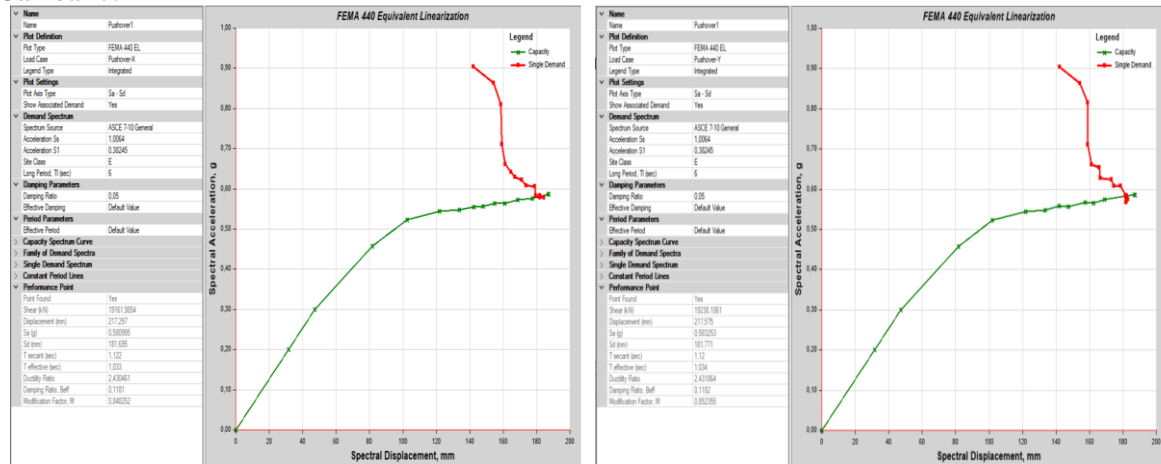
$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah Y} \\
 \text{Drift Y} &= \frac{\text{Displacement arah y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{271,175}{20000} \\
 &= 0,014.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui level kinerja seismik dari struktur gedung dengan pelat konvensional pada kedua arah ortogonalnya adalah *damage control*, dimana kondisi bangunan yang

memiliki level kinerja *damage control* pasca gempa merupakan bangunan yang masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3.6. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan dengan Waffle Slab*

Grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan dengan *waffle slab* (MWS) dapat dilihat pada Gambar 7.



(a) Spektrum Kapasitas Arah X

(b) Spektrum Kapasitas Arah Y

Gambar 7. Spektrum Kapasitas pada Struktur Bangunan MWS

Kinerja seismik struktur adalah tingkatan kinerja suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan kinerja suatu struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada suatu struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam *ATC-40* digunakan metode spektrum kapasitas untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tingkatan kinerja struktur ini ditunjukkan dalam sebuah plot grafik antara *spectral displacement* dan *spectral acceleration* yang biasa disebut dengan grafik spektrum kapasitas.

Dari kedua grafik di atas yakni grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan MWS dikedua arah ortogonalnya menunjukkan terdapat tingkat kinerja seismik struktur yang ditandai dengan ditemukannya titik potong antara *capacity curve* dan *single demand curve*. Titik potong inilah yang disebut dengan titik kinerja struktur yang digunakan untuk mengetahui tingkatan kinerja dari struktur. Perhitungan tingkat kinerja seismik mengambil nilai dari simpangan total maksimum (*maximum total drift*) yang mana simpangan total maksimum ini adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Perhitungan tingkat kinerja seismik pada struktur gedung dengan *waffle slab* adalah sebagai berikut:

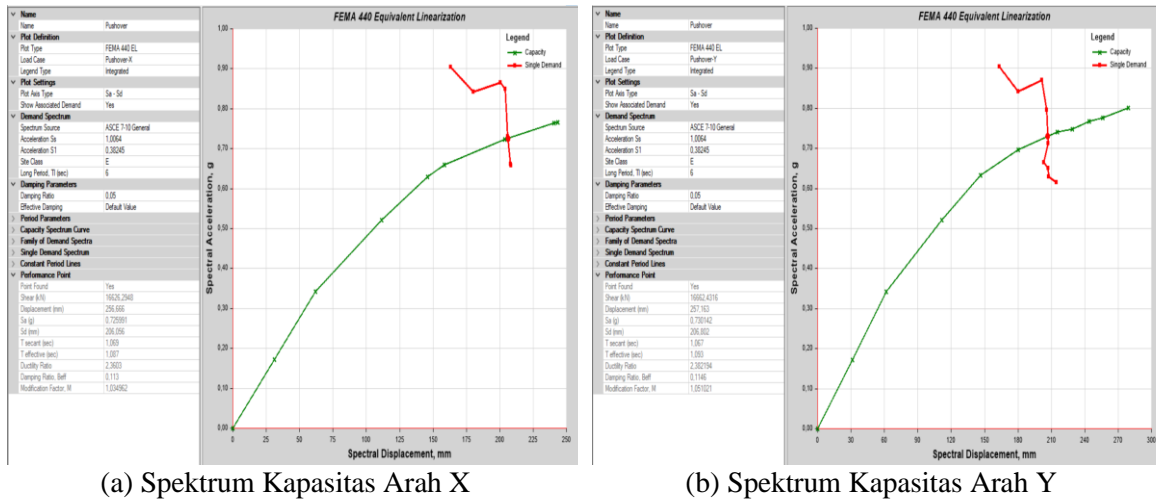
$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah X} \\
 \text{Drift X} &= \frac{\text{Displacement arah x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{217,297}{20000} \\
 &= 0,011.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah Y} \\
 \text{Drift Y} &= \frac{\text{Displacement arah y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{217,575}{20000} \\
 &= 0,011.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui level kinerja seismik dari struktur gedung dengan *waffle slab* pada kedua arah ortogonalnya adalah *damage control*, dimana kondisi bangunan yang memiliki level kinerja *damage control* pasca gempa merupakan bangunan yang masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3.7. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan dengan Flat Slab*

Grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan dengan *flat slab* (MFS) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektrum Kapasitas pada Struktur Bangunan MFS

Kinerja seismik struktur adalah tingkatan kinerja suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan kinerja suatu struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada suatu struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam *ATC-40* digunakan metode spektrum kapasitas untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tingkatan kinerja struktur ini ditunjukkan dalam sebuah plot grafik antara *spectral displacement* dan *spectral acceleration* yang biasa disebut dengan grafik spektrum kapasitas.

Dari kedua grafik di atas yakni grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan MFS dikedua arah ortogonalnya menunjukkan terdapat tingkat kinerja seismik struktur yang ditandai dengan ditemukannya titik potong antara *capacity curve* dan *single demand curve*. Titik potong inilah yang disebut dengan titik kinerja struktur yang digunakan untuk mengetahui tingkatan kinerja dari struktur. Perhitungan tingkat kinerja seismik mengambil nilai dari simpangan total maksimum (*maximum total drift*) yang mana simpangan total maksimum ini adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Perhitungan tingkat kinerja seismik pada struktur gedung dengan *flat slab* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah X} \\
 \text{Drift X} &= \frac{\text{Displacement arah x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{256,666}{20000} \\
 &= 0,013.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah Y} \\
 \text{Drift Y} &= \frac{\text{Displacement arah y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{257,163}{20000} \\
 &= 0,013.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui level kinerja seismik dari struktur gedung dengan *flat slab* pada kedua arah ortogonalnya adalah *damage control*, dimana kondisi bangunan yang memiliki level kinerja *damage control* pasca gempa merupakan bangunan yang masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3.8. Perbandingan Kinerja Seismik Struktur

Perbandingan kinerja seismik struktur pada ketiga model struktur (MPK, MWS, dan MFS) dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Berdasarkan ATC-40

Model	Jenis Gempa	Arah	<i>Displacement Roof (mm)</i>	<i>Drift</i>	<i>Performance Level</i>
MPK	Imperial Valley	X	167,085	0,008	IO
	Imperial Valley	Y	200,761	0,010	IO
	Northridge	X	146,905	0,007	IO
	Northridge	Y	228,267	0,011	DC
	Chichi	X	233,712	0,012	DC
	Chichi	Y	189,470	0,009	IO
	<i>Pushover</i>	X	270,950	0,014	DC
	<i>Pushover</i>	Y	271,175	0,014	DC
MWS	Imperial Valley	X	169,956	0008	IO
	Imperial Valley	Y	205,937	0,010	IO
	Northridge	X	147,257	0,007	IO
	Northridge	Y	233,024	0,012	DC
	Chichi	X	235,818	0,012	DC
	Chichi	Y	198,512	0,010	IO
	<i>Pushover</i>	X	217,297	0,011	DC
	<i>Pushover</i>	Y	217,575	0,011	DC
MFS	Imperial Valley	X	155,254	0,008	IO
	Imperial Valley	Y	146,493	0,007	IO
	Northridge	X	179,955	0,009	IO
	Northridge	Y	183,876	0,009	IO
	Chichi	X	215,688	0,011	DC
	Chichi	Y	159,511	0,008	IO
	<i>Pushover</i>	X	256,666	0,013	DC
	<i>Pushover</i>	Y	257,163	0,013	DC

4. Kesimpulan

Struktur gedung dengan *flat slab* mempunyai perpindahan tingkat (*story displacement*) yang terkecil dari kedua model struktur gedung yang lain, sedangkan struktur gedung dengan *waffle slab* mempunyai perpindahan tingkat (*story displacement*) terbesar. Tingkat kinerja seismik yang didapat dari hasil analisis dinamik *time history* pada ketiga model struktur gedung terdapat variasi tingkat kinerja dari *immediate occupancy* (IO) sampai *damage control* (DC), sedangkan tingkat kinerja yang didapat dari hasil analisis statik *pushover* pada ketiga model struktur gedung adalah *damage control* (DC).

5. Saran

Untuk penelitian lanjutan Penulis menyarankan objek yang akan diteliti menggunakan model struktur yang memiliki ketidakberaturan konfigurasi dan menambahkan pemodelan tangga dan dinding geser pada struktur yang akan diteliti.

Daftar Pustaka

Anggen, W.S., Budi, A.S., & Gunawan, P. (2014). "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs (Studi Kasus : Hotel di Daerah Karanganyar)". Surakarta : Universitas Sebelas Maret.

Applied Technology Council, ATC 40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, USA.

- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- BSN. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta : BSN.
- BSN. (2017). *Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2017)*. Jakarta : BSN.
- BSN. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta : BSN.
- Hassoun, M.N., & Al-Manaser, A. (2015). *Structural Concrete: Theory and Design (6th ed.)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hedge, R., Chethana, & Kumar, N. V. (2018). "Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a RC Framed Structures." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(09).
- Nishanth, CH. L., Swaroop, Y. S., Jagarapu, D. C. K., & Jogi, P. K. (2020). "Analysis and Design of Commercial Building with Different Slab Arrangement Using Etabs." *Elsevier Ltd*, 33, 700–704.
- PPIUG. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Shaga, A. & Polisetty, S. (2016). "Seismic Performance of Flat Slab with Drop and Conventional Slab Structure." *International Journal of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 1(09).
- Tavio & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: ANDI.
- Widodo. (2001). *Respons Dinamik Struktur Elastik*. Jogjakarta: UII Press.
- Wight, J.K., & MacGregor, J.G. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design (6th ed.)*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

Pengaruh Fly Ash pada Stabilisasi Lempung Ekspansive Terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR

Effect of Fly Ash on Expansive Clay Stabilization on Shear Stress Values and CBR

Elsy E. Hangge^{1*)}, Remigildus Cornelis², Antonius Y. Dom³

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:

Fly Ash, Lempung Expansive, Tegangan Geser, CBR

Keywords:

Fly Ash, Clay Expansive, Shear Stress, CBR

Article history:

Received: 21-04-2022

Accepted: 11-05-2022

*Koresponden email:
thonydholm@gmail.com

Abstrak

Tanah lempung ekspansif dikategorikan sebagai tanah dasar yang jelek karena nilai daya dukung tanahnya yang rendah. Karena itu dilakukan stabilisasi dengan bahan tambah berupa kapur dan fly ash. Tujuan penelitian ini yakni mengetahui pengaruh penambahan kapur dan *fly ash* terhadap daya dukung tanah lempung ekspansif berupa nilai tegangan geser dan CBR. Metode penelitian yang digunakan berupa observasi yaitu pengujian sifat fisik dan mekanis di laboratorium. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah yang telah distabilisaikan menggunakan kapur 5% dan kadar *fly ash* adalah 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Perubahan nilai terbesar pada pengujian CBR terjadi pada nilai CBR tak terendam dengan pemeraman 7 hari pada variasi campuran kapur 5% (tetap) dan fly ash 50% yaitu 11,74% dari nilai CBR tanah asli 1,39%. Peningkatan nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) terbesar diperoleh pada komposisi campuran tanah asli, kapur 5% dan *fly ash* 50% yakni sebesar 0,368 kg/cm² dan 0,184 kg/cm². Hasil penelitian menunjukkan stabilisasi lempung ekspansif menggunakan kapur dan fly ash meningkatkan daya dukung tanah.

Abstract

Expansive clay soils are categorized as poor as subgrades because of their low capacity for bearing soil. Therefore, it needed to stabilize with added lime and fly ash materials. This study aimed to determine the effect of adding lime and fly ash on the bearing capacity of expansive clay in the form of shear stress and CBR values. The research method used is observation, namely testing of physical and mechanical properties in the laboratory. The tests were carried out on the original soil, and soil was stabilized using 5% lime, and the fly ash content was 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. The biggest change in the value of the CBR test occurred in the CBR value that was not submerged after seven days of curing on a variation of a mixture of 5% lime (fixed) and 50% fly ash, which was 11.74% of the original soil CBR value of 1.39%. The largest increase in soil bearing capacity (q_u) and undrained soil cohesion (c_u) was obtained in the composition of the original soil mixture, 5% lime and 50% fly ash, namely 0.368 kg/cm² and 0.184 kg/cm². The results showed that the stabilization of expansive clay using lime and fly ash increased the bearing capacity of the soil.

1. Pendahuluan

Tanah merupakan dasar dari suatu struktur bangunan maupun konstruksi jalan. Tanah menjadi bagian penting dalam proses konstruksi bangunan maupun jalan karena tanah merupakan tempat berdirinya konstruksi tersebut. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan perilakunya sangat dipengaruhi oleh air. Peningkatan kadar air tanah pada tanah lempung ekspansif menyebabkan penurunan daya dukung tanah sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada konstruksi bangunan maupun jalan yang berdiri di atasnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan stabilisasi guna meningkatkan daya dukung tanah ekspansif tersebut. Stabilisasi merupakan suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan Sonbay (2010) menyatakan bahwa tanah di Desa Oebelo merupakan tanah lempung ekspansif dengan kandungan *montmorillonite* sebanyak 75% dan *kaolinite* sebanyak 25%. Oleh karena itu tanah di Desa Oebelo merupakan jenis tanah ekspansif dan perlu di stabilisasi. Stabilisasi yang dilakukan berupa stabilisasi secara kimiawi dengan campuran kapur 5% (tetap) dan variasi *fly ash* sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% sebagai bahan stabilisasinya. Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai tegangan geser dan CBR yang dihasilkan dari penambahan kapur dan *fly ash* serta untuk mengetahui daya dukung maksimum yang dihasilkan dari penambahan kapur dan *fly ash*.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tanah asli yang diambil dari Desa Oebelo Kabupaten Kupang, *fly ash* yang diambil di PLTU Bolok, dan Kapur yang dibeli pada tempat penjualan kapur di Kota Kupang. Penelitian dilakukan pada Laboratorium dengan jangka waktu penelitian selama 3 bulan dari bulan Maret sampai bulan Mei 2021.

2.1. Teknik Pengambilan Data

1. Teknik Observasi

Teknik observasi yaitu dengan pengujian di laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana Kupang dan Laboratorium Pengujian dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur.

2. Teknik Dokumentasi

Teknik dokumentasi yaitu teknik pengambilan data yang diperoleh dengan cara menghimpun teori-teori, rumus-rumus dan ketentuan-ketentuan yang relevan dengan materi penelitian dari buku-buku tertentu.

3. Studi Literatur

Studi literatur adalah teknik pengambilan data melalui teks-teks tertulis, seperti buku, e-book, jurnal, makalah dan lain-lain.

2.2. Tahapan Penelitian

1. Pengambilan Sampel dan Persiapan Benda Uji

Tanah yang diambil merupakan tanah dari Desa Oebelo, Jl. Timor Raya Km. 21 pada kedalaman 50 cm dari permukaan tanah. Sebelum pengujian tanah dikeringkan dengan dijemur di bawah terik matahari selama 3-4 hari, setelah kering tanah dihancurkan dan di saring menggunakan saringan No. 4, 10 dan 40.

2. Pengujian Tanah Asli

Pengujian terlebih dahulu dilakukan pada tanah asli untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis tanah. Pengujian yang dilakukan berupa uji sifat fisik yaitu pengujian kadar air, gravitasi khusus (*specific gravity*), batas-batas konsistensi (*atterberg limit*), dan uji gradasi butiran serta sifat mekanis yaitu pengujian pemadatan standar proctor, pengujian kuat tekan bebas, pengujian CBR dan potensi pengembangan.

3. Pembuatan Benda Uji

Membuat campuran tanah dengan kapur dan *fly ash* dalam beberapa variasi campuran dengan persentase yang telah direncanakan, yaitu berat kapur dan *fly ash* dihitung terhadap berat kering tanah.

Tabel 1. Variasi Campuran Kapur dan *Fly Ash*

Jenis Sampel	Komposisi
Variasi I	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>
Variasi II	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly Ash</i>
Variasi III	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>
Variasi IV	Tanah Asli + 5% Kapur + 40% <i>Fly Ash</i>
Variasi V	Tanah Asli + 5% Kapur + 50% <i>Fly Ash</i>

4. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Setelah Distabilisasi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanis tanah setelah dicampur dengan bahan-bahan stabilisasi dalam hal ini berupa kapur dan *fly ash*. Pengujian meliputi:

- A. Uji sifat fisik tanah antara lain
 - a. Pengujian berat jenis (ASTM D 854-58)
 - b. Pengujian distribusi ukuran butiran tanah (ASTM D 2487-69)
 - c. 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)
- B. Uji sifat mekanis tanah antara lain :
 - a. Pengujian proctor standar (ASTM D-698)
 - b. Pengujian CBR (ASTM D 1883-87)
 - c. Pengujian kuat tekan bebas (ASTM D 2166-06)
- C. Pengujian pemadatan standar *proctor* dilakukan pada campuran dari tanah asli dengan kapur dan *fly ash* dengan beberapa variasi tertentu. Kemudian campuran tersebut dihitung kadar air optimum dan berat volume kering maksimumnya.
- D. Pengujian uji kuat tekan bebas dilakukan dengan menggunakan alat penekan pada variasi benda uji yang telah di siapkan. Pengujian dilakukan setelah benda uji dicetak dan diperam selama 7 hari untuk memberikan waktu pada campuran bereaksi.
- E. Pengujian CBR Pengujian CBR yang dilakukan terdiri atas 2 jenis, yaitu CBR terendam dengan pemeraman dan CBR tak terendam dengan pemeraman.

Tabel 2. Variasi Benda Uji Untuk Pengujian CBR

Jenis Pengujian	Tanah Asli (Tanpa Pemeraman)		Campuran Tanah + Kapur + <i>Fly Ash</i> (Dengan Pemeraman 7 hari)	
	Tanpa Rendaman	Dengan Rendaman (4 hari)	Tanpa Rendaman	Dengan Rendaman (4 hari)
CBR	2	2	10	10
Jumlah			24	

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Tanah Asli

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

Tabel 3. Karakteristik Tanah Asli

Parameter	Hasil
A. Sifat-sifat fisik	
Kadar air (<i>w</i>)	39,57 %
Berat spesifik (<i>Specific Gravity</i>)	2,67
Batas cair (<i>Liquid Limit</i>)	89,01 %
Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>)	40,47 %
Batas susut (<i>Shrinkage Limit</i>)	9,85 %
Indeks plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	48,59 %
Butiran lolos sarongan No. 200 (butiran halus)	77,85 %
B. Sifat-sifat mekanis	
Kadar air optimum	28,83 %
Berat volume kering maksimum	1,33 gr/cm^3
Nilai daya dukung tanah (q_u)	0,157 kg/cm^2
Nilai kohesi <i>undrained</i> tanah (c_u)	0,079 kg/cm^2
Potensi pengembangan (S)	6,03 %
CBR terendam (<i>soaked</i>)	1,11 %
CBR tak terendam (<i>unsoaked</i>)	1,39 %

3.2. Klasifikasi Tanah Asli

Berdasarkan sistem klasifikasi AASTHO tanah asli masuk dalam jenis tanah A-7-5 (Das, 2009) dengan nilai GI sebesar 43. Nilai GI yang besar ini dapat disimpulkan tanah asli dikategorikan buruk sebagai lapisan tanah dasar. Menurut USCS tanah dikategorikan sebagai tanah berbutir halus dan masuk dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

3.3. Karakteristik Dan Klasifikasi Fly Ash

Fly ash yang digunakan merupakan *fly ash* dari hasil pembakaran batu bara pada PLTU Bolok, berdasarkan ASTM *fly ash* pada PLTU Bolok masuk dalam kelas F karena memiliki kadar total Al_2O_3 , SiO_2 , dan $Fe_2O_3 < 70\%$ dimana kadar total dari *fly ash* pada PLTU Bolok sebesar 49,4 %. Berdasarkan Untuk *Canadian Standard CSA A-23.5 fly ash* pada PLTU Bolok termasuk dalam tipe CL dengan kandungan kalsium yang rendah dengan nilai CaO sebesar 10,64%.

3.4. Karakteristik Dan Klasifikasi Kapur

Dari hasil pengujian laboratorium didapat nilai CaO kapur sebesar 62,94% (Ullu, 2021). Dengan kandungan CaO yang besar ini kapur dapat memberikan sifat *cementitious* (kemampuan untuk mengeras dan bertambah kuat apabila bereaksi dengan air) pada *fly ash*. *Fly ash* pada PLTU Bolok memiliki kadar kapur rendah.

3.5. Stabilisasi Tanah Dengan Kapur Dan Fly Ash

Stabilisasi tanah asli Oebelo dilakukan dengan mencampur tanah dengan kapur dan *fly ash* dalam beberapa variasi campuran untuk mengetahui pengaruh sifat fisik dan mekanis setelah distabilisasi. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah yang distabilisasi di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik Dan Mekanis Tanah Setelah Distabilisasi Dengan Kapur Dan *Fly Ash*

No	Variable	Variasi Campuran Kapur Dan <i>Fly Ash</i>				
		I	II	III	IV	V
1	Berat Spesifik	2,63	2,53	2,39	2,26	2,12
2	Butiran lolos saringan No. 200 (butiran halus) (%)	76,49	73,28	70,44	67,62	64,98
3	Batas Cair (%)	75,84	55,34	42,80	36,87	28,74
4	Batas Plastis (%)	38,47	35,63	31,03	27,75	21,31
5	Batas Susut (%)	13,28	19,22	26,24	31,55	37,65
6	Indeks Plastisitas (%)	37,37	19,71	11,77	9,12	7,42
7	Kadar air Optimum (%)	27,74	26,87	25,09	23,97	21,98
8	Berat Volume Kering Maksimum (gr/cm^3)	1,35	1,27	1,39	1,40	1,40
9	Nilai Daya Dukung Tanah (q_u) (kg/cm^2)	0,233	0,285	0,323	0,346	0,368
10	Nilai Kohesi <i>Undrained</i> Tanah (c_u) (kg/cm^2)	0,117	0,143	0,162	0,173	0,184
11	Potensi Pengembangan Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	5,08	3,47	2,88	1,97	0,95
12	CBR Terendam Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	1,95	3,12	4,22	7,50	9,27
13.	CBR Tak Terendam Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	3,04	5,79	7,14	9,91	11,74

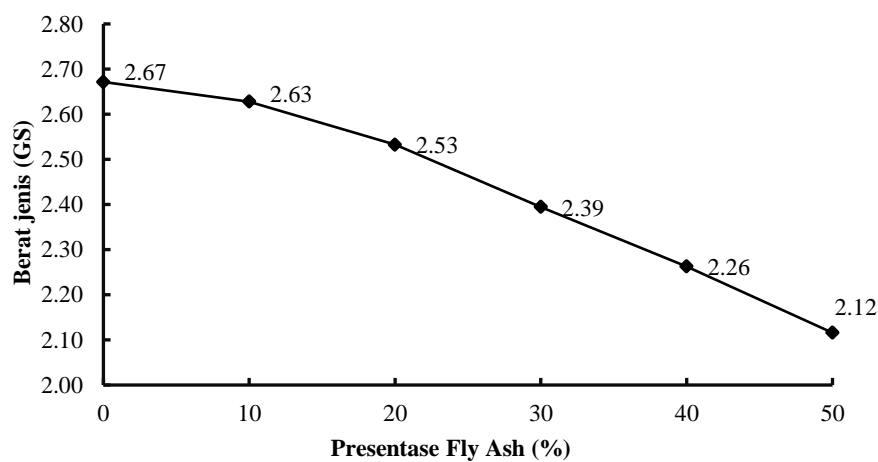
3.5.1. Berat Spesifik (*Spesific gravity*)

Hasil pengujian berat spesifik tanah asli dan tanah setelah distabilisasi dengan kapur dan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Spesifik

No	Variasi Benda Uji	Berat Spesifik
1	Tanah Asli	2,67
2	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>	2,63
3	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly Ash</i>	2,53
4	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>	2,39
5	Tanah Asli + 5% Kapur + 40% <i>Fly Ash</i>	2,26
6	Tanah Asli + 5% Kapur + 50% <i>Fly Ash</i>	2,12

Pengaruh stabilisasi dengan persentase kapur tetap 5% dan persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Untuk pengaruh penambahan kapur dan *fly ash* pada tanah asli dapat dilihat persentase penurunannya pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5% dan Variasi *Fly Ash* Terhadap Nilai Berat Spesifik (GS)

Nilai berat spesifik mengalami penurunan seiring penambahan persentase *fly ash*. Persentase penurunan nilai berat spesifik pada tanah setelah distabilisasi dengan persentase kapur 5% (tetap) dan persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% terhadap tanah asli berturut-turut adalah 0,04, 0,14, 0,31, 0,41 dan 0,55. Ketika tanah asli dicampur dengan kapur dan *fly ash* terjadi perubahan tekstur tanah di mana partikel-partikel tanah menjadi menggumpal, hal ini disebabkan oleh bergabungnya butiran tanah asli dan kapur juga *fly ash*, sehingga partikel tanah memiliki ukuran yang lebih besar yang menyebabkan penurunan nilai berat spesifik (Ningsih, 2014).

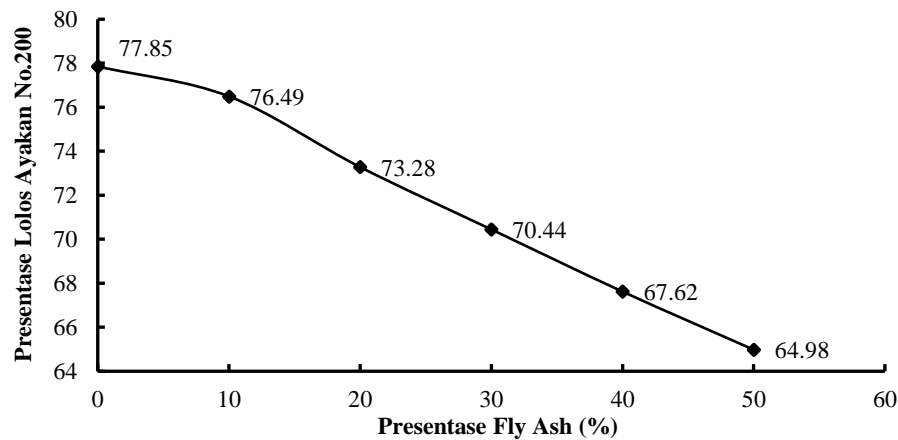
3.5.2. Gradasi Butiran Tanah

Dari hasil analisis hidrometer dan saringan menunjukkan terjadinya perubahan komposisi butiran tanah yaitu berkurangnya butiran lempung dan bertambahnya butiran pasir. Hasil pengujian gradasi butiran tanah ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Gradasi Butiran Tanah

No	Variasi Benda Uji	Butiran lolos saringan No.200 (butiran halus) (%)
1	Tanah Asli	77,85
2	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>	76,49
3	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly Ash</i>	73,28
4	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>	70,44
5	Tanah Asli + 5% Kapur + 40% <i>Fly Ash</i>	67,62
6	Tanah Asli + 5% Kapur + 50% <i>Fly Ash</i>	64,98

Pengaruh stabilisasi dengan persentase kapur tetap 5% dan persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% terhadap gradasi butiran tanah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Hasil Analisis Saringan Dan Hidrometer Pada Tiap Variasi Campuran Kapur dan *Fly Ash*

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 terlihat bahwa jumlah butiran lempung berkurang dan jumlah butiran pasir bertambah seiring dengan penambahan kadar *fly ash*. Hal ini disebabkan oleh ikatan yang terjadi antara butiran kapur dan *fly ash* yang menyatu dengan butiran tanah asli, sehingga butiran tanah asli menjadi padat dan mengurangi butiran lempung pada tanah asli.

3.5.3. Batas-Batas Konsistensi Tanah

Untuk mengetahui nilai batas-batas konsistensi tanah dilakukan dengan pengujian *Atterberg* Limit. 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 Plastistas (%)	Batas Susut (%)
1.	Tanah Asli	89,05	40,47	48,59	9,85
2.	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>	75,84	38,47	37,37	13,28
3.	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly Ash</i>	55,34	35,63	19,71	19,22
4.	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>	42,80	31,03	11,77	26,24
5.	Tanah Asli + 5% Kapur + 40% <i>Fly Ash</i>	36,87	27,75	9,12	31,55
6.	Tanah Asli + 5% Kapur + 50% <i>Fly Ash</i>	28,74	21,31	7,42	37,65

1. Batas Cair

Nilai batas cair mengalami penurunan seiring penambahan persentase kapur dan *fly ash*. Pada persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, nilai batas cair mengalami penurunan secara berurutan yaitu 13,21%, 33,71%, 46,25%, 52,18% dan 60,31%. penurunan nilai batas cair disebabkan karena *fly ash* mampu menyerap air sehingga kadar air yang dihasilkan semakin kecil (Indera, 2017). Selain itu 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).

2. Batas Plastis

Pada persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, nilai batas plastis mengalami penurunan secara berurutan yaitu 2%, 4,84%, 9,44%, 12,72% dan 19,16%. Hal ini disebabkan karena sifat kapur dan *fly ash* yang mudah menyerap air sehingga tanah mendekati sifat semi padat pada saat kandungan air dalam tanah tersebut sedikit.

3. Batas Susut

Pada persentase *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, nilai batas susut mengalami kenaikan secara

berurutan yaitu 3,4%, 9,37%, 18,39%, 21,7% dan 27,8%. Hal ini disebabkan menyatunya butiran kapur dan *fly ash* terhadap tanah asli yang menyebabkan tanah asli kehilangan sifat kelemungannya 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 11,22%, 28,88%, 36,82%, 39,47% dan 41,17%. Nilai indeks plastisitas tanah asli menunjukkan bahwa tanah asli memiliki sifat plastisitas yang tinggi, namun setelah distabilisasi dengan kapur dan *fly ash* nilai indeks plastisitas menurun dan membuat sifat plastisitas tanah yang awalnya tinggi menjadi sifat plastisitas sedang.

3.5.4. Pemdattan Standar Proctor

Hasil pengujian pematatan standar proctor menunjukkan terjadi penurunan kadar air optimum dan kenaikan berat volume kering maksimum dapat dilihat pada Tabel 8.

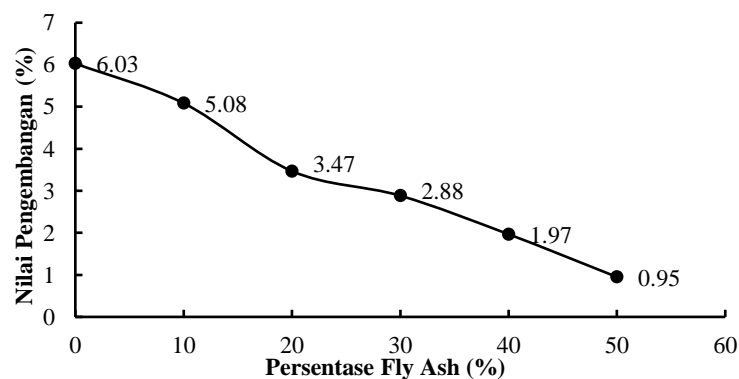
Tabel 8. Hasil Pengujian Pematatan Standar Proctor

No	Variasi Benda Uji	Kadar Air Optimum (%)	Berat Volume Kering Maksimum (gr/cm ³)
1.	Tanah Asli	28,83	1,33
2.	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% Fly Ash	27,74	1,35
3.	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% Fly Ash	26,87	1,37
4.	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% Fly Ash	25,09	1,39
5.	Tanah Asli + 5% Kapur + 40% Fly Ash	23,97	1,40
6.	Tanah Asli + 5% Kapur + 50% Fly Ash	21,98	1,40

Penurunan kadar air optimum dan kenaikan berat volume kering maksimum karena sifat kapur yang dapat memancarkan panas yang menyebabkan tanah asli menjadi cepat kering akibat proses hidrasi (Sosrodarsono, 2000). Berat volume kering maksimum mengalami peningkatan karena campuran kapur dan *fly 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. Pada penelitian ini didapat pula nilai berat volume kering maksimum untuk variasi IV dan V mempunyai nilai yang sama yaitu 1,40 gr/cm³.

3.5.5. Potensi Pengembangan Tanah

Laju potensi pengembangan tanah asli lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang telah distabilisasi. Potensi pengembangan pada tanah asli akan berkurang setelah tanah di stabilisasi menggunakan kapur 5% (tetap) dan variasi *fly ash* sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Untuk rata-rata potensi pengembangan dengan pemeraman selama 7 hari untuk tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Potensi Pengembangan Dengan Pemeraman 7 Hari Pada Tiap Variasai Campuran Kapur dan Fly Ash

Berkurangnya potensi pengembangan menunjukkan bahwa air lebih mudah masuk ke dalam tanah asli daripada tanah dengan campuran kapur dan *fly ash*. *Fly ash* berfungsi sebagai *filler* sehingga mengisi

rongga kosong antar butiran tanah dan membuat tanah menjadi lebih padat. Kapur memberikan sifat *cementitious* pada *fly ash* yang mengakibatkan tanah menjadi lebih padat dan keras sehingga air sulit masuk ke dalam tanah.

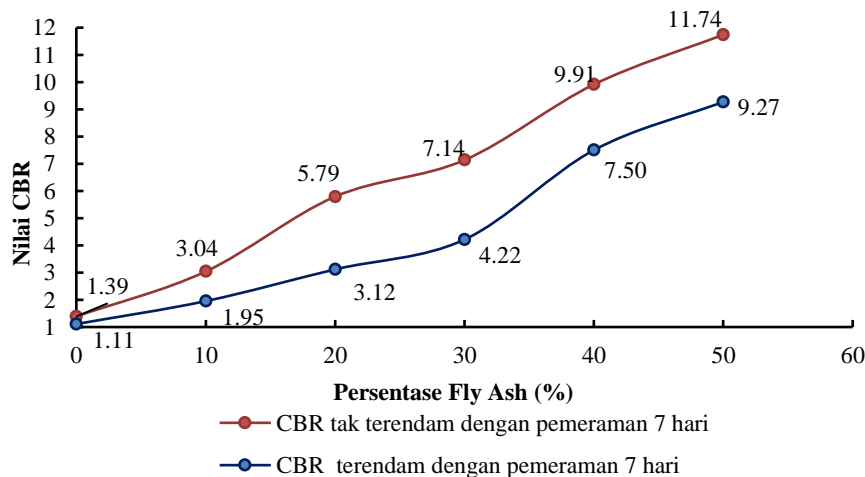
3.5.5. California Bearing Ratio (CBR)

Pada penelitian ini pengujian CBR dibagi menjadi 2, yaitu CBR terendam dengan pemeraman dan CBR tak terendam dengan pemeraman selama 7 hari. Hasil pengujian CBR ditampilkan dalam Tabel 9.

Tabel 9` Hasil Pengujian CBR

No	Jenis Pengujian	Variasi Campuran Kapur dan <i>Fly Ash</i>					
		Tanah Asli	I	II	III	IV	V
1	CBR Tak Terendam Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	1,39	3,04	5,79	7,14	9,91	11,74
2	CBR Tak Terendam Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	1,11	1,95	3,12	4,22	7,50	9,24

Nilai CBR mengalami peningkatan seiring penambahan persentase *fly ash*. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR dikarenakan adanya reaksi *pozzolanic* yang mengakibatkan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah sehingga tanah lebih keras dan kaku. Keadaan tanah yang keras dan kaku seperti inilah yang menjadikan nilai CBR menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli. 2 model pengujian CBR pada tiap variasi campuran kapur dan *fly ash* dibandingkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Uji CBR Pada Kondisi Terendam dan Tak Terendam Pada Tiap Variasai Campuran Kapur dan *Fly Ash*

Nilai CBR tak terendam lebih besar daripada nilai CBR terendam. Hal ini akibat dari peningkatan kadar air pada sampel tanah saat terendam yang menyebabkan semakin lemahnya daya dukung tanah. Penurunan nilai CBR terendam dibandingkan dengan CBR tak terendam dikarenakan kadar air berlebih pada sampel sehingga saat pembebanan.

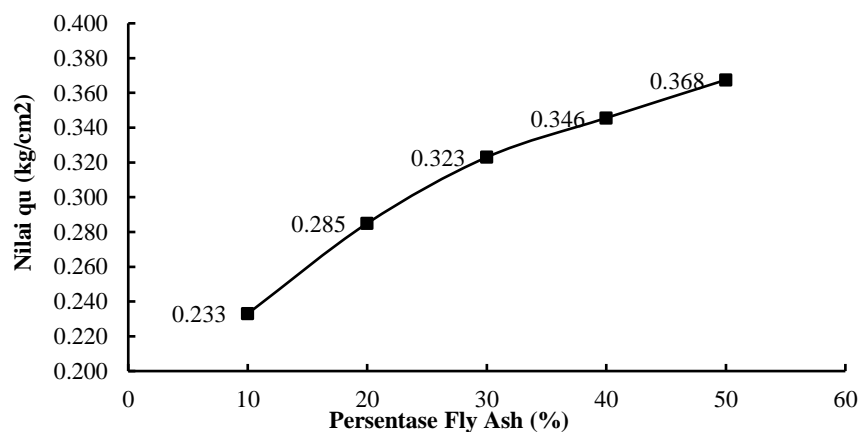
3.5.5. Uji Kuat Tekan (*Unnconfined Compression Test*)

Pengujian UCT bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi menggunakan kapur dan *fly ash*. Dari uji kuat tekan bebas ini diperoleh nilai daya dukung tanah (q_u) dan diperoleh nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) yaitu sebesar $\frac{1}{2} q_u$. Hasil pengujian kuat tekan bebas (UCT) pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 10.

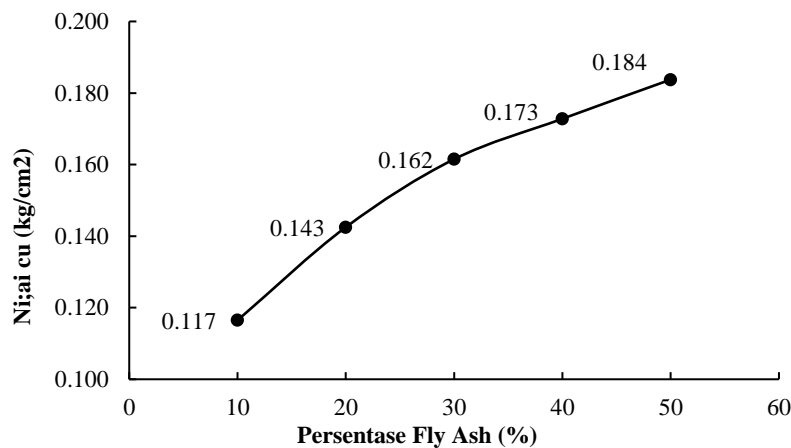
Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

No	Jenis Sampel	Daya Dukung Tanah (q_u) (kg/cm ²)	Kohesi <i>Undrained</i> Tanah (c_u) (kg/cm ²)
1.	Tanah Asli	28,83	1,33
2.	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly Ash</i>	27,74	1,35
3.	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly Ash</i>	26,87	1,37
4.	Tanah Asli + 5% Kapur + 30% <i>Fly Ash</i>	25,09	1,39
5.	Tanah Asli + 5% Kapur + 40% <i>Fly Ash</i>	23,97	1,40
6.	Tanah Asli + 5% Kapur + 50% <i>Fly Ash</i>	21,98	1,40

Untuk nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi tanah *undrained* (c_u) dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Hubungan Antara Nilai Daya Dukung Tanah (q_u) Pada Tiap Variasai Campuran Kapur dan *Fly Ash*

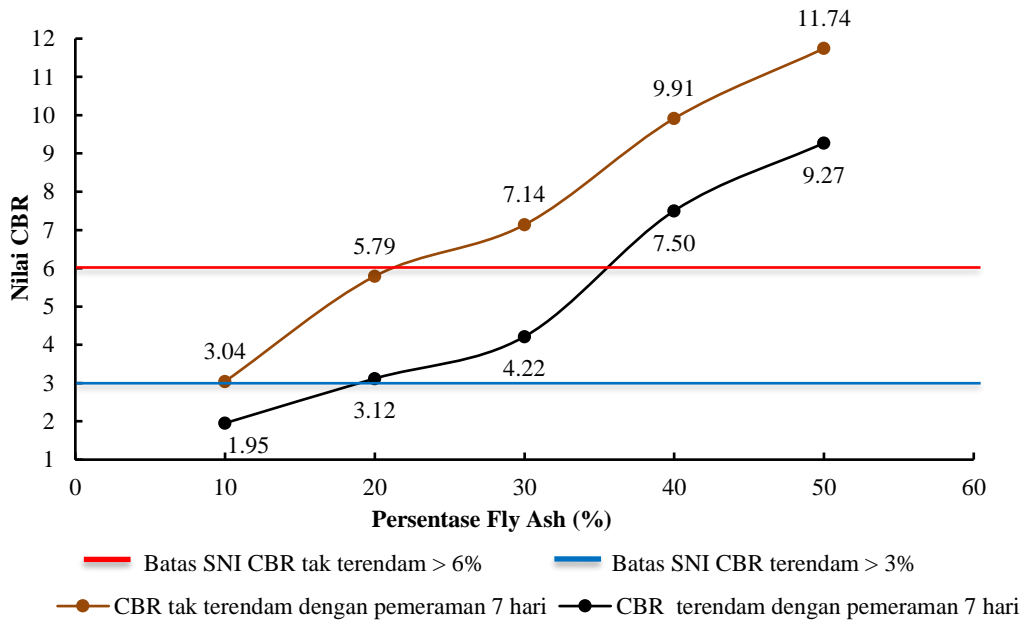


Gambar 7. Hubungan Antara Nilai Kohesi *Undrained* Tanah (c_u) Tiap Variasai Campuran Kapur dan *Fly Ash*

Seiring penambahan kapur 5% (tetap) dan *fly ash* dengan variasi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, nilai daya dukung tanah (q_u) meningkat berturut-turut sebesar 48,40%, 81,52%, 105,73%, 120,38% dan 134,39% dari nilai daya dukung tanah (q_u) tanah asli sebesar 0,157 kg/cm² dan nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) meningkat berturut-turut sebesar 48,10%, 81,01%, 105,06%, 118,99% dan 132,91% dari nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) tanah asli sebesar 0,079 kg/cm². Peningkatan nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi tanah *undrained* (c_u) ini disebabkan oleh reaksi *pozzolanic* dan *cementious* yang terjadi pada tanah akibat pencampuran kapur dengan *fly ash* sehingga tanah akan semakin keras dan kaku sehingga meningkatkan kekuatan tanah

3.5.5. Daya Dukung Tanah

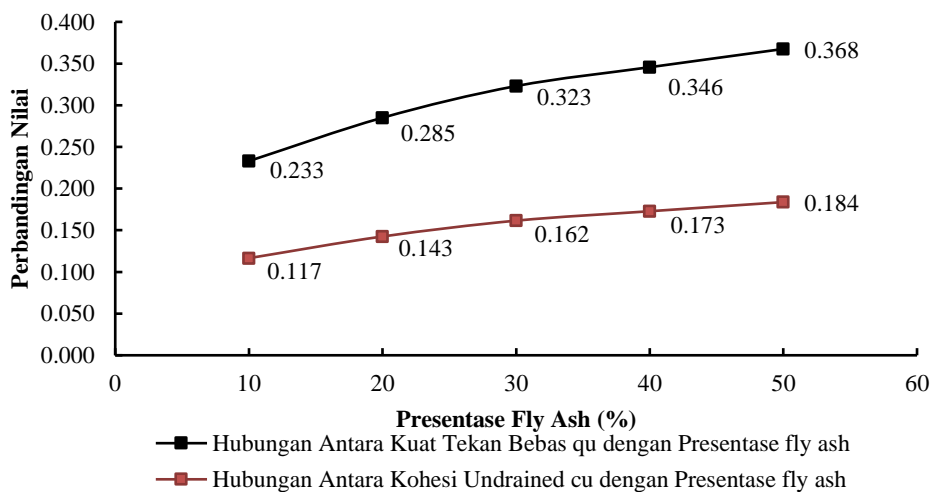
Menurut SNI 03-1732-1989 syarat nilai kekuatan CBR untuk tanah dasar, yaitu CBR dalam kondisi terendam adalah >3% sedangkan untuk nilai CBR dalam kondisi kering adalah >6%. Untuk perbandingan menurut SNI 03-1732-1989 dapat dilihat pada grafik pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan Antara Batas CBR Menurut SNI 03-1732-1989 Pada Tiap Variasi Campuran Kapur dan Fly Ash

Nilai CBR pada Variasi IV dan V memenuhi kedua syarat nilai CBR, karena nilai CBRnya >6% dalam keadaan terendam (dengan pemeraman) dan tak terendam (dengan pemeraman). Nilai CBR paling tinggi dihasilkan pada pengujian CBR tak terendam dengan pemeraman, di mana menghasilkan nilai CBR sebesar 11,74% pada variasi campuran kapur 5% dan fly ash 50%. Namun untuk memodelkan kondisi tanah di lapangan pada keadaan jenuh air setelah distabilisasi, maka nilai CBR yang sebaiknya digunakan adalah nilai CBR terendam dengan pemeraman 7 hari di mana menghasilkan nilai CBR sebesar 9,24 % pada variasi campuran kapur 5% dan fly ash 50%.

Pengujian tekan bebas sendiri dilakukan untuk mengetahui kuat tanah apabila diberikan beban di atasnya. Dari hasil pengujian di dapat nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) seperti pada grafik pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Antara Nilai Daya Dukung Tanah (q_u) Dan Nilai Kohesi *Undrained* Tanah (C_u)

Berdasarkan pada nilai daya dukung tanah (q_u) asli termasuk ke dalam tanah jenis lempung sangat lunak (Hardiyatmo, 2006. Tabel 2.9) dengan nilai $q_u = 0,157 \text{ kg/cm}^2 = 15,396 \text{ kN/m}^2$ dan setelah distabilisasi tanah mengalami kenaikan menjadi tanah lempung lunak dengan nilai q_u berturut-turut $0,233 \text{ kg/cm}^2 = 22,84 \text{ kN/m}^2$ pada Variasi I, $0,285 \text{ kg/cm}^2 = 27,948 \text{ kN/m}^2$ pada Variasi II, $0,323 \text{ kg/cm}^2 = 31,577 \text{ kN/m}^2$ pada Variasi III, $0,346 \text{ kg/cm}^2 = 33,931 \text{ kN/m}^2$ pada Variasi IV, dan $0,368 \text{ kg/cm}^2 = 36,088 \text{ kN/m}^2$ pada Variasi V. Ini menunjukkan tanah yang telah distabilisasi mengalami kenaikan dibandingkan dengan tanah asli.

4. Kesimpulan

Pada pengujian tekan bebas di dapat nilai daya dukung tanah (q_u) dan nilai kohesi *undrained* tanah (c_u), mengalami kenaikan setiap penambahan variasi *fly ash*. Untuk nilai daya dukung tanah (q_u) didapat nilai terbesar $0,368 \text{ kg/cm}^2 = 36,088 \text{ kN/m}^2$. Demikian pula nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) didapat terbesar $0,184 \text{ kg/cm}^2 = 18,044 \text{ kN/m}^2$. Pada tiap penambahan *fly ash* daya dukung semakin meningkat dilihat dari nilai tekan bebas yang meningkat tiap penambahan *fly ash*. Nilai CBR tertinggi sebesar 11,74% untuk CBR tak terendam dan untuk CBR terendam di dapat nilai CBR sebesar 9,24% pada tiap campuran kapur 5% (tetap) dan *fly ash* 50%.

Dari penelitian di dapat kuat daya dukung maksimum untuk pengujian CBR tak terendam dengan pemeraman 7 hari terjadi pada variasi campuran kapur 5% (tetap) dan *fly ash* 50% dengan nilai daya dukung tanahnya sebesar 11,74%. Untuk nilai CBR terendam dengan pemeraman 7 hari terjadi pada variasi campuran kapur 5% (tetap) dan *fly ash* 50% dengan nilai daya dukung tanahnya sebesar 9,27%. Untuk pengujian tekan bebas di dapat nilai daya dukung tanah (q_u) terbesar $0,368 \text{ kg/cm}^2$ pada campuran 5% kapur dan 50% *fly ash*. Untuk nilai kohesi *undrained* tanah (c_u) terbesar $0,184 \text{ kg/cm}^2$ pada campuran 5% kapur dan 50% *fly ash*.

Daftar Pustaka

- ASTM. 1980. *Annual Books Of ASTM Standards*. American Society For Testing Material. Philadelphia
- Das Braja M. 2009. *Principles Of Geotechnical Engineering*. 7th Edition, SI. Cengage Learning. USA
- 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
- 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
- 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
- SNI 03-1732-1989. *Tebal Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*, Petunjuk Pelaksanaan
- Ullu, Marta. 2021. *Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 10 No. 1. Universitas Nusa Cendana. Kupang