



Analisis Beban Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung IPAL

(Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung IPAL UT-HO-Jakarta Timur)

Irpan Rifandi¹, Eko Walujodjati²

Jurnal Konstruksi
Sekolah Tinggi Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@sttgarut.ac.id

¹irfanrifandi9@gmail.com

²eko.walujodjati@sttgarut.ac.id

Abstrak – Indonesia berada di wilayah dengan tingkat rawan terhadap gempa yang tinggi dikarenakan pertemuan lempeng yang kompleks. lempeng tersebut termasuk tiga lempeng besar dan lempeng kecil lainnya. Menurut SNI-03-1726(2002), Jakarta Timur termasuk di zona gempa 4 dengan resiko gempa menengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batasan perioda fundamental struktur dan beban gempa yang terjadi pada gedung IPAL dengan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726-2019. Batasan perioda fundamental struktur (T) dipengaruhi oleh tipe struktur dan ketinggian bangunan. Semakin tinggi bangunan maka nilai T akan semakin besar. Dari hasil perhitungan beban gaya lateral ekuivalen di tiap lantai didapat gaya yang terbesar terjadi pada lantai basemen karena dilantai basemen total berat seismik (W) lebih besar dari lantai dasar. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa semakin besar berat seismik maka gaya lateral ekuivalen akan semakin besar.

Kata Kunci – Batasan Periode Fundamental; Gaya Lateral Ekuivalen; SNI 1726-2019; Statik Ekuivalen.

I. PENDAHULUAN

Indonesia berada di wilayah zona tektonik yang aktif dikarenakan pertemuan antar lempeng-lempeng yang besar dan kecil. Oleh karena itu, wilayah di indonesia rawan terhadap gempa akibat dari jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Standar perencanaan bangunan gempa SNI 1726-2012 di revisi pada tahun 2019 menjadi SNI 1726-2019. Standar tersebut menjelaskan bahwa dalam perencanaan pengaruh gempa rencana harus di tinjau terlebih dahulu dan struktur dari bangunan gedung harus dilakukan pengevaluasian.

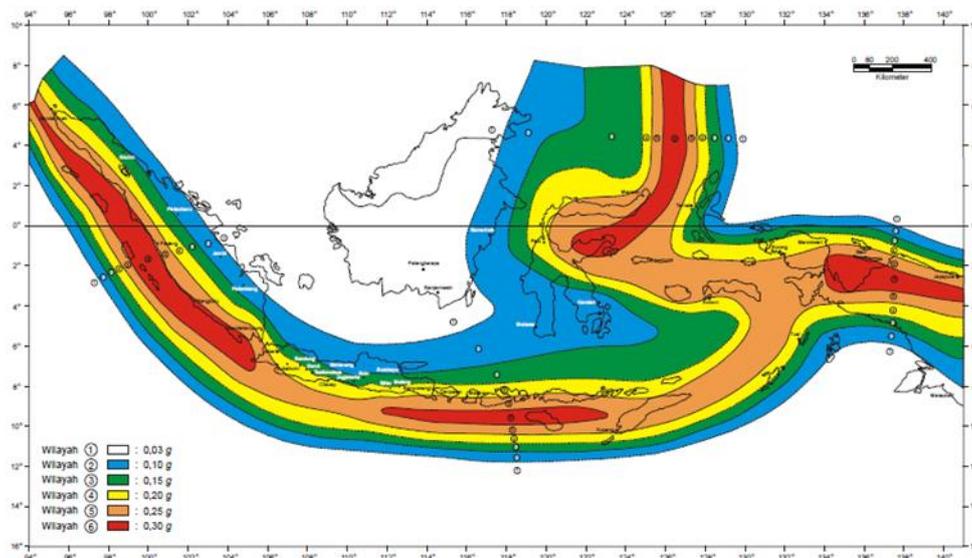
Terdapat penelitian yang menyimpulkan bahwa perhitungan pembebanan gempa dengan menggunakan metode statik ekuivalen lebih akurat ketimbang menggunakan metode analisis respon spektrum dikarenakan dalam penelitian ini ketinggian bangunan hanya sekitar 28 meter [1]. Hal yang membedakan berat struktur lantai 1 dengan lantai tipikal (2-9) dan lantai atap hanyalah berat kolom dan berat dinding geser serta beban gempa statik ekuivalen yang terjadi menjelaskan bahwa Tinggi setiap lantai mempengaruhi [2]. Kemudian ada penelitian mengenai Struktur gedung beraturan di wilayah kota Semarang yang perencanaannya sebagai Struktur Rangka dengan Pemikul Momen Khusus (SRPMK) [3]. Hasil penelitian menunjukkan beban gempa statik ekuivalen yang terjadi dipengaruhi berat seismik efektif (W) dan ketinggian di tiap lantai. Apabila berat seismik efektif (W) dan tinggi tiap lantai semakin besar maka beban gempa statik ekuivalen yang terjadi juga akan semakin besar.

Penelitian selanjutnya adalah Analisis Nilai Simpangan Horizontal Pada Dinding Geser (Shearwall) Di Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Rencana (Studi Kasus : Technoplex Living Apartment Bandung) [4], menghasilkan nilai simpangan horizontal tertinggi pada arah X dengan nilai 0,032 m lebih besar dibandingkan pada arah Y dengan nilai 0,0042 m. Karena analisis ini dilakukan pada satu arah yaitu arah X dengan persentase beban gempa yang diterima menggunakan sistem ortogonal dimana struktur gedung arah X menerima beban gempa sebesar 100% sedangkan arah Y sebesar 30% dari beban gempa hasil perhitungan metode analisis respons spektrum. Nilai simpangan horizontal yang dihasilkan berada dibawah batas keamanan simpangan yang diijinkan berdasarkan pada SNI 1726 Tahun 2012. Dengan persentase arah X sebesar 56,7% sedangkan arah Y sebesar 92,3%. Perencanaan beban gempa dengan metode statik ekuivalen masih bisa digunakan ketika ketinggian bangunan kurang dari 40 meter ataupun 10 tingkat pengukurannya dari taraf penjepit lateral, serta untuk bangunan lebih dari ketinggian 40 meter ataupun 10 tingkat perencanaan gaya gempa direncanakan dengan analisis dinamik [5].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis statik ekuivalen merupakan perhitungan yang disederhanakan dari beban gempa sebenarnya, penyederhanaan menjadi gaya horizontal diakibatkan dari gaya inersia yang bekerja di suatu massa akibat gempa. Pembebanan gempa yang sebenarnya bersumber dari gerakan tanah di dasar, yang kemudian menjalar pada elemen bangunan.

Indonesia dibagi dalam enam wilayah gempa yang menyatakan wilayah gempa 1 sebagai daerah dengan resiko gempa terkecil dan wilayah gempa 6 sebagai daerah dengan resiko gempa terbesar [5].



Gambar 1: Wilayah Gempa Indonesia Dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar Dengan Periode Ulang 500 Tahun

Perhitungan Periode fundamental (T_a) menggunakan rumus yaitu [6]:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad \dots(1)$$

Dimana:

h_n adalah ketinggian dari struktur (m), diatas dasar bangunan sampai tingkat tertinggi struktur bangunan, dan koefisien C_t dan x [6].

Kontrol nilai (T) yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Jika $T_c > C_u T_a$ digunakan nilai $T = C_u T_a$

- Jika $T_a < T_c < C_u T_a$ digunakan nilai $T = T_c$
- Jika $T_c < T_a$ digunakan nilai $T = T_a$

Nilai V dihitung dengan rumus yaitu:

$$V = C_s \cdot W \quad \dots(2)$$

Dimana:

C_s = koefisien dari respon seismik

W = berat seismik

Nilai C_s , direncanakan dengan rumus yaitu:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots(3)$$

Dimana:

SDS = parameter percepatan dari respons spektral desain dalam rentang periode pendek.

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor ketamaan gempa yang ditentukan

Nilai C_s yang direncanakan disesuaikan dari rumus di atas tidak perlu melebihi rumus yaitu:
untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots(4)$$

untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{SD1 T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots(5)$$

Nilai C_s tidak berada di bawah dari nilai

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berada di daerah dimana S_1 lebih besar atau sama dengan hasil 0,6 g, C_s tidak berada di bawah dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots(6)$$

Dimana:

S_{D1} = parameter percepatan dari respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental (detik) yang ditentukan

S_1 = parameter percepatan dari respons spektral maksimum yang dipetakan

Gaya seismik lateral (F_x) disebarang tingkat dihitung dengan rumus berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad \dots(7)$$

Dimana:

C_{vx} = faktor dari distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad \dots(8)$$

Dimana:

w_i atau w_x = bagian berat bangunan total struktur (w) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

h_i atau h_x = ketinggian dari dasar bangunan sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang berkaitan dengan periode struktur dengan nilai yaitu:

- 1) bangunan dengan $T \leq 0.5$ detik, $k = 1$
- 2) bangunan dengan $T \leq 2.5$ detik, $k = 2$
- 3) bangunan dengan $0.5 < T < 2.5$ detik, $k = 2$ ataupun interpolasi linier antara nilai 1 dan 2

III. METODE PENELITIAN

A. Wilayah Studi

Penelitian ini berada di wilayah JL. Raya Bekasi KM.22 Cakung Jakarta Timur.



Gambar 2: Lokasi Penelitian

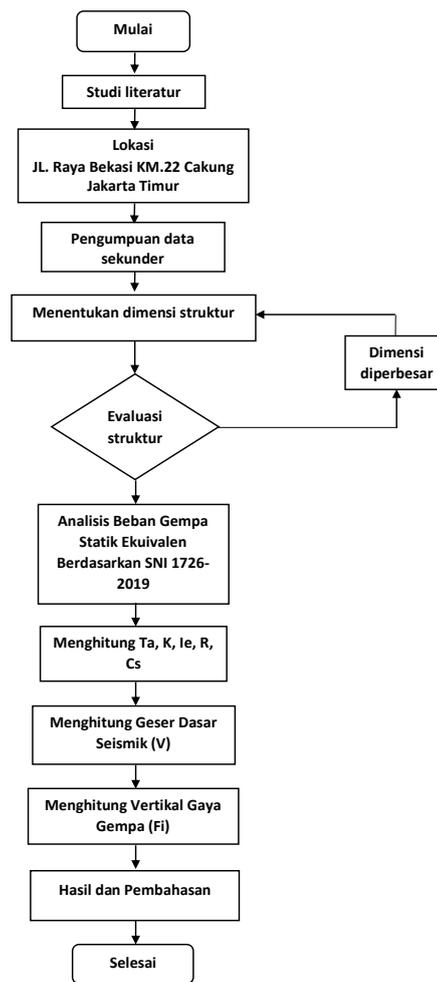
B. Tahapan Analisis

Tahapan pada penelitian ini yaitu:

- 1) Mengevaluasi struktur menggunakan program analisis struktur;
- 2) Analisis statik ekuivalen, meliputi tahap perhitungan [6]:
 - a. Batasan perioda fundamental struktur
 - b. Reduksi beban gempa (R) dan faktor keutamaan struktur (I)
 - c. Menghitung geser dasar seismik (V)
 - d. Menghitung vertikal gaya gempa (Fi)
- 3) Hasil dan pembahasan
- 4) Kesimpulan

C. Bagan Alir Penelitian

Tahapan dari proses pada penelitian penggambaran dalam diagram alir pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3: Bagan Alir Penelitian

D. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah gedung instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Adapun informasi mengenai gedung adalah sebagai berikut:

- 1) Terdiri dari lantai basemen dan lantai dasar;
- 2) Ketinggian lantai basemen adalah 4,2 meter;
- 3) Ketinggian lantai dasar (1) adalah 8,15 meter;
- 4) Ketinggian lantai dasar (2) adalah 7,15 meter;
- 5) Sistem dari rangka beton pemikul momen khusus;
- 6) wilayah zona gempa IV;
- 7) Dimensi struktur:

TYPE KOLOM	K1 700x700	K2 400x400
PENAMPANG		
TULANGAN UTAMA	24 D22	16 D16
TULANGAN SENGKANG	D10-150/200	D10-200/250
TULANGAN TIES	D10-300	D10-200/250

Gambar 4: Dimensi Kolom

TYPE BALOK	BALOK LANTAI DASAR					
	B1D 300X600		B2D 300X400		B3D 200X400	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG						
TULANGAN UTAMA ATAS	4 D16	2 D16	3 D16	2 D16	2 D16	2 D16
TULANGAN UTAMA BAWAH	2 D16	3 D16	2 D16	3 D16	2 D16	2 D16
TULANGAN SENGKANG	D10-25	D10-45D	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D
TULANGAN PINGGANG	2 D10	2 D10				

Gambar 5: Dimensi Balok Lantai Dasar

TYPE BALOK	BALOK LABORATORIUM DAN PEMBIBITAN						
	B1 250X500		B2 250X450		B3 250X400		B1 KANTILEVER
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
PENAMPANG							
TULANGAN UTAMA ATAS	5 D16	3 D16	4 D16	3 D16	4 D16	3 D16	4 D16
TULANGAN UTAMA BAWAH	3 D16	4 D16	3 D16	4 D16	3 D16	4 D16	3 D16
TULANGAN SENGKANG	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D	D10-15D

Gambar 6: Dimensi Balok Laboratorium

TYPE BALOK	BALOK ATAP						
	B1A 250X500		B2A 250X450		B3A 250X400		B1 KANTILEVER
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
PENAMPANG							
TULANGAN UTAMA ATAS	3 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	4 D16
TULANGAN UTAMA BAWAH	2 D16	3 D16	2 D16	3 D16	2 D16	3 D16	2 D16
TULANGAN SENGKANG	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D	D10-15D

Gambar 7: Dimensi Balok Atap

TYPE TIE BEAM	TIE BEAM BASEMEN							
	TB1 600x850		TB2 600x850		TB3 600x850		TB26 600x850	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG								
TULANGAN UTAMA ATAS	3 D22	5 D22	5 D22	5 D22	6 D22	5 D22	5 D22	5 D22
TULANGAN UTAMA BAWAH	5 D22	7 D22	5 D22	5 D22	5 D22	6 D22	5 D22	5 D22
TULANGAN SENGKANG	D13-15D	D13-25	D10-45D	D13-20D	D13-15D	D13-45D	D13-15D	D10-20D
TULANGAN PINGGANG	4 D10	4 D10	2 D10	2 D10	4 D10	4 D10	4 D10	4 D10

Gambar 8 : Dimensi Tie Beam Basemen

TYPE TIE BEAM	TIE BEAM LANTAI DASAR					
	TB1D 600x850		TB2D 350x800		TB3D 250x450	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
PENAMPANG						
TULANGAN UTAMA ATAS	5 D16	4 D16	4 D16	3 D16	4 D16	3 D16
TULANGAN UTAMA BAWAH	5 D16	6 D16	4 D16	4 D16	4 D16	3 D16
TULANGAN SENGKANG	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D	D10-15D	D10-20D
TULANGAN PINGGANG	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10		

Gambar 9: Dimensi Tie Beam Lantai Dasar

8) Spesifikasi material yang digunakan:

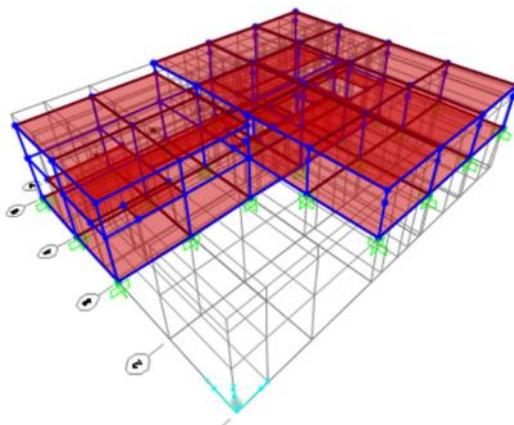
LOCATION	GRADE	SLUMP
BASEMENT: - BOREDPILE	K - 350	18 ± 2 cm
- PILECAP, SLAB, BEAM, SHEAR WALL, COLUMN	K - 350	12 ± 2 cm
LT. DASAR, LT.1, ROOF: - SLAB, BEAMS, COLUMN FOUNDATION	K - 300	12 ± 2 cm

Gambar 10: Mutu Beton

GRADE	MIN Fy	BAR NATION	POSITION	REMARKS
BJTD U - 40	400 Mpa	D10 THRU D25	MAIN BARS, STIRRUPS	DEFORMED BARS
BJTP U - 24	240 Mpa	Ø8 - Ø10	STAIRS BAR	PLAIN BARS

Gambar 11: Mutu Baja Tulangan

9) Gambar 3D gedung IPAL:

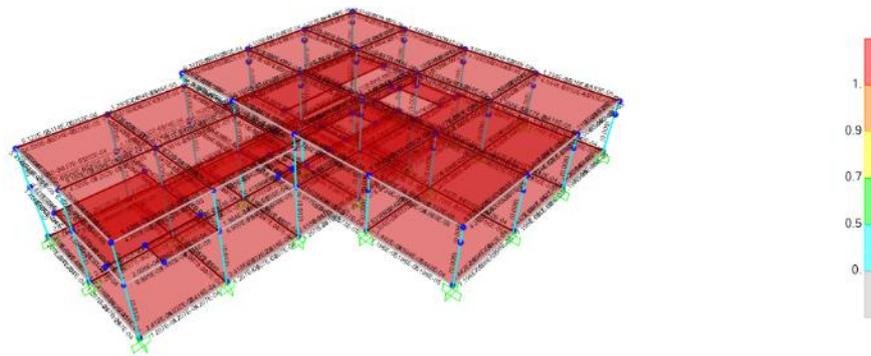


Gambar 12: 3D Gedung IPAL

IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Evaluasi Struktur

Dengan diketahui dari dimensi dan mutu kolom, balok, dan Tie beam diatas di evaluasi strukturnya dengan menggunakan program analisis struktur yang terdapat di Gambar 13.



Gambar 13: Hasil Evaluasi Struktur

Dari hasil diatas dapat di lihat kolom berwarna biru, balok dan *tie beam* berwarna abu-abu dari hasil tersebut balok dan kolom tidak berwarna merah yang berarti tidak aman sehingga dimensi dan mutu pada kolom, balok, dan tie beam kuat terhadap beban yang dipikulnya. Beban tersebut ialah beban yang membebani bangunan.

B. Hasil Perhitungan Metode Statik Ekuivalen

Perioda fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, didapat dengan ketinggian gedung 8.15 m dengan koefisien C_t adalah 0,0466, dengan x ialah 0,9 dari SNI 1726-2019 sehingga dihitung sebagai berikut:

$$T_a = 0,0466 \times 8,150.9 = 0.31 \text{ detik}$$

Diketahui $SD1$ adalah 0,391 g maka di dapat nilai C_u adalah 1,4 dari SNI 1726-2019. nilai T_c didapat dari program analisis struktur dengan nilai 0,23 maka:

$$T_{max} = 1,4 \times 0,23 = 0,322 \text{ detik}$$

nilai T yang digunakan:

$$T_c < T_a$$

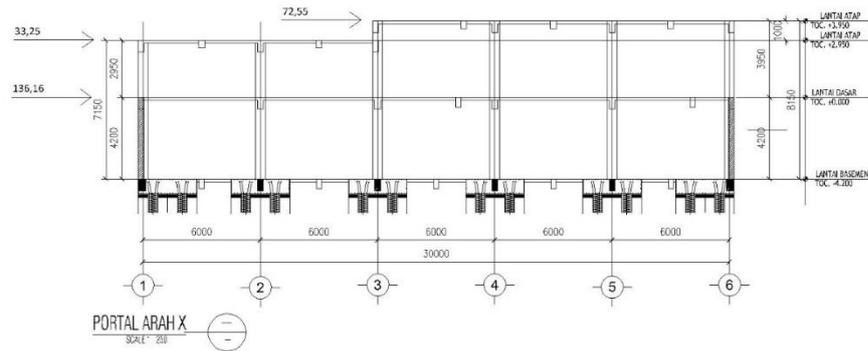
didapat nilai $T = T_a$ sehingga dipakai $T = 0,31$ detik

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan analisis statik ekuivalen maka didapatkan nilai pembebanan gempa atau gaya lateral ekuivalen per lantai, untuk nilai gaya seismik lateral dengan variasi jumlah tingkat diketahui pada Tabel 8.

Tabel 1: Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen

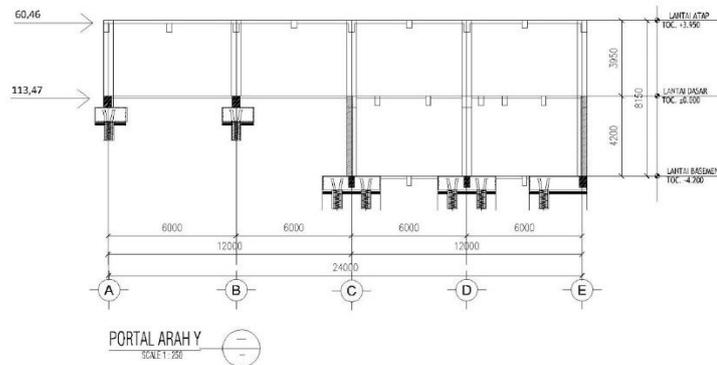
Lantai	h_i (m)	h_i^k	W_i (kN)	$W_i \times h_i^k$ (kNm)	F_i x-y (kN)	untuk tiap portal		
						1/6 Fix	1/5 F_{iy}	1/3 F_{iy}
dasar	8.15	8.15	2651.96	21613.47	362.74	60.46	72.55	
dasar	7.15	7.15	831.2	5943.08	99.74	16.62		33.25
basemen	4.2	4.2	9658.37	40565.17	680.81	113.47	136.16	
		Σ	13141.53	68121.71				

Pada arah X memiliki 6 buah portal di setiap lantai dan pada arah Y memiliki 5 buah portal (di lantai basemen dan lantai dasar dengan tinggi 8,15 meter) dan 3 buah portal pada arah Y (di lantai dasar dengan tinggi 7,15 meter). Maka gaya lateral ekuivalen per lantai pembagian sama rata ke masing-masing pada join di lantai tersebut.



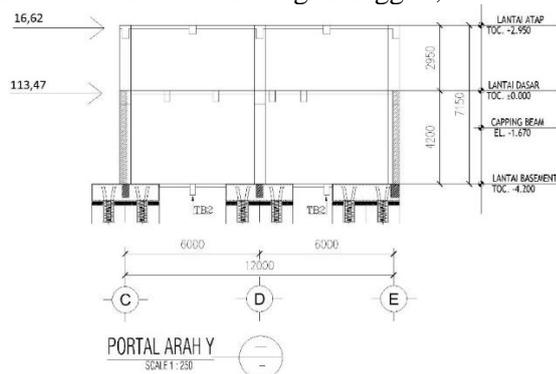
Gambar 14: Pendistribusian Gaya Lateral Ekuivalen Pada Masing-Masing Lantai Arah X

Pada Gambar 4.4 vertikal gaya gempa pada arah X di masing-masing join adalah $680,81/5 = 136,16$ kN untuk lantai basemen, $362,74/5 = 72,55$ kN untuk lantai dasar dengan tinggi 8,15 m dan $99,74/3 = 33,25$ kN untuk lantai dasar dengan tinggi 7,15 m.



Gambar 15: Pendistribusian Gaya Lateral Ekuivalen Pada Masing-Masing Lantai Arah Y (1)

Pada Gambar 4.5 vertikal gaya gempa pada arah Y di masing-masing join adalah $680,81/6 = 113,47$ kN untuk lantai basemen, $362,74/6 = 60,46$ kN untuk lantai dasar dengan tinggi 8,15 m.



Gambar 16: Pendistribusian Gaya Lateral Ekuivalen Pada Masing-Masing Lantai Arah Y (2)

Pada Gambar 16 vertikal gaya gempa pada arah X di masing-masing join adalah $680,81/6 = 113,47$ kN untuk lantai basemen, dan $99,74/6 = 16,62$ kN untuk lantai dasar dengan tinggi 7,15 m. Dari hasil perhitungan yang didapatkan dalam perhitungan menghasilkan bahwa batasan periode fundamental dipengaruhi oleh tipe struktur yang digunakan dan juga dipengaruhi tinggi lantai. Semakin besar tinggi lantai maka batasan perioda fundamental struktur semakin tinggi nilainya. Dari hasil perioda fundamental struktur didapatkan pada

program analisis struktur bahwa nilai T_c atau T dari program analisis struktur kurang dari batasan perioda yang di dapatkan berdasarkan persamaan dari SNI 1726-2019 sehingga perioda fundamental yang digunakan adalah periode fundamental dari SNI 1726-2019.

Beban gaya lateral ekuivalen yang terjadi dari perhitungan diatas dipengaruhi besarnya berat seismik efektif (W) dan eksponen yang terkait dengan periode struktur menurut SNI 1726-2019. semakin besar berat seismik efektif (W) dan eksponen yang terkait dengan periode struktur maka beban gaya lateral ekuivalen yang terjadi akan semakin besar

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil dari penelitian mengenai analisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen pada gedung IPAL, didapat kesimpulan yaitu:

- 1) Batasan perioda fundamental struktur (T) digunakan adalah 0,31 detik karena nilai T_c yang didapat dari program analisis struktur sebesar 0,23 maka hasil T_c kurang dari T_a sehingga nilai $T = T_a$. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa batasan perioda fundamental struktur (T) dipengaruhi oleh tinggi lantai pada bangunan gedung. Semakin besar tinggi lantai maka nilai batasan perioda fundamental struktur juga akan semakin besar nilainya;
- 2) Dari hasil perhitungan didapat total vertikal gaya gempa atau gaya lateral ekuivalen untuk lantai basemen sebesar $F_x = 680,81$ kN, untuk lantai dasar tinggi 7,15 m $F_x = 99,74$ kN, dan untuk lantai dasar dengan tinggi 8,15 m $F_x = 362,74$ kN. maka vertikal gaya gempa per lantai dapat pembagian sama rata pada masing-masing join di lantai tersebut. Untuk lantai basemen di dapat vertikal gaya gempa adalah 113,47 kN pada arah X dan 136,16 kN pada arah Y, di lantai dasar tinggi 7,15 m didapat vertikal gaya gempa adalah 16,62 kN untuk arah X dan 33,25 kN untuk arah Y, dan di lantai dasar dengan tinggi 8,15 m didapat vertikal gaya gempa adalah 60,46 kN untuk arah X dan 72,55 kN untuk arah Y. Hasil tersebut menjelaskan bahwa semakin besar berat sesimik (W) dan eksponen berkaitan dengan periode struktur maka beban gaya lateral ekuivalen juga akan semakin besar.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitan, saran dari penulis yang perlu disampaikan adalah:

- 1) Di coba analisis beban gempa dengan metode yang berbeda seperti metode respon spektrum dan *time history*;
- 2) Perbandingan analisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI yang lama dengan SNI yang sudah diperbaharui.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Tarigan and D. R. Teruna, "Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa Dengan Menggunakan," *J. Tek. Sipil USU*, pp. 1–10, 2014.
- [2] I. Imran and F. Hendrik, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: ITB Press, 2010.
- [3] M. Sitompul, "Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen SNI 1726-2019." Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, 2017.
- [4] M. A. Agesti and E. Walujodjati, "Analisis Nilai Simpangan Horizontal Pada Dinding Geser (Shearwall) Di Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Rencana," Garut, 2019.
- [5] SNI-1726-2002 "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung." Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Bandung, 2002.

- [6] SNI 1726:2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [7] Hary C. Hardiyatmo, *Analisis Dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2010.
- [8] N. Safira, S. Sebayang, and M. Helmi, "Analisis Pengaruh Beban Gempa pada Gedung Tiga Lantai Menggunakan Metode Statik Ekuivalen," *JRSDD*, vol. 6, no. 3, pp. 273–282, 2018.
- [9] SNI 1726:2012 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2012.