

RESPONS KETIDAKBERATURAN STRUKTUR TORSI DAN TORSI BERLEBIH GEDUNG 16 LANTAI MENGGUNAKAN METODE *LINEAR TIME HISTORY ANALYSIS*

Imam Taufik¹, Seplika Yadi², Pinta Astuti³

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Geblagan, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183

Email korespondensi : imamtaufik46@outlook.com

²Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Geblagan, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183

Email : seplika.yadi@ft.umy.ac.id

³Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Brawijaya, Geblagan, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183

Email : pinta.astuti@ft.umy.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan sebuah negara yang rawan bencana gempa bumi. Salah satu gempa besar yang terjadi di Indonesia adalah gempa Yogyakarta pada 27 Mei 2006 dengan kekuatan magnitudo (M_w) 6,3 yang menghancurkan infrastruktur sebanyak 616.458 unit bangunan pemukiman. Berdasarkan data tersebut maka perlunya mengevaluasi gedung atau struktur yang sudah ada untuk mengetahui ketahanan gedung terhadap gempa. Metode *linear time history analysis* berdasarkan SNI 1726:2019 menjadi salah satu opsi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi struktur gedung dibantu dengan *software* berbasis elemen hingga yaitu ETABS versi 18.1.1. Beban gempa yang digunakan antara lain gempa San Fernando, Loma Prieta, dan Kobe yang telah diskala menggunakan metode penskalaan spektral dengan menyesuaikan lokasi gedung berada menggunakan *software SeismoMatch 2021* berdasarkan teori Al Atik dan Abrahamson (2010). Tinjauan yang dianalisis adalah periode fundamental, ragam getar, ketidakberaturan struktur torsi, dan ketidakberaturan torsi berlebih. Hasil analisis terhadap *modal analysis* menunjukkan bahwa pada *mode 1* mengalami translasi arah X dengan periode 2,16 detik, *mode 2* translasi arah Y dengan periode 1,832 detik, dan *mode 3* rotasi arah Z dengan periode 1,751 detik. hasil analisis terhadap ketidakberaturan struktur torsi dan torsi berlebih menunjukkan bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan struktur torsi berlebih, namun mengalami atau terjadi ketidakberaturan struktur torsi.

Kata kunci: Ketidakberaturan struktur torsi, ketidakberaturan struktur torsi berlebih, metode *linear time history analysis*.

ABSTRACT

Indonesia is a country prone to earthquake disasters. One of the major earthquakes that occurred in Indonesia was the Yogyakarta earthquake on May 27, 2006 with a magnitude (M_w) of 6.3 which destroyed infrastructure as many as 616,458 residential building. Based on these data, it is necessary to evaluate existing buildings or structures to determine the resilience of buildings to earthquakes. Linear time history analysis method based on SNI 1726:2019 is one of the options that can be used to evaluate the structure of buildings assisted by element-based software up to ETABS version 18.1.1. The earthquake load used includes the San Fernando, Loma Prieta, and Kobe earthquakes that have been scaled using spectral scaling methods by adjusting the location of buildings using SeismoMatch 2021 software based on the theory of Al Atik and Abrahamson. The reviews analyzed are fundamental periods, vibrating variety, torsion irregularity, and extreme torsion irregularity. The results of the analysis of modal analysis showed that in mode 1 experienced translation of direction X with a period of 2.16 seconds, mode 2 translation of direction Y with a period of 1,832 seconds, and mode 3 rotation of direction Z with a period of 1,751 seconds. The results of analysis of the torsion irregularity and extreme torsion irregularity show that torsional irregularity exist in the structure, but extreme torsional irregularity do not exist in the structure.

Keywords: Extreme torsion irregularity, torsion irregularity, linear time history analysis method.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara yang rawan bencana gempa bumi. Salah satu gempa besar adalah gempa Yogyakarta dengan kekuatan magnitudo (Mw) 6,3 yang terjadi pada 27 Mei 2006. Gempa Yogyakarta mengakibatkan 6.234 korban jiwa, 36.299 orang terluka, sekitar 1,5 juta orang kehilangan tempat tinggal, dan mengakibatkan kerusakan infrastruktur sebanyak 616.458 unit bangunan pemukiman [1]. salah satu bangunan yang mengalami kerusakan yang cukup parah adalah gedung STIE Kerjasama yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerusakan bangunan pada gedung STIE Kerjasama [2]

Kerusakan bangunan akibat gempa harus dihindari karena mempunyai dampak buruk dan menyebabkan banyak korban jiwa saat terjadinya gempa. Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah menerbitkan peraturan terbaru yaitu SNI 1726 : 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Melalui SNI peraturan tersebut diharapkan akan tercipta bangunan yang tahan gempa sehingga dapat meminimalisasi kerusakan bangunan bila terjadi gempa di kemudian hari.

SNI 1726 : 2019 dapat digunakan untuk mengevaluasi struktur bangunan yang telah ada. Terdapat dua tipe analisis untuk mengevaluasi struktur yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Pada umumnya analisis statik menggunakan metode statik ekuivalen dan *pushover analysis*, sedangkan analisis dinamik menggunakan analisis respons spektrum dan *time history analysis*. *Time history analysis* terbagi menjadi dua yaitu *linear time history analysis* (LTHA) dan *non-linear time history analysis*

(NLTHA). *Linear time history analysis* secara tepat dapat memperkirakan perilaku bangunan dalam kondisi layan yaitu ketika perilaku pada dasarnya elastis dan dapat diperkirakan terjadinya kerusakan struktural terbatas [3].

Gedung Student Dormitory adalah gedung tipe *high rise building* yang mempunyai fungsi sebagai tempat pusat penginapan di sekitar area Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Gedung *Student Dormitory* berlokasi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan kategori rawan gempa. Maka dari itu, pada penelitian ini akan mengevaluasi respons perilaku struktur gedung *Student Dormitory* terhadap beban gempa yang terjadi menggunakan metode *linear time history analysis* yang mengacu SNI 1726 : 2019. Penelitian ini dilakukan karena belum ada studi atau kajian pada bangunan tersebut menggunakan metode *linear time history analysis* menggunakan SNI 1726 : 2019.

Terdapat beberapa penelitian serupa dengan metode lain yang berbeda seperti penggunaan metode *pushover static* pada gedung hotel di Karanganyar yang mempunyai sistem struktur ganda (*dual system*) [4], *pushover static* pada struktur gedung 12 lantai sistem ganda (*dual system*) [5], dan metode *non linear time history analysis* pada dua sampel gedung yang mempunyai dinding *shearwall* [6].

Selanjutnya penelitian serupa yang menggunakan 2 metode *non linear time history analysis* (NLTHA) dan metode *pushover static* pada studi kasus gedung yang hancur saat terjadinya gempa Van (Turkey) yang mempunyai sistem strukturnya adalah sistem rangka pemikul momen [7] dan pada studi kasus bangunan perkantoran 20 lantai yang dirancang dengan sistem ganda (*dual system*) [8]. Lalu metode metode *non linear time history analysis* dan *respons spectrum analysis* yang digunakan pada dua sampel gedung yang mempunyai sistem tahan gaya lateral (*lateral force resisting force*) dengan menempatkan sistem *outridggers* setiap 15 lantai [9].

2. METODE PENELITIAN

Data Gempa *Ground Motion*

Penelitian ini menggunakan data gempa *time history*. Data ground motion (gerak tanah) yang digunakan adalah paling sedikit 3 pasang gerak tanah horizontal [10]. Kriteria pemilihan data gempa *time history* antara lain [11-13]:

1. Sumber gempa dan besaran magnitudo.
2. Jarak terhadap sumber gempa.
3. Deagregasi bahaya gempa pada tempat yang ditinjau.
4. Kondisi tanah
5. Bentuk dari *ground motion* diusahakan menyerupai respons spektrum target wilayah yang ditinjau.

Berdasarkan kriteria di atas maka didapatkan data gempa *time history* yang terlihat pada Tabel 1 [14].

Tabel 1. Data *ground motion* terpilih

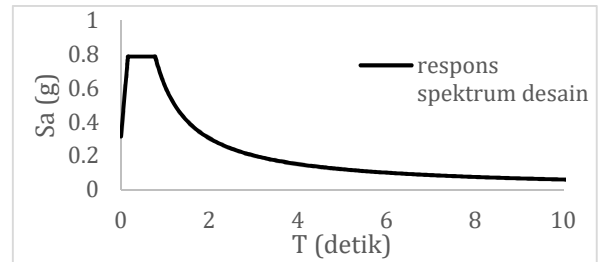
Kejadian	Tahun	Stasiun	M	R (km)
San Fernando	1971	Castaic – Old Ridge Route	6,6	19,3
Loma Prieta	1989	CSC	6,9	12,2
Kobe	1995	Fukushima	6,9	17,9

Respons Spektrum Desain

Penentuan beban gempa dinamik untuk bangunan gedung yang berada di dalam wilayah Indonesia sebagai grafik spektrum respons percepatan desain yang telah ditetapkan SNI 1726 : 2019 [10] dengan menggunakan peta gempa 2017 [1].

Pada wilayah Bantul pada koordinat *longitude*: 110.321914 dan *latitude*: -7.806578 serta memiliki kelas situs tanah sedang (SD) didapatkan respons spektrum desain sebagai berikut

PGA	: 0.482875 g
S_s	: 1.118954 g
S_1	: 0.506580 g
TL	: 20 detik
F_a	: 1.052418
F_v	: 1.793420



Gambar 2. Respons Spektrum desain [15]

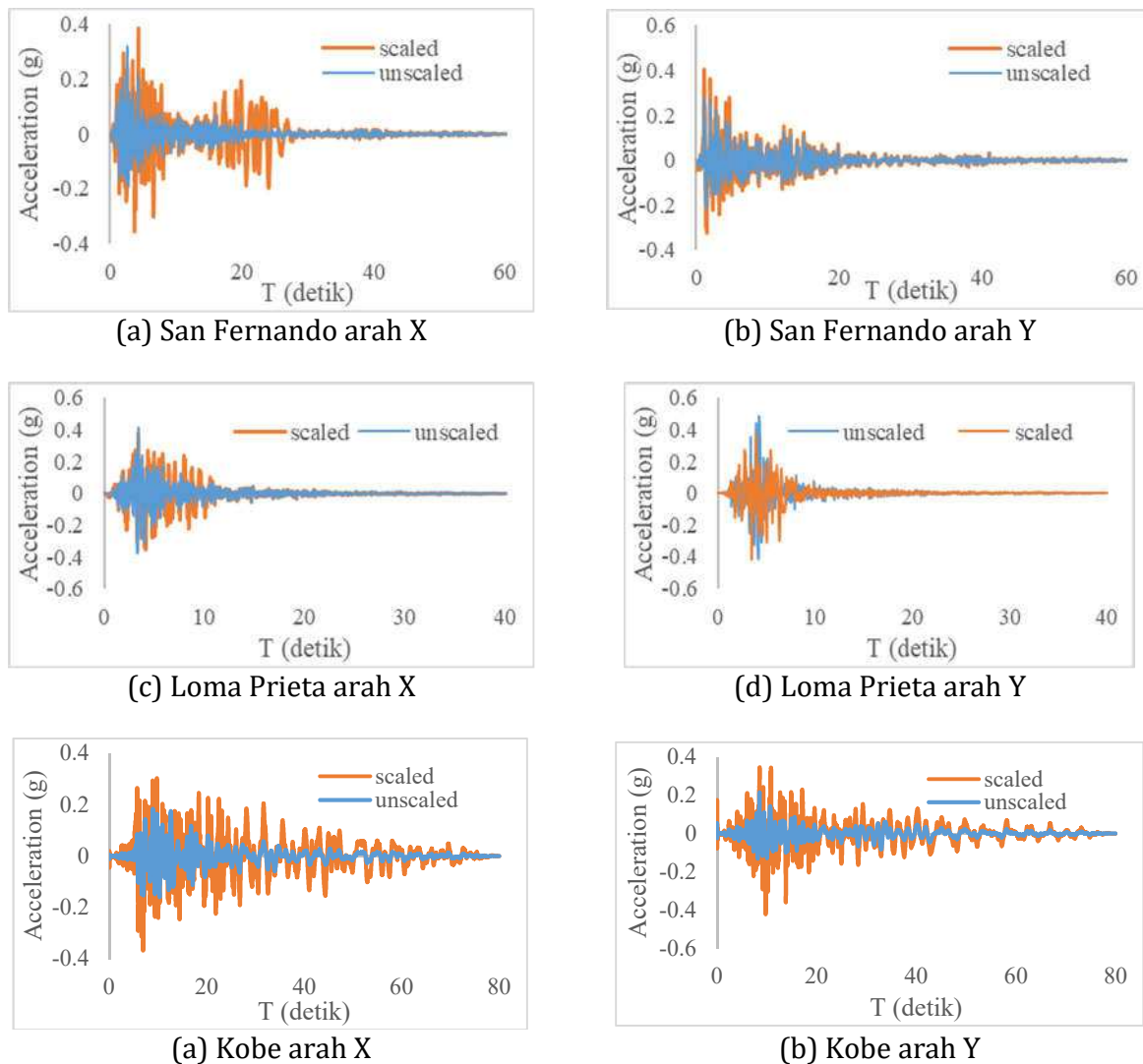
Penskalaan Gempa

Data *ground motion* yang telah dipilih dari daerah tektonik lain perlu diskalakan [16]. Proses penskalaan digunakan untuk memodifikasi suatu rekaman data gempa berdasar riwayat waktu (*time history*) agar sesuai dengan spektrum respons desain sehingga karakter gempa riwayat waktu (*time history*) yang diambil dari negara lain mempunyai karakter sama dengan karakter gempa yang ditinjau pada lokasi gedung. Proses skala menggunakan data *ground motion* yang telah dipilih kemudian diskalakan dengan desain respons spektrum desain yang telah dibuat. Beberapa ketentuan penskalaan yang dapat dilihat pada Tabel 2 [10].

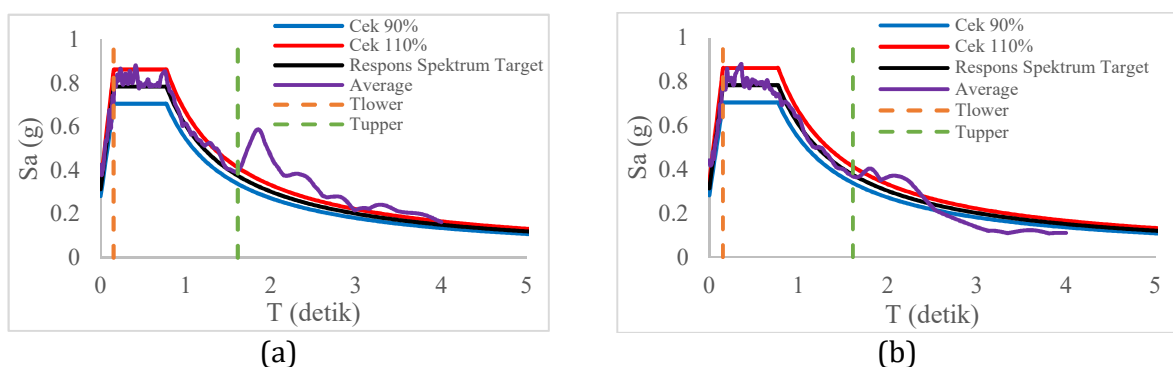
Tabel 2. Syarat penskalaan

Tinjauan	Ketentuan
Periode minimum	$0,8 \times T_{lower}$
Periode maksimum	$1,2 \times T_{upper}$
Redaman rata-rata percepatan semu	5%
rata-rata percepatan semu	Tidak boleh kurang atau lebih dari 10% desain spektrum target.
Jenis penskalaan	Penskalaan spektral (<i>spectrally matched</i>)

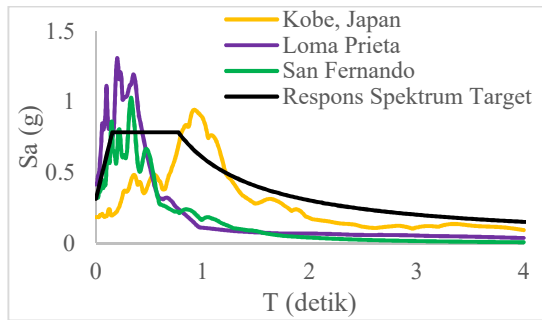
Proses penskalaan menggunakan *software SeismoMatch 2021* dengan menggunakan teori Al Atik and Abrahamson [11] disertai beberapa persyaratan pada Tabel 2 sehingga hasil penskalaan data gempa dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



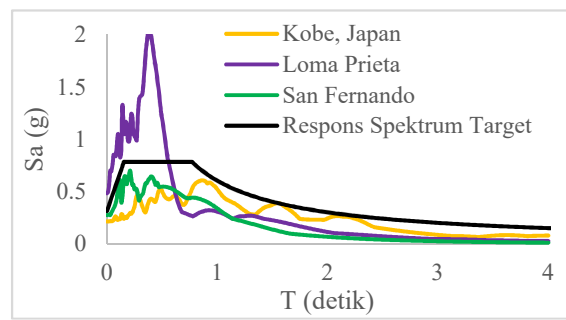
Gambar 3. Percepatan *ground motion* yang tidak terskala dan telah terskala



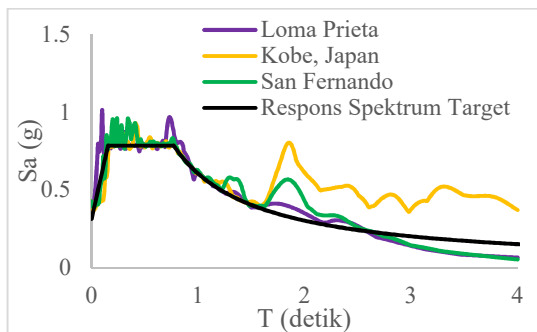
Gambar 4. (a) Kontrol rata-rata *pseudo acceleration* spektrum arah X, (b) Kontrol rata-rata *pseudo acceleration* spektrum arah Y



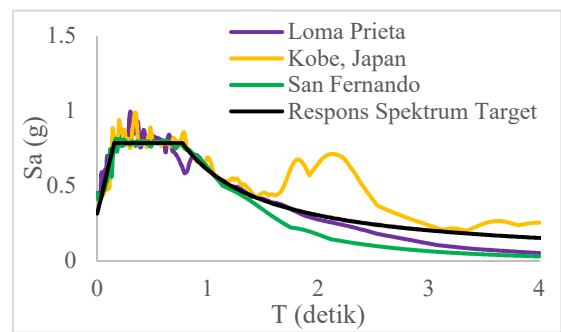
(a) Pseudo-Acceleration tidak terskala arah X



(a) Pseudo-Acceleration tidak terskala arah Y



(c) Pseudo-Acceleration terskala arah X

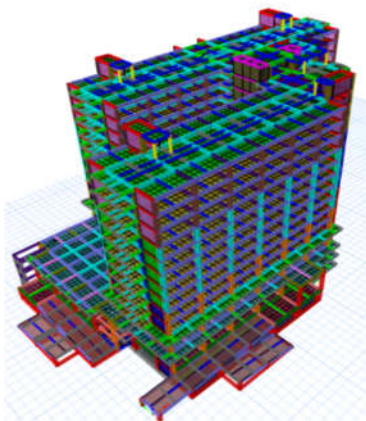


(d) Pseudo-Acceleration terskala arah Y

Gambar 5. Respons spektrum pada data *ground motion* yang telah diskala

Studi Kasus

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah studi kasus pada gedung dormitory student yang berada di Desa Tamantirto, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Gedung Student Dormitory memiliki 16 lantai dengan ketinggian 52,98 m. Gedung Student Dormitory mempunyai sistem ganda (*dual system*). Jenis tanah pada lokasi gedung dormitory adalah tanah sedang (SD). Gedung Student Dormitory dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan ETABS gedung Student Dormitory

Penelitian ini menggunakan data-data Gedung yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data material beton dan baja tulangan

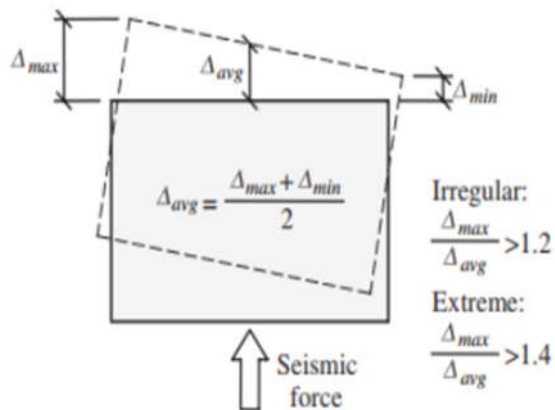
Tinjauan	Fc' (MPa)	Fy (MPa)	Inersia Retak	define
Kolom	40	–	0,7 I	Coloumn
Balok	30	–	0,35 I	Beam
Plat	30	–	0,25 I	Shell-thin
Lantai				
Shear wall	35	–	0,35 I	Shell-thick
BJTD 420A	–	420	–	Rebar

Data pada Tabel 3 telah memperhitungkan pengaruh inersia retak sesuai peraturan yang berlaku [17]. Berat seismik efektif memperhitungkan presentase beban mati 100% dan beban hidup 25% [10, 17].

Respons Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebih

Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk

torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali (untuk ketidakberaturan torsi) dan 1,4 kali (untuk ketidakberaturan torsi berlebih) simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur yang dapat dilihat pada Gambar 7. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. terjadinya.



Gambar 7. Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih

Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta_{avg} = \frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2} \quad (1)$$

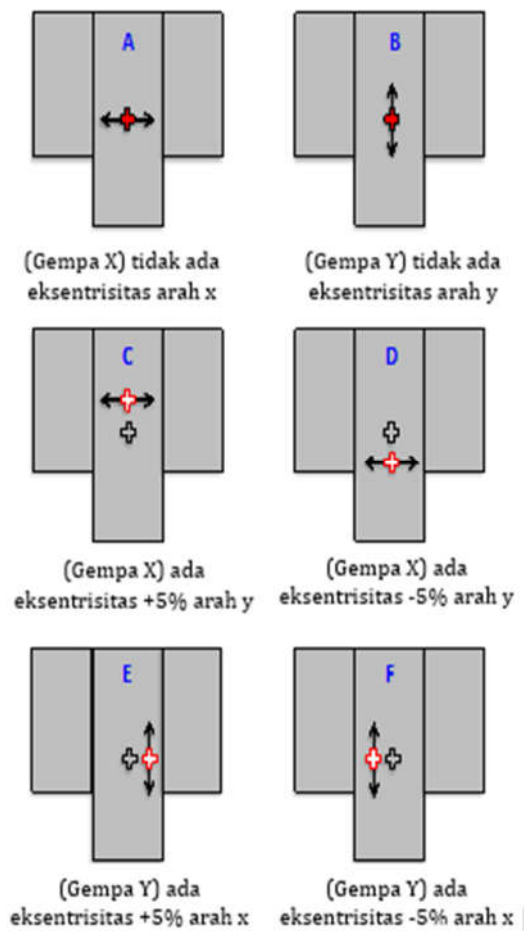
$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,2 = (\text{Torsi}) \quad (2)$$

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} > 1,4 = (\text{Torsi berlebih}) \quad (3)$$

dengan A_x = faktor pembesaran torsi, Δ_{avg} = simpangan antar rata-rata (mm), Δ_{min} = simpangan antar minimum (mm), Δ_{max} = simpangan antar maksimum (mm).

Efek Torsi Tak Terduga

Torsi tak terduga adalah torsi yang disebabkan perpindahan pusat massa bangunan (*center of mass*) dari lokasi aslinya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak 5% dari dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang ditetapkan [10].



Gambar 8. Eksentrisitas 5% torsi tak terduga

Modal Analysis

Periode getar alami struktur (*natural fundamental period*) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode alami fundamental suatu struktur dipengaruhi oleh dua faktor yaitu kekakuan struktur dan distribusi massa suatu struktur tersebut [18]. Secara umum persamaan frekuensi sudut, periode getar alami, dan frekuensi alami adalah sebagai berikut:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

$$T = \frac{2 \times \pi}{\omega} \quad (7)$$

$$F = \frac{1}{T} \quad (8)$$

dengan F = frekuensi alami (cyc/s), k = kekakuan (kN/mm), m = massa struktur (kg), T = periode getar alami (s), ω = *angular frequency* (rad/s).

Persamaan empiris berupa pendekatan periode getar alami (T_a) struktur telah ditentukan sesuai persamaan 9 dan Periode getar alami yang dihitung harus tidak melebihi dari persamaan sesuai persyaratan yang berlaku sesuai persamaan 10 yaitu sebagai berikut [10]:

$$T_a = C_t \times (h_n)^x \quad (9)$$

$$T_{a(max)} = T_a \times C_u \quad (10)$$

dengan C_t dan x = parameter periode pendekatan, h_n = ketinggian struktur (m), T_a = periode alami minimum (s), $T_{a(max)}$ = periode alami maksimum (s), C_u = koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung.

Rasio partisipasi massa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup yang harus mencapai partisipasi massa terkombinasi 100% dari massa struktur [10]. Setiap mode memiliki kontribusi yang berbeda terhadap perilaku dan respons struktur bangunan, dampak setiap mode perlu dipertimbangkan untuk menggambarkan karakteristik getaran struktur untuk mendeteksi kerusakan [19].

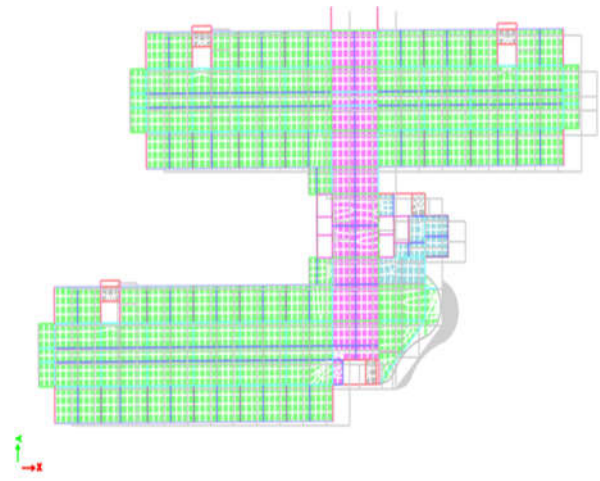
Dalam menganalisis *modal analysis* pada ragam partisipasi massa terdapat dua metode yang umum dipakai yaitu *Eigen vectors* dan *Ritz vectors*. Penggunaan *Ritz vectors* dapat dihasilkan berdasarkan algoritma sederhana dan menghasilkan hasil yang lebih akurat dengan waktu perhitungan yang lebih cepat [20]. Hal ini juga diperkuat bahwa Metode *Ritz vectors* menggunakan *mode superposition* direkomendasikan pada analisis dinamik pada sistem struktur kompleks yang mempunyai ribuan derajat kebebasan [21].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

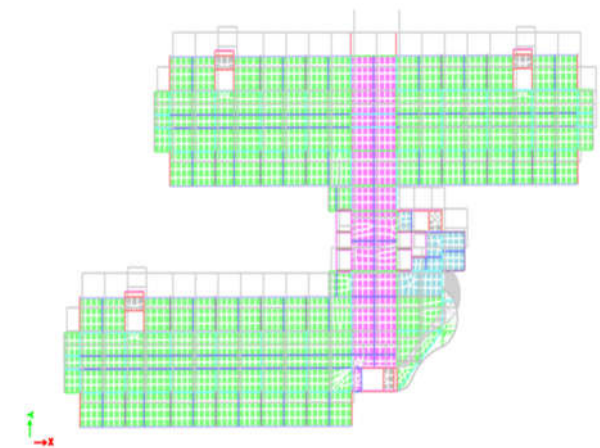
Periode Fundamental dan Ragam Getar

Periode fundamental dan ragam getar didapatkan dari *modal analysis* menggunakan aplikasi ETABS. Hasil analisis *Mode shape* struktur bangunan dapat dilihat

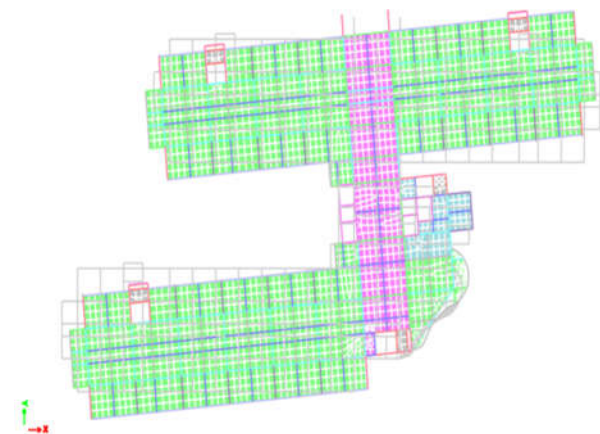
pada Gambar 9 serta periode alami struktur dan ragam partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 4.



(a) Mode 1 translasi X ($T = 2,16$ detik)



(b) Mode 2 translasi Y ($T = 1,832$ detik)



(c) Mode 3 Rotasi Z ($T = 1,751$ detik)

Gambar 9. Ragam getar struktur

Tabel 4. Periode fundamental alami dan ragam partisipasi massa

Mode shape	T (detik)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	2,160	0,6537	0,0179	0,0042	0,6537	0,0179	0,0042
2	1,832	0,0192	0,6346	0,0049	0,6729	0,6525	0,0091
3	1,751	0,0022	0,000002	0,6206	0,6751	0,6525	0,6297
4	0,580	0,1582	0,0012	0,0009	0,8333	0,6537	0,6306
5	0,455	0,0013	0,1615	0,0136	0,8346	0,8151	0,6441
6	0,417	0,000028	0,0168	0,1692	0,8346	0,8319	0,8133
7	0,276	0,0664	0,0002	0,0004	0,901	0,8321	0,8137
8	0,207	0,0003	0,0654	0,0019	0,9012	0,8975	0,8155
9	0,19	0,000008	0,0061	0,079	0,9013	0,9036	0,8945
10	0,174	0,0394	0,0003	0	0,9406	0,9039	0,8945
.....							
98	0,005	0,0000015	0	0	1	1	0,9999

Periode Fundamental menunjukan bahwa didapatkan 2,16 detik yang dapat dilihat pada Tabel 4. Periode tersebut lalu di kontrol sesuai pendekatan SNI 1726 : 2019 pada Persamaan 9 dan 10 sehingga didapat seperti berikut:

$T_a = 0.96$ detik

$T_c = 2,16$ detik

$T_{max} = 1,34$ detik

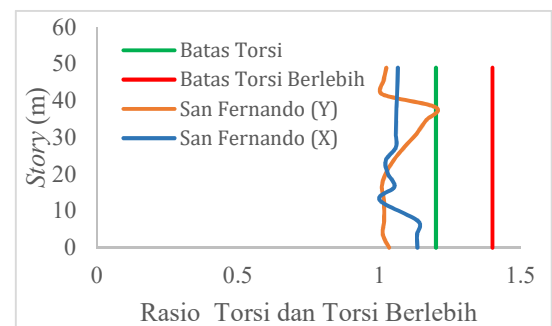
Sehingga didapatkan hasil bahwa $T_c > T_{max}$ sehingga periode pendekatan T_{max} lah yang digunakan yaitu 1,34 detik. Adapun periode yang digunakan untuk menskala data gempa yaitu T_{upper} merupakan sama dengan $T_{max} = 1,34$ detik dan T_{lower} didapat dari Tabel 4 yaitu pada mode ke-9 ketika partisipasi massa mencapai 90% yaitu 0,19 detik.

Hasil *mode shape* (ragam getar) dapat dilihat pada Tabel 4 yang dapat dijelaskan bahwa pada *mode shape* ke-1 mengalami translasi X, *mode shape* ke-2 mengalami translasi Y, dan *mode shape* ke-3 mengalami Rotasi Z. Ragam partisipasi massa pada Tabel 4. Mencapai 100% Ketika ragam getar ke-98. Hal ini sudah memenuhi syarat SNI 1726 : 2019 Pasal 7.9.1.1.

Ketidakteraturan Torsi dan Torsi Berlebih

a. San Fernando

Perhitungan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih pada beban gempa San Fernando dapat dilihat Gambar 10.

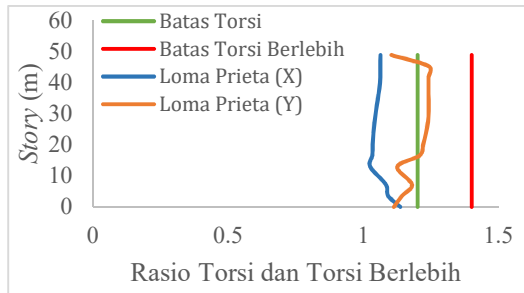


Gambar 10. Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih akibat gempa San Fernando

Berdasarkan Gambar 10. didapatkan hasil bahwa struktur mengalami atau terjadi ketidakberaturan torsi namun tidak mengalami ketidakberaturan torsi berlebih.

b. Loma Prieta

Perhitungan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih pada beban gempa Loma Prieta dapat dilihat pada gambar 11.

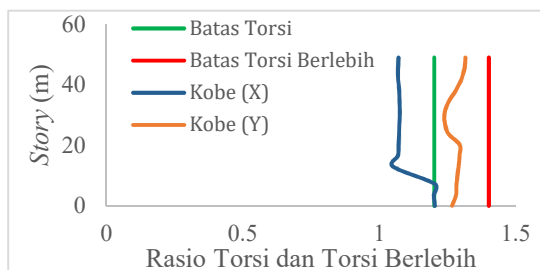


Gambar 11. Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih akibat gempa Loma Prieta

Berdasarkan Gambar 11 didapatkan hasil bahwa struktur mengalami atau terjadi ketidakberaturan torsi namun tidak mengalami ketidakberaturan torsi berlebih.

c. Kobe

Perhitungan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih pada beban gempa Kobe dapat dilihat Gambar 12.



Gambar 12. Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih akibat gempa Kobe

Berdasarkan Gambar 12. didapatkan hasil bahwa struktur mengalami atau terjadi ketidakberaturan torsi namun tidak mengalami ketidakberaturan torsi berlebih.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a. *Modal Analysis* mendapatkan karakteristik struktur antara lain:
 - 1) Periode hasil modal analysis menggunakan ETABS menghasilkan waktu 2,16 detik pada mode 1,

1,832 detik pada mode 2, dan 1,751 detik pada mode 3.

- 2) Ragam getar dihitung sampai 100 mode. Pada mode ke-98 sudah memenuhi persyaratan SNI 1726 : 2019 yang mengharuskan ragam partisipasi massa mencapai 100%. Pada mode 1 menunjukkan translasi X, pada mode 2 menunjukkan translasi Y, dan pada mode 3 menunjukkan Rotasi Z.
- b. Pengecekan ketidakberaturan torsi menyimpulkan bahwa struktur mengalami ketidakberaturan torsi arah X dan arah Y pada semua beban gempa yang digunakan.
- c. Pengecekan ketidakberaturan torsi berlebih arah X dan arah Y menyimpulkan bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan torsi berlebih pada semua beban gempa yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PuSGen, P. (2017) *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Puskim, Bandung
- [2] Kompas. (2019). 13 Tahun Gempa Yogyakarta, Ini Fakta yang Perlu Diketahui. <https://regional.kompas.com/read/2019/05/27/16105921/13-tahun-gempa-yogyakarta-inifakta-yang-perlu-diketahui?page=all>. (accessed 20 Februari).
- [3] Lombardi, L. De Luca, F. and Macdonald, J. (2019). "Design of buildings through Linear Time-History Analysis optimising ground motion selection: A case study for RC-MRFs". *Engineering Structures*, 192, 279-295.
- [4] Khaldun Riantoby, I. Setiya Budi, A. and Purwanto, E. (2014). "Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Karanganyar)". *Matriks Teknik Sipil*, 2(1), 116.

- [5] Seo, J. Hu, J.W. and Davaajamts, B. (2015). "Seismic performance evaluation of multistory reinforced concrete moment resisting frame structure with shear walls". *Sustainability (Switzerland)*, 7(10), 14287-14308.
- [6] Ozkul, T.A., et al. (2019). "Effect of shear wall on seismic performance of RC frame buildings". *Engineering Failure Analysis*, 100, 60-75.
- [7] Çavdar, Ö. and Bayraktar, A. (2014). "Pushover and nonlinear time history analysis evaluation of a RC building collapsed during the Van (Turkey) earthquake on October 23, 2011". *Natural hazards*, 70(1), 657-673.
- [8] Budiono, B. and Wicaksono, E.B. (2016). "Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Berlebihan dan Massa Terhadap Beban Gempa". *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 113-126.
- [9] Brunesi, E. Nascimbene, R. and Casagrande, L. (2016). "Seismic analysis of high-rise mega-braced frame-core buildings". *Engineering Structures*, 115, 1-17.
- [10] BSN. (2019). SNI 1726 : 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. In. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [11] Al Atik, L. and Abrahamson, N. (2010). "An improved method for nonstationary spectral matching". *Earthquake Spectra*, 26(3), 601-617.
- [12] BSN. (2020). SNI 8899 : 2020 Tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa. In. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [13] Graizer, V. and Kalkan, E. (2009). "Prediction of Spectral Acceleration Response Ordinates Based on PGA Attenuation". *Earthquake Spectra*, 25(1), 39-69.
- [14] Center, P.E.E.R. (2020). <https://ngawest2.berkeley.edu/>. (accessed 20 Desember).
- [15] Karya, C. (2021). <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. (accessed 3 Januari).
- [16] Kalkan, E. and Kwong Neal, S. (2012). "Assessment of Modal-Pushover-Based Scaling Procedure for Nonlinear Response History Analysis of Ordinary Standard Bridges". *Journal of Bridge Engineering*, 17(2), 272-288.
- [17] BSN. (2019). SNI 2847 : 2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. In. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [18] Asteris, P.G., et al. (2017). "Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures". *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(7), 929-941.
- [19] Park, H.S. and Oh, B.K. (2018). "Damage detection of building structures under ambient excitation through the analysis of the relationship between the modal participation ratio and story stiffness". *Journal of Sound and Vibration*, 418, 122-143.
- [20] Wilson, E.L. Yuan, M.W. and Dickens, J.M. (1982). "Dynamic analysis by direct superposition of Ritz vectors". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 10(6), 813-821.
- [21] Aktas, G. and Karasin, A. (2014). "Experimental confirmation for the validity of Ritz method in structural dynamic analysis". *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Poland)*, 52(4), 981-993.

