

# Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa

( *Dynamic Behavior of Metro Galaxy Park Apartment Structure Against Earthquakes* )

Muhammad Farhan Harahap<sup>1\*</sup> dan Muhammad Fauzan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

\*Penulis korespondensi: muhammadfarhanharahap@gmail.com

Diterima: 12 Juli 2019

Disetujui: 09 Agustus 2019

## ABSTRACT

*The effect of seismic load on building structure could be analyzed by equivalent static and dynamic analysis. This study aimed to conduct building modelling, to analyze the stiffness, vibration period and the base shear force of the structure, and also to determine the mode shape and mass participation. The structure performance analysis were conducted based on the standard. Based on the results, building modeling and mode shape had been successfully obtained. The value of the vibration period was 4,281 seconds. The greatest stiffness value were caused by seismic load for X and Y axis were 16112879,84 kN and 19065653,77 kN respectively. The mass participation in the X and Y directions that exceeds 90% were found in the 21st and 24th modes respectively. The static base shear force obtained was 23357,80 kN, while the dynamic base shear force for the earthquake in the X and Y direction were 9788,04 kN and 10777,75 kN respectively. Design scale factor for dynamic base shear force of the earthquake in the X and Y direction were 2,03 and 1,84 respectively, so the dynamic base shear force for the earthquake direction of X and Y were 19869,72 kN and 19863,39 kN respectively.*

*Keywords: dynamic analysis, earthquake, mode shape, response spectrum*

## PENDAHULUAN

Indonesia dikelilingi oleh lempeng besar dunia diantaranya lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, lempeng Hindia-Australia, dan lempeng laut Filipina. Kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil menyebabkan wilayah Indonesia rawan terhadap gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, dan jenis-jenis bencana geologi lain.

Menurut Nur (2010), gempa bumi adalah getaran alami yang berasal dari dalam bumi, kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunung api, akibat meteor jatuh, longsor

(dibawah muka air laut), ataupun ledakan bom nuklir dibawah permukaan.

Wilayah Bekasi dan sekitarnya merupakan wilayah rawan gempa. Tanggal 25 November 2016 terjadi gempa bumi di wilayah Bekasi, Jawa Barat (Rivki 2016). Gempa terjadi akibat aktivitas penunjang lempeng Indo-Australia kebawah pulau jawa. Hal ini menunjukkan bahwa gempa yang sama bisa terulang di wilayah Bekasi dan sekitarnya. Fakta membuktikan bahwa sejarah gempa selalu berulang dalam periode waktu tertentu (Rijal *et.al* 2017). Oleh karena itu, bangunan gedung bertingkat di wilayah Bekasi dan sekitarnya harus dibangun dengan konstruksi tahan gempa untuk mencegah terjadi kegagalan struktur, sehingga

diharapkan dapat meminimalisir kerusakan dan korban jiwa akibat gempa.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk: (1) Melakukan pemodelan gedung (2) Menganalisis besarnya periode getar dan kekakuan yang dimiliki gedung (3) Menentukan *mode shape* dan partisipasi massa dan (4) Menganalisis besarnya gaya geser dasar gempa.

**METODOLOGI**

Penelitian dilakukan di Apartemen Metro Galaxy Park – Bekasi. Pemodelan gedung berdasarkan gambar perencanaan dilakukan di Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Penelitian dilakukan dari bulan Februari sampai Juni 2019.

Perlengkapan yang diperlukan terdiri atas: laptop yang dilengkapi program ETABS 2015, AutoCad 2017, dan Microsoft Office 2013. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain data sekunder berupa gambar perencanaan dari Apartemen Metro Galaxy Park.

Penelitian ini melalui beberapa tahapan, diantaranya studi literatur dan pengumpulan data, pemodelan gedung, pembebanan gedung, pembuatan grafik respon spektrum, dan analisis perilaku struktur.

Studi literatur dan pengumpulan data umumnya berupa pengumpulan berbagai literatur termasuk buku, jurnal, karya tulis, skripsi, peraturan terkait perencanaan gedung, data gambar perencanaan gedung, dan data tanah.

Pemodelan gedung dilakukan dengan menggunakan program AutoCad dan ETABS. Struktur yang dimodelkan berupa struktur kolom, balok, pelat, dan *shearwall*. struktur balok dimodelkan secara khusus di AutoCad, sedangkan struktur pelat, kolom, dan *shearwall* dimodelkan di ETABS. Pemodelan struktur balok dilakukan secara terpisah,

karena denah struktur balok pada gedung tidak simetris.

Pembebanan yang diperhitungkan pada gedung berupa beban mati tambahan dan beban hidup sesuai dengan SNI 1727-2013. Beban mati tambahan diantaranya dinding, lantai, atap, plafon tangga, keramik, plesteran, spesi, mortar, dan komponen utilitas lainnya. Sedangkan beban hidup yang diberikan pada gedung, diberikan sesuai fungsi gedung tersebut, yakni sebagai hunian.

Pembuatan grafik respon spektrum gempa rencana dilakukan berdasarkan SNI 1726-2012. Nilai spektrum dipengaruhi oleh periode getar, rasio redaman, tingkat daktilitas, dan jenis tanah. Kurva respon spektrum dapat dilihat pada gambar (BSN 2012). Berikut ini disajikan persamaan yang digunakan untuk menentukan kurva respon spektrum.

$$SMS = Fa \times Ss \dots\dots\dots(1)$$

$$SM1 = Fv \times S1 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

SMS = parameter percepatan gempa MCEr periode pendek

SM1 = parameter percepatan gempa MCEr periode panjang

Fa = Nilai koefisien situs periode pendek

Fv = Nilai koefisien situs periode Panjang

Ss = parameter percepatan batuan dasar periode pendek

S1 = parameter percepatan batuan dasar periode panjang

$$SDS = \frac{2}{3} \times SMS \dots\dots\dots(3)$$

$$SD1 = \frac{2}{3} \times SM1 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

SDS = parameter respon spektra desain

SD1 = parameter respon spektra desain periode pendek / periode panjang

$$TS = \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots(5)$$

$$T0 = 0,2 \times TS \dots\dots\dots(6)$$

Analisis perilaku struktur dilakukan setelah pemodelan dan pemberian gedung telah dilakukan dengan benar, artinya tidak ada error yang terjadi. Hasil analisis perilaku struktur yang diperoleh diantaranya periode getar struktur, kekakuan struktur, gaya geser dasar gempa, partisipasi massa, dan bentuk goyangan (*mode shape*) gedung.

Bentuk *mode shape* diperoleh dari hasil analisis modal pada ETABS. Pada setiap gambar *mode shape* selain perbedaan besarnya nilai periode dan frekuensi yang terjadi, pada struktur gedung yang dianalisis semakin tinggi urutan *mode shape* yang terjadi pada struktur bangunan maka semakin banyak perubahan simpangan yang terjadi. Persamaan (7) dan (8) merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya periode struktur gedung.

$$T = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(7)$$

$$T = 0,1 \cdot N \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- T = batas periode bangunan (detik)
- C<sub>t</sub> = koefisien risiko spesifik situs pada suatu perioda
- h<sub>n</sub> = tinggi bangunan (meter)
- x = koefisien (0,9 untuk portal bertulang dan 0,8 untuk portal baja)
- C<sub>u</sub> = koefisien untuk batas maksimum periode bangunan
- N = jumlah tingkat bangunan

Nilai partisipasi massa diperoleh dari hasil analisis modal pada ETABS. Partisipasi massa adalah besarnya rasio partisipasi massa bangunan terhadap getaran yang dialami bangunan. berdasarkan SNI 03-1726-2012, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi lebih dari 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal dari respon yang ditinjau oleh model.

Nilai kekakuan struktur diperoleh dari hasil analisis modal pada ETABS. Menurut Budiono dan Supriatna (2011), kekakuan struktur merupakan gaya yang diperlukan struktur ketika mengalami deformasi sebesar satu satuan. Nilai kekakuan struktur ini tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, dan momen inersia polar.

Menurut Tay dkk (2014), gaya geser dasar akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal tingkat yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Akibat dari gaya yang terjadi pada tingkat-tingkat tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut. Persamaan (9) dan (10) merupakan persamaan yang digunakan sebagai kontrol gaya geser dasar dinamik minimum sebesar 85% dari gaya geser dasar statik yang diperoleh.

$$V_{statik} = \frac{SDS \cdot I}{R} WT \dots\dots\dots(9)$$

$$V_{dinamik} \geq 0,85 \cdot V_{statik} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- V<sub>statik</sub> = gaya geser dasar statik yang terjadi (kN)
- V<sub>dinamik</sub> = gaya geser dasar dinamik yang terjadi (kN)
- S<sub>DS</sub> = parameter percepatan spektrum respon desain

- dalam rentang perioda pendek
- I = faktor keutamaan gedung
- R = faktor respon gempa
- $W_T$  = beban total bangunan (kN)

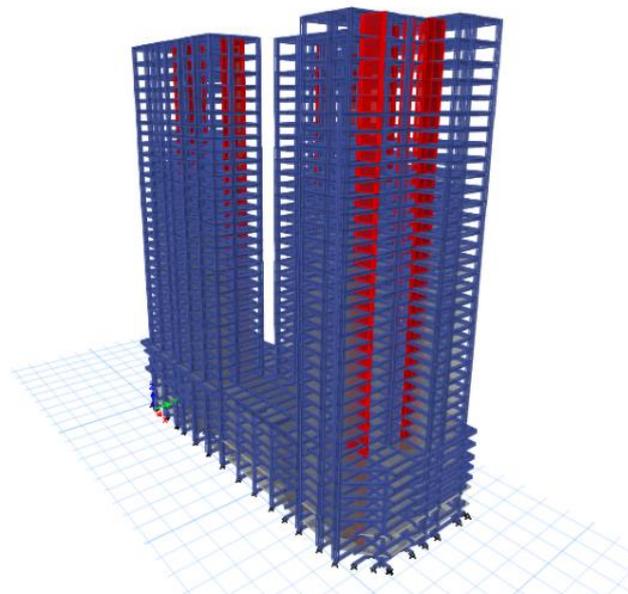
Besarnya gaya geser dasar yang didapat dari analisis dengan respon spektrum harus lebih besar atau sama dengan 85% dari nilai gaya geser dasar yang diperoleh menurut cara analisa statik ekuivalen. Jika besarnya gaya geser dasar respon spektrum lebih kecil dari 85% besarnya gaya statik ekuivalen, diperlukan nilai faktor skala desain.

$$Faktor\ skala = \frac{0,85\ V_{statik}}{V_{dinamik}} \dots\dots\dots(11)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemodelan Struktur Gedung

Pemodelan struktur Apartemen Metro Galaxy Park dilakukan menggunakan *software* AutoCad 2017 dan ETABS 2016. Pemodelan dibuat berdasarkan gambar perencanaan gedung. Pemodelan struktur balok dibuat menggunakan *software* AutoCad dan struktur kolom, *shearwall*, dan pelat dimodelkan *disoftware* ETABS. Pemodelan struktur balok, kolom, pelat, dan *shearwall* mengacu pada spesifikasi material Apartemen Metro Galaxy Park. Gambar 1 merupakan hasil pemodelan 3D Apartemen Metro Galaxy Park.



Gambar 1 Pemodelan 3D Apartemen Metro Galaxy Park

### Pembebanan

#### Beban Hidup

Apartemen Metro Galaxy Park memiliki 38 lantai, diantaranya 2 lantai *basement*, 1 lantai dasar, 4 podium, 29 lantai hunian, 1 lantai mesin dan 1 atap. Beban hidup diberikan berdasarkan

ketentuan SNI 1727-2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk rumah dan gedung (PPURG) 1983 Beban hidup yang diberikan pada lantai *basement* 2 sampai podium 3 sebesar 4 kN/m<sup>2</sup> karena berfungsi sebagai area parkir. Lantai 4 diberikan beban hidup sebesar 3,5 kN/m<sup>2</sup> karena berfungsi sebagai pertokoan dan kolam renang. Lantai 5 sampai lantai 32

diberikan beban hidup sebesar  $2,5 \text{ kN/m}^2$  karena berfungsi sebagai hunian. Lantai mesin dan atap masing-masing diberikan beban sebesar  $4 \text{ kN/m}^2$  dan  $1 \text{ kN/m}^2$ . Pembebanan atap yang disyaratkan didalam PPURG 1983 terbagi menjadi dua, yaitu untuk atap datar, berhubung, dan lengkung maka diberikan beban hidup sebesar  $1 \text{ kN/m}^2$ , sedangkan atap yang difungsikan sebagai taman diberikan beban hidup sebesar  $5 \text{ kN/m}^2$ .

### Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat bahan konstruksi dan berat peralatan tetap. Berat bahan konstruksi pada struktur gedung tidak diberikan karena secara otomatis terhitung pada program ETABS. Sedangkan berat peralatan tetap termasuk beban mati tambahan seperti *plumbing*, mekanikal elektrik, spesi, pasir, keramik/tegel hingga plafon dan penggantung. Beban mati tambahan diberikan pada struktur balok dan struktur pelat lantai. Beban mati tambahan diberikan sesuai fungsi lantainya. Beban mati tambahan pada pelat lantai *basement* 2 sampai *basement* 1 dan lantai 5 sampai lantai mesin diberikan beban sebesar  $1,5 \text{ kN/m}^2$ , karena beban mati tambahan pada lantai tersebut terdiri dari beban spesi, pasir, instalasi ME, plafon dan penggantung. Sedangkan beban mati pada lantai 4 diberikan sebesar  $15 \text{ kN/m}^2$  karena berfungsi sebagai kolam renang. Beban mati tambahan untuk pelat atap yang menopang beban diberikan beban sebesar  $0,65 \text{ kN/m}^2$  karena terdiri dari beban pasir, spesi dan instalasi ME. Beban mati tambahan pada struktur balok, yaitu beban dinding dan beban tangga. Beban dinding dan beban tangga yang diberikan pada struktur balok masing-masing sebesar  $8 \text{ kN/m}^2$  dan  $13,56 \text{ kN/m}^2$ . Selain itu, beban mati tambahan juga diberikan sebagai beban titik (*joint*), beban ini diberikan dikeempat sisi yang menjadi jalur *lift*.

Beban mati tambahan pada masing-masing titik sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$ .

## Analisis Ragam

### Periode dan kekakuan struktur gedung

Periode getar natural (T) merupakan variabel yang penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. *Mode shape* yang memiliki frekuensi terendah (periode terpanjang) disebut sebagai *mode shape* pertama (*mode* satu atau *fundamental mode*). Menurut Widodo (2000), pada analisis dinamik, *mode shape* pertama yang umumnya digunakan, karena struktur dianggap cukup fleksibel dengan lantai-lantai tingkat yang relatif kaku. Setiap struktur memiliki periode getar dimana struktur tersebut ingin bergoyang ketika terjadi gangguan (pada gedung umumnya adalah angin atau gempa). Berdasarkan hasil analisis modal pada ETABS, besarnya periode gedung disajikan pada Tabel 1.

Hasil perhitungan periode gedung diperoleh sebesar 4,281 detik. Nilai periode tersebut harus berada pada rentang periode getar minimum ( $T_{\text{minimum}}$ ) dan periode getar maksimum ( $T_{\text{maksimum}}$ ) berdasarkan ketentuan pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2012. Kontrol periode getar dilakukan untuk menghindari penggunaan struktur yang terlalu fleksibel. Periode getar minimum dan periode getar maksimum yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan masing-masing sebesar 3,44 detik dan 4,82 detik. Hal ini menunjukkan besarnya periode getar sebesar 4,281 detik memenuhi ketentuan SNI 1726 2012.

Tabel 1 Nilai periode struktur apartemen Metro Galaxy Park

Mode	Periode (detik)	Mode	Periode (detik)
1	4,281	13	0,652
2	3,923	14	0,602
3	3,72	15	0,559

Mode	Periode (detik)	Mode	Periode (detik)
4	3,578	16	0,538
5	3,168	17	0,482
6	3,077	18	0,418
7	1,267	19	0,409
8	1,173	20	0,37
9	1,12	21	0,35
10	1,067	22	0,34
11	0,924	23	0,321
12	0,862	24	0,28

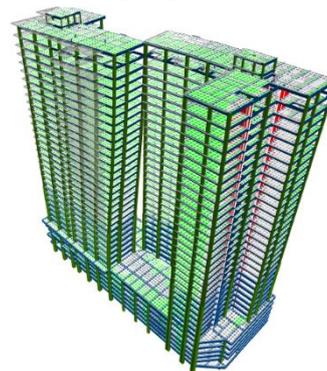
Massa dan kekakuan memiliki hubungan yang unik, yakni disebut karakteristik diri atau *eigenproblem*. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut dan periode getar struktur. Kedua nilai tersebut merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamika struktur.

Berdasarkan hasil analisis kekakuan apartemen Metro Galaxy Park, nilai kekakuan yang diperoleh tiap lantai berbeda. Nilai kekakuan diperoleh berdasarkan beban gempa arah X (x dan y) dan beban gempa arah Y (x dan y). Hasil kekakuan akibat beban gempa arah X, Lantai dasar memiliki nilai kekakuan terbesar, yaitu sebesar 16112879,84 kN/m. Sedangkan nilai kekakuan terkecil dialami oleh lantai dek mesin, yaitu sebesar 78002,552 kN/m. Sedangkan hasil nilai kekakuan yang diperoleh akibat beban gempa arah Y, besar nilai kekakuan yang dialami oleh Lantai dasar adalah 19065653,77 kN/m. Sedangkan nilai kekakuan terkecil dialami oleh lantai dek mesin sebesar 51154,511 kN/m. Sesuai pernyataan yang telah diungkapkan diatas, menurut Budiono dan Supriatna (2011), perbedaan nilai kekakuan tiap lantai diakibatkan oleh berbagai faktor seperti material yang digunakan, perbedaan ukuran dimensi elemen struktur, dan perbedaan jumlah elemen struktur yang digunakan.

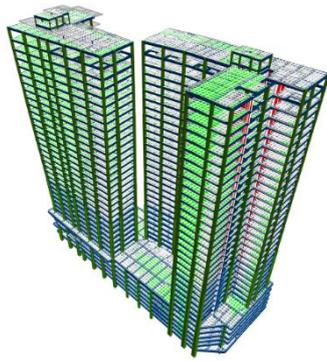
### Mode Shape dan Partisipasi Massa

Suatu struktur apabila mengalami beban dinamik akan memiliki banyak pola goyangan (*mode shape*), dimana banyaknya pola goyangan pada struktur berbanding lurus dengan jumlah lantainya. Gambar 2 dan 3 merupakan *mode shape* 1 dan *mode shape* 12 yang diperoleh dari hasil analisis modal program ETABS. Besarnya nilai partisipasi massa disajikan dalam Tabel 2.

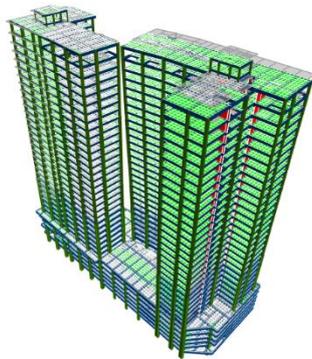
Menurut Budiono dan Supriatna (2011), untuk mendapatkan partisipasi massa terkombinasi minimum 90%, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup dari massa aktual masing-masing arah horizontal. Pasal 7.9.1 SNI 1726 2012 disebutkan bahwa jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons harus menghasilkan partisipasi massa minimum 90%. Apabila diperoleh hasil analisis partisipasi massa oleh program ETABS masih belum mencapai 90%, maka jumlah ragam (*mode*) harus ditambah hingga sesuai dengan pasal 7.9.1 SNI 1726 2012. Besarnya partisipasi massa pada arah X yang lebih dari 90% terdapat pada *mode* ke-21 dan partisipasi massa pada arah Y terdapat pada *mode* ke-24.



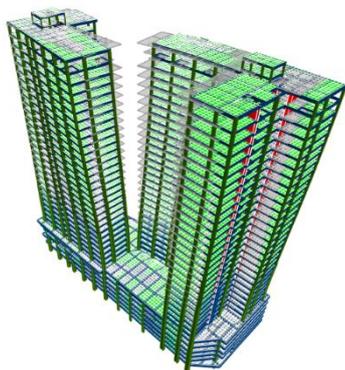
Gambar 2 Pola goyangan 1



Gambar 3 Pola goyangan 2



Gambar 4 Pola goyangan 3



Gambar 5 Pola goyangan 4

Respon spektrum yang paling dominan dapat dilihat dari faktor partisipasi massa setiap ragamnya. *Mode* yang memberikan faktor partisipasi massa terbesar biasanya menjadi respon yang paling dominan. Oleh karena itu nilai faktor partisipasi massa pada setiap *mode* harus dianalisis terlebih dahulu guna menentukan respon struktur yang berpengaruh dalam arah pembebanan gempa. *Mode* 1 sebagai arah terlemah struktur dengan periode getar 4,281 detik, nilai partisipasi massa translasi sebesar 23,93% hal ini dapat dijadikan pembebanan gempa arah x. *Mode* 2 memiliki periode getar 3,923 detik dengan nilai partisipasi massa translasi sebesar 18,88% hal ini dapat dijadikan pembebanan gempa arah y. *Mode* 3 memiliki periode getar sebesar 3,72 detik dengan nilai partisipasi massa sebesar 32,93%. Faktor rotasi terlihat lebih besar daripada translasi arah x dan arah y, sehingga partisipasi massa translasi arah x dan arah y pada *mode* ini menjadi kecil sebab arah gaya tower saling berlawanan. Sedangkan pada mode 4 memiliki periode getar sebesar 3,578 detik dengan nilai partisipasi massa sebesar 26,37% dapat dijadikan pembebanan gempa arah x.

Tabel 2 Nilai partisipasi massa arah X dan arah Y

Mode	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	RZ (%)	Sum UX (%)	Sum UY (%)
1	4,28	23,93	14,74	0,99	23,93	14,74
2	3,92	7,23	18,88	32,93	31,16	33,61
3	3,72	5,96	26,33	25,19	37,12	59,94
4	3,58	26,37	0,77	0,02	63,50	60,72
5	3,17	1,48	0,62	3,38	64,97	61,33
6	3,08	0,03	1,38	2,91	65,01	62,72
7	1,27	9,56	1,73	0,04	74,57	64,45
8	1,17	0,01	2,15	10,88	74,58	66,60

Mode	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	RZ (%)	Sum UX (%)	Sum UY (%)
9	1,12	2,76	9,20	0,41	77,34	75,80
10	1,07	0,70	2,37	3,30	78,04	78,17
11	0,92	1,78	0,02	0,29	79,82	78,19
12	0,86	0,26	0,03	0,01	80,09	78,22
13	0,65	4,89	0,39	0,29	84,98	78,61
14	0,60	0,02	0,05	3,78	85,00	78,66
15	0,56	0,11	4,92	0,17	85,12	83,58
16	0,54	0,07	1,47	2,34	85,18	85,06
17	0,48	3,17	0,42	0,09	88,36	85,48
18	0,41	0,70	0,26	0,004	89,06	85,74
19	0,40	0,73	0,35	1,01	89,78	86,09
20	0,37	0,13	0,02	1,29	89,91	86,11
21	0,35	0,17	1,20	0,32	90,08	87,31
22	0,34	0,001882	1,60	1,21	90,08	88,91
23	0,32	2,37	0,83	0,17	92,45	89,74
24	0,28	0,15	0,75	0,63	92,60	90,49

### Penentuan Gaya Geser Dasar

Berdasarkan pengujian sondir dan boring yang telah dilakukan, diperoleh N-SPT. Nilai tersebut diolah sehingga diketahui bahwa Apartemen Metro Galaxy Park berada pada jenis tanah sedang atau kelas situs tanah D. Parameter desain respon spektrum Apartemen Metro Galaxy Park disajikan dalam Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek ( $S_s$ ) dan periode panjang ( $S_1$ ) masing-masing sebesar 0,682 dan 0,296. Nilai tersebut dapat diketahui dari peta zonasi gempa 2010 sesuai wilayah didirikannya bangunan. Nilai koefisien situs periode pendek ( $F_a$ ) dan periode panjang ( $F_v$ ) masing-masing sebesar 1,254 dan 1,807. Kedua nilai tersebut diperoleh dari Tabel 4 dan 5 pada SNI 1726 2012, dimana pada tabel tersebut disajikan hubungan antara jenis tanah dengan  $S_s$  dan  $S_1$ . Nilai parameter percepatan gempa MCEr periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan panjang ( $S_{M1}$ ) masing-masing sebesar 0,868 dan 0,540. Kedua nilai tersebut diperoleh dari persamaan (1) dan (2). Nilai parameter

respon spektra desain periode pendek (SDS) dan panjang (SD1) masing-masing sebesar 0,579 dan 0,360. Keduanya diperoleh dari persamaan (3) dan (4). Nilai  $T_S$  dan  $T_0$  masing-masing sebesar 0,622 dan 0,124. Keduanya diperoleh dari persamaan (5) dan (6).

Kurva respon spektrum dapat dibuat menggunakan program ETABS berdasarkan data parameter desain respon spektrum yang diperoleh dari *website* puskim PU. Hasil kurva respon spektrum yang telah dibuat menggunakan program ETABS disajikan pada Gambar 4. Nilai  $T$  diperlukan untuk mendapatkan koefisien getar dasar ( $C$ ) yang diperoleh dari kurva respon spektrum, kemudian nilai tersebut digunakan untuk menghitung besarnya gaya dasar bangunan (Wijaya 2013)

Menurut SNI 1726 2012, pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan pondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban sebesar 100% untuk gaya satu arah dan 30% untuk gaya arah tegak lurus. Sistem penahan gaya gempa lateral dan

vertikal (sistem struktur) yang digunakan, yaitu Sistem Pemikul Rangka Momen Khusus, dinding geser beton bertulang khusus. Berdasarkan ketentuan SNI 1726 2012 pasal 7.2.2, sitem struktur tersebut memiliki nilai koefisien modifikasi respon (R) sebesar 7, nilai faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) sebesar 2,5 dan nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) sebesar 5,5.

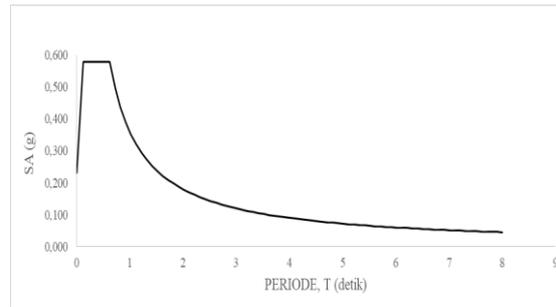
Tabel 3 Parameter desain respon spektrum lokasi Apartemen Metro Galaxy Park

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
PGA (g)	0,356	PSA (g)	0,408
S <sub>S</sub> (g)	0,682	S <sub>MS</sub> (g)	0,856
S <sub>1</sub> (g)	0,296	S <sub>M1</sub> (g)	0,536
C <sub>RS</sub>	0,998	S <sub>DS</sub> (g)	0,570
C <sub>R1</sub>	0,939	S <sub>D1</sub> (g)	0,357
F <sub>PGA</sub>	1,144	T <sub>0</sub>	0,125
F <sub>A</sub>	1,254	T <sub>S</sub>	0,626
F <sub>V</sub>	1,807		

Pada analisis perhitungan menggunakan program ETABS, struktur gedung direncanakan akan menerima beban gempa dari arah X dan arah Y. Beban gempa yang direncanakan pada pemodelan di ETABS perlu diskalakan agar sesuai dengan kondisi riil dilapangan. Beban gempa untuk arah X diberikan sebesar 100% dari faktor skala untuk beban searah sumbu X, dimana nilai faktor skala yang diberikan sebesar 1,4 sedangkan 30% dari faktor skala diberikan untuk beban searah sumbu Y, dimana faktor skala yang diberikan sebesar 0,42. Sedangkan, pada arah Y diberikan beban sebesar 100% dari faktor skala untuk beban searah sumbu Y, yakni sebesar 1,4 dan 30% dari faktor skala diberikan untuk beban searah sumbu X, yakni 0,42. Nilai faktor skala diperoleh dari perkalian antara faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) dengan percepatan gravitasi (g) kemudian dibagi dengan koefisien modifikasi respon (R).

Hasil analisis pada program ETABS dengan menggunakan metode

statik ekuivalen, diperoleh nilai gaya geser dasar statik ( $V_{statik}$ ) dan gaya geser dasar dinamik ( $V_{dinamik}$ ) arah X dan arah Y. Nilai gaya geser dasar statik ( $V_{statik}$ ) diperoleh sebesar 23357,8 kN, sedangkan nilai gaya geser dasar dinamik ( $V_{dinamik}$ ) arah gempa X diperoleh sebesar 9788,041 kN dan arah gempa Y sebesar 10777,75 kN.



Gambar 6 Kurva desain respon spektrum yang diperoleh dari program ETABS

Menurut SNI 1726 2012, perlu dilakukan kontrol terhadap nilai gaya geser dasar tersebut. Karena struktur gedung yang ditinjau adalah struktur tidak beraturan, maka nilai kontrol gaya geser dasar dinamik minimum harus sebesar 85% dari gaya geser dasar statik yang diperoleh. Sedangkan, nilai gaya geser dasar dinamik arah gempa X dan arah gempa Y yang diperoleh masih lebih kecil dari 85% nilai gaya geser statik. Oleh karena itu, diperlukan suatu nilai faktor skala desain agar nilai gaya geser dasar dinamik minimum terpenuhi. Faktor skala untuk arah gempa X dan Y masing-masing sebesar 2,03 dan 1,843. Sehingga diperoleh nilai gaya geser dasar dinamik ( $V_{dinamik}$ ) untuk arah gempa X dan Y masing-masing sebesar 19859,93 kN dan 19863,40 kN.

### KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil adalah (1) Pemodelan struktur Apartemen Metro Galaxy Park telah berhasil dilakukan berupa pemodelan 3 dimensi (3D) berdasarkan gambar perencanaan gedung.

(2) Nilai periode getar pada Apartemen Metro Galaxy Park diperoleh sebesar 4,281 detik. Hasil tersebut masih berada pada rentang periode minimum dan periode maksimum, sehingga masih terbilang aman. Nilai kekakuan terendah akibat beban gempa X pada arah x dan y masing-masing sebesar 66362,22 kN dan 78002,55 kN. Nilai kekakuan terbesar akibat beban gempa X pada arah x dan y masing-masing sebesar 14703159,12 kN dan 16112879,84 kN. Nilai kekakuan terendah akibat beban gempa Y pada arah x dan y masing-masing sebesar 88633,10 kN dan 51154,51 kN. Nilai kekakuan terbesar akibat beban gempa Y pada arah x dan y masing-masing sebesar 13758012,02 kN dan 19065653,77 kN. (3) *Mode shape* 1 mengalami translasi arah x sebesar 23,93%, *mode shape* 2 mengalami translasi arah y sebesar 18,88%, *mode shape* 3 mengalami rotasi arah z sebesar 32,93%, dan *mode shape* 4 mengalami translasi arah x sebesar 26,37%. Besarnya partisipasi massa pada arah X dan arah Y masing-masing terdapat pada mode ke-21 dan ke-24. (4) Besarnya gaya geser dasar statik ( $V_{\text{statik}}$ ) sebesar 23357,8 kN. Sedangkan gaya geser dasar dinamik ( $V_{\text{dinamik}}$ ) untuk arah gempa X dan arah gempa Y masing-masing diperoleh sebesar 9788,041 kN dan 10777,75 kN. Faktor skala desain untuk gaya geser dasar dinamik ( $V_{\text{dinamik}}$ ) arah gempa-x dan arah gempa-y masing-masing sebesar 2,03 dan 1,843. Besarnya gaya geser dasar dinamik ( $V_{\text{dinamik}}$ ) untuk arah gempa X maupun arah gempa Y masing-masing 19859,93 kN dan 19863,40 kN.

#### DAFTAR PUSTAKA

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2010. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, SNI 03-1726-2010. Bandung (ID): BSN.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2012. Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, SNI 03-1726-2012. Jakarta (ID): BSN.

[BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2013. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, SNI 03-1727-2013. Jakarta (ID): BSN.

Budiono B., dan Supriatna, L. 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X*. Bandung (ID): ITB Press.

[DPMB] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*. Cetakan Kedua. Bandung (ID): YLPMB.

Nur, A. M. 2010. *Gempa Bumi, Tsunami, dan Mitigasinya*. Kebumen (ID): Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangasambung-LIPI.

Rijal, A., Krisjanto, H., dan Suswanto, B. 2017. Modifikasi perencanaan gedung Apartemen Grand Dhika City Jatiwarna Bekasi – Tower Emerald menggunakan sistem rangka *bresing* konsentris. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2):230-235.

Sandhi, R. W., Wibowo, A., dan SMD, A. 2017. Kajian analisis *pushover* untuk *performance based design* pada gedung fakultas ilmu sosial dan politik (fisip) Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*. 1(3):1-10.

Tay B H U, Bunganaen W, Cornelis R. 2014. Analisis perbandingan gaya geser tingkat, gaya geser dasar, perpindahan tingkat dan simpangan antar tingkat akibat beban gempa berdasarkan peraturan gempa SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil*. 3(2):205-216.

- Widodo. 2000. *Respons Dinamik Struktur Elastik*. Yogyakarta (ID): UII Press.
- Wijaya, D. C. 2013. Kajian perbandingan periode getar alami fundamental bangunan menggunakan persamaan empiris dan metode analitis terhadap berbagai variasi bangunan jenis rangka beton pemikul momen. [skripsi] Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.

