

## ANALISIS KARAKTERISTIK DINAMIK RAGAM FUNDAMENTAL STRUKTUR TOWER KEMBAR BERPODIUM TERHADAP GEMPA

*Mohammad Hamzah Fadli<sup>1</sup>  
Relly Andayani<sup>2</sup>*

*Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Univ. Gunadarma  
<sup>1</sup>hamzah.fadlii@gmail.com, <sup>2</sup>rellyanda@yahoo.com*

### ABSTRAK

*Pada analisis ini akan digunakan 2 pemodelan struktur yang masing-masing model terdiri dari 2 tower kembar 35 lantai dengan 2 lantai podium bersama. Konfigurasi struktur tower pada kedua model dibuat berbeda untuk mengetahui sifat/karakteristik dinamik tower kembar terhadap gaya gempa. Metode analisis ragam/modal eigen digunakan untuk mendapatkan pola gerak/mode shape struktur dan mengetahui nilai EMF atau participating mass ratios disetiap ragamnya guna menentukan respon dominan serta distribusi arah gaya gempa tower terhadap podium. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa struktur tower kembar berpodium memiliki karakteristik dinamik yang unik dimana salah satunya didapatkan mode simetris/berlawanan arah yang menghasilkan nilai EMF (Effective Mass Factor) translasi = 0 tetapi nilai MDF translasi (Modal Direction Factors) untuk towernya menunjukkan nilai > 90%.*

**Kata Kunci :** *Tower Kembar Berpodium, Participating Mass Ratios, Mode Simetris*

### PENDAHULUAN

Tower kembar berpodium merupakan 2 tower yang sama dan simetris digabung dalam satu kesatuan dengan suatu podium di bawahnya. Struktur podium mempunyai jumlah lantai yang lebih sedikit dibandingkan towernya, namun luasan lantainya jauh lebih besar dibandingkan dengan tower di atasnya. Bagian atas tower dapat dikatakan fleksibel sedangkan bagian bawah yaitu podium dapat dianggap kaku. Desain struktur dengan tower berpodium biasanya dilakukan terpisah, dimana tower dianggap terjepit di level atap podium, kemudian gaya geser masing-masing tower ditransfer ke atap podium pada masing-masing arah orthogonalnya dengan suatu faktor amplifikasi dari

perbandingan faktor parameter gempa sistem struktur atas (tower) terhadap struktur bawahnya (podium), namun dengan analisis dinamik, karakteristik struktur tower kembar berpodium dapat dilihat dari pola gerak ragam fundamental dan nilai faktor massa efektif/partisipasi massa guna mengetahui respon struktur secara keseluruhan. Analisis tersebut menggunakan asumsi bahwa tower dan podium bekerja sebagai satu kesatuan sedemikian rupa hingga memberikan pola gerak tertentu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik ragam fundamental struktur tower kembar berpodium dan pengaruhnya terhadap respon gempa secara dinamik, menganalisis seberapa pentingnya nilai

partisipasi massa modal terhadap perencanaan gempa struktur tower kembar berpodium dan mengetahui pola arah gaya geser tower yang akan diaplikasikan pada level atap podium akibat modal-modal yang berkontribusi pada struktur keseluruhan.

## METODE PENELITIAN

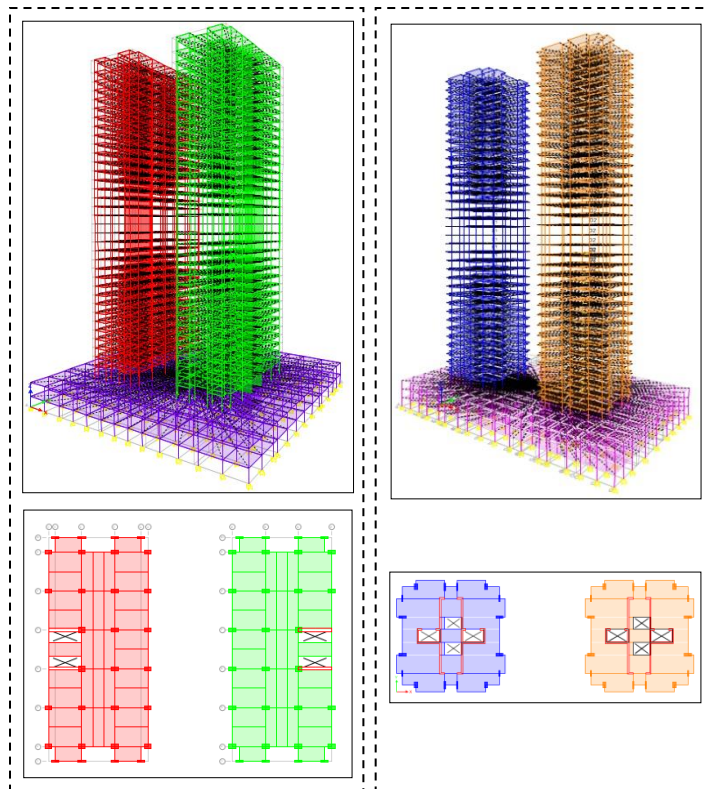
### Objek Analisis Penelitian dan Data

Data yang digunakan untuk model 1 adalah 2 tower kembar 35 lantai dengan subsistem struktur terdiri dari *shear wall – column – beam – slab* dan podium 2 lantai dengan subsistem struktur terdiri dari *shear wall – column – beam – flat slab*. Ukuran lantai tower yaitu 20 m x 39 m (tipikal) dan tinggi total gedung dari dasar podium yaitu 127,4 m. Sedangkan model 2 adalah 2 tower kembar 35 lantai dengan subsistem struktur terdiri dari *core wall – column – beam – slab* dan podium 2 lantai dengan subsistem struktur terdiri dari *core wall – column – beam – flat slab*. Ukuran lantai tower yaitu 27,3 m x 27,8 m (tipikal) dan tinggi total gedung dari dasar podium yaitu 133 m.

### Teknik Pengolahan Data

Modelisasi struktur tower kembar berpodium ini dilakukan secara full 3D dengan bantuan *software* ETABS. Gerak ragam fundamental dihasilkan dari problem *eigen value* hasil analisis program berupa waktu getar struktur dan pola translasi-rotasi dari gerak vibrasi bebas.

Dari hasil analisis ETABS akan didapatkan pola *mode shape*, *modal direction factors* dan *effective mass factor* atau partisipasi massa di setiap mode untuk menentukan karakteristik dinamik struktur masing-masing tower maupun secara keseluruhan.



**Gambar 1 Modelisasi Objek Penelitian, (a) Model 1, (b) Model 2**

Analisis selanjutnya adalah pengaruh gerak ragam struktur terhadap gempa, dimana arah gaya geser gabungan dari analisis dinamik ini dapat menjelaskan peranan mode-mode tinggi untuk struktur multi tower yang dalam kasus ini berupa tower kembar agar tidak diabaikan dalam menentukan arah pembebanan gempa.

Analisis selanjutnya adalah pengaruh gerak ragam struktur terhadap gempa, dimana arah gaya geser gabungan dari analisis dinamik ini dapat menjelaskan peranan mode-mode tinggi untuk struktur multi tower yang dalam kasus ini berupa tower kembar agar tidak diabaikan dalam menentukan arah pembebanan gempa.

**Tabel 1**  
**Modal Direction Factors Towers**

CASE	MODE	MODEL 1				MODEL 2			
		UX	UY	RZ	Pola Gerak	UX	UY	RZ	Pola Gerak
Modal	1	0.000	0.988	0.000	Translasi – Y	0.953	0.000	0.034	Translasi – X
Modal	2	0.000	0.979	0.008	Translasi – Y	0.933	0.000	0.055	Translasi – X
Modal	3	0.988	0.000	0.000	Translasi – X	0.036	0.001	0.962	Rotasi – Z
Modal	4	0.989	0.000	0.000	Translasi – X	0.054	0.000	0.943	Rotasi – Z
Modal	5	0.000	0.009	0.988	Rotasi – Z	0.000	0.987	0.000	Translasi – Y
Modal	6	0.000	0.001	0.997	Rotasi – Z	0.000	0.986	0.001	Translasi – Y

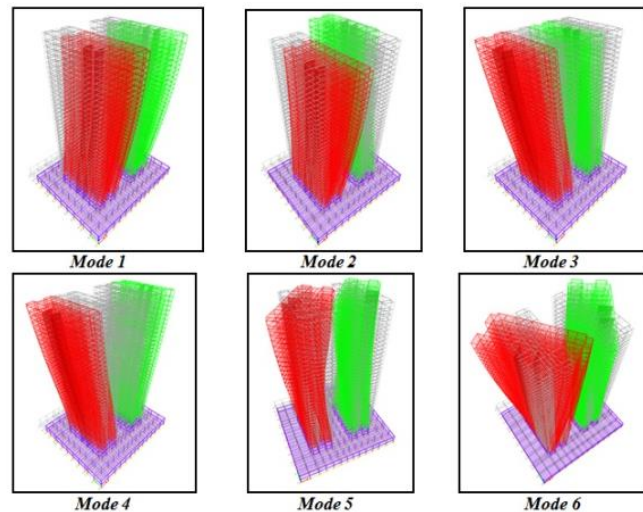
**PEMBAHASAN**

**Analisis Dinamik Pola Gerak Struktur**

Analisis karakteristik dinamik dari struktur secara keseluruhan pada model 1 dan model 2 ini dilakukan dengan melihat gerak vibrasi bebas pada setiap sumbu koordinatnya (sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z). Masing-masing struktur tower kembar ini ternyata menunjukkan karakteristik atau pola gerak yang unik pada 6 ragam pertamanya yang ditunjukkan dalam tabel 1.

Pola gerak ragam dominan tower ditentukan dengan nilai terbesar dari *modal direction factor* untuk masing-masing arah sesuai dengan tabel di atas. Pada mode awal 1 dan 2 masing-masing tower meresponnya dalam arah translasi, pada mode 3 dan 4 tower kembar model 1 merespon dalam arah translasi sedangkan tower kembar model 2 sudah bergerak rotasi. Tower model 1 baru merespon rotasi pada mode 5 dan 6, sedangkan model 2 kembali merespon dalam arah translasi. Selain dengan *modal direction factor*, pola gerak untuk masing-masing tower pada setiap ragam juga dapat dilihat menggunakan animasi pada layar komputer untuk memperkuat analisis.

Pola Ragam Mode Shape Model 1 :



**Gambar 2**  
**Pola Gerak Ragam Struktur pada 6 Mode Pertama untuk Model 1**

Keterangan gambar :

Mode 1: Kedua tower bergerak bersama dan searah dalam respon translasi y.

Mode 2: Kedua tower saling bergerak berlawanan arah dalam respon translasi y.

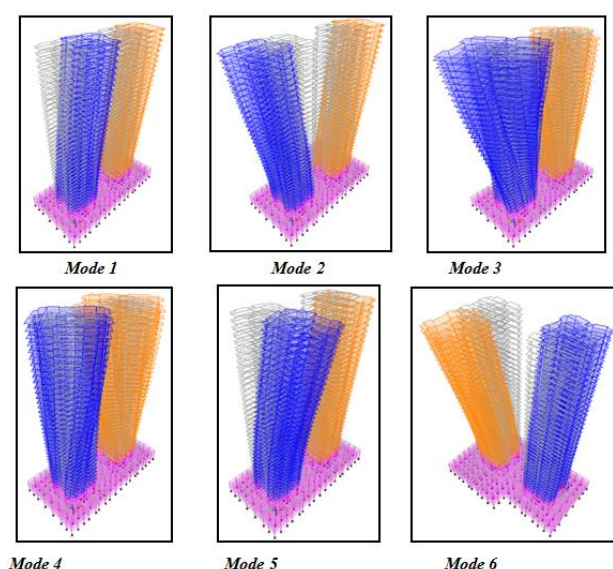
Mode 3: Kedua tower bergerak bersama dan searah dalam respon translasi x.

Mode 4: Kedua tower saling bergerak berlawanan arah membentuk pola simetris dalam respon translasi x.

Mode 5 : Kedua tower bergerak dalam respon rotasi z.

Mode 6 : Kedua tower bergerak membentuk pola simetris dalam respon rotasi z.

Pola Ragam *Mode Shape* Model 2 :



**Gambar 3**  
**Pola Gerak Ragam Struktur pada 6**  
**Mode Pertama untuk Model 2**

Keterangan gambar :

Mode 1: Kedua tower bergerak bersama dan searah dalam respon translasi x.

Mode 2: Kedua tower saling bergerak berlawanan arah membentuk pola simetris dalam respon translasi x.

Mode 3: Kedua tower bergerak dalam respon rotasi z.

Mode 4: Kedua tower bergerak membentuk pola simetris dalam respon rotasi z.

Mode 5: Kedua tower saling bergerak searah dalam respon translasi y

Mode 6: Kedua tower saling bergerak berlawanan arah dalam respon translasi y.

### Partisipasi Massa

Respon struktur yang paling dominan dapat dilihat dari faktor partisipasi massa di setiap ragamnya. Mode yang memberikan faktor partisipasi massa terbesar biasanya menjadi respon yang paling dominan, namun pada kasus struktur tower kembar berpodium ini nilai faktor partisipasi massa pada setiap mode harus dianalisis terlebih dahulu guna menentukan respon struktur yang berpengaruh dalam arah pembebanan gempa.

Analisis Model 1 :

Pada mode 1 sebagai arah terlemah struktur dengan perioda getar 4,023 detik nilai partisipasi massa translasi sebesar 66,81% hal ini dapat dijadikan pembebanan gempa arah y. Pada mode 2 tampak faktor rotasi > translasi (x,y) tetapi jika dilihat pada

**Tabel 2**  
**Modal Participating Mass Ratios**

MODE	MODEL 1				MODEL 2			
	Period	EMF - UX	EMF - UY	EMF - RZ	Period	EMF - UX	EMF - UY	EMF - RZ
	sec	(%)	(%)	(%)	sec	(%)	(%)	(%)
1	4.023	0.000	66.810	0.130	4.778	52.490	0.000	0.160
2	3.914	0.010	0.090	37.150	4.555	0.005	0.000	0.000
3	3.664	59.960	0.000	0.010	3.533	1.650	0.000	9.730
4	3.496	0.000	0.000	0.000	3.51	0.050	0.001	0.330
5	3.141	0.001	0.001	16.130	2.587	0.000	44.500	6.010
6	3.092	0.000	0.030	0.000	2.578	0.001	7.570	31.210

tabel 1 *modal direction factor* untuk kedua tower bergerak sepenuhnya dengan respon translasi y, faktor partisipasi massa UX dan UY pada mode ini menjadi kecil sebab arah gaya tower saling berlawanan. Pada mode 3 dengan waktu getar 3,664 detik partisipasi massa sebesar 59,96% dapat dijadikan pembebanan gempa arah x. Pada mode 4 nilai faktor partisipasi massa UX, UY, dan RZ sama dengan 0 diakibatkan oleh pola mode simetris.

**Analisis Model 2 :**

Pola mode simetris mode 2 juga memberikan nilai faktor partisipasi massa UX, UY, dan RZ sama dengan 0. Respon rotasi dengan EMF – RZ = 9,73% di mode ke-3 juga berdampak pada respon struktur yang mengakibatkan respon translasi arah y baru terjadi di mode 5, sehingga akan memberikan gaya pembebanan gempa yang cukup signifikan. Pada mode 6 terjadi seperti model 1 dimana faktor rotasi > translasi (x,y) karena arah gerak tower sepenuhnya dominan bergerak translasi berlawanan arah.

Waktu getar satu arah x untuk desain = 4,778 detik

$$V \sim 1/T = 1/4,778 = 0,209$$

Waktu getar satu arah y untuk desain = 2,587 detik

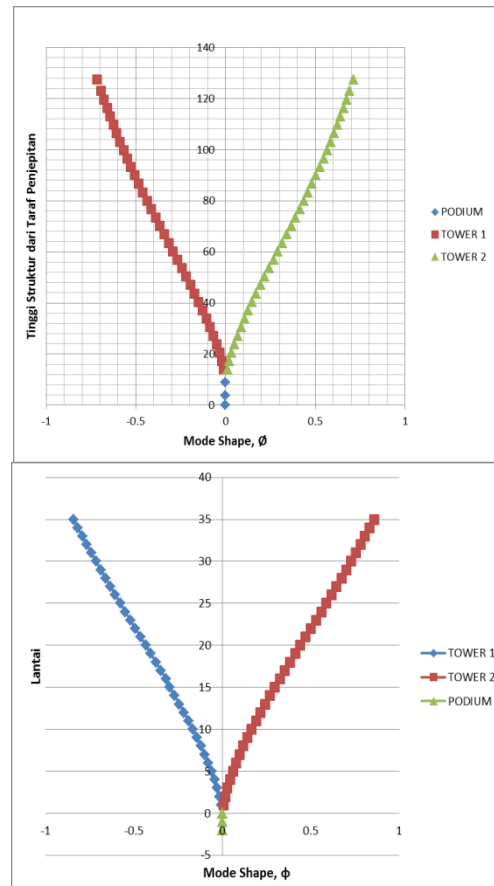
$$V \sim 1/T = 1/2,587 = 0,386$$

$$\Delta V = (0,386-0,209)/0,209 = 84,68\%$$

**Mode Simetris Struktur Tower Kembar**

Dari hasil partisipasi massa struktur pada tabel 2, didapat keunikan tertentu pada mode yang mengalami gerak simetris untuk kedua towernya, dimana nilai EMF total sama dengan 0 (EMF-UX = 0, UY = 0, RZ = 0) karena arah gaya tower saling berlawanan sehingga penjumlahan tanda + dan -

dari masing-masing tower menghasilkan nilai 0, namun untuk gerak tower memberikan kontribusi yang cukup signifikan dengan *modal direction factors* translasi > 90%.



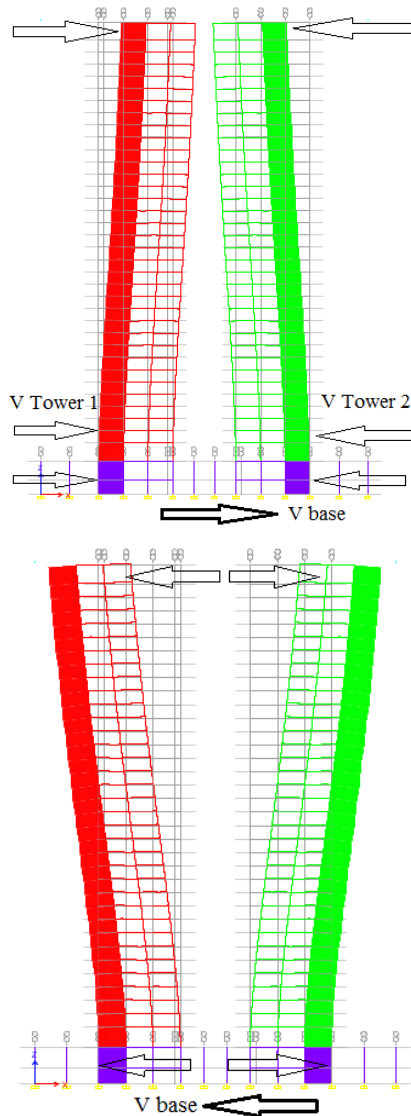
**Gambar 4**  
**Pola Simetris Mode Shape Struktur Tower, Model 1 – Mode 4 (kiri) dan Model 2 – Mode 2 (kanan)**

**SIMPULAN DAN SARAN**

**Simpulan**

1. Gerak *mode shape* tiap tower dilakukan secara bergiliran dalam urutan yang teratur di mode-mode awal (translasi satu arah – translasi berlawanan arah – rotasi).
2. Ragam pertama dari masing-masing tower dominan dalam arah translasi.





**Gambar 5**  
**Aplikasi Gaya Geser Tower pada Mode Simetris**

3. Pola mode simetris/berlawanan arah umumnya terjadi setelah mode yang memberikan respon gerak searah untuk kedua tower kembar tersebut (mode 2,4,6).
4. Nilai faktor partisipasi massa terbesar menentukan ragam yang paling dominan secara keseluruhan untuk analisis struktur, tetapi pada ragam simetris translasi dihasilkan nilai

$EMF = 0$ , namun nilai MDF translasi untuk tower  $> 90\%$ .

5. Gaya geser kedua tower tidak hanya dapat terjadi dalam satu arah, namun bisa dikombinasikan dalam berbagai arah seperti arah berlawanan pada mode simetris.

### Saran

1. Membandingkan struktur tower berpodium tidak hanya pada tower kembar 2, namun dapat dimodifikasi dengan jumlah subtowernya lebih dari 2 tower.
2. Variasi kasus struktur berpodium multi tower yang memiliki tower-tower dengan perbedaan jumlah lantai, bentuk, maupun sistem struktur penahan gempanya.
3. Adanya analisis yang lebih dalam untuk struktur tower dengan respon rotasi

### DAFTAR PUSTAKA

- ASCE/SEI 7-10. 2010. Minimum Design Loads For Building and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Chopra, Anil K., "Dynamics of Structures : Theory And Applications To Earthquake Engineering", Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- Essen, Donald., Satriyo, Budi., Wangsadinata, Wiratman., Wibawa, Irawan. 2004, "Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur Gedung Apartemen Senayan Residence Jakarta", Bandung, 12 Juni 2004.
- Los Angeles Tall Building Structural Design Council. 2014. "An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of

Tall Buildings Located in the Los Angeles Region”.

- Rastandi, Josia Irwan. 2011, “Analisis Dinamik Arah Gaya Geser Tower Pada Struktur Podium Multi Tower”, Seminar HAKI, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 1726-2012), “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”, Badan Standarisasi Nasional, 2012.
- Sukamta, Davy. (2014). “Perkembangan dan Kemajuan dalam Perancangan Tahan Gempa di Indonesia (HAKI) (Ed.)”, Indonesian Society for Structural Engineers Annual Conference. Jakarta: HAKI Conference.