

## IDENTIFIKASI PERILAKU TRANSFORMASI GEOMETRIS BANGUNAN DALAM PROSES DISAIN BANGUNAN TERHADAP GEMPA

Livian Teddy<sup>1\*</sup>, Johannes Adiyanto<sup>1</sup> dan Husnul Hidayat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Arsitektur, Universitas Sriwijaya, Palembang  
Corresponding author: livianteddy@gmail.com

**ABSTRAK** : Indonesia merupakan wilayah rawan gempa termasuk wilayah Sumatera Selatan dengan kategori *moderate s/d high*, sehingga bangunan harus dirancang untuk tahan gempa. Dalam proses disain arsitektur dikenal proses *form finding* yaitu proses pencarian bentuk rancangan dari bentuk sederhana sampai dengan bentuk final yang kompleks. Pada prinsipnya tidak ada larangan untuk membuat bentuk-bentuk yang kompleks tetapi harus mengetahui konsekuensi dari penggunaan bentuk-bentuk kompleks tersebut dalam masalah perilaku gempa terhadap bangunan. Penelitian ini penelitian eksperimen simulasi dengan menggunakan 7 model bangunan (I, L, T, U, +, Z,  $\cap$ ) yang sering digunakan dalam desain arsitektur tetapi 6 model diantaranya memiliki ireguleritas geometris. Hasil analisa *modal analysis* program Etabs terhadap 7 model bangunan tersebut yaitu : perbandingan  $H/D \leq 2$ , periode getarnya relatif sama dengan periode maksimumnya, ragam fundamentalnya kategori reguler hanya model bentuk I, T, U, + dan rasio partisipasi massa model bangunan semakin kompleks/ireguler bentuknya semakin besar mode yang dibutuhkan. *Guidance* yang diusulkan dalam proses *form finding* yaitu SRPM  $H/D \leq 2$  atau  $H/D > 2$  SRPM + *shear wall/core wall*, bentuk geometris dasar memiliki ketahanan yang baik terhadap gempa, hindari bentuk organik/lengkung di zona rawan gempa kuat, bentuk ireguleritas torsi dan sudut dalam dapat diminimalisir dengan penambahan *shear wall/core wall*, perkuatan atau dilatasi.

Kata Kunci: gempa, arsitektur, form finding, simulasi, guidance

**ABSTRACT** : Indonesia is an earthquake prone area including South Sumatra with moderate to high category, so buildings must be designed to withstand earthquakes. In the process of architectural design, it is known that the process of *form finding* is the process of searching for design forms from simple to complex final forms. In principle, there is no prohibition on making complex shapes but one must know the consequences of using these complex shapes in the problem of earthquake behavior on buildings. This research is a simulation experiment research using 7 building models (I, L, T, U, +, Z,  $\cap$ ) which are often used in architectural design but 6 of them have geometric irregularities. The results of the analysis of the Etabs program's modal analysis of the 7 building models are: ratio  $H / D \leq 2$ , the period of vibration is relatively the same as the maximum period, the fundamental variety is the regular category only the form I, T, U, + model and the mass participation ratio of the building model is increasingly complex. / irregular the form the larger the mode is required. The guidelines proposed in the process of *form finding* are SRPM  $H / D \leq 2$  or  $H / D > 2$  SRPM + *shear wall / core wall*, basic geometric shapes have good resistance to earthquakes, avoid organic shapes / curves in strong earthquake prone zones, irregularity of torsion and internal angles can be minimized by adding shear walls / core walls, reinforcement or dilation.

**Keywords:** earthquake, architecture, form finding, simulation, guidance

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah rawan gempa yang dilalui banyak jalur gempa subduksi seperti Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan sesar seperti sesar Sumatra, Jawa, Sulawesi dan Papua Barat. Dengan demikian sudah banyak kejadian gempa yang menimbulkan korban jiwa dan harta. Salah satu penyumbang terbanyak korban jiwa akibat gempa yaitu kerusakan dan keruntuhan bangunan.

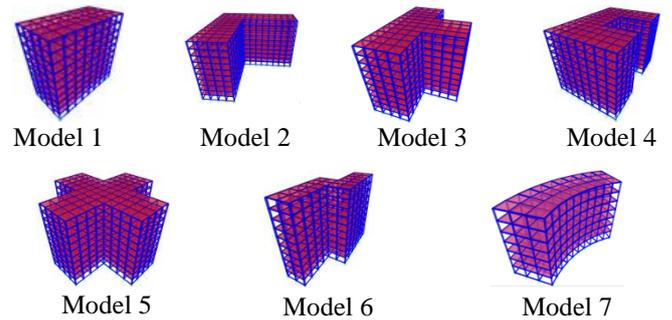
Melakukan disain bangunan untuk dapat menerima gempa kuat dalam kondisi elastis adalah tidak ekonomis. Yang mungkin dilakukan yaitu bangunan bisa saja rusak berat tetapi tidak mengalami keruntuhan. Dan untuk membuat bangunan dengan kondisi demikian tidak cukup diserahkan pada ahli struktur saja tetapi harus ada kerjasama baik antara arsitek dan ahli struktur (Arnold and Stewart, 2000; Hoedajanto and Riyansyah, 2015). Proses perancangan bangunan tahan gempa seharusnya dimulai dari proses disain arsitektur dengan mempertimbangkan aspek geometri bangunan yang akan berpengaruh pada perilaku struktur dalam menerima gempa terutama beban lateral.

Dalam proses disain arsitektur dikenal proses *form finding* yaitu proses pencarian bentuk sampai akhirnya ditemukan bentuk yang sesuai. Biasanya dimulai dengan bentuk sederhana kemudian dilakukan transformasi sehingga didapatkan bentuk yang lebih kompleks. Tetapi pada proses transformasi ini biasanya arsitek lebih fokus pada aspek estetika saja. Pada prinsipnya tidak ada larangan untuk membuat bentuk-bentuk yang kompleks. Tetapi yang menjadi perhatian adalah konsekuensi dari penggunaan bentuk-bentuk kompleks tersebut dalam masalah perilaku gempa terhadap bangunan (Harmankaya and Soyluk, 2012). Selain konfigurasi geometri bangunan, jenis material bangunan juga mempengaruhi ketahanan bangunan terhadap gempa. Material baja memiliki sifat daktilitas yang baik dibandingkan beton yang bersifat getas. Tetapi beton merupakan material struktur bangunan yang paling sering digunakan di Indonesia. Penelitian ini mencoba mempelajari konfigurasi bangunan yang berbahan beton bertulang dari bentuk I menjadi bentuk yang lebih kompleks +, Z, T, L, U, ∩ sehingga mempengaruhi respon bangunan terhadap gempa. Tujuannya mempelajari perubahan geometri bangunan terhadap perilaku struktur dalam menerima gaya gempa.

MODEL DAN METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen simulasi. Dengan

menggunakan 7 model bangunan (gambar 1) berbentuk I, L, T, U, +, Z, ∩ ketinggian bangunan 10 lantai dan tinggi antar lantai 4 m. Enam bentuk-bentuk terakhir sering kali digunakan dalam perancangan arsitektur tetapi terkandung ireguleritas didalamnya (JIA and JASO, 2012). Sistem struktur yang digunakan yaitu Struktur Rangka Pemikul Momen (SRPM). Modul kolom yang digunakan 5x5 m, dimensi kolom 0.6x0.6 m dan d=0.6 m (model -7), dimensi balok 0.25x0.4 m dan tebal lantai t=12cm. Mutu beton K-300, mutu baja tulangan  $f_y=4000 \text{ Kg/cm}^2$  dan mutu baja sengkang  $f_y=2400 \text{ Kg/cm}^2$ .



Gambar 1 3D model bangunan.

Tabel 1 Periode fundamental dan periode maksimum(dtk), perbandingan tinggi dan lebar bangunan (H/D), mode translasi (Ux dan Uy) dan rotasi (Rz), dan partisipasi massa (Sum Ux dan Sum Uy) (sumber : analisa).

Model	Period-T (dtk)		Tmax(dtk)	H/D	Uy	Ux	Rz	Sum Uy (100%)	Sum Ux (100%)
	mode-1 (y)	mode-2 (x)			mode-1	mode-2			
1	1.935	1.865	1.80	2	0.7876	0.7908	0.7895	23	24
2	1.921	1.908	1.80	2	0.3299	0.3953	0.6606	28	28
3	1.924	1.890	1.80	2	0.7896	0.7675	0.7657	27	26
6	1.942	1.818	1.80	2	0.7833	0	0	27	28
7	1.916	1.785	1.80	2	0.7964	0.6500	0.0494	26	27

Model	Period-T (dtk)		Tmax(dtk)	H/D	Ux	Uy	Rz	Sum Ux (100%)	Sum Uy (100%)
	mode-1 (x)	mode-2 (y)			mode-1	mode-2			
4	1.909	1.908	1.80	2	0.7803	0.7907	0.7809	29	28
5	1.907	1.907	1.80	2	0.7852	0.7852	0.7888	25	26

Ke-7 geometri model bangunan diatas di-input kedalam program struktur Etabs. Asumsi beban mati 400kg/m<sup>2</sup> dan beban hidup yang digunakan yaitu fungsi

perkantoran (250 kg/m<sup>2</sup>) dan dianalisa dengan *modal analysis* sehingga didapatkan *output modal information* yaitu *fundamental period* (T), *shape mode translation* (U<sub>x</sub>, U<sub>y</sub>), *torsion* (R<sub>z</sub>) dan *Participating Mass Ratio* (Sum U<sub>x</sub>, Sum U<sub>y</sub>).

Periode Fundamental model bangunan (T) dibandingkan Periode Fundamental maksimum (T<sub>max</sub>) dapat diketahui kekakuan suatu struktur (Budiono and Supriatna, 2011). Jika T < T<sub>max</sub> maka struktur kaku dan jika T > T<sub>max</sub> maka struktur fleksibel. Untuk T<sub>max</sub> didasarkan pada zona gempa kategori *high* yang ada di Sumatera Selatan.

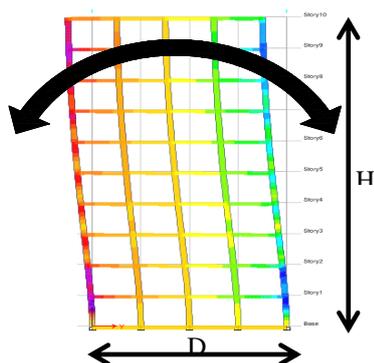
U<sub>x</sub>, U<sub>y</sub> dan R<sub>z</sub> digunakan untuk menilai tingkat ketidakberaturan/ireguler suatu struktur bangunan. Bangunan dengan dominan translasi pada *mode -1* dan *mode -2* (U<sub>x</sub> dan U<sub>y</sub>) dan rotasi pada *mode -3* (R<sub>z</sub>) dapat dikategorikan bangunan yang beraturan/reguler (Murty *et al.*, 2012).

Sum U<sub>x</sub> dan Sum U<sub>y</sub> merupakan penjumlahan masing-masing kontribusi *mode/ragam* arah aksis -x dan -y didalam *modal analysis*. Untuk menjamin akurasi metode ini tergantung pada bagian yang berpartisipasi dari total massa bangunan yang disebut *Participating Mass Ratio* (Rasio Partisipasi Massa) (Hanna *et al.*, 2017). Menurut peraturan gempa Indonesia terbaru partisipasi rasio massa harus mencapai 100% (BSN, 2019). Salah satu penyebab yang dapat mengakibatkan suatu model bangunan penjumlahan ragamnya tidak mencapai 100% yaitu kompleksitas dan/atau ireguleritas dari suatu bangunan. Semakin kompleks dan/atau ireguler suatu bangunan semakin banyak mode yang dibutuhkan dan juga semakin sulit penjumlahan ragamnya mencapai 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode Fundamental (T)

Jika dibandingkan antara periode fundamental dengan periode maksimum model bangunan (tabel 1) memperlihatkan baik arah -x maupun arah -y semua periode fundamentalnya (T) diatas periode maksimumnya (T<sub>max</sub>) kecuali arah -x model 7. Tetapi tidak terlalu signifikan perbedaannya.

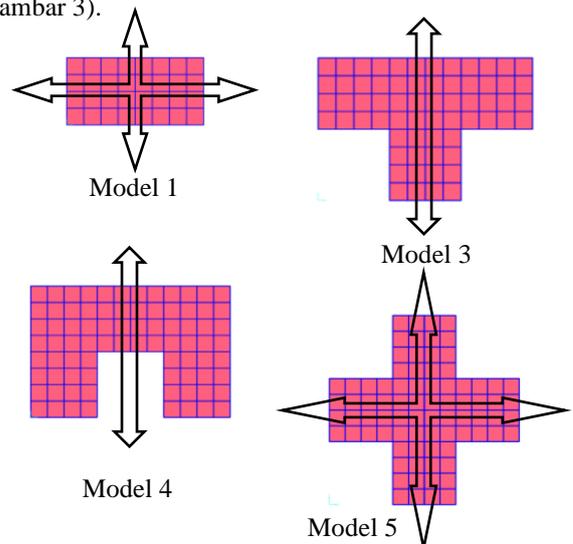


Gambar 2 Perbandingan ideal tinggi (H) dan lebar (D) bangunan tinggi  $\frac{H}{D} \leq 4$  untuk mengurangi potensi *overturning* akibat gempa (sumber : diadaptasi dari JIA and JASO, 2012)).

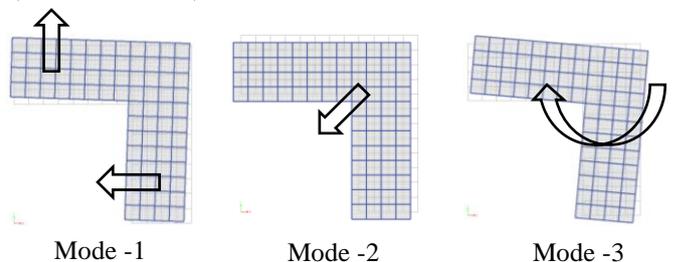
Begitu juga perbandingan antara tinggi dan lebar bangunannya (H/B) masih dibawah 4. Hal ini berarti semua model bangunan masih cukup kaku dalam menghadapi berbagai *mode* potensi gempa yang terjadi sehingga dapat mengurangi masalah efek *overturning* (gambar 2) yang biasa terjadi pada bangunan tinggi (E.Garcia and A.Sozen, 2004; JIA and JASO, 2012).

Ragam Getar Fundamental (*Mode*)

Dari 7 model, yang memenuhi kriteria reguler dimana *mode -1* dan *-2* translasi, dan *mode -3* rotasi yaitu hanya model 1, model 3, model 4 dan model 5 (tabel 1). Dari bentuk denah masing-masing model memiliki denah simetris 2 aksis (model 1 dan 5) dan denah simetris 1 aksis (model 3 dan 4). Model 3 dan 4 walaupun hanya simetris 1 aksis ternyata masih memiliki reguleritas (gambar 3).

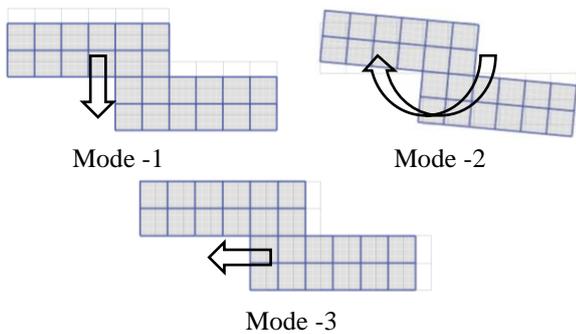


Gambar 3 Reguleritas model bangunan I, T, U dan + yang memiliki denah simetris 2 aksis dan 1 aksis (sumber : analisa).

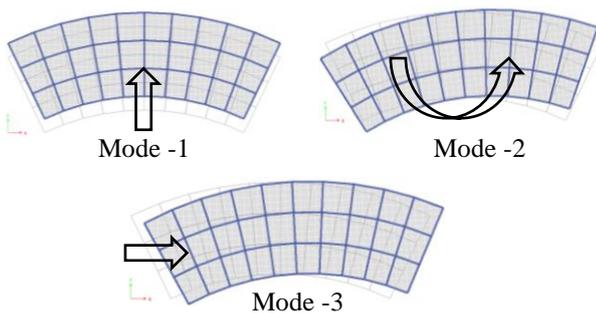


Gambar 4 Ireguleritas model 2 bentuk L : mode -1 translasi, mode -2 translasi diagonal dan mode -3 rotasi (sumber : analisa).

Model 2, jika dilihat pada tabel 1 sebenarnya mode -1 dan -2 translasi tetapi pada mode -1 translasinya tidak dominan ( $<0.5$ ) terjadi pada 2 aksis sekaligus dan bercampur dengan rotasi sedangkan mode -2 translasinya diagonal dan juga tidak dominan ( $<0.5$ ). Untuk mode -3 rotasi dan masih cukup dominan ( $>0.5$ ) (gambar 4). Fenomena lainnya pada model 6 dan 7. Model 7 memiliki simetris 1 aksis dan model 6 tidak simetris. Keduanya pada mode -1 translasi sedangkan pada mode -2 rotasi dan mode -3 translasi (gambar 5 dan 6).



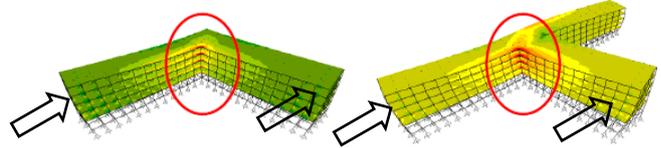
Gambar 5 Ireguleritas model 6 bentuk Z : mode -1 translasi, mode -2 rotasi dan mode -3 translasi (sumber : analisa).



Gambar 6 Ireguleritas model 7 bentuk U : mode -1 translasi, mode -2 rotasi dan mode -3 translasi (sumber : analisa).

Model bangunan 3, 4 dan 5 jika menurut ragam getar fundamentalnya termasuk kategori reguler tetapi masih mengandung ireguleritas horisontal lainnya yaitu ketidakberaturan sudut dalam (FEMA, 2007). Di mana terjadi konsentrasi tegangan gaya pada sudut pertemuan massa akibat perbedaan kekakuan pada saat terjadi gempa (gambar 7). Potensi ireguleritas ini juga terjadi pada model 2 dan 6. Hal ini dapat dicegah dengan perkuatan pada area pertemuan sudut massa, menghindari sayap-sayap massa yang terlalu panjang ( $< 15\%$  dari massa utama), penggunaan dinding geser pada ujung-ujung sayap massa dan pertemuan antar massa bangunan, atau pemisahan antar massa bangunan dengan dilatasi (adaptasi Duggal, 2007). Model bangunan 7 relatif berbeda dengan model lainnya karena model 1 s/d 6 layout kolom dan baloknya masih mengikuti arah aksis x dan y. Sedangkan model 7 susunan kolom dan baloknya

tidak mengikuti arah aksis ortogonal atau kategori ketidakberaturan sistem non paralel (FEMA, 2007). Mengatasi ireguleritasnya yaitu penggunaan *shear wall* diujung-ujung bangunan atau sebaiknya hindari saja penggunaan bentuk lengkung terutama di area rawan gempa kuat. Berdasarkan realita lapangan bangunan berbentuk lengkung ternyata kerusakannya relatif parah akibat goyangan gempa kuat (Liang LI, 2019).



Gambar 7 Potensi terjadi ireguleritas ketidakberaturan sudut dalam model 2, 3, 4 dan 5 (sumber : Murty et al., 2012).

### Rasio Partisipasi Massa

Jumlah mode maksimum yang dibutuhkan untuk melakukan *modal analysis* pada model bangunan yaitu  $10 \times \text{jumlah lantai (N)}$  (Madutujuh, 2020). Kemudian setelah analisis baru diketahui dengan pasti jumlah mode yang dibutuhkan untuk mencapai partisipasi massa 100%. Partisipasi massa 100% pada seluruh model diatas mode -20 (tabel 1). Yang paling terkecil mode -23 dan -24 yaitu pada model 1 yang memiliki bentuk I. Sedangkan yang terbesar mode -28 dan -29 pada model 4 yang berbentuk U. Secara umum semakin bertambah kompleksitas dan ireguleritas semakin banyak mode yang dibutuhkan untuk mencapai partisipasi massa 100%.

Jika partisipasi massa 100% sulit dicapai walaupun sudah menambah mode, dapat dilakukan dengan (Madutujuh, 2020) :

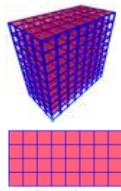
- Mengatur ulang susunan kolom atau *shear wall*.
- Memperbesar dimensi kolom atau *shear wall*.
- Memeriksa distribusi beban.
- Menyederhanakan bentuk massa yang kompleks dengan memisahkannya menggunakan dilatasi.

### KESIMPULAN

Dari hasil analisa diatas bentuk-bentuk I, L, T, U, +, Z, U diusulkan *guidance* dalam proses *form finding* desain arsitektur sehingga didapatkan konfigurasi geometri bangunan yang relatif tahan terhadap gempa yaitu :

1. Perbandingan tinggi dan lebar bangunan Untuk SRPM batasi ketinggian dan lebar bangunan dengan rasio  $H/D \leq 2$ . Jika  $H/D > 2$  kombinasikan dengan *shear wall* dan/atau *core wall*.

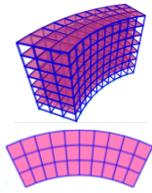
2. Pemakaian bentuk dasar



Gambar 8 Bentuk dasar persegi panjang (sumber : analisa).

Bentuk dasar seperti persegi panjang memiliki ketahanan lebih baik terhadap gempa dibandingkan bentuk lainnya tetapi penampilannya relatif sederhana dan monoton.

3. Pemakaian bentuk organis dan lengkung

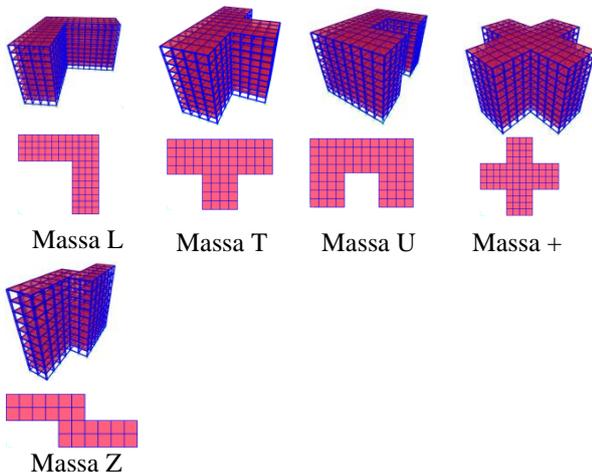


Gambar 9 Bentuk lengkung (sumber : analisa).

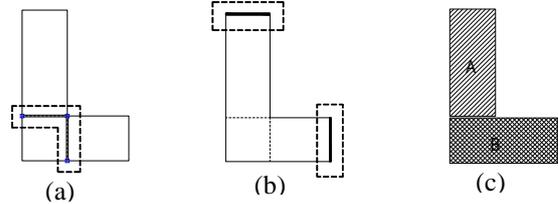
Bentuk organis dan lengkung memiliki ireguleritas torsi dan ireguleritas sistem non paralel. Jika kompleksitasnya bertambah respon bangunan ini terhadap gempa semakin sulit diperkirakan. Hindari penggunaan bentuk lengkung dan organis di zona gempa kuat karena ketahanannya terhadap gempa kurang baik walaupun secara arsitektural bentuknya menarik.

4. Pemakaian bentuk L, T, U, +, Z

Bentuk L, T, U, +, Z (gambar 10) memiliki ireguleritas torsi dan ketidakberaturan sudut dalam. Untuk meminimalisir ireguleritas tersebut dengan cara memperkuat area dimana memiliki potensi terjadinya konsentrasi tegangan gaya akibat gempa (gambar 11a), memperkecil potensi torsi dengan meletakkan *shear wall* diujung-ujung sayap bangunan (gambar 11b) atau menggunakan dilatasi untuk memisahkan massa bangunan yang tidak beraturan (gambar 11c).



Gambar 10 Bentuk L, T, U, +, Z .



Gambar 11 Perkuat dimana potensi terjadinya konsentrasi tegangan gaya (a), gunakan *shear wall* dimana dapat memperkecil potensi torsi (b) atau pisahkan massa bangunan dengan dilatasi (c) (sumber : analisa).

UCAPAN TERIMA KASIH

Riset ini didukung penuh oleh pendanaan PNPB Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya melalui skema SAINSTEK. Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sriwijaya atas dana yang telah disetujui yang membuat penelitian penting ini dapat fisibel dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Arnold, C. and Stewart, W. W. (2000) ‘Seismic Analysis and Design’, in AIA (ed.) *The Architects Handbook of Professional Practice*. 13th edisi. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., pp. 1–7.

BSN (2019) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726: 2019*, Jakarta: Standar Nasional Indonesia.

Budiono, B. and Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-2012*. Bandung: Penerbit ITB.

Duggal, S. K. (2007) *Earthquake resistant design of structures*. Oxford university press New Delhi.

E.Garcia, L. and A.Sozen, M. (2004) ‘Earthquake-Resistant Design of Reinforced Concrete Buildings’, in Bozorgnia, Y. and V.Bertero, V. (eds) *Earthquake engineering: from engineering seismology to performance-based engineering*. CRC press, pp. 798–907.

FEMA (2007) *NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials-FEMA 451B*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).

Hanna, N. F. et al. (2017) ‘Efficient Mass Participation Ratio of Building with Basement’, *IOSR Journal of*

*Mechanical and Civil Engineering*, 14(1), pp. 59–74.  
doi: 10.9790/1684-1401045974.

- Harmankaya, Z. Y. and Soyuluk, A. (2012) ‘Architectural Design of Iregular Buildings in Turkey’, *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Vol:12(No.01), p. 42 to 48.
- Hoedajanto, D. and Riyansyah, M. (2015) ‘Bangunan Tahan Gempa dan Tanggung Jawab Legal Praktisi Konstruksi Indonesia’, in Sukamta, D. and Et.al. (eds) *Challenges in the Future*. Jakarta: HAKI, pp. 1–10.
- JIA and JASO (eds) (2012) *Earthquake-Resistant Building Design for Architects*. Japan: Takhesi Goto.
- Liang LI (2019) ‘Research on the Function of Architectural Design Based on Seismic Observation Records in Seismic Design of Buildings’, *Academic Journal of Environment & Earth Science*. Francis Academic Press, 1(1).
- Madutujuh, N. (2020) *Perencanaan Gedung Bertingkat dengan Program SANSPRO*. Jakarta.
- Murty, C. V. R. et al. (2012) *Some Concepts in Earthquake Behaviour of Buildings*. Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority Government of Gujarat.