

Analisis Gaya Geser Dasar pada Gedung Bertingkat dengan Konsep Perpindahan Langsung

Analysis of Base Shear Forces in Multi-Storey Buildings with the Direct Displacement Concept

Ayuddin

Program Studi Teknik Sipil Bangunan Gedung Universitas Negeri Makassar, Sulawesi Selatan,
Indonesia

Email: ayuddin@unm.ac.id

Abstrak

Dalam melakukan perhitungan struktur gedung tahan gempa telah dikembangkan suatu metode desain struktur dengan konsep perpindahan langsung. Dengan konsep ini didefinisikan sebagai prosedur analisis yang didasarkan atas penentuan sudut simpangan maksimum pada suatu balok sebagai fokus utama. Penelitian ini digunakan metode analisis untuk aplikasi konsep perpindahan langsung pada struktur gedung bertingkat dengan model gedung asimetrik 5 dengan ketinggian gedung sebesar 18.20 m. Tujuan penelitian dari analisis ini adalah untuk mengetahui gaya geser dasar (V_b) yang terjadi dan dilakukan perbandingan dari hasil gaya geser dasar (V_b) metode konvensional. Hasil analisis ini didapat gaya geser dasar (V_b) pada metode perpindahan langsung sebesar 1194,937 kN dan hasil analisis dari metode konvensional didapatkan gaya geser dasar (V_b) sebesar 1025.556 kN. Perbedaan hasil yang didapatkan gaya geser dasar (V_b) yang didapatkan antara metode konvensional (berbasis gaya) dengan metode perpindahan langsung menunjukkan tidak signifikan perbedaannya yaitu 16.52 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa metode perpindahan langsung ini dapat digunakan sebagai basis alternatif desain konstruksi tahan gempa.

Kata kunci: Analisis Struktur, Gaya Geser Dasar, Konsep Perpindahan Langsung

Abstract

In carrying out earthquake-resistant building structure calculations, a structural design method with the concept of direct displacement has been developed. This concept is defined as an analysis procedure based on determining the maximum deviation angle in a beam as the main focus. This research uses an analytical method to apply the concept of direct displacement to a reinforced building structure with an asymmetric building model 5 with a building height of 18.20 m. The research objective of this analysis is to determine the basic shear force (V_b) that occurs and make a comparison of the results of the basic shear force (V_b) conventional method. The results of this analysis show that the basic shear force (V_b) in the direct displacement method is 1194.937 kN and the results of the analysis from the conventional method show that the basic shear force (V_b) is 1025.556 kN. The difference in the results obtained for the basic shear force (V_b) obtained between the conventional method (force based) and the direct displacement method shows that the difference is not significant, namely 16.52 percent. These results indicate that this direct displacement method can be used as an alternative basis for earthquake resistant construction design.

Keywords: Structural Analysis, Basic Shear Force, Direct Displacement Concept

PENDAHULUAN

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir ini, konsep desain konstruksi telah bergeser dari konsep desain berdasarkan kekuatan struktural atau elemen struktural (*forced-based design*) menjadi konsep desain yang didasarkan atas kondisi batas (*limit states design*), yang disebut Desain Berdasarkan Kinerja[1]. Perubahan filosofi desain dalam standar/kode bangunan pertama kali dimuat dalam tinjauan *Structural Engineering Association of California (SEAOC)* dan *Applied Technology Council (ATC)* 1995 [2–3]. Kemudian konsep baru tersebut didokumentasikan dalam NEHRP 1997, FEMA 302 dan UBC 1997. Yang terakhir dimuat dalam SEAOC Vision 2000. Kecenderungan pergeseran ini disebabkan adanya kebutuhan untuk pengendalian kinerja struktural, yang terutama ditujukan untuk menjamin stabilitas ketahanan suatu konstruksi [4–5].

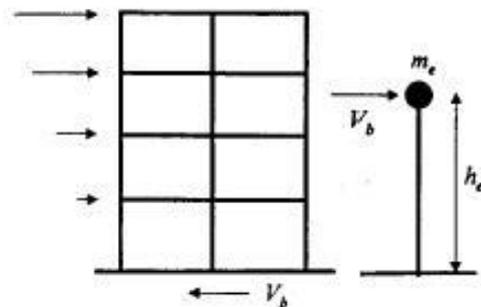
Terdapat 3 pendekatan dalam desain berdasarkan kinerja (yaitu metoda kapasitas spektra, metoda N2 dan metoda perpindahan), dan teknik yang akan diturunkan disini adalah metoda perpindahan [6]. Metode perpindahan didefinisikan sebagai prosedur analisis yang didasarkan atas estimasi displasemen lateral, dimana komponen gaya desain kemudian ditentukan berdasar deformasi yang dihitung [7]. Dengan demikian deformasi atau perpindahan lateral menjadi parameter utama desain yang dihubungkan dengan respons struktur secara keseluruhan [8–9]. Dalam hal Implementasi perhitungan metoda Perpindahan sebenarnya terdapat beberapa prosedur perhitungan yang diusulkan oleh beberapa peneliti/penulis dalam beberapa tahun belakangan ini (*Timothy Sullivan, The Current Limitations of Displacement Based Design, 2002*), dan karena itu penulis hanya akan membahas penerapan metoda ini terutama dari formula

dan prosedur yang dikembangkan *Priestly* dan *Kowalsky*.

Anggapan dasar dari metoda ini tetap mengikuti konsep *strong-column weak-beam* atau kolom-kuat balok-lemah, sehingga deformasi dapat dihitung berdasarkan kapasitas rotasi balok [10 - 11]. Respons dinamik struktur berderajat kebebasan banyak (*MDOF*) yang sesuai kondisi real, akan diubah menjadi struktur berderajat kebebasan tunggal (*SDOF*) yang ekuivalen.

Penurunan Hubungan Substitutif antara Sistem Berderajat Kebebasan

Banyak (*MDOF*) dan Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal (*SDOF*). *Direct Displacement Based Design* memerlukan prosedur simplifikasi untuk estimasi deformasi gempa suatu sistem *SDOF* in-elastik sebagai representasi modulus getar (*mode shape*) struktur yang dianalisis. Studi teoretik dan eksperimental hubungan substitutif ini diberikan oleh *P.Gulkan, M.Sozen, dan A.Shibata*.



Gambers 1. Simulasi SDOF ekuivalen

Struktur sebenarnya (portal beton bertulang berlantai banyak) adalah suatu *Multi Degree of Freedom (MDOF)*, akan tetapi apabila respons dinamik struktur tersebut didominasi oleh modulus getar pertama (*1st mode shape*), maka sistem *MDOF* tersebut dapat diaproksimasi menjadi suatu *SDOF* dengan *sistem, massa dan redaman* yang ekuivalen [12 - 13]. Analisis respons dinamik model *SDOF* ekuivalen menggunakan analogi massa-pegas atau osilator (konsep fisis dinamika

struktur) dan dikerjakan melalui analisis transformasi modal atau metoda superposisi modal. Untuk setiap komponen modus, yaitu *perpindahan*, *kecepatan* dan *percepatan* dapat dinyatakan dalam:

$$X = [\Phi]Y \quad (1)$$

$$\dot{X} = [\Phi]\dot{Y} \quad (2)$$

$$\ddot{X} = [\Phi]\ddot{Y} \quad (3)$$

dimana:

X = displasemen (perpindahan) lantai

\dot{X} = kecepatan lantai

\ddot{X} = percepatan lantai

$[\Phi]$ = vektor modus getar

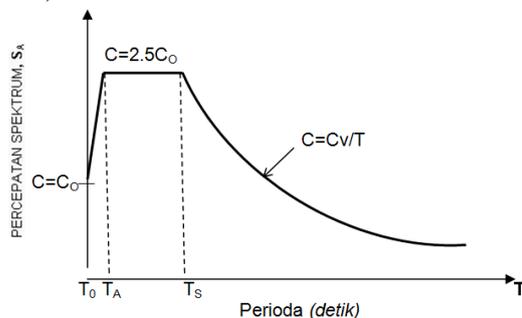
Y = displasemen (perpindahan) amplitudo modus getar

\dot{Y} = kecepatan modus getar

\ddot{Y} = percepatan modus getar

Analisis Respons Struktur Perpindahan

Respons spektrum yang umum digunakan dalam desain adalah kurva-kurva perioda-percepatan untuk rasio redaman elastik ξ_{eff} 5% terhadap redaman kritis [10]. Seperti diberikan pada **Gambar 2**, kurva spektrum desain standar yang didasarkan atas model SDOF mempunyai nilai percepatan maksimum rata-rata hasil superposisi sebesar $C = 2.5C_0$. Angka ini berdasarkan pengkajian database gempa dan telah distandardisasi (UBC 1987, SNI-2002).



Gambar 2. Simu Spektrum respons percepatan elastik desain (UBC 87, SNI 2002)

C_0 = koefisien percepatan puncak untuk tanah dasar keras

C_v = koefisien kecepatan puncak untuk tanah dasar keras

Spektrum Respons Gempa Rencana mempunyai 3 cabang kurva yang masing-masing absisnya sebagai T_0 , T_A dan T_S . Peroda T_0 adalah nilai awal, Perioda T_A adalah titik pertemuan kurva pertama dan kedua, dan perioda T_S adalah titik pertemuan kurva kedua dan ketiga. Nilai-nilai T_S dan T_A dinyatakan sebagai:

$$T_S = \frac{A_v}{2.5C_0} \quad (4)$$

dan,

$$T_A = 0.2T_S \quad (5)$$

Maka untuk pembuatan spektrum respons percepatan desain digunakan nilai-nilai koefisien C_A dan C_v untuk berbagai jenis tanah dan zona gempa bumi **Tabel 1**.

Tabel 1. Koefisien C_A dan C_v untuk berbagai zona dan jenis tanah

Notasi	Keterangan	Koefisien	Faktor Zona Gempa					
			0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
S1	Batuan	Ca	0.05	0.13	0.17	0.22	0.27	0.40
		Cv	0.05	0.13	0.17	0.22	0.27	0.40
S2	Tanah Keras	Ca	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
		Cv	0.07	0.21	0.27	0.34	0.41	0.56
S3	Tanah Sedang	Ca	0.07	0.18	0.23	0.28	0.33	0.44
		Cv	0.11	0.27	0.33	0.41	0.49	0.64
S4	Tanah Lunak	Ca	0.11	0.25	0.28	0.31	0.33	0.36
		Cv	0.14	0.42	0.53	0.65	0.76	0.96

Selanjutnya konversi spektrum percepatan menjadi spektrum perpindahan dan dinyatakan hubungan antara S_A (spektrum percepatan) dan S_D (spektrum perpindahan) sebagai:

$$T_S = \frac{A_v}{2.5C_0} \quad (6)$$

dan,

$$T_A = 0.2T_S \quad (7)$$

Maka untuk pembuatan spektrum respons percepatan desain digunakan nilai-nilai koefisien C_A dan C_v untuk berbagai jenis tanah dan zona gempa bumi pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Koefisien C_A dan C_v untuk berbagai zona dan jenis tanah

Jenis Tanah Dasar			Faktor Zona Gempa					
Notasi	Keterangan	Koefisien	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
S1	Batuan	Ca	0.05	0.13	0.17	0.22	0.27	0.40
		Cv	0.05	0.13	0.17	0.22	0.27	0.40
S2	Tanah Keras	Ca	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
		Cv	0.07	0.21	0.27	0.34	0.41	0.56
S3	Tanah Sedang	Ca	0.07	0.18	0.23	0.28	0.33	0.44
		Cv	0.11	0.27	0.33	0.41	0.49	0.64
S4	Tanah Lunak	Ca	0.11	0.25	0.28	0.31	0.33	0.36
		Cv	0.14	0.42	0.53	0.65	0.76	0.96

Selanjutnya konversi spektrum percepatan menjadi spektrum perpindahan dan dinyatakan hubungan antara S_A (spektrum percepatan) dan S_D (spektrum perpindahan) sebagai:

$$S_A = \left(\frac{2\pi}{T_n} \right)^2 S_D \quad (8)$$

atau,

$$S_D = \left(\frac{T_n}{2\pi} \right)^2 S_A \quad (9)$$

dimana:

$$\frac{2\pi}{T_n} = \omega = \text{kecepatan sudut}$$

$$T_n = \text{periode getar alami}$$

Persamaan (9) akan disesuaikan dengan spektrum respons percepatan desain pada **Gambar 2.** yaitu:

$$0 < T_n < T_A \quad \frac{S_A}{g} = C_A \left(1.5 \frac{T_n}{T_A} + 1 \right) \quad (10)$$

$$T_A < T_n < T_S \quad \frac{S_A}{g} = 2.5 C_A \quad (11)$$

$$T_n < T_S \quad \frac{S_A}{g} = \frac{C_v}{T_n} \quad (12)$$

Substitusi persamaan (10), (11), (12) pada persamaan (9) diperoleh:

$$0 < T_n < T_A \quad S_D = \frac{C_A \cdot g}{4\pi^2} \left(1.5 \frac{T_n}{T_A} + 1 \right) T^2 \quad (13)$$

$$T_A < T_n < T_S \quad S_D = 0.625 \frac{C_A \cdot g}{\pi^2} T^2 \quad (14)$$

$$T_n > T_S \quad S_D = \frac{C_v \cdot g}{4\pi^2} T \quad (15)$$

dimana:

$$g = \text{percepatan gravitasi} \approx 10 \text{ m/s}^2$$

Notasi S_D dapat diganti dengan $x_{(T,\xi)}$, oleh karena dalam penerapan *direct displacement-based design* (DDBD), hanya nilai perpindahan untuk perioda natural sebesar $T = T_n = 4$ detik ($T_n=4$) detik akan selalu lebih besar dari T_S) dan redaman kritis $\xi = 5\%$ saja yang dibutuhkan. Dengan demikian persamaan (15) berubah menjadi:

$$x_{(4,5)} = \frac{g}{\pi^2} C_v \quad (16)$$

Nilai-nilai perpindahan untuk perioda natural dan redaman $x_{(4,5)}$ (dalam satuan meter) diberikan dalam **Tabel 3.** Untuk aplikasi metoda perpindahan, nilai-nilai spektra akan langsung ditentukan menggunakan tabel tersebut sesuai zona gempa.

Tabel 3. Nilai $x_{(4,5)}$ untuk zona gempa dan 4 jenis tanah dasar

Jenis Tanah Dasar		Faktor Zona Gempa					
Notasi	Keterangan	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
S1	Batuan	0.051	0.132	0.172	0.223	0.274	0.405
S2	Tanah Keras	0.071	0.213	0.274	0.344	0.415	0.567
S3	Tanah Sedang	0.111	0.274	0.334	0.415	0.496	0.648
S4	Tanah Lunak	0.142	0.426	0.537	0.659	0.770	0.973

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan telaah literatur yang tidak semata-mata bersifat teoritis, tetapi telah diverifikasi melalui penelitian di Selandia Baru dan Amerika Serikat (Pristley, dkk). Analisa penurunan rumus didasarkan atas kajian literatur dan menggunakan alat bantu program software struktur ETABS Nonlinear V9.7.0.

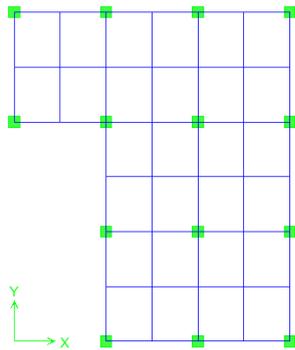
Kasus gedung yang ditinjau adalah suatu gedung beton bertulang bermodel

portal asimetrik 5 lantai sehubungan dengan implementasi analisa struktur konsep perpindahan langsung, di atas tanah menengah pada zona gempa 4. Data gedung yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

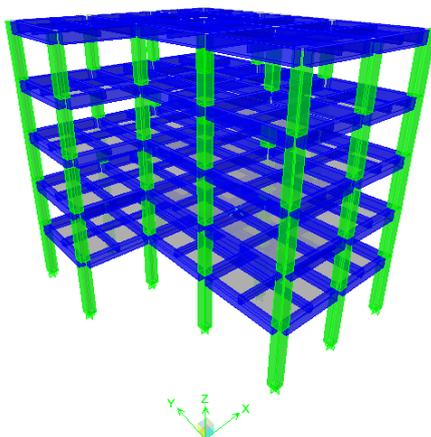
Tabel 4. Data Model Struktur Gedung

Model Struktur Gedung	
Lokasi	Makassar
Fungsi	Kantor
Ukuran	15 x 18 m
Jumlah Lantai	5 lantai
Tinggi Total Gedung	18.20 m
Mutu Beton	$f'c = 30$ Mpa
Mutu Tulangan	$f_y = 350$ Mpa

Tampilan denah dan 3 (tiga) Dimensi struktur gedung beton bertulang yang ditinjau diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

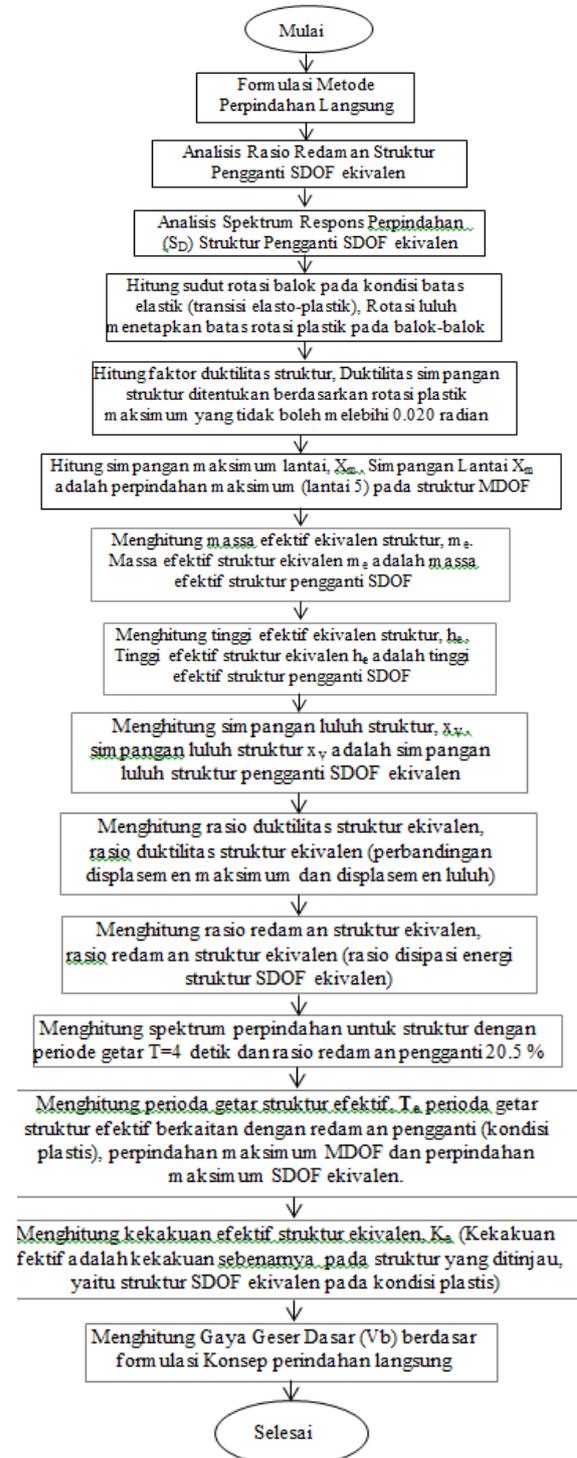


Gambar 3. Denah Portal Struktur 5 lantai



Gambar 4. Tampilan 3D Portal Struktur

Dalam aplikasi penerapan metode perpindahan langsung diringkaskan pada diagram alir penelitian pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan metode perpindahan langsung dengan kaidah-kaidah disebutkan dalam formulasi penurunan rumus tersebut, maka didapatkan gaya geser dasar (V_b) sebesar 1194,937 kN. Hasil ini dimulai dengan perhitungan pada sudut rotasi balok pada batas elastis dengan formula $\theta_7 = \frac{0.5\varepsilon_y I_b}{h_b} = \frac{0.5 \cdot 0.00175 \cdot 6}{0.5} = 0.01 \text{ rad}$. Kemudian, hasil akhir dilakukan hitungan untuk gaya lateral lantai ekuivalen lantai hingga lantai 5 dengan menggunakan formula $F_i = \frac{m_i x_i}{\sum_{i=1}^5 m_i x_i} V_b$. Untuk mengetahui sejauh mana metode berbasis perpindahan langsung memberikan pengaruh terhadap suatu konsep analisis struktur tahan gempa, maka sangat penting menghitung gaya geser dasar (V_b) dengan metode berbasis gaya (*force based*) sebagai perbandingan analisis, dengan demikian dihitung ragam pertama dan pengaruh ragam lainnya dengan kombinasi ragam SRSS. Ragam pertama dihitung dengan rumus $V_b^1 = \frac{S_a}{g} W_i$, sehingga didapatkan hasil sebesar $0.855 \times 1294.44 = 1106.746 \text{ kN}$ dan kombinasi ragam SRSS dihitung sebagai berikut :

$$V_b^{1-5} = \sqrt{(V_b^1)^2 + (V_b^2)^2 + (V_b^3)^2 + (V_b^4)^2 + (V_b^5)^2}$$

$$V_b^{1-5} = V_b^1 \sqrt{1 + \left(\frac{m_2 x_2}{m_1 x_1}\right)^2 + \left(\frac{m_3 x_3}{m_1 x_1}\right)^2 + \left(\frac{m_4 x_4}{m_1 x_1}\right)^2 + \left(\frac{m_5 x_5}{m_1 x_1}\right)^2}$$

$$= 0.6021 V_b^1$$

Sehingga didapat kombinasi ragam SRSS sebagai berikut : $V_b^{1-5} = 1025.556 \text{ kN}$.

Dari hasil perhitungan gaya geser dasar yang dihitung di atas, menunjukkan bahwa gaya geser dasar (V_b) metode berbasis gaya yang dihasilkan lebih kecil dari metode analisis perpindahan langsung, tetapi perbedaan yang dihasilkan tidak terlalu besar hanya sebesar 16.52 %.

Sebenarnya perbedaan tersebut, pada dasarnya tidak signifikan, oleh karena masing-masing metode berbeda kriteria. Dengan demikian, metode analisis struktur dengan konsep perpindahan langsung yang dikaji dalam penulisan ini dapat dijadikan salah satu alternatif desain struktur tahan gempa. Dari segi analisis, konsep perpindahan langsung ini dipandang sebagai pendekatan yang lebih rasional, relevan dan mengandung level akurasi yang lebih baik dibanding analisis metode berbasis gaya, oleh karena dianggap mampu mengakomodasi kebutuhan struktur yang dapat membatasi resiko keruntuhan akibat deformasi besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan hasil gaya geser dasar (V_b) antara metode berbasis gaya dengan konsep perpindahan langsung, perbedaan yang diperlihatkan tidak signifikan yaitu sebesar 16.52 %. Perbedaan tersebut, disebabkan karena perbedaan kriteria formulasi analisis. Metode berbasis gaya pada dasarnya tidak melaksanakan evaluasi kinerja struktur, tetapi konsep perpindahan langsung melaksanakan evaluasi kinerja struktur.

Berdasarkan hasil tersebut, maka metode perpindahan ini dapat dijadikan sebagai alternatif analisis pada struktur gedung berlantai, oleh karena relatif sederhana dan menggunakan beberapa prosedur simplifikasi yang terbukti sangat efektif, namun salah satu yang terpenting adalah penggantian sifat dinamik suatu struktur dari sistem MDOF (Multi Degree of Freedom) yang kompleks dengan sistem substitusi SDOF (Single Degree of Freedom) ekuivalen. Komponen gaya-gaya lateral yang ada kemudian digunakan dalam analisis struktur statik ekuivalen dengan menggunakan program software struktur.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada segenap dosen Teknik Sipil Bangunan Gedung (TSBG) Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar atas dukungannya hingga terbitnya jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hofmayer H Charles, 2000, *Displacement Based Seismic Design Criteria, Paper ID number K&-A5-US*
- [2] ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Volume 1, Applied Technology Council. Redwood City: California.*
- [3] ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Volume 2, Applied Technology Council. Redwood City: California.*
- [4] SNI 03 – 1726 – 2002. Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. BSN.
- [5] Ayuddin, 2017, *Konstruksi Tahan Gempa*, Badan Penerbit UNM
- [6] Judi, Hayder J, Davidson, Harry J, and Fenwich., Richard C. 2000, *The direct displacement based design method: A damping perspective*, 12WCEE.
- [7] Ascheim M, 2002, *Seismic Design Based on the Yield Displacement. Earthquake Spectra*, VOL. 18, No. 4
- [8] Chopra, Anil K, 2001, *Dinamic of Structure: Theory and Applications to Earthquake Engeneering*, Prentice Hall, New Jersey.
- [9] Clough, Ray W and Penzien, Joseph, 1975, *Dinamic of Structure. McGraw Hill: New York.*
- [10] Paz M, 1985, *Dinamic of Structures*. Van Nostrand Reinhold: New York.
- [11] Ayuddin, 2020, *Global Structural Analysis of High Rise Hospital Building Using Earthquake Resistant Design Approach*, SINERGI. Vol. 24 No. 2, pp: 95-108, doi: 10.22441/sinergi.2020.2.003.
- [12] Pekcan G., Mander J.B., Chen SS, 1999, *Fundamental Considerations for the Design of Non-Linear Viscous Dampers. Earthquake Engeneering and Structural Dynamics*. Vol. 28, p. 1405-1425.
- [13] Ayuddin, 2023, *Application of Capacity Spectrum Method (CSM) for non-symmetrical reinforced concrete high-rise buildings as a tool for seismic design*. Vol. 27 No. 3, pp: 405-414, doi: 10.2241/sinergi.2023.3.011.