

STUDI PERENCANAAN GEDUNG BETON BERTULANG TAHAN GEMPA MENGUNAKAN ANALISIS ORDE DUA ELASTIS (*ELASTIC SECOND ORDER ANALYSIS*)

(Studi Kasus : Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember)

Imam Baihaqi Krisna Bayu
Dr. Muhtar, ST., MT.¹ ; Ir. Pujo Priyono, MT.²
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Jl. Karimata 49, Jember 68121, Indonesia
Email : Imamb7189@gmail.com

ABSTRAK

Di wilayah Kabupaten Jember sendiri beberapa tahun terakhir sering terjadi gempa bumi dengan magnitudo sedang. Maka dari itu, perencanaan bangunan bertingkat tinggi di wilayah Kabupaten Jember harus memperhitungkan gaya gempa, sehingga dapat memberikan kinerja minimal life safety. Dalam melakukan sebuah perencanaan gedung tahan gempa perlu dilakukan analisis struktur guna mendapatkan gaya-gaya yang terjadi pada elemen struktur tersebut. Analisis struktur sendiri sudah banyak terjadi pembaruan mengikuti era perkembangan zaman, salah satu analisis yang terbaru yaitu Analisis Orde Kedua Elastis yang terdapat dalam peraturan ACI 318-14. Dalam Analisis Orde Dua Elastis versi ACI 318-14, kolom harus memperhitungkan pengaruh beban axial, keberadaan daerah retak pada seluruh panjang komponen struktur kolom, sehingga untuk kolom beton bertulang yang dikenai beban tetap, rangkai mentransfer sebagian beban dari beton ke tulangan longitudinal, transfer beban ini mengakibatkan tulangan tekan mengalami leleh secara prematur sehingga mengakibatkan kehilangan EI efektifnya. Berdasarkan data dan hasil perhitungan perencanaan penulangan kolom menggunakan Analisis Orde Dua Elastis didapatkan luas tulangan (A_s) sebagai berikut , $K_2 = 1134,11 \text{ mm}^2$, $K_3 = 2268,23 \text{ mm}^2$, $K_4 = 13210,40 \text{ mm}^2$, $K_5 = 5284,16 \text{ mm}^2$, $K_6 = 13210,40 \text{ mm}^2$.

Kata Kunci : *Gempa, Gedung Tahan Gempa, Kolom, Analisis Orde Dua Elastis, Kekakuan (EI).*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di wilayah Kabupaten Jember sendiri beberapa tahun terakhir sering terjadi gempa bumi dengan magnitudo sedang. Maka dari itu, perencanaan bangunan bertingkat tinggi di wilayah Kabupaten Jember harus memperhitungkan gaya gempa, sehingga dapat memberikan kinerja minimal life safety, dimana bangunan diizinkan mengalami kerusakan tetapi tidak mengalami keruntuhan. Dalam merancang suatu struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekakuan yang cukup dalam menahan segala pembebanan yang di bebaskan pada struktur bangunan tersebut, sehingga pergerakan bangunan akibat beban lateral dapat dibatasi. Dalam

melakukan sebuah perencanaan gedung tahan gempa perlu dilakukan analisis struktur guna mendapatkan gaya-gaya yang terjadi pada elemen struktur tersebut. Analisis struktur sendiri sudah banyak terjadi pembaruan mengikuti era perkembangan zaman, salah satu analisis yang terbaru yaitu Analisis Orde Kedua Elastis yang terdapat dalam peraturan ACI 318-14. Dalam Analisis Orde Dua Elastis Versi ACI 318-14, kolom harus memperhitungkan pengaruh beban axial, keberadaan daerah retak pada seluruh panjang komponen struktur kolom, sehingga untuk kolom beton bertulang yang dikenai beban tetap, rangkai mentransfer sebagian beban dari beton ke tulangan longitudinal, transfer beban ini mengakibatkan tulangan tekan mengalami leleh secara prematur sehingga mengakibatkan kehilangan EI efektifnya.

B. Rumusan Masalah

Merujuk pada latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil perencanaan kolom beton bertulang tahan gempa dengan menggunakan analisis orde dua elastis pada gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember ?
2. Bagaimana hasil perbandingan perhitungan penulangan kolom menggunakan analisis orde dua elastis dengan kolom existing dilapangan pada gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk merencanakan kolom beton bertulang tahan gempa menggunakan analisis orde dua elastis pada gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Untuk membandingkan hasil penulangan kolom setelah direncanakan menggunakan analisis orde dua elastis dan luas tulangan kolom existing.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran dari kulit bumi yang bersifat sementara kemudian menyebar kesegala arah (Howl,1969). gempa bumi ini menyebar dalam bentuk gelombang, gelombang ini mempunyai kekuatan yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya menjadi bergetar. Getaran ini akan menimbulkan gaya-gaya lateral pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempunyai gaya (inersia dan kekakuan struktur) untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Percepatan gempa pada muka tanah merupakan parameter gempa yang akan memberikan dampak langsung pada struktur.

B. Analisi Orde Dua Elastis

Dalm Analisis Orde Dua Elastis kolom harus memperhitungkan pengaruh beban axial, keberadaan daerah retak pada seluruh panjang komponen struktur kolom, sehingga

untuk kolom beton bertulang yang dikenai beban tetap, rangkai mentransfer sebagian beban dari beton ke tulangan longitudinal, transfer beban ini mengakibatkan tulangan tekan mengalami leleh secara prematur sehingga mengakibatkan kehilangan EI efektifnya, sehingga kekakuan (EI) dihitung sesuai pasal 6.6.4.4.4b ACI 318-14 dengan rumus sebagai berikut :

$$EI_{eff} = \frac{(0,2 E_c I_g + E_s I_{se})}{1 + \beta_{dns}}$$

$$\beta_{dns} = \frac{1,2 (P_D)}{P_u}$$

dimana:

EI eff : Kekakuan efektif kolom

Ec : Modulus elastisitas beton

Es : Modulus elastisitas tulangan baja

Ig : Inersia momen penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan, mm⁴

Ise : Momen inersia tulangan terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur, mm⁴

P_D : Gaya aksial akibat beban mati

P_u : Gaya aksial ultimate

C. Periode Getar

Merujuk pada buku ajar struktur beton tahan gempa edisi 2 karangan Ir. Pujo Priyono, MT. untuk sistem yang elastis, periode alami dari suatu getaran (T) diformulasikan :

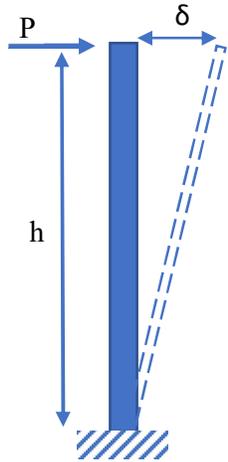
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$$

Dimana : M = pusat massa lantai

K = kekakuan (EI)

D. Perpindahan Pada Puncak Kolom (δ)

Merujuk pada buku ajar struktur beton tahan gempa edisi 2 karangan Ir. Pujo Priyono, MT. Perpindahan pada puncak kolom (δ) atau sering disebut efek P- Δ dihitung dengan rumus sebagai berikut :



Gambar. 1 Perpindahan Puncak Kolom Akibat Beban Lateral

$$\delta = \frac{Ph^3}{3EI}$$

Dimana : P = gaya lateral yang bekerja pada puncak kolom
EI = kekakuan kolom

3. METODE PENELITIAN

A. Umum

Adapun metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah analisis perencanaan Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember dengan menggunakan analisis orde kedua. Analisis yang digunakan didasarkan pada peraturan ACI 318-14, SNI 03-1726-2012, SNI 03-2847-2013 dan PPIUG 1983. sedangkan aplikasi yang digunakan dalam analisis ini adalah aplikasi SAP 2000, yang berfungsi untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur, dan hasil dari analisis SAP 2000 tersebut akan digunakan untuk merencanakan tulangan kolom.

B. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan analisis yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

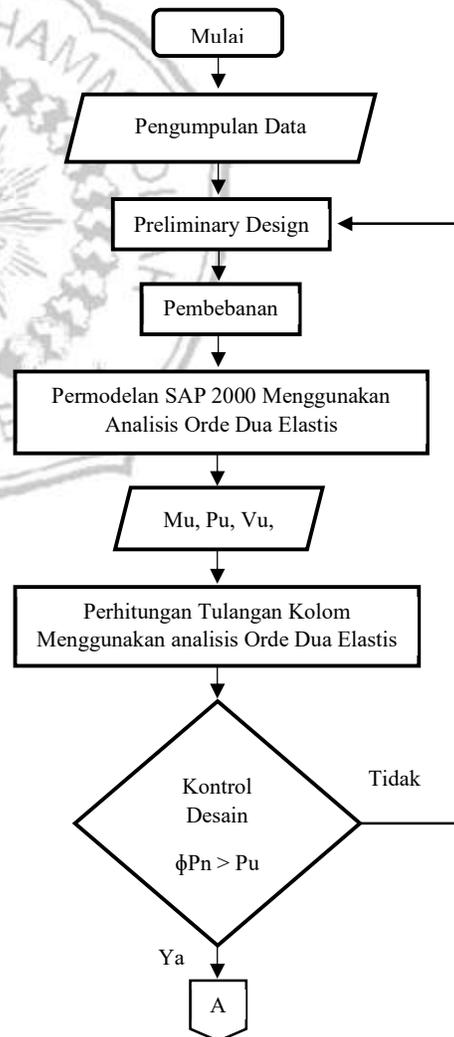
- a. Pengumpulan data.
- b. Preliminary design (menentukan dimensi kolom).
- c. Pembebanan

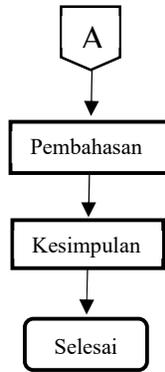
Adapun pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan gedung laboratorium

terpadu fakultas teknik universitas jember yaitu sebagai berikut :

1. Beban mati (dead load) didasarkan pada peraturan PPIUG 1983.
2. Beban hidup (live load) didasarkan pada peraturan PPIUG 1983.
3. Beban gempa (quake load) didasarkan pada peraturan SNI 03-1726-2012.
- d. Permodelan menggunakan aplikasi SAP 2000 untuk mendapatkan P_u , M_u , V_u akibat beban gravitasi dan gempa.
- e. Perhitungan untuk menentukan diameter dan jumlah tulangan kolom menggunakan analisis orde dua elastis.
- f. Kontrol gaya aksial nominal terhadap gaya aksial ultimate yang terjadi.
- g. Pembahasan
- h. Kesimpulan.

C. FlowChart Penelitian

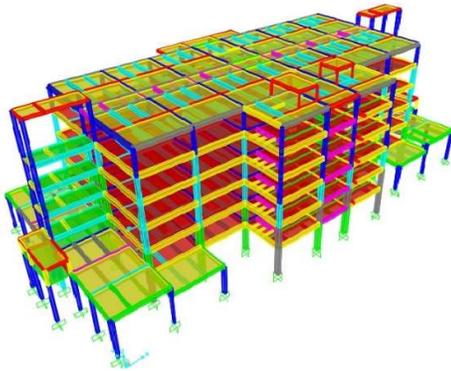




4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Dan Analisis Struktur

Gedung laboratorium terpadu ini di rencanakan dengan menggunakan struktur beton bertulang, dengan 6 lantai dengan tinggi total bangunan yaitu 27,67 m, untuk pemodelan dan analisis struktur dalam tugas akhir ini dilakukan dengan program SAP 2000 V19, adapun gambar 3 dimensi dari program SAP 2000 tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar. 2 Pemodelan Stuktur 3D

B. Kelas Situs Tanah

Berdasarkan hasil data tanah (N SPT) pada pembangunan gedung laboratorium terpadu didapatkan nilai N rata-rata pada lapisan tanah 1 meter sampai dengan 16,37 meter adalah sebesar 55,839, maka kelas situs tanah pada proyek pembangunan gedung laboratorium ini masuk pada kelas situs tanah keras (SC).

C. Hasil Penulangan Kolom

Merujuk pada hasil perhitungan penulangan kolom diatas, setelah dilakukan perencanaan penulangan kolom menggunakan analisis orde dua elastis didapatkan luas tulangan berikut :

Tabel. 1 Hasil Penulangan Kolom

No	Type Kolom	Dimensi Kolom	As	ρ
			mm ²	
1	K2	30/30	1134,11	0,0126
2	K3	40/40	2268,23	0,0141
3	K4	50/50	13210,4	0,0528
4	K5	60/60	5284,16	0,0146
5	K6	70/70	13210,4	0,0269

D. Kekakuan Kolom (EI)

Berdasarkan hasil perhitungan penulangan kolom menggunakan Analisis Orde Dua Elastis didapatkan kekakuan kolom sebagai berikut :

Tabel. 2 Kekakuan Kolom

No	Tipe Kolom	EI	E _{eff}	Rasio Kekakuan
		mm ⁴	mm ⁴	
1	K2	1,59E+13	7,1E+12	45,07%
2	K3	5,01E+13	1,17E+13	23,33%
3	K4	1,22E+14	7,79E+13	63,63%
4	K5	2,54E+14	6,42E+13	25,28%
5	K6	4,70E+14	1,77E+14	37,74%

E. Periode Getar

Untuk periode getar alami (T) pada Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Tekni Universitas Jember dengan bantuan software SAP 2000 sebagai berikut :

Tabel. 3 Periode Getar Dengan Kekakuan Kolom 0,7 Ec Ig

TABLE: Modal Periods And Frequencies			
OutputCase	StepNumber	Period	Frequency
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	1	1,4548	0,687379
MODAL	2	1,39734	0,7156451
MODAL	3	1,29207	0,7739503
MODAL	4	0,84971	1,1768768
MODAL	5	0,83511	1,1974506
MODAL	6	0,66926	1,4941972
MODAL	7	0,58601	1,7064435
MODAL	8	0,5465	1,8298348
MODAL	9	0,54506	1,8346512
MODAL	10	0,53976	1,8526858
MODAL	11	0,53062	1,8846006
MODAL	12	0,52085	1,9199539

Tabel. 4 Periode Getar Dengan Kekakuan Kolom Analisis Orde Dua Elastis

TABLE: Modal Periods And Frequencies			
OutputCase	StepNumber	Period	Frequency
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	1	1,65101	0,6056918
MODAL	2	1,59502	0,6269528
MODAL	3	1,48177	0,6748707
MODAL	4	0,89234	1,1206557
MODAL	5	0,8879	1,1262497
MODAL	6	0,73619	1,3583522
MODAL	7	0,71001	1,4084408
MODAL	8	0,69741	1,4338868
MODAL	9	0,67446	1,4826617
MODAL	10	0,61261	1,6323634
MODAL	11	0,59366	1,6844697
MODAL	12	0,58793	1,700878

Berdasarkan tabel. 3 dan tabel. 4 dapat dikatakan bahwa jika nilai kekakuan kolom semakin kecil maka periode getar yang terjadi pada struktur semakin besar.

F. Perpindahan Pada Puncak Kolom (δ)

Perpindahan pada puncak kolom (δ) pada Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember didapatkan dengan bantuan software SAP 2000, adapun hasilnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel. 5 Perpindahan Puncak Kolom (δ) Dengan Kekakuan Kolom 0,7 Ec Ig

TABLE: Joint Displacements				
Joint	OutputCase	U1	U2	U3
Text	Text	mm	mm	mm
161	1,2D + 1E + 0,5L	3,967	4,558	-0,939
162	1,2D + 1E + 0,5L	3,969	4,506	-0,558
369	1,2D + 1E + 0,5L	14,176	13,561	-4,982
775	1,2D + 1E + 0,5L	5,225	4,134	-1,572
47	1,2D + 1E + 0,5L	4,047	4,270	-1,949

Tabel. 6 Perpindahan Puncak Kolom (δ) Dengan Kekakuan Kolom Analisis Orde Dua Elastis

TABLE: Joint Displacements				
Joint	OutputCase	U1	U2	U3
Text	Text	mm	mm	mm
161	1,2D + 1E + 0,5L	5,224	5,883	-0,878
162	1,2D + 1E + 0,5L	5,226	5,791	-0,525
369	1,2D + 1E + 0,5L	16,082	15,671	-5,100
775	1,2D + 1E + 0,5L	6,569	6,119	-1,562
47	1,2D + 1E + 0,5L	5,529	5,680	-1,988

Berdasarkan tabel. 5 dan tabel. 6 dapat dikatakan bahwa jika nilai kekakuan kolom semakin mengecil maka efek P- Δ (δ) yang terjadi pada puncak kolom akan semakin besar.

G. Faktor Pembesaran Momen

Pada Sub Bab 4 F, menggambarkan bahwa jika efek P- Δ semakin besar maka gaya geser yang terjadi akibat beban gempa juga semakin besar, sehingga momen yang terjadi pada kolom juga membesar, adapun pembesaran momen pada kolom Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember ditabelkan sebagai berikut :

Tabel. 7 Faktor Pembesaran Momen (δ_{ns})

No	Type Kolom	Eleff	δ_{ns}
		mm ⁴	kN-m
1	K2	7,1E+12	1,845
2	K3	1,17E+13	1,053
3	K4	7,79E+13	1,151
4	K5	6,42E+13	1,478
5	K6	1,77E+14	0,738

Untuk kolom K2 faktor pembesaran momen (δ_{ns}) sebesar 1,845 dengan selisih efek P- Δ kekakuan kolom menggunakan 0,7 $E_c I_g$ dan menggunakan Analisis Orde Dua Elastis sebesar 1,292 mm, sehingga pada kolom K2 faktor pembesaran momen (δ_{ns}) besar karena untuk kolom K2 nilai $klu/r = 53 > (klu/r)_{lim} = 40$, sehingga pengaruh kelangsingan kolom diperhitungkan dan faktor pembesaran momen juga membesar. Untuk faktor pembesaran momen pada kolom K3 sebesar 1,053 dengan selisih efek P- Δ kekakuan kolom menggunakan 0,7 $E_c I_g$ dan menggunakan Analisis Orde Dua Elastis tidak terlalu besar yaitu sebesar 1,257 mm. Untuk Kolom K4 selisih efek P- Δ kekakuan kolom menggunakan 0,7 $E_c I_g$ dan menggunakan Analisis Orde Dua Elastis yaitu sebesar 1,913 mm, sehingga faktor pembesaran momen (δ_{ns}) pada kolom K4 sebesar 1,151. Untuk kolom K5 pembesaran momen lumayan besar dengan selisih efek P- Δ kekakuan kolom menggunakan 0,7 $E_c I_g$ dan menggunakan Analisis Orde Dua Elastis yaitu sebesar 1,349 mm, sehingga faktor pembesaran momen (δ_{ns}) pada kolom K5 sebesar 1,478, untuk kolom K5 berada di lantai 2, sehingga menyebabkan gaya geser yang terjadi pada kolom tersebut cukup besar sehingga faktor pembesaran momen yang terjadi akibat beban gempa juga besar, ini selaras dengan teori KIYOSHI MUTO bahwa beban gempa diasumsikan segitiga terbalik sehingga semakin ke atas gaya geser yang terjadi semakin besar. Untuk kolom K6 faktor pembesaran momen tidak terlalu besar atau dianggap tetap karena $\delta_{ns} < 1$ jadi pembesaran momen dianggap tidak ada karena selisih efek P- Δ kekakuan kolom menggunakan 0,7 $E_c I_g$ dan menggunakan Analisis Orde Dua Elastis

tidak terlalu besar yaitu sebesar 1,481 mm dan kolom K6 berada di lantai 1 sehingga gaya geser yang terjadi akibat beban gempa kecil dan momen yang terjadi pada kolom K6 juga kecil.

5. PENUTUP

1. Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil perhitungan perencanaan penulangan kolom menggunakan Analisis Orde Dua Elastis pada Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perhitungan penulangan kolom dengan menggunakan analisis orde dua elastis didapatkan luas tulangan sebagai berikut :

Tabel. 8 Dimensi Dan Luas Tulangan Kolom

No	Type Kolom	Dimensi Kolom	As Rencana
			mm ²
1	K2	30/30	1134,11
2	K3	40/40	2268,23
3	K4	50/50	13210,40
4	K5	60/60	5284,16
5	K6	70/70	13210,40

2. Berdasarkan hasil perhitungan penulangan kolom didapatkan perbandingan luas tulangan kolom existing dan luas tulangan kolom menggunakan Analisis Orde Dua Elastis, adapun hasilnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel. 9 Perbanding ρ Tulangan Kolom

No.	Type Kolom	As Existing	As Rencana	ρ existing	ρ rencana
		mm ²	mm ²		
1	K2	1134,11	1134,11	0,01260	0,01260
2	K3	2268,23	2268,23	0,01418	0,01418
3	K4	5284,16	13210,40	0,02114	0,05284
4	K5	5284,16	5284,16	0,01468	0,01468
5	K6	7926,24	13210,40	0,01618	0,02696

2. Saran

1. Untuk penulangan kolom tahan gempa ke depan, sebaiknya menggunakan analisis orde dua elastis, karena dalam orde dua elastis ini lebih detail dengan memperhitungkan rangkai dan pengaruh beban axial.
2. Untuk penulangan kolom kedepan tidak perlu dilakukan perencanaan penulangan kolom tetapi hanya perlu dilakukan check desain dengan menggunakan analisis orde dua elastis.
3. Untuk ke depan aplikasi SAP 2000 sebaiknya dapat melakukan check desain untuk tulangan kolom sehingga aplikasi SAP 2000 dapat digunakan untuk analisis penulangan kolom menggunakan analisis orde dua elastis.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 318-14. *Building Code Requirements For Structural Concrete*. USANugroho, F. (2015). *Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X EVALUASI KINERJA BANGUNAN RENCANA GEDUNG HOTEL A . N . S DENGAN DILATASI (MODEL B2) DI DAERAH RAWAN GEMPA Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X. 17(2), 48–57.*

IMRAN, I., & HENDRIK, F. (2016). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB PRESS.

Nugroho, F. (2015). *Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X EVALUASI KINERJA BANGUNAN RENCANA GEDUNG HOTEL A . N . S DENGAN DILATASI (MODEL B2) DI DAERAH RAWAN GEMPA Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X. 17(2), 48–57.*

Palit, C. M., Pangouw, J. D., & Pandaleke, R. (2016). *PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG HOTEL JALAN MARTADINATA MANADO. 4(4), 263–270.*

Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983). Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung

Pratiwi, G. A., Studi, P., Sipil, T., Indonesia, U. I., Studi, P., Sipil, T., & Indonesia, U. I. (2012). *Analisis dan desain struktur*

beton bertingkat banyak berdasarkan perbandingan analisis respons spektrum dan dinamik riwayat waktu. 281–293.

PRIYONO, P. (2019). *buku ajar struktur beton tahan gempa*. Jember: Pustaka Abadi.

Priyono, P. 2020. *Diktat Kuliah Struktur Beton II*. Berdasarkan SNI 2847-2013. Jember : Universitas Muhammadiyah Jember.

SNI 03-1726-2012. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

SNI 03-2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.