

STUDI PERFORMANCE BASED PLASTIC DESIGN PADA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN LAYOUT BANGUNAN BERBENTUK L

Alfin Fahdira¹, Eka Juliafad²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email : alfin.fahdira412@gmail.com,

Abstrak : Tugas akhir ini dilatar belakangi oleh SNI 1726:2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”. Gedung Fakultas Universitas Negeri Padang merupakan salah satu gedung yang ada di Universitas Negeri Padang yang dibangun pada tahun 2020. Bangunan ini terletak di Kota Padang yang merupakan daerah yang rawan bencana gempa bumi. Dalam perencanaan bangunan gedung di Indonesia, metode yang diterapkan adalah *performance based design* berdasarkan SNI 1726:2019 yang hanya didasarkan pada analisa elastik yang diberikan faktor beban hingga kondisi bangunan batas (ultimit). Pada kondisi riil, keruntuhan pada struktur bangunan terjadi pada saat kondisi inelastis. Pada konsep *performance based design* hanya memastikan desain memenuhi level kinerja yang ditentukan. Seperti, pada konsep desain berbasis kinerja ini mampu memenuhi kapasitas layan dan kuat rencana. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Performance Based Plastic Design* (PBPD) yang merupakan sebuah metode desain berbasis kinerja yang memperhitungkan perilaku inelastik struktur dengan menentukan terlebih dahulu target perpindahan dan menetapkan mekanisme kelelahan sebagai batasan dasar dari kinerjanya. Dalam menentukan level kinerja struktur pada tugas akhir ini dilakukan pushover analysis. Penelitian tugas akhir ini dianalisis menggunakan software SAP2000.

Kata Kunci : Struktur beton bertulang, *Performance Based Design*, *Performance Based Plastic Design*, *Pushover Analysis*, Kinerja Struktur, SNI 1726:2019.

Abstract : This final project is based on SNI 1726:2019 concerning "Procedures for Earthquake Resistance Planning for Building and Non-Building Structures". The Building of the Faculty of X, Padang State University is one of the buildings in Padang State University which was built in 2020. This building is located in Padang City which is an area prone to earthquake disasters. In building planning in Indonesia, the method applied is *performance-based design* based on SNI 1726:2019 which is only based on elastic analysis given by the load factor to the condition of the boundary building (ultimate). In real conditions, collapse of building structures occurs during inelastic conditions. The concept of *performance-based design* only ensures that the design meets the specified level of performance. For example, in this *performance-based design* concept, it is able to meet the capacity of service and strong plans. The method used in this study is the *Performance Based Plastic Design* (PBPD) method which is a *performance-based design* method that takes into account the inelastic behavior of the structure by determining the displacement target in advance and setting the fatigue mechanism as the basic limitation of its performance. In determining the level of structural performance in this final project, a pushover analysis was carried out. This final project research was analyzed using SAP2000 software.

Keyword : Reinforced concrete structures, *Performance Based Design*, *Performance Based Plastic Design*, *Pushover Analysis*, Structural Performance, SNI 1726:2019.

PENDAHULUAN

Menurut data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempa bumi yang ada di Indonesia pada 10 tahun terakhir sudah sering kali terjadi, terutama di Kota Padang, yang menyebabkan banyaknya terjadi kerusakan struktur pada bangunan. Perencanaan bangunan tinggi tahan gempa pada umumnya didasarkan pada analisa elastik yang di beri faktor beban untuk simulasi kondisi bangunan ultimit (batas). Kenyataannya, perilaku runtuh struktur bangunan pada saat gempa besar adalah pada saat kondisi inelastis. ketika merencanakan suatu struktur dengan beban gempa, banyak aspek yang mempengaruhinya diantaranya adalah periode bangunan, sangat dipengaruhi oleh massa struktur serta kekakuan struktur tersebut. Kekakuan struktur sendiri dipengaruhi oleh kondisi struktur, bahan yang digunakan serta dimensi struktur yang digunakan. Evaluasi untuk memperkirakan kondisi inelastik struktur bangunan pada saat gempa perlu untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerjanya memuaskan pada saat terjadinya gempa (Almufid and Hidayah 2019).

Adanya daya seismotektonik yang terbaru serta perkembangan peraturan gempa terbaru seperti ICC IBC 2021 dan ASCE 7-22, kemudian dengan adanya kemauan untuk kemajuan pedoman perencanaan ketahanan gempa di Indonesia, maka dikeluarkan revisi terbaru untuk pedoman ketahanan gempa yaitu SNI 1726-2019. Akan tetapi, konsep perencanaan bangunan tahan gempa yang konvensional (*forced based design*) dinilai tidak efisien dan kurang cocok dengan kondisi riil, dikarenakan pada kondisi riil perilaku keruntuhan struktur saat terkena gempa adalah *inelastic* (material non-linier) (Prakosa and Wibowo 2018). *Performance-Based Design* (PBD) adalah pendekatan desain struktural yang mempertimbangkan kinerja keseluruhan struktur di berbagai kondisi beban dan lingkungan, dengan tujuan mencapai kinerja yang diinginkan atau dapat diterima, terutama dalam situasi ekstrem seperti gempa bumi. PBD melibatkan pertimbangan berbagai variabel, termasuk deformasi, kestabilan, dan kekuatan, untuk mencapai tujuan kinerja yang ditetapkan.

Performance-Based Plastic Design (PBPD) adalah suatu metode yang menonjol, fokus pada pemanfaatan deformasi plastis dan redistribusi beban melalui mekanisme plastis dalam struktur. Tujuannya adalah meningkatkan kapasitas dan ketahanan struktur terhadap gempa dengan memanfaatkan plastisitas pada elemen-elemen struktural tertentu. Sebagai bagian integral dari PBD, PBPD memberikan pendekatan khusus untuk meningkatkan performa struktur dalam

menghadapi beban gempa dengan menggunakan konsep desain yang menggunakan simpangan (*target drift*) dan mekanisme kelelahan sebagai kriteria kinerjanya.

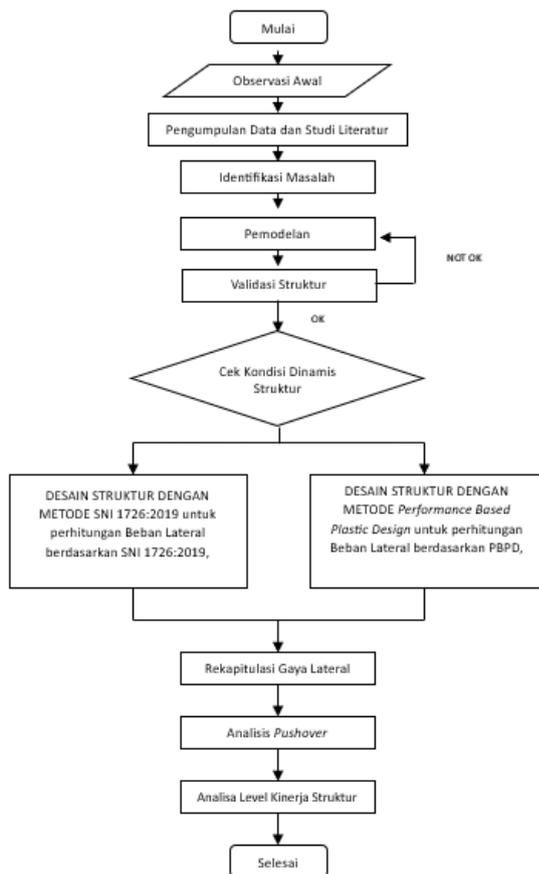
Kota Padang merupakan salah satu kota di Indonesia yang sering terjadi bencana gempa bumi dengan kekuatan yang cukup besar, penulis akan melakukan studi dengan mengambil kasus di kota Padang, khususnya bangunan gedung Laboratorium Fakultas X Universitas Negeri Padang (UNP) yang memiliki layout bangunan berbentuk L dengan menggunakan perbandingan perilaku struktur terhadap beban gempa berdasarkan *Performance Based Design* (PBD) berdasarkan SNI 1726:2019 dan *Performance Based Plastic Design* (PBPD).

METODE PENELITIAN

Perancangan tugas akhir ini bersifat nyata karena studi kasus yang digunakan merupakan bangunan yang memang dibangun. Tugas akhir ini dibantu dengan software SAP2000 v22 untuk pemodelan dan melakukan analisis *pushover* untuk mengetahui level kinerja pada bangunan

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung dari penelitian di lapangan. Pada penelitian ini data primer didapatkan dengan cara melakukan observasi di lapangan dan pengumpulan data yang ada pada tim teknis perencanaan Pembangunan Universitas Negeri Padang. Data primer yang diperoleh berupa schmidt rebound hammer test untuk menentukan mutu beton dalam kondisi eksisting, rebar scanner untuk menentukan lebar selimut beton. Data sekunder merupakan suatu data yang diperoleh secara tidak langsung di lapangan. Data sekunder yang diperoleh berupa shop drawing/gambar rencana, serta data yang relevan.

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan kemudian melakukan pemodelan pada software SAP2000 v22. Setelah mendapatkan pemodelan dilanjutkan dengan validasi struktur bangunan, setelah memenuhi syarat, maka dilakukan analisis dengan memberikan beban gempa dengan menggunakan metode PBPD untuk mendapatkan nilai *performance point* untuk menentukan level kinerja bangunan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Visual/Visual Check Bangunan

Pengamatan secara visual pada Gedung Fakultas X dilakukan bertujuan untuk mengetahui secara keseluruhan bagaimana kondisi elemen struktur dan nonstruktur bangunan tersebut. Adapun hasil dari pengamatan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Kolom

Berdasarkan hasil pengamatan visual yang dilakukan, ada beberapa kolom yang mengalami kerusakan. Secara umum, kolom masih dalam kondisi yang baik. Kolom bangunan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Kolom Bangunan

2. Balok

Berdasarkan hasil pengamatan visual yang dilakukan, terdapat kerusakan berupa keretakan pada balok. Lebar retakan yang terjadi sampai dengan $\pm 2,50$ mm. Balok yang mengalami keretakan terbilang sedikit, yaitu satu balok sehingga secara keseluruhan balok masih dapat dikatakan dalam kondisi yang baik. Keretakan pada balok dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Balok Bangunan

3. Dinding

Berdasarkan hasil pengamatan visual yang dilakukan pada dinding bangunan, terdapat adanya kerusakan pada dinding yang cukup banyak. Kerusakan yang terjadi adalah keretakan pada dinding. Keretakan yang terjadi paling banyak terdapat di lantai 1,2,3 dan 4. Selain itu, keretakan dinding juga terjadi di ruangan kelas. Lebar keretakan yang terjadi, yaitu $< 0,2$ mm sampai dengan ± 2 mm. Keretakan pada dinding dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Dinding Bangunan Mutu Bahan dan Material Bangunan

1. Beton

Beton yang digunakan pada bangunan X pada data perencanaan diketahui menggunakan beton dengan mutu K-300. Kemudian, untuk mengetahui mutu

beton elemen struktur bangunan secara rill diperoleh berdasarkan hasil pemeriksaan dengan menggunakan schmidt rebound hammer. Berdasarkan pengolahan data hasil pengujian dengan schmidt rebound hammer, diperoleh mutu beton pada masing-masing elemen struktur bangunan yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Mutu Beton Elemen Struktur Bangunan

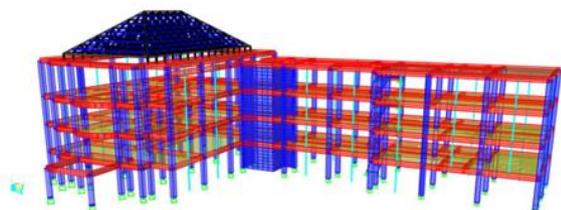
No	Element Struktur Bangunan	Mutu Beton	Satuan
1	Kolom	40	MPa
2	Balok	27,9	Mpa

2. Baja Tulangan

Mutu baja tulangan yang digunakan dalam melakukan analisis struktur bangunan Gedung Psikologi dan Kesehatan UNP diambil sesuai dengan ketentuan yang ada pada pasal 5.4 SNI 2052-2002 Baja Tulangan Beton. Baja tulangan dengan diameter (\varnothing) < 12 mm digunakan $F_y = 280$ MPa dan baja tulangan dengan diameter (D) > 12 mm digunakan $F_y = 420$ Mpa

Pemodelan Struktur pada SAP2000

Analisis struktur Gedung Fakultas X UNP dengan tinggi total 17 m dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP2000. Pemodelan struktur bangunan merupakan tahap awal analisis struktur yang dilakukan. Tampilan 3D dari pemodelan struktur dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Pemodelan 3D Gedung X SAP2000

Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam analisis struktur Gedung Fakultas X UNP adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati

Beban mati pada bangunan terdiri dari berat sendiri bangunan (dead load) dan beban mati tambahan (super dead load). Berat sendiri bangunan dihitung secara otomatis oleh aplikasi SAP2000 berdasarkan input data material yang digunakan.

2. Beban Hidup

Beban hidup (live load) pada bangunan ditentukan sesuai dengan penggunaan atau fungsi dari bangunan tersebut. Beban hidup

yang diperhitungkan berdasarkan SNI 1727-2020.

3. Beban Gempa

Pengaruh beban gempa (earthquake load) pada struktur gedung ditentukan berdasarkan analisis dinamik. Pada penelitian ini, dalam menginput beban gempa dilakukan dengan menggunakan respons spektrum sesuai dengan SNI 1726-2019.

Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan spektrum kapasitas, dimana prosesnya dimulai dengan menganalisis kurva *resultant base shear vs displacement monitored* dengan memperhatikan kondisi inelastis struktur. Setelah diperoleh titik kinerja, selanjutnya ditentukan tingkat kinerja struktur dengan mengacu pada ketentuan FEMA 356 seperti pada tabel 2.

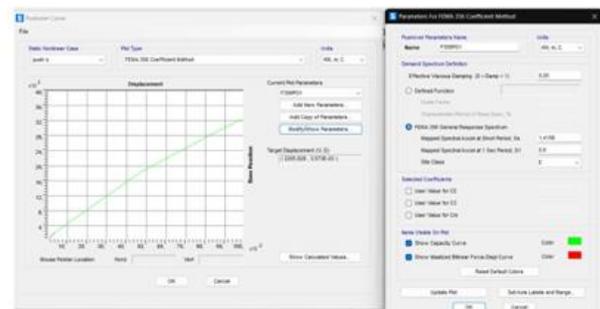
Tabel 2 Level Kinerja Menurut FEMA 356

Level Desain Gempa		Target Level Kinerja Bangunan Beton			
		Operational Level (1-A)	IO Level (1-B)	LS Level (3-C)	CP Level (5-E)
Kala Ulang	72 tahun 50%DBE		x	x	x
	225 tahun 70%DBE			x	x
	474 tahun DBE			Desain umum	x
	2475 tahun MCE				
Drift %		0-0.5%	0.5-1%	1%-2%	2%-4%

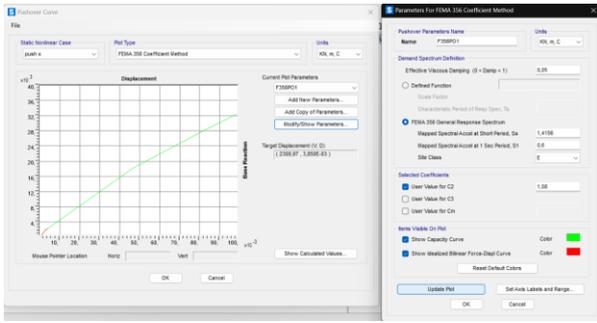
Analisis Pushover

Pada analisis *pushover* Gedung Fakultas X UNP yang telah dilakukan pada SAP2000 untuk *target displacement 2%* dan 4% dari tinggi keseluruhan bangunan, maka didapatkan kurva *pushover* seperti pada gambar berikut:

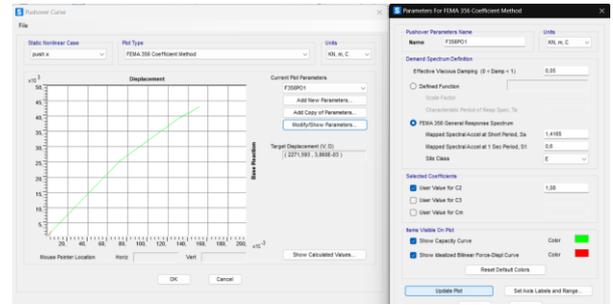
1. Kurva pushover nilai target perpindahan 2% dari tinggi struktur (340 mm). Dapat dilihat pada Gambar di bawah.



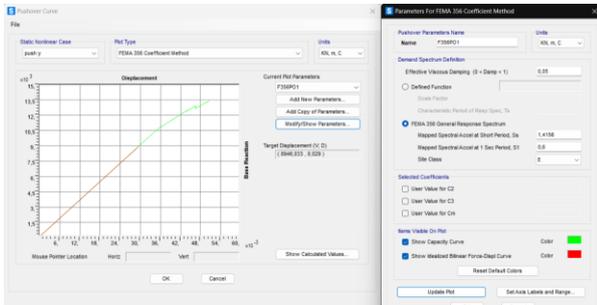
Gambar 6 Kurva Pushover PBD Arah X Target Drift 2%



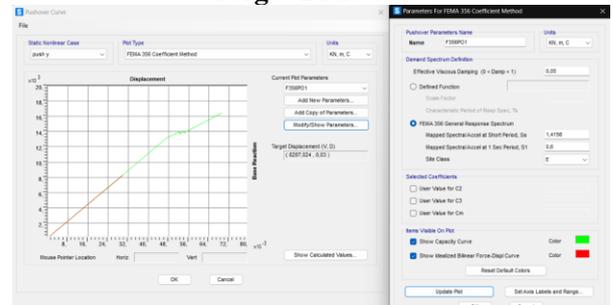
Gambar 7 Kurva Pushover PBD Arah X Target Drift 2%



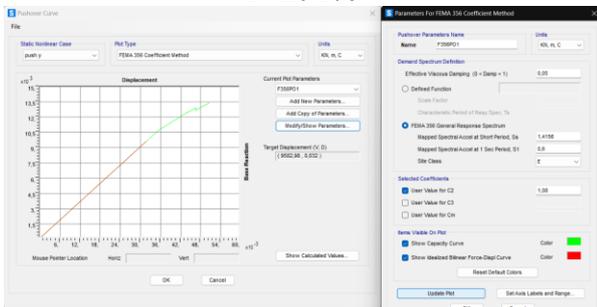
Gambar 11 Kurva Pushover PBD Arah X Target Drift 4%



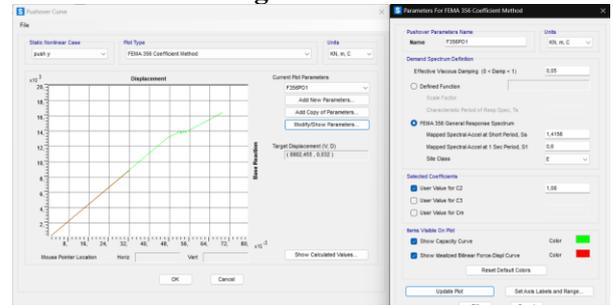
Gambar 8 Kurva Pushover PBD Arah Y Target Drift 2%



Gambar 12 Kurva Pushover PBD Arah Y Target Drift 4%

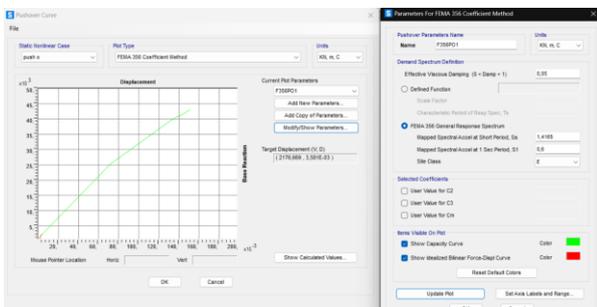


Gambar 9 Kurva Pushover PBD Arah Y Target Drift 2%



Gambar 13 Kurva Pushover PBD Arah Y Target Drift 4%

2. Kurva *pushover* nilai target perpindahan 4% dari tinggi struktur (680 mm). Dapat dilihat pada Gambar di bawah.



Gambar 10 Kurva Pushover PBD Arah X Target Drift 4%

Penentuan Kinerja Struktur

Penentuan tingkat kinerja struktur dipengaruhi oleh spektrum kapasitas. Dalam metode spektral kapasitif, prosesnya dimulai dengan konstruksi kurva interaksi gaya-perpindahan yang memperhitungkan *performance point* yang merupakan perpotongan antara *capacity curve* dan *demand spectrum curve*. *Capacity curve* merupakan kurva kapasitas dari struktur yang dianalisis sedangkan kurva spektrum demand adalah kurva yang didapatkan dengan mengubah spektrum respon yang menggunakan spektral kecepatan dan periode menjadi *Acceleration-Displacement Response Spectral (ADRS)* yaitu menggunakan spektral percepatan (S_a) dan Spektral perpindahan (S_d). Setelah *performance point* didapatkan maka, langkah selanjutnya memilih level kinerja struktur berdasarkan FEMA 356 pada Tabel 2.

1. *Performance point* untuk nilai target perpindahan 2% dari tinggi struktur (340 mm) perpindahan lantai yang terjadi adalah 98,23 mm. Nilai perpindahan tersebut merupakan

0,57 % dari tinggi struktur yaitu 17000 mm. Sehingga dapat disimpulkan struktur mempunyai kinerja *Immediate Occupancy*, tidak ada kerusakan berarti pada struktur, bila terjadi gempa struktur masih aman, hanya terjadi sedikit kerusakan minor dimana untuk memperbaikinya tidak mengganggu pengguna, kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, sistem pemikul gaya vertikal dan lateral pada struktur masih mampu memikul gaya gempa yang terjadi.

2. Performance point untuk nilai target perpindahan 2% dari tinggi struktur (680 mm) perpindahan lantai yang terjadi adalah 150,93 mm. Nilai perpindahan tersebut merupakan 0,88 % dari tinggi struktur yaitu 17000 mm. Sehingga dapat disimpulkan struktur mempunyai kinerja *Immediate Occupancy*, tidak ada kerusakan berarti pada struktur, bila terjadi gempa struktur masih aman, hanya terjadi sedikit kerusakan minor dimana untuk memperbaikinya tidak mengganggu pengguna, kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, sistem pemikul gaya vertikal dan lateral pada struktur masih mampu memikul gaya gempa yang terjadi.

KESIMPULAN

Hasil dari pengerjaan tugas akhir ini adalah berupa hasil analisis yang dilakukan pada Gedung Fakultas X UNP diketahui kinerja struktur saat dikenai beban gempa dengan metode PBPD, didapatkan nilai *performance point* untuk target perpindahan 2% kinerja struktur yang didapatkan dari analisis pushover adalah perpindahan 0,57% dan 0,88% dari tinggi struktur menggunakan metode *Performance Based Plastic Design*. Yang berarti level kinerja struktur yang terjadi adalah *Immediate Occupancy* (IO) yang berarti bangunan masih bisa berdiri kokoh ketika menerima beban gempa tanpa terjadi kerusakan struktur dan nonstruktur. Kerusakan yang terjadi hanya kerusakan ringan pada struktur sehingga bangunan dapat dengan cepat digunakan kembali.

Daftar Pustaka

- Almufid, & Hidayah, S. (2019). Perencanaan Struktur Atas Gedung Hunian 12 Lantai.
- Arifah, A. G., & Akbar, M. R. (2017). Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Fakultas Teknik

di Malang Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

- Ertanto, B. C., Satyarno, I., & Suhendro, B. (2017). Performance Based Design Bangunan Gedung Untuk Level Kinerja Operasional.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Building*.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*.
- Feriyandi, F. N. (2023). Study Performance Based Plastic Design (PBPD) Pada Struktur Gedung Beton Bertulang.
- Liao, W.-C. (2010). Performance Based Plastic Design Of Earthquake Resistant Reinforced Concrete Moment Frames.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story.
- Purnomo, E., Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang).
- Sunaryati, J., Nidiasari, & Yuliandri, R. (2021). Performance Based Plastic Design Method of Reinforced Concrete Structure For Operational Performance Level.
- SNI 1726-2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung"