

**REDESAIN DAN *PERFORMANCE BASED ANALYSIS* STRUKTUR BETON  
BERTULANG GEDUNG IGD TERPADU RSUD PROVINSI NTB TERHADAP  
BEBAN GEMPA DENGAN METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN*  
(*DDBD*) SISTEM GANDA**

*” Redesign and Performance Based Analysis Of Reinforced Concrete Structure Of  
Integrated Emergency Room Of NTB Provincial Hospital Against Earthquake Load  
With Direct Displacement Based Design (DDBD) and Dual System ”*

Artikel ilmiah  
Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh :  
**Yuni Nurpitriani**  
**F1A 118 085**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MATARAM**  
**2023**

ARTIKEL ILMIAH

REDESAIN DAN *PERFORMANCE BASED ANALYSIS*  
STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG IGD TERPADU  
RSUD PROVINSI NTB TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN  
METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN (DDBD)*  
SISTEM GANDA

Oleh:

**YUNI NURPITRIANI**  
FIA 118 085

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing

1. Pembimbing Utama



**Harijadi, ST., MSC(Eng), Dr. Eng**  
NIP. 19731027 199802 001

Tanggal: 24-8-2023

2. Pembimbing Pendamping



**Suparjo, ST., MT.**  
NIP. 19670814 199412 1 001

Tanggal: 2023

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ketua Teknik

Universitas Mataram



**Harijadi, ST., MSC(Eng), Dr. Eng**  
NIP. 19731027 199802 001

**ARTIKEL ILMIAH**

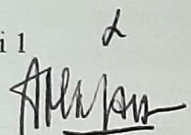
**REDESAIN DAN PERFORMANCE BASED ANALYSIS STRUKTUR  
BETONBERTULANG GEDUNG IGD TERPADU RSUD PROVINSI NTB  
TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN METODE DIRECT  
DISPLACEMENT BASED DESIGN (DDBD) SISTEM GANDA**

Oleh :

**Yuni Nurpitriani  
F1A 118 085**

Telah diujikan di depan tim penguji  
Pada tanggal 20 Juli 2023  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1  
Jurusan Teknik Sipil

1. Penguji I <sup>2</sup>

  
**Ir. Suryawan Murtiadi M. Eng., PhD**  
NIP. 19580718 199303 1 001


Tanggal: 2023

2. Penguji II

  
**I Nyoman Merdana, ST., MT**  
NIP. 19680913 199703 1 001

Tanggal: 01/08 2023

3. Penguji III

  
**Shofia Rawiana, ST., MT**  
NIP. 19660305 199412 2 001

Tanggal: 2023



Mataram, 2023  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Mataram

**Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.**  
NIP. 19720222 199903 1 002

**REDESAIN DAN PERFORMANCE BASED ANALYSIS STRUKTUR BETON  
BERTULANG GEDUNG IGD TERPADU RSUD PROVINSI NTB TERHADAP  
BEBAN GEMPA DENGAN METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN*  
(*DDBD*) SISTEM GANDA**

**Yuni Nurpitriani<sup>1</sup>, Hariyadi<sup>2</sup>, Suparjo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram <sup>2</sup>Dosen Jurusan  
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram  
Email: [Nftr56@gmail.com](mailto:Nftr56@gmail.com)

**Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram**

**INTISARI**

Rumah sakit Umum Daerah Provinsi NTB, saat ini sedang melakukan pembangunan fasilitas pelayanan kesehatan berupa pembangunan gedung IGD Terpadu. Kedepannya Rumah Sakit ini akan menjadi Rumah Sakit Tipe A. Perencanaan bangunan yang matang juga diperlukan untuk menjamin kualitas dari gedung IGD Terpadu ini baik dari segi fasilitas maupun dari segi kekuatan dan ketahanan bangunannya. Dimana rumah sakit sendiri merupakan bangunan vital yang tidak boleh roboh saat terjadi gempa.

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, mulai tahun 2000-an perancangan bangunan terhadap gempa mulai menggunakan konsep perancangan berbasis kinerja (*Performance Based*). Konsep perancangan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan. Metode analisa gempa *Direct Displacement Based Design (DDBD)* adalah salah satu metode perencanaan berbasis kinerja yang merupakan metode terbaru saat ini. Metode ini menekankan pada nilai perpindahan (*Displacement*) sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain. Dalam perhitungannya metode ini perlu dievaluasi menggunakan Analisa *Pushover* untuk mengecek tingkat kinerja yang diinginkan dan mendapat *performance point* serta parameter-parameter lainnya.

Dari hasil perancangan didapatkan nilai simpangan aktual Nilai simpangan aktual berdasarkan analisa *pushover* aturan *FEMA 356* dan *ATC 40*. Untuk *FEMA 356* simpangan arah x sebesar 0,0051 dan 0,005 pada arah y. Pada *ATC 40* untuk arah x sebesar 0,003 dan arah y sebesar 0,0024. Secara keseluruhan struktur memiliki level kinerja *immediate Occupancy* yang belum mencapai target desain awal yaitu *life safety* namun berada pada level kinerja yang lebih tinggi. Nilai target perpindahan analisa *pushover* memiliki selisih dengan desain awal *DDBD*, yang menunjukkan peningkatan kekakuan lebih besar. Untuk perbandingan nilai *drift ratio* antar lantai masih dibawah limit 0,02, sedangkan nilai *displacement* menunjukkan nilai yang lebih kecil.

**Kata kunci : *Direct Displacement Based Design*, *Sistem Ganda* dan *Pushover Analysis***

## I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Rumah sakit Umum Daerah Provinsi NTB, saat ini sedang melakukan pembangunan fasilitas pelayanan kesehatan berupa pembangunan gedung IGD Terpadu. Bangunan rumah sakit ini merupakan bangunan delapan lantai dengan fasilitas helipad pada lantai atap, data eksisting sistem struktur atas menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus dan dinding geser beton bertulang khusus. Salah satu tujuan didirikannya IGD Terpadu ini adalah untuk mendukung event-event internasional kedepannya dan untuk memenuhi kebutuhan layanan kesehatan bagi masyarakat. Kedepannya Rumah Sakit ini akan menjadi Rumah Sakit Tipe A dan tentunya harus didukung dengan fasilitas tambahan lainnya yang harus lebih baik, tidak hanya itu perencanaan struktur bangunan yang matang juga diperlukan untuk menjamin kualitas dari gedung IGD Terpadu ini baik dari segi fasilitas maupun dari segi kekuatan dan ketahanan bangunannya. Dimana rumah sakit sendiri merupakan bangunan vital yang tidak boleh roboh saat terjadi gempa, lokasi pembangunan gedung IGD Terpadu ini di pulau Lombok yang merupakan salah satu daerah terdampak gempa (Gempa Lombok 2018).

Indonesia merupakan suatu wilayah yang hampir seluruhnya berada disekitar *ring of fire* (cincin api pasifik) yang memanjang dari Pulau Sumatera-Jawa-Nusa Tenggara dan Sulawesi, sehingga membuat Indonesia menjadi wilayah yang rentan mengalami gempa bumi. Gempa bumi merupakan gejala alam yang tidak dapat dihilangkan dan sangat berpengaruh terhadap bangunan, terutama

pada bangunan bertingkat tinggi. Berdasarkan tragedi yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dan kerugian materi dalam jumlah yang cukup besar. Salah satu wilayah Indonesia yang mengalami dampak signifikan akibat gempa bumi adalah pulau Lombok. Oleh karena itu diperlukan suatu analisa terhadap suatu bangunan konstruksi yang akan dibangun maupun yang telah ada, untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa, guna menjamin keselamatan bangunan dan pemakainya.

Selama ini, perancangan bangunan tahan gempa kebanyakan menggunakan konsep *force-based design (FBD)*. Dalam hal ini, perhitungan gaya gempa pada metode FBD dilakukan dengan analisis linear (elastis), sehingga tidak dapat menunjukkan secara langsung kinerja bangunan terhadap pengaruh gempa yang terjadi. Konsep ini juga dirancang berdasarkan kriteria keruntuhan material dan kapasitas penampang untuk beban terfaktor (Pranata,2006).

Metode analisa gempa *Direct Displacement Based Design (DDBD)* adalah salah satu metode perencanaan berbasis kinerja yang merupakan metode terbaru saat ini, metode ini menekankan pada nilai perpindahan (*Dispacement*) sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain. Dalam perhitungannya metode ini perlu dievaluasi menggunakan Analisa *Pushover* untuk mengecek tingkat kinerja yang diinginkan dan mendapat *performance point* serta parameter-parameter lainnya. Analisis *pushover* merupakan sarana untuk

memberikan solusi berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya adalah mencari kapasitas struktur. Prosedur analisis *pushover* dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai keruntuhan

#### A. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil beberapa rumusan masalah antara lain:

- 1) Bagaimana kinerja struktur beton bertulang gedung IGD Terpadu RSUD Provinsi NTB terhadap beban gempa dengan metode *Direct Displacement Based Design*?
- 2) Bagaimana pola keruntuhan gedung setelah dilakukan analisa *pushover*?

#### B. Tujuan Analisis

Dari beberapa rumusan masalah diatas, maka hal-hal yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui kinerja struktur beton bertulang gedung IGD Terpadu RSUD Provinsi NTB terhadap beban gempa dengan metode *Direct Displacement Based Design*.
- 2) Untuk mengetahui pola keruntuhan gedung setelah dilakukan analisa *pushover*.

#### C. Batasan Masalah

Adapun batasan desain dalam studi kasus ini adalah:

- 1) Bangunan gedung yang dianalisis yaitu gedung IGD Terpadu RSUD Provinsi NTB dengan data struktur komponen

utama seperti balok, kolom, dan pelat sesuai dimensi eksisting.

- 2) Perhitungan menggunakan bantuan *software Etabs* dan gambar hasil analisa menggunakan *Autocad*.
- 3) Tidak melakukan peninjauan terhadap analisa biaya, manajemen konstruksi dan metode pelaksanaan.
- 4) Struktur yang dianalisa adalah struktur atas bangunan (*upper structure*), dimana pondasi diasumsikan terkekang sempurna (*fixed*).
- 5) Tidak menganalisa kinerja tangga dan *lift* setelah mengalami gempa.

#### D. Manfaat Analisis

Adapun manfaat yang diharapkan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Dapat mengetahui tingkat keamanan struktur bangunan terhadap beban gempa di daerah tersebut.
- 2) dapat dijadikan masukan kepada instansi terkait dan dalam merencanakan bangunan terutama bangunan tahan gempa.
- 3) Menjadi pembanding untuk studi analisis gedung dengan topik yang sama dimasa yang akan datang.
- 4) Sebagai referensi yang berguna bagi akademisi dan praktisi teknik sipil dalam merencanakan struktur gedung terhadap beban gempa dengan metode *DDBD*.

## II. LANDASAN TEORI

### Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

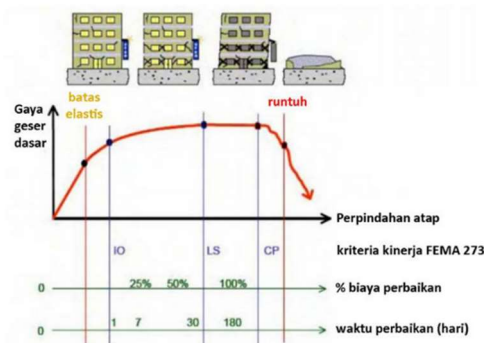
- 1) Saat terjadi gempa skala ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan (*servicable*)

sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.

- 2) Saat terjadi gempa skala sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
- 3) Saat terjadi gempa skala besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

### Kinerja Struktur

Kinerja struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan performa struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu.



**Gambar 1** Kriteria kinerja struktur  
Sumber: FEMA 356

Level kinerja dibagi menjadi beberapa tingkatan kerusakan akibat gempa bumi yang meliputi angka kematian, kerusakan bangunan dan status operasional.

**Tabel 1** Level Kinerja Sumber: ATC-40

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Struktural Stability
Simpangan total Maksimum	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 $V_i/P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0.005	0.005 - 0.015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

#### 1) Immediate Occupancy

Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan.

#### 2) Damage Control

Merupakan transisi antara Immediate Occupancy (IO) SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3. bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil

#### 3) Life Safety

Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non struktural.

#### 4) Struktural Stability

Struktur pasca gempa mengalami kerusakan sehingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktural menahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan

### Pushover Analysis dengan Metode (FEMA 356)

Analisa Non-Linear Pushover merupakan salah satu prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula

sebagai analisa static *non-linear* atau analisa beban dorong *static*. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai atau salah satu elemen struktur sudah melampaui batas keruntuhan. Tujuan analisa pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Metode koefisien perpindahan *FEMA 356* adalah suatu metode untuk prosedur statik nonlinier, yang dimana pendekatan menyediakan perhitungan numerik langsung dari perpindahan global maksimum pada struktur. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi koefisien  $C_0, C_1, C_2, C_3$  sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastik) yang disebut target perpindahan ( $\delta_T$ ). Prosedur dimulai dengan menetapkan waktu efektif  $T_e$ .

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

Dimana :

- $T_e$  : Waktu getar efektif
- $T_1$  : Waktu getar elastic
- $K_i$  : Kekuatan lateral elastic
- $K_e$  : Kekuatan lateral efektif

Kekakuan lateral efektif ini sangat tergantung dari penggambaran kurva bilinear dari kurva kapasitasnya, dihitung dengan persamaan berikut.

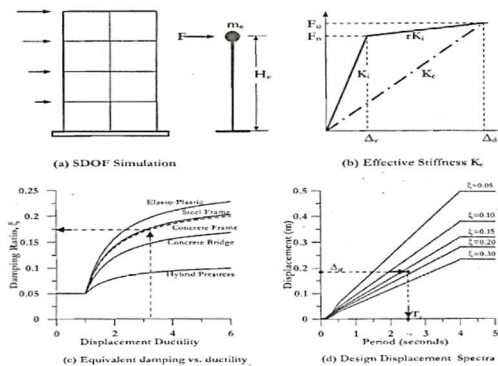
$$K_e = \frac{0.6 \times V_y}{0.6 \times \Delta_y}$$

Target perpindahan didapatkan dari modifikasi respon elastik linier dan sistem *SDOF* ekuivalen dihitung dengan persamaan berikut.

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^1} g$$

### Direct Displacement Based Design

Metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)* muncul untuk mengatasi kelemahan - kelemahan dalam desain dengan metode desain berbasis gaya atau *Force Based Design (FBD)*. Metode *DDBD* menekankan pada nilai *displacement* sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain. Perbedaan mendasar dari metode *Force Based Design* adalah *DDBD* ditandai dengan struktur akan didesain oleh satu derajat kebebasan (*Single Degree of Freedom/SDOF*) dengan representasi dari kinerja pada respon perpindahan puncak, bukan oleh karakteristik elastik awal. Konsep desain berbasis perpindahan *Direct Displacement Based Design* secara umum diilustrasikan pada gambar berikut.



**Gambar 2** Konsep *Direct Displacement Based Design*

Sumber: *Priestley et. Al, 2007*

### III. METODOLOGI PENELITIAN

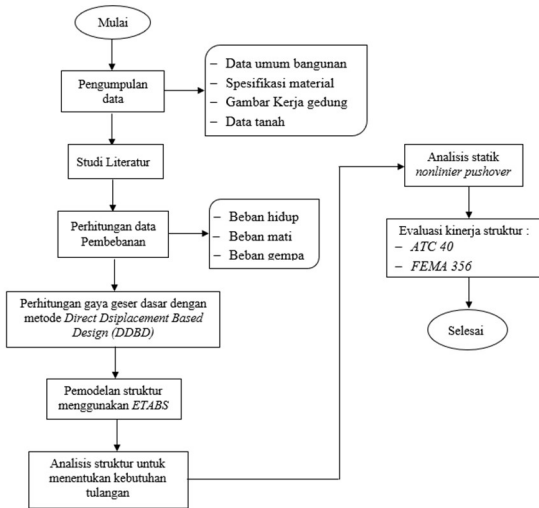
#### Data Umum

1. Perancangan ini dilakukan pada gedung gedung IGD Terpadu RSUD Provinsi NTB.
2. Dalam perancangan akan menggunakan dimensi eksisting.



- Spesifikasi mutu beton yang digunakan adalah  $f'c$  25 Mpa pada balok dan  $f'c$  30 Mpa pada plat, kolom dan dinding geser.
- Spesifikasi mutu tulangan ulir  $f_y$  420 Mpa dan tulangan polos  $f_y$  280 Mpa.

### A. Bagan Alir



## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan gaya geser dasar metode DDBD

Perhitungan gaya geser dasar tiap lantai.

Tabel 2 Distribusi Gaya Geser arah X

LEVEL	Tinggi $H_i$ (m)	Mass $m_i$ (m)	$\Delta_i$ (m)	$m_i \cdot \Delta_i$ (m)	$V_b$ (KN)	$F_i$ (KN)
10	37,90	719375,31	0,719	517145,628	15322059,389	2429514,141
9	34,40	2636605,67	0,649	1710844,737	15322059,389	2968515,894
8	29,40	3014475,25	0,549	1654389,805	15322059,389	2870907,002
7	25,20	2572677,88	0,464	1194417,957	15322059,389	2072454,976
6	21,00	2706357,53	0,381	1030793,955	15322059,389	1788548,178
5	16,80	2583134,20	0,297	767352,665	15322059,389	1331446,701
4	12,60	2547335,77	0,215	547535,619	15322059,389	950038,395
3	8,40	2581215,86	0,137	352713,777	15322059,389	611999,693
2	4,20	2677085,82	0,064	172111,966	15322059,389	298634,408
1	0,00	0,00	0,000	0,000	15322059,389	0,000
Jumlah		22038263,29		7947506,11		15322059,39

Tabel 3 Distribusi Gaya Geser arah y

LEVEL	Tinggi $H_i$ (m)	Mass $m_i$ (m)	$\Delta_i$ (m)	$m_i \cdot \Delta_i$ (m)	$V_b$ (KN)	$F_i$ (KN)
10	37,90	719375,31	0,807	580517,029	13052056,708	2064354,420
9	34,40	2636605,67	0,730	1923892,446	13052056,708	2515896,123
8	29,40	3014475,25	0,619	1866783,725	13052056,708	2441214,396
7	25,20	2572677,88	0,527	1354584,406	13052056,708	1771405,497
6	21,00	2706357,53	0,434	1173966,026	13052056,708	1535208,779
5	16,80	2583134,20	0,341	880938,274	13052056,708	1152013,041
4	12,60	2547335,77	0,248	632474,103	13052056,708	827093,607
3	8,40	2581215,86	0,156	401488,224	13052056,708	525030,735
2	4,20	2677085,82	0,063	168110,569	13052056,708	219840,111
1	0,00	0,00	-0,030	0,000	13052056,708	0,000
Jumlah		22038263,29		8982754,80		13052056,71

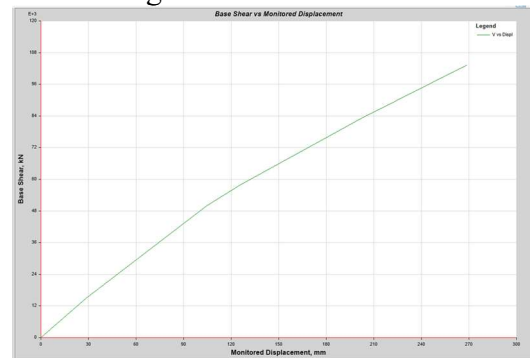
### Evaluasi Kinerja Struktur

Dalam analisa non linier *pushover* didapatkan output kurva kapasitas dari struktur, selanjutnya ouput tersebut akan dievaluasi kinerjanya supaya dapat mengetahui perbandingan desain awal struktur yang telah dihitung dengan metode *direct Displacement based design (DDBD)*. Dalam evaluasi akan digunakan 2 metode yaitu *FEMA 356* dan *ATC 40*. Hasil kurva kapasitas model struktur adalah sebagai berikut:

#### Kurva Kapasitas

- Kurva kapasitas arah x-x

Dari hasil analisa *pushover* dengan menggunakan software *ETABS* untuk *pushover* arah x-x didapatkan 5 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.

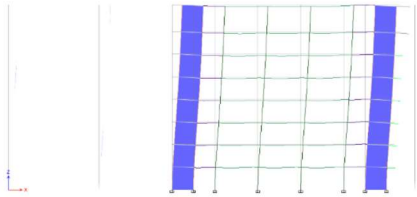


Gambar 3 Kurva Kapasitas Pushover Arah x-x

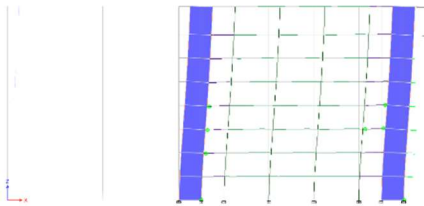
**Tabel 4** Output Beban Dorong Arah x-x

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	4858	0	0	0	0	4858	0	0	0	4858
1	28.411	14829.06	4856	2	0	0	0	4858	0	0	0	4858
2	104.667	49999.2	4312	546	0	0	0	4857	1	0	0	4858
3	126.006	57957.36	4128	730	0	0	0	4856	2	0	0	4858
4	201.914	83033.05	3646	1212	0	0	0	4827	30	1	0	4858
5	268.46	103261.92	3372	1483	0	0	3	4781	72	2	3	4858

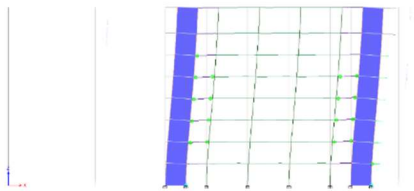
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa elemen struktur belum mengalami plastifikasi pada step 1 sampai 3. Plastifikasi mulai terjadi pada sendi 4 yang dimana ditandai bahwa elemen berada pada kondisi B-C. Dan selanjutnya untuk step – step berikutnya plastifikasi elemen struktur mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong hingga elemen struktur mengalami keruntuhan. Untuk pola – pola munculnya sendi plastis pada setiap elemen struktur akibat beban dorong arah x – x dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 4** Pola Sendi Plastis *Pushover* Step 1 Arah X – X



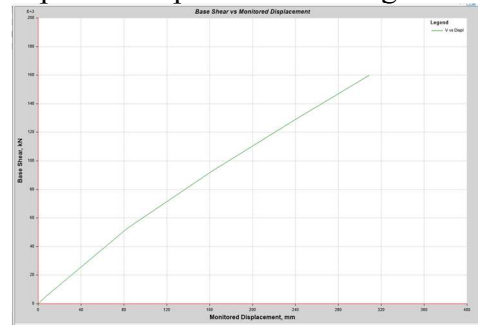
**Gambar 5** Pola Sendi Plastis *Pushover* Step 4 Arah X – X



**Gambar 6** Pola Sendi Plastis *Pushover* Step 5 Arah X – X

2. Kurva kapasitas arah y-y

Untuk kurva kapasitas arah y-y didapatkan juga 5 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.

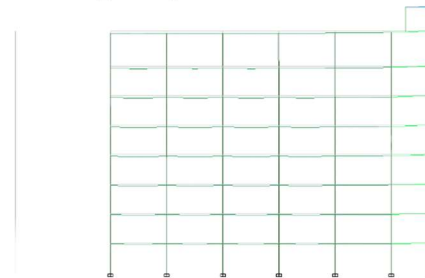


**Gambar 7** Kurva Kapasitas *pushover* arah y

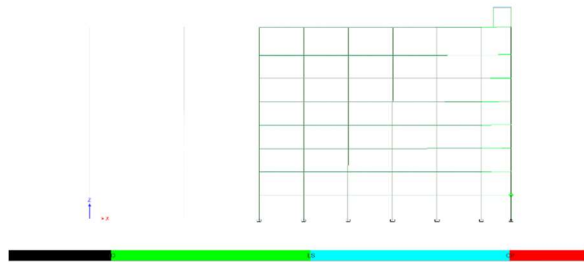
**Tabel 5** Output Beban Dorong Arah y-y

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	4858	0	0	0	0	4858	0	0	0	4858
1	7.052	4862.4	4856	2	0	0	0	4858	0	0	0	4858
2	83.572	52909.97	4441	417	0	0	0	4858	0	0	0	4858
3	161.36	92403.36	3835	1023	0	0	0	4857	1	0	0	4858
4	241.186	129403.16	3440	1418	0	0	0	4839	19	0	0	4858
5	308.662	159740.88	3200	1657	1	0	0	4789	69	3	0	4858

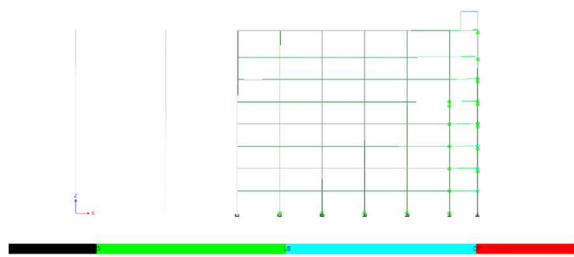
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa elemen struktur belum mengalami plastifikasi pada step 1 sampai step 2. Plastifikasi mulai terjadi pada step 3 yang dimana ditandai bahwa elemen berada pada kondisi B-C. Dan selanjutnya untuk step – step berikutnya plastifikasi elemen struktur mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong hingga elemen struktur mengalami keruntuhan. Untuk pola – pola munculnya sendi plastis pada setiap elemen struktur akibat beban dorong arah y – y dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 8** Pola Sendi Plastis *Pushover* Step 1 Arah Y – Y



**Gambar 9** Pola sendi *pushover* step 3 arah y-y



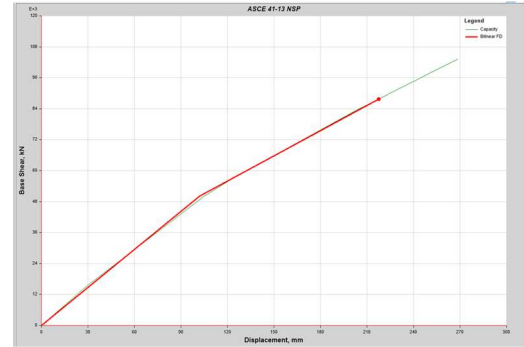
**Gambar 10** Pola Sendi Plastik *Pushover* Step 5 Arah Y – Y

Berdasarkan gambar pola sendi plastis untuk arah y-y diatas, dapat dilihat bahwa sendi plastis mulai terbentuk pada step 3 dan bertahap meningkat seiring dengan peningkatan beban dorong yang diberikan struktur. Pada step 5 mulai muncul kondisi C-D pada balok. Selain itu dapat diamati bahwa sendi plastis terlebih dahulu terbentuk pada balok, itu menandakan bahwa struktur dalam kondisi kolom lebih kuat dari balok (*strong coloum-weak beam*). Kondisi ini menandakan struktur sudah sesuai dengan perancangan pendetailan awal.

### Level Kinerja

### Metode *FEMA 356*

Pada metode *FEMA 356* diambil contoh perhitungan untuk arah x-x dengan membuat kurva idealisasi bilinear (kurva biner *pushover*). Dengan bantuan software *ETABS* dapat diketahui parameter dan bentuk kurva bilinear, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 10** Kurva Kapasitas Bilinear Arah X

Dari kurva *biner pushover* didapatkan didapatkan parameter yaitu:

$$\begin{aligned} K_i &= 521950,348 \text{ kN/m} \\ V_y &= 50293,27 \text{ kN} \\ T_i &= 0,999 \text{ detik} \\ K_e &= 490942,237 \text{ kN/m} \\ S_a &= 0,635 \end{aligned}$$

Dengan parameter diatas maka dapat dihitung nilai target perpindahan dengan dasar kurva idealisasi dari *pushover analisis*. Tahapan perhitungan target perpindahan sesuai *FEMA 356* sebagai berikut:

- Mengitung periode efektif struktur:

$$\begin{aligned} T_e &= T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \\ &= 0,999 \sqrt{\frac{521950,348}{490942,237}} \\ &= 1,0300 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Menentukan nilai  $C_0$

Nilai  $C_0$  ditentukan berdasarkan tabel 3-2 *FEMA 356* dan dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 6** Faktor Modifikasi  $C_0$  *FEMA 356*

Number of Stories	Shear Buildings <sup>2</sup>		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1,1, 1,2, 1,3)	Uniform Load Pattern (2,1)	Any Load Pattern
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.

2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Maka digunakan nilai  $C_0 = 1.48$ , hasil interpolasi dari tabel diatas untuk bangunan 8 lantai.

- Menentukan nilai  $C_1$

Jika  $T_e > T_s$ , maka  $C_1 = 1$

$$\text{Jika } T_e < T_s, \text{ maka } C_1 = \left[ 1 + \frac{(R-1)T_s}{T_e} \right] \frac{1}{R}$$

Nilai  $T_e = 1.0300$ ,  $T_s = 0,68 \rightarrow T_e > T_s$ ,  
maka nilai  $C_1 = 1$

- Menentukan nilai  $C_2$

Nilai  $C_2$  ditentukan berdasarkan tabel 3-3 *FEMA 356* yang dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 7** Faktor Modifikasi  $C_2$  *FEMA 356*

Structural Performance Level	$T \leq 0.1$ second <sup>1</sup>		$T \geq T_S$ second <sup>1</sup>	
	Framing Type 1 <sup>2</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>	Framing Type 1 <sup>2</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.  
2. All frames not assigned to Framing Type 1.  
3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of  $T$ .

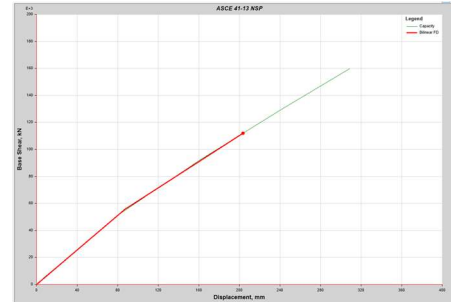
Dari tabel diatas maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai  $T_e > T_s$ , dan digunakan type 2 sehingga  $C_2 = 1$

- Nilai  $C_3 = 1$  (kekakuan pasca leleh adalah positif)
- Menghitung target perpindahan

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 1,0300 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,635 \\ &\times \frac{1,0300^2}{4 \pi^2} 9,81 \\ &= 0,172 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Drift* aktual  
 $= \delta_T / H_{tot}$   
 $= 0,172 / 37,9$   
 $= 0,005 \rightarrow \text{Immediate occupancy}$

Untuk arah y-y dihitung juga terlebih dahulu parameternya, dicek di tabel *FEMA 356*. Secara keseluruhan sama dengan perhitungan arah x-x diatas untuk dapat menentukan target perpindahannya. Berikut parameter dan hasil target perpindahan untuk arah y-y:



**Gambar 11** Kurva Kapasitas Bilinier Arah Y

$$\begin{aligned} K_i &= 689436,211 \text{ kN/m} \\ V_y &= 55853,12 \text{ kN} \\ T_i &= 0,862 \text{ detik} \\ K_e &= 63981,819 \text{ kN/m} \\ T_e &= 1,895 \text{ detik} \\ S_a &= 0,719 \\ C_0 &= 1,45 \\ C_1 &= 1 \\ C_2 &= 1 \\ C_3 &= 1 \end{aligned}$$

- Menghitung target perpindahan

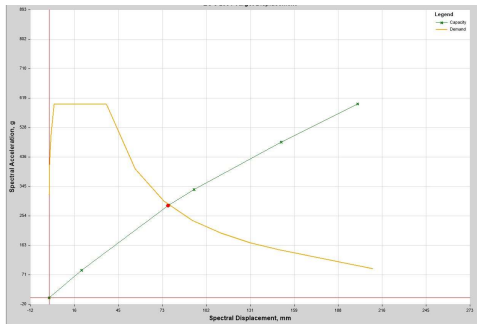
$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 1,45 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,719 \times \\ &\frac{0,895^2}{4 \pi^2} 9,81 \\ &= 0,171 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Drift* aktual  
 $= \delta_T / H_{tot}$   
 $= 0,1713 / 37,9$   
 $= 0,005 \rightarrow \text{Immediate occupancy}$

#### 4.4.2.2 Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode spektrum kapasitas ini secara khusus telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva kapasitas ke format *ADRS* dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Kurva spektrum kapasitas arah X dan Y yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Arah X



**Gambar 12** Kurva spektrum kapasitas arah X

Pada **Gambar 12** di atas gaya geser dasar yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand* sebesar 49435,12 kN dengan *displacement* 103,44 mm. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung masih dalam batas kinerja desain gempa yang direncanakan yaitu *Immediate Occupancy (IO)*. Apabila kurva tersebut tidak berpotongan, maka struktur gedung tidak berada dalam batas desain gempa rencana. Kurva *capacity* merupakan kurva kapasitas yang diplotkan ke dalam format ADRS. Sedangkan kurva *demand family* merupakan kurva spektral respon desain yang sudah dikerjakan otomatis oleh program dengan memasukkan gempa respon spektrum yang telah dikerjakan sebelumnya.

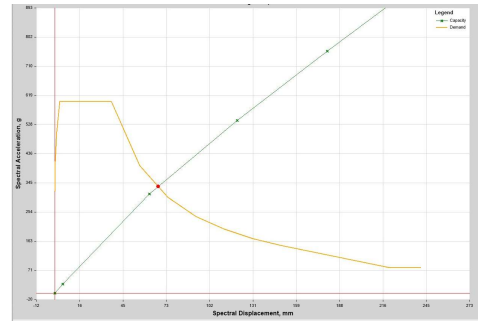
**Tabel 8** Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah X kondisi awal

Vx (kN)	Displ (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
49435,12	103,44	0,601	200,25

Dari parameter di atas, didapatkan ratio *drift* arah X yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah X} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{103,44}{37900} = 0,003$$

## 2. Arah Y



**Gambar 13** Kurva spektrum kapasitas arah Y

Pada **Gambar 13** di atas gaya lateral yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand family* sebesar 56909,83 kN dengan *displacement* 91,451 mm. Pada spektrum kapasitas arah Y masih berada dalam batas desain gempa rencana.

**Tabel 9** Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah Y

Vy (kN)	Disp (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
56909,83	91,451	0,935	229,816

Dari parameter di atas, didapatkan ratio *drift* arah Y yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah Y} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{91,451}{37900} = 0,0024$$

Dari perhitungan dua metode evaluasi diatas didapatkan nilai target perpindahan, *Drift* aktual dan level kinerja untuk masing masing metode. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 10** Rekap Performance Level Desain dan Hasil Analisis

Arah	Parameter	Rencana Desain DBBD	Analisa (FEMA 356)	ATC 40
Arah x-x	Target perpindahan (m)	0,310	0,172	0,103
	Drift aktual	-	0,0051	0,003
	Level Kinerja	<i>Life Safety</i>	<i>immediate Occupancy</i>	<i>immediate Occupancy</i>
Arah y-y	Target perpindahan (m)	0,219	0,171	0,0915
	Drift aktual	-	0,005	0,0024
	Level Kinerja	<i>Life Safety</i>	<i>immediate Occupancy</i>	<i>immediate Occupancy</i>

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa untuk rencanan desain DBBD memiliki level

kinerja *life safety*, untuk hasil analisa *pushover FEMA 356* memiliki level kinerja *immediate Occupancy*. Dan untuk hasil analisa menggunakan evaluasi *ATC 40* juga berada dilevel *immediate Occupancy* pada arah x maupun y.

### Perbandingan *Drift* dan Displacement

Dalam pembahasan tugas akhir ini nilai *Drift* dan *displacement* aktual hasil analisa *pushover* digunakan untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang didesain. Maka nilai *Drift* beserta *Displacement* antar lantai dari desain *DDBD* dan desain *non linier pushover* perlu dibandingkan. (Priesley et. Al,2007). Untuk nilai *Drift* dari hasil desain *DDBD* Pada arah X dan Y memiliki nilai *Displacement* yang perbedaannya tidak terlalu signifikan. Selanjutnya nilai *Drift* dan *Displacement* akan ditabelkan lalu dibuat grafik untuk perbandingannya.

#### 4.4.2.3 Perbandingan Analisa *DDBD* dengan *Pushover*

**Tabel 11** Perbandingan Nilai *Drift* dan *Displacement* arah X dan Y

LEVEL	Tinggi Hl	Drift limit	Design (DDBD)			Displacement (Pushover)			
			Displacement		Story Drift (m)	Displacement			
			Arah X (m)	Arah Y (m)		Arah X (m)	Arah Y (m)	Arah X (m)	Arah Y (m)
10	37,90	0,02	0,719	0,807	0,010	0,0290	0,0169	0,00436	0,00387
9	34,40	0,02	0,649	0,730	0,011	0,0277	0,0154	0,00594	0,00461
8	29,40	0,02	0,549	0,619	0,012	0,0250	0,0132	0,00720	0,00514
7	25,20	0,02	0,464	0,527	0,013	0,0222	0,0112	0,00866	0,00565
6	21,00	0,02	0,381	0,434	0,014	0,0188	0,0091	0,01001	0,00590
5	16,80	0,02	0,297	0,341	0,016	0,0149	0,0068	0,01095	0,00587
4	12,60	0,02	0,215	0,248	0,017	0,0106	0,0046	0,01116	0,00545
3	8,40	0,02	0,137	0,156	0,018	0,0062	0,00258	0,01102	0,00451
2	4,20	0,02	0,064	0,063	0,019	0,002	0,0009	0,01950	0,00255
1	0,00	0,02	0,000	-0,039	0,020	0,0000	0,0000	0,02000	0,00000

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan :

Berdasarkan perhitungan desain struktur menggunakan metode *direct Displacement based design (DDBD)*, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Nilai simpangan aktual berdasarkan analisa *pushover* aturan *FEMA 356* dan *ATC 40* berturut-turut untuk arah x sebesar 0,0051 dan 0,005 arah y, dan pada *ATC 40* untuk arah x sebesar 0,003 dan arah y sebesar 0,0024. secara keseluruhan

struktur memiliki level kinerja *immediate Occupancy* yang belum mencapai target desain awal yaitu *life safety* namun berada pada level kinerja yang lebih tinggi.

2. Berdasarkan nilai target perpindahan analisa *pushover FEMA 356* secara berturut-turut, untuk arah x sebesar 0,172 m dan untuk arah y sebesar 0,1713 m. Sedangkan analisa *pushover ATC 40* untuk arah x sebesar 0,103 m dan arah y sebesar 0,0915 m. Dapat dilihat bahwa nilainya memiliki hasil yang jauh berbeda dengan rencana desain *DDBD* dengan nilai, untuk arah x sebesar 0,310 m dan untuk arah y sebesar 0,219 m. Hal itu berarti desain struktur dengan menggunakan metode *DDBD* akan memiliki peningkatan kekakuan yang lebih besar.

### Saran:

Adapun saran yang ingin disampaikan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan analisa *pushover* perlu diperhatikan keakuratan dan kelengkapan data mulai dari input tulangan dan perilaku struktur agar didapatkan gambaran yang riil.
2. Penginputan parameter dalam analisa *pushover* sebaiknya disesuaikan pada model struktur, itu akan menyebabkan terjadinya *trial and error* supaya mendapatkan kurva kapasitas *pushover* sesuai kebutuhan

## DAFTAR PUSTAKA

- Amaral, Cristovao. 2016. *Alternatif Perencanaan Dinding Geser (Shear Wall) Dengan Sistem Kantilever Pada Gedung Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Malang*. [Skripsi]. Malang: Institut Teknologi Nasional.
- Asroni A, 2010. *Balok dan pelat beton bertulang*. Surakarta: Graha Ilmu
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and*

- Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1. California. Seismic Safety Commission State of California.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI - 1726 - 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI:2847:2019 persyaratan beton struktural bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- FEMA-356. 2000. *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Virginia. American Society of Civil Engineers.
- PPURG, 1989, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPPURG)*, 1989. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Rianto, N. & Edison, L. 2018. Perencanaan Struktur Dengan Metode *DDBD* Beserta Tingkat Kinerjanya Dan Idealisasinya Terhadap Sni 1726 : 2012, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Vol. 1, No. 1.
- Saifulloh, F. & Mirza, A. 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja (Studi Kasus: Gedung Pendidikan Rangka Beton Bertulang 7 Lantai), *Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, Vol. 10, No. 2.
- Sukerta, M. 2021. *Perancangan Gedung Kuliah Bersama Fakultas Teknik Universitas Mataram Dengan Dinding Geser Berbasis Kinerja Menggunakan Metode Direct Displacement Based Design (DDBD)*. Universitas Mataram
- Sutehno, W. 2014. Perencanaan Konstruksi Struktur Atas Serta Struktur Heliped Pada Bangunan Rumah Sakit R K Charitas Palembang, *Jurnal Teknil Sipil Dan Lingkungan*, vol. 2, No. 3.
- Syahidah, F. (2017). *Studi Perbandingan Desain Struktur Menggunakan Sistem Rangka Gedung Dengan Sistem Ganda Sesuai SNI 1726: 2012 Dan SNI 2847: 2013*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tavio, & Wijaya, U. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Pranata, Y, A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440)*, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 1. Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Yogi, O. & Relly, A. 2013. Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis, *Jurnal Proceeding PESAT*, Vol. 5, No. 1, Bandung.