

# Evaluasi Kinerja Dan Kapasitas Struktur Castellated Beam Hotel Nukila Ternate & Analisis Pushover Mengacu SNI: 1729-2020

Heri Istiono<sup>1\*</sup>, Dwi Cahyani Putri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: <sup>1</sup>[heri\\_istiono@itats.ac.id](mailto:heri_istiono@itats.ac.id)

## Abstract

*Indonesia is a country that has the potential to earthquakes, for the construction of this hotel a strong and economical structural design is needed. Steel material is one of the construction materials that has advantages compared to other construction materials, castellated beam steel structure is the choice to build the Nukila Hotel. At 2019, an earthquake with a magnitude of 7.1 rocked Ternate. During the construction process of this hotel, torsion occurred during erection. Therefore, it is necessary to evaluate the structural planning in the form of evaluating the performance and capacity of the structure using non-linear statistical methods. The results of the analysis indicate that the structural behavior control obtained a mass partition value of 93.80% on the X axis and 92.80% on the Y axis, on the 14th mode. On the X axis it can withstand the basic shear force of 73.15% and 72,59%, for the Y axis. All castellated beam structures are included in the compact section so that the design strength of the beam is able to withstand the ultimate shear strength of 114240 N. The composite column is also included in the compact section and the design strength of the column is 9832.84 kN, which means that it is able to withstand the axial compressive strength of 9809.28 kN. The evaluation results also show that the performance of the building structure is included in the category of Immediate Occupancy for the X axis and Life Safety for the Y axis.*

**Keywords:** *Castellated beam, composite steel column, Pushover, structure performance*

## Abstrak

Indonesia merupakan negara yang berpotensi mengalami gempa, untuk pembangunan hotel ini diperlukan perencanaan struktur yang kuat dan ekonomis. Material baja adalah salah satu bahan konstruksi yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, struktur baja *castellated beam* menjadi pilihan untuk membangun Hotel Nukila. Pada tahun 2019 telah terjadi Gempa bumi bermagnitudo 7,1 mengguncang Kota Ternate. Pada saat proses pembangunan hotel ini, telah terjadi torsi ketika dilakukan *erection*. Maka dari itu, perlu dilakukan evaluasi pada perencanaan struktur yaitu berupa evaluasi kinerja dan kapasitas struktur dengan menggunakan metode *statistik non-linier*. Hasil dari analisis tersebut menunjukkan bahwa kontrol perilaku struktur didapatkan nilai partisi massa 93,80% pada sumbu X dan 92,80% yaitu pada sumbu Y, pada modal ke 14. Pada sumbu X dapat menahan gaya geser dasar sebesar 73,15% dan 72,59%, untuk sumbu Y. Untuk semua struktur *castellated beam* termasuk kedalam penampang kompak sehingga kekuatan rencana pada balok mampu menahan kekuatan geser ultimate sebesar 114240 N. Kolom komposit juga termasuk kedalam penampang kompak dan kekuatan rencana kolom didapatkan 9832,84 kN yang artinya mampu menahan kuat tekan aksial sebesar 9809,28 kN. Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa kinerja dari struktur bangunan tersebut termasuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* untuk sumbu X dan *Life Safety* untuk sumbu Y.

**Kata kunci :** *Castellated beam, kinerja struktur, kolom baja komposit, Pushover.*

## 1. Pendahuluan

Meningkatnya perkembangan pada tempat wisata di Indonesia, harusnya diimbangi juga dengan berkembangnya sarana prasarana khususnya dalam jasa *property*, yaitu tempat penginapan seperti hotel, vila. Untuk menunjang pembangunan Hotel ini diperlukan perencanaan struktur yang merupakan unsur penting dalam pembangunan yang tentunya mengikuti peraturan yang berlaku saat ini [7][12]. Tetapi, mengingat di Indonesia merupakan negara yang sangat berpotensi mengalami gempa, karena berada di

wilayah jalur gempa pasifik dan jalur gempa asia Untuk membangun struktur yang kuat menahan gempa, pembangunan Hotel Nukila Ternate dirancang dengan menggunakan struktur baja [1][11].

Hotel Nukila Ternate dirancang dengan menggunakan struktur baja *castellated* dan kolom komposit yang memiliki keuntungan mempunyai kekuatan yang sangat tinggi sehingga bisa mengurangi ukuran dimensi struktur, keawetan yang tinggi juga dalam penyambungan antar elemen yang dapat menggunakan alat sambung las ataupun baut. Karena pada saat proses erection, salah satu balok telah terjadi torsi. Penyebab dari torsi ini adalah bentang balok yang terlalu panjang dengan dimensi yang terlalu pipih, maka dari itu perlu dilakukan evaluasi pada struktur hotel ini.

Pada penilitan ini, akan dilakukan evaluasi pada kapasitas dan kinerja struktur yang dikenal sebagai *Performance Based Design* dengan metode *Direct Displacement Based Design* yang bertujuan untuk mencapai target perpindahan serta kinerja batas yang telah direncanakan, dan pola keruntuhan Untuk mengetahui perilaku keruntuhan pada bangunan maka digunakan analisis *statik nonlinier* atau analisis *Pushover* [2][9][10].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Kontrol Perilaku Struktur

#### 1. Waktu getar alami dan partisipasi massa

Pasal 7.9.1 SNI 1726-2019 menyatakan bahwa partisipasi massa dari struktur bangunan adalah 100% dari massa strukturnya, namun ada toleransi untuk analisis sebesar 90% dari massa actual. Pasal 7.8.2.1 SNI 1726 2019 menyatakan bahwa periode struktur harus memenuhi persamaan sebagai berikut [5] :

$$Ta_{min} = Ct \cdot Hn^x < T_{act} < Ta_{max} = Ta_{min} \cdot Cu \quad (1)$$

Dimana Ct dan Cu didapatkan dari tabel 17 dan 18 SNI 1726-2019 dan tinggi bangunan di simbolkan dengan  $Hn^x$ .

#### 2. Drift antar lantai

Simpangan antar lantai struktur bangunan mengacu pada pasal 7.8.6 SNI 1726-2019, dimana simpangan antar tingkat desain harus dikalkulasi sebagai perbedaan simpangan antar tingkat. Simpangan tingkat yang ditinjau adalah sebagai berikut [3]:

$$\delta x = Cd \cdot \delta_{xe} / le \quad (2)$$

Cd adalah faktor perbesaran simpangan lateral;  $\delta_{xe}$  adalah simpangan di tingkat-x dan le adalah faktor keutamaan gempa.

### 2.2 Pushover Analysis

*Pushover analisis* merupakan metode analisis non-linier yang bisa diaplikasikan pada struktur bangunan seperti gedung bertingkat dan jembatan. Pada prosesnya analisis ini memberikan beban static pada pusat massa masing-masing lantai atau pada titik yang ditinjau, dimana nilainya akan ditingkatkan secara berkala sampai melewati batas beban sehingga akan menyebabkan terjadinya sendi plastis pertama didalam struktur tersebut. Selanjutnya dengan penambahan beban akan mengalami perubahan bentuk *pasca elastic* yang besar sampai batas mencapai target [3],[4]. Adapun *output* dari *pushover analysis* ini adalah dapat memperkirakan deformaso dan gaya maksimum yang terjadi serta menunjukan bagian mana saja yang diambang kritis, kritis maupun hancur [10][11].

### 2.3 Target Displacement

*Target displacement* merupakan *displacement* maksimal yang terjadi dan dari hasil tersebut bisa digunakan untuk menentukan level kinerja bangunan. *Target displacement* didapatkan dari grafik kapasitas struktur [13]. Untuk memperoleh *target displacement* maka perlu dihitung titik kinerja struktur sesuai dengan pasal 3.3.3.2.4 FEMA 356. Untuk memperolehnya dengan cara memodifikasi factor koefisien berdasarkan FEMA 356 [8]:

$$\delta T = C0 \cdot C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot Sa\left(\frac{T_e^2}{4\pi^2}\right) \quad (3)$$

dimana

$T_e$  adalah Waktu getar efektif

$\delta T$  adalah *Target displacement*

$C_0$  adalah faktor modifikasi untuk spectral displacement menjadi *roof displacement* berdasarkan tabel 3-2 dari FEMA 356

$C_1$  adalah faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier. Nilai  $C_1$

$C_1 = 1,0$  untuk  $T_e > T_s$  dan

$C_1 = [1,2 + R(R-1) T_s / T_e] / R$  untuk  $T_e < T_s$

$C_2$  adalah faktor modifikasi untuk mewakili efek dari bentuk histeresis pada perpindahan maksimum, diambil berdasarkan tabel 3.3 dari FEMA 356

$C_3$  adalah koefisien untuk mempertimbangkan pembesaran lateral akibat *P-Delta Effect* jika gedung berada pada kondisi pasca leleh dengan kondisi kekakuan positif maka

$C_3 = 1$ , sedangkan jika kondisi kekakuannya negatif maka  $C_3$  dihitung sebagai berikut :

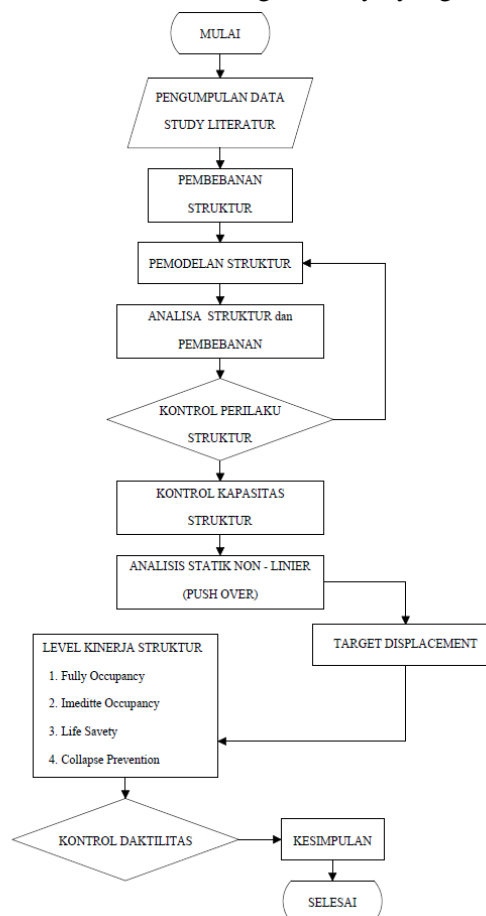
$g$  adalah Percepatan gravitasi  $9,81 \text{ m/detik}^2$

## 2.4 Level Kinerja

Level kinerja struktur merupakan kondisi actual struktur setelah terjadi gempa, apakah bangunan tersebut rusak ringan, rusak sedang atau rusak berat. Kinerja struktur ini bertujuan untuk mempertimbangkan perbaikan bangunan pasca terjadi gempa [13].

## 3. Metode

Pada evaluasi Gedung ini, akan dilakukan analisis dengan bantuan software ETABS V.18 dan menggunakan analisis Pushover 2D. Berikut adalah bagan alirnya yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pembebanan

- a Beban Sendiri (DL) dan Beban Mati Tambahan (SIDL)

**Tabel 1. Berat Sendiri**

Material	Berat
Keramik + Spesi	1,1 kN/m <sup>3</sup>
Penggantung Plafond	0,15 kN/m <sup>2</sup>
Sanitasi + Plumbing	0,3 kN/m <sup>2</sup>
Pasangan dinding ½ Bata	2,5 kN/m <sup>2</sup>

- b Beban Hidup

Pada penelitian kali ini fungsi bangunan kali ini merupakan hotel maka beban hidup yang digunakan sebesar (4.79) Kn/m<sup>2</sup>.

**Tabel 2. Beban Hidup**

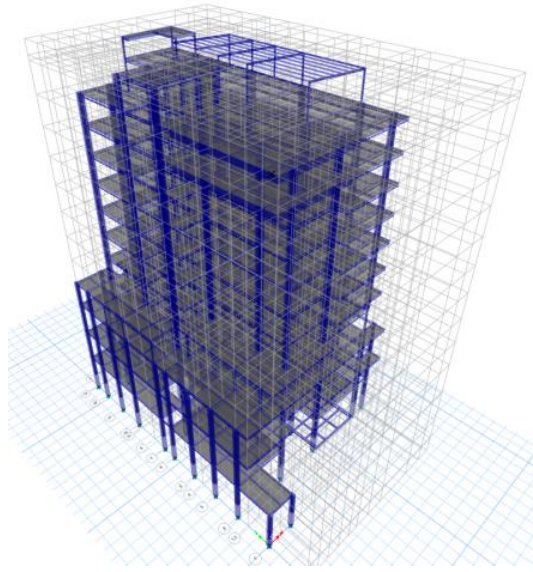
Nama Ruangan	Merata (kN/m <sup>2</sup> )
Lobby	4,79
Ruang Kantor/Ruang Meeting	4,79
Kamar Tidur	1,92
Atap Taman	4,79
Balkon/Dek	4,79

- c Beban Gempa

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Ternate-Maluku Utara. Dari analisis respon spectrum didapatkan parameter yang akan dibutuhkan, yakni:

1. Kelas Situs Tanah (SD) = Tanah Lunak (SE)
2. Kategori Resiko = II
3. Faktor Keutamaan Gempa (Ie) = 1
4. Percepatan Gempa Periode Pendek 0,2 detik ( $S_S$ ) = 1,1309 g
5. Percepatan Gempa Periode 1 detik ( $S_I$ ) = 0,4926 g
6. Faktor Amplifikasi Getaran Periode Pendek 0,2 detik ( $F_a$ ) = 0,9 g
7. Faktor Amplifikasi Getaran Periode Pendek 1 detik ( $F_v$ ) = 2,4 g
8. Percepatan Respon Spectral Periode Pendel 0,2 detik ( $S_{MS}$ ) = 1,01781 g
9. Percepatan Respon Spectral Periode Pendel 1 detik ( $S_{M1}$ ) = 1,18224 g
10. Desain Percepatan Spectral Periode Pendel 0,2 detik ( $S_{DS}$ ) = 0,67854 g
11. Desain Percepatan Spectral Periode Pendel 1 detik ( $S_{D1}$ ) = 0,78816 g
12. Periode Getar Struktur ( $T_0$ ) = 0,232310549 detik
- ( $T_S$ ) = 1,161552746 detik
- ( $T_L$ ) = 16 detik
13. Kategori Desain Seismik (KDS) = E
14. Faktor Skala ( $SF$ ) = 1,783 m/s<sup>2</sup>

### 3.2 Pemodelan Struktur



**Gambar 2. Tampak 3D Pemodelan Struktur Pada ETABS**

**Tabel 3. Penempatan Kolom**

Keterangan	Dimensi	Posisi Kolom
Kolom 1	HB.400 x 400 x 13 x 21mm	L.Ground – L.Sky Lounge
Kolom 2	HB.350 x 350 x 12 x 19mm	L.Ground – L.Sky Lounge
Kolom 3	WF.300 x 150 x 6,5 x 9 mm	L.Ground – L.Sky Lounge
Kolom 4	WF.200 x 100 x 5,5 x 8 mm	Roof Top (Atap)

**Tabel 4. Penempatan Balok**

Keterangan	Dimensi	Posisi Balok
Balok 1	CB. 525 x 175 x 7 x 11 mm	L. Ground – L. Sky Lounge
Balok 2	CB. 450 x 150 x 6,5 x 9 mm	L. Ground – L. Sky Lounge
Balok 3	CB. 375 x 125 x 6 x 9 mm	L. Ground – L. Sky Lounge
Balok 4	WF. 250 x 125 x 6 x 9 mm	L. Ground – L. Sky Lounge

### 3.3 Kontrol Perilaku Struktur

#### 1. Kontrol Partisi Massa

Partisipasi modal massa minimum yaitu lebih dari 90% pada modal ke 14 dengan jumlah modal yang ditinjau adalah 20 modal dan periode getar terbesar yaitu 1,673736 s.

#### 2. Waktu Getar Alami

$$T_{max} = 1,4 \times 1,55566 = 2,177924 \text{ s} > 3,57 \text{ s}$$

Maka yang digunakan,  $T=T_c \rightarrow T = 1,673736 \text{ s}$

#### 3. Koefisien Respon Seismik

$$C_s \text{ Maksimum} = 0,0856179339$$

$$C_s \text{ Hitung} = 0,0737098976$$

$$C_s \text{ Minimum} = 0,02985576$$

Karena hasil nilai  $C_s$  Hitung  $< C_s$  maksimum, maka untuk nilai  $C_s$  yang digunakan adalah  $C_s$  minimum sebesar 0,02985576

4. Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Diperoleh total nilai berat efektif seismik ( $W_t$ ) sebesar 4121208,8 kg = 404152.61 kN

Maka,  $V = C_s \times W_t = 12066,28332$  Kn.

Berdasar SNI 1726 – 2019 pasal 7.9.2.5.2 Gaya geser dasar VX dan VY untuk arah x dan arah y harus dihitung dan menghasilkan nilai  $p_x$  dan  $p_y$  harus lebih dari 1. Maka telah terpenuhi.

5. Kontrol Kontribusi Shear Wall

Dikategorikan aman karena memenuhi syarat system ganda, karena struktur rangka sudah melebihi dari 25% yang dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 5. Kontribusi Shear Wall**

Arah	Lokasi	Gaya Geser	Presentase
X	Shear Wall	3061,6439	26,85 %
	Keseluruhan	4207,1566	
Y	Shear Wall	3431,8656	27,40%
	Keseluruhan	4207,1566	

Sumber : Output ETABS (2021)

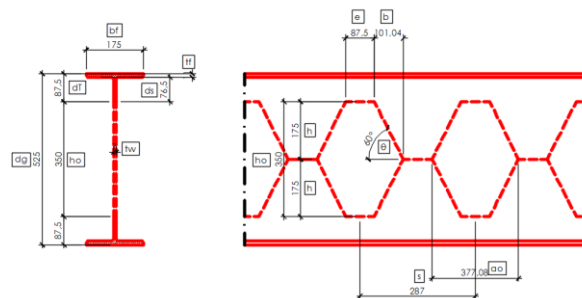
### 3.4 Kontrol Kapasitas Struktur

1. Kontrol Kapasitas Kolom

Pada desain struktur existing, semua dimensi kolom baja dikategorikan aman karena pada saat dilakukan control penampang profil kolom, luas penampang minimum, luas bersih penampang baja nilai yang didapatkan telah memenuhi syarat berdasarkan penelitian dengan bantuan software ETABS v.18

2. Kontrol Kapasitas Castellated Beam

Berikut adalah Gambar Balok Castellated dan bagian-bagiannya



**Gambar 3. Detail Castellated Beam Dari Profil IWF 350mm**

Gambar 3 adalah contoh dimensi balok castellated dari WF.350. Berikut adalah dimensi pada bagian-bagian castellated beam yang terbuat dari Profil IWF yang dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6. Dimensi Balok Baja Profil Setelah Di Castella**

IWF	h	dg	b	ds	dT	ho	ao	s	e
mm x xmm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
350 x 175	175	525	101,04	76,5	87,5	350	377,08	287	87,5
300 x 150	150	450	86,61	66	75	300	323,21	246	75

250 x 125      125      375      72,17      53,5      62,5      250      269,34      205      62,5

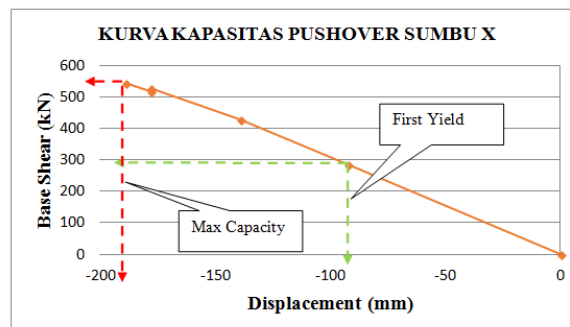
Berdasarkan penelitian pada software ETABS v.18, struktur balok baja castellated semua dimensi dapat dikategorikan aman, karena pada saat dilakukan kontrol tegangan leleh, tegangan geser maksimum telah memenuhi. Berikut adalah tabel Tegangan Lentur dan Tegangan Geser Maksimum pada balok baja Castellated.

**Tabel 7. Tegangan Lentur dan Tegangan Geser Maksimum**

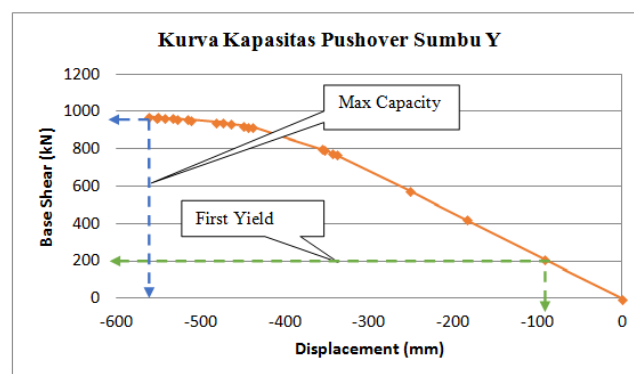
IWF mm x xmm	$\bar{\sigma}$ Mpa	$\bar{\sigma}_v$ Mpa	$0,4 \times f_y$ Mpa	ds mm	Kontrol
350 x 175	86,853	73,245472	96	-	Memenuhi
	-	-	96	34,256	Memenuhi
300 x 150	95,307	80,374659	96	-	Memenuhi
	-	-	96	32,521	Memenuhi
250 x 125	104,315	87,971204	96	-	Memenuhi
	-	-	96	38,016	Memenuhi

### 3.5 Analisis Pushover

#### 1. Kurva Kapasitas



Gambar 4. Kurva Kapasitas Pushover Sumbu X



Gambar 5. Kurva Kapasitas Pushover Sumbu Y

Displacement yang terjadi didapatkan dari kurva kapasitas pushover, dimana dari *displacement* didapat dari perpotongan grafik tersebut pada nilai *base shear* maks (untuk *displacement* maks) dan dengan cara yang sama digunakan untuk menentukan *displacement* saat leleh pertama terjadi.

## 2. Hasil Analisis Pushover

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Analisis *Pushover*

Keterangan	<i>Pushover</i>	
	Arah X	Arah Y
Target Displacement (mm)	142	409,985
Base Shear (V max – kN)	542,745	958,575
Displacement (Dmax – mm)	189	572,535
Daktilitas	2,041	6,176
Ratio Drift	0,004	0,012
Level Kinerja	<i>IO</i>	<i>LS</i>

## 4. Kesimpulan

Dari hasil evaluasi yang dilakukan terhadap struktur Hotel Grand Parada Nukila Ternate, dapat disimpulkan bahwa:

- Kontrol perilaku struktur yang terjadi pada gedung hotel ini ketika terjadi gempa masih memenuhi dengan bantuan program ETABS dihasilkan sebagai berikut:
  - Didapat nilai partisi massa 93,8% pada sumbu Y dan 92,8% pada sumbu X yang mana terjadi pada modal ke 14, nilai ini telah memenuhi persyaratan. Sesuai dengan yang disyaratkan sebesar 100%, namun nilai untuk partisi massa bisa dipakai nilai minimum yaitu sebesar 90%.
  - Simpangan antar lantai pada Gempa Arah X Sumbu X dikategorikan tidak aman, karena nilai story drift melebihi batas izin. Sedangkan Gempa Arah Y sumbu Y, Gempa X sumbu Y dan Gempa Y sumbu Y aman.
- Nilai Ratio Drift pada analisis pushover sumbu X sebesar 0,0040, yang artinya nilai ini tidak melebihi 0,01, maka ratio drift yang didapat masuk kedalam Level Kinerja *Immediate Occupancy*
- Ratio Drift pada analisis pushover sumbu Y sebesar 0,0121, yang artinya nilai ini tidak melebihi 0,02, maka ratio drift yang didapat masuk kedalam Level Kinerja *Life Safety*.

## Referensi

- Yunalia Muntafi.2012. Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis *Pushover*. Simposium Nasional RAPIXI FT UMS 2012 ISSN: 1412-9612
- Ibnu Khaldun,R., Agus Setiya,B., Edy,P.2014. Evaluasi Kinerja Struktur Pada Hotel di Wilayah Karanganyar Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Software ETABS. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil Vol. 2 No.1/Maret 2014/116 ISSN 23354-8630.
- Rezky,R., Alez,K.,Zulfikar,D.2015. Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum dan Time History Pada Hotel SKA Pekanbaru. JOM FTeknik Vol.2 No.2 Oktober 2015.
- Hizkia Yehezkiel, M.2014. Analisis *Pushover* Pada Bangunan Dengan Soft First Story. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.4, April 2014 (214-224) ISSN: 2337-6732
- F SNI-1726-2019. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1727-2020.2020. Beban minimum untuk persyaratan perancangan bangunan Gedung dan struktur lain. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Istiono, H., & Khoe, L. (2019). *Analisis Perhitungan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Kolam Renang Berdasarkan SNI 1726 : 2019 Abstrak*. 146–151.



- [8] FEMA 356.2000. *Prestandard And Comentary for The Seismic Rehabilitation Of Building*. Federal Emergency Management Agency. Washington.
- [9] Istiono, H., & Propika, J. (2017). Analisa Non-Linier Pada Mekanisme Keruntuhan Jembatan Rangka Baja Tipe Pratt. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 68
- [10] Istiono, H., & AY Ramadhan (2020). Analisis pengaruh p-delta effect terhadap perbedaan ketinggian struktur gedung tahan gempa (studi kasus: non-highrise building). *Rekayasa Sipil* 14 (3), 218-226
- [11] Istiono, H., E Susanti, J Propika, AY Ramadhan (2022). Study comparison P-Delta Effect analysis depends on height variation of the building. *Journal of Civil Engineering, Planning and Design (JCEPD)* 1 (1)
- [12] Istiono, H., Y Lisawiyani (2022). Studi Komparasi Perilaku Struktur Gedung At-Tauhid Di Kota Surabaya Dengan Menggunakan SNI 1726-2012 Dan SNI 1726-2019. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil* 1 (1), 11-20
- [13] Istiono, H., HNMD Prasetyo (2020). Analisis Respon Struktur dan Level Kinerja Bangunan Pasca Gempa Pada Gedung Hotel Biliton. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* 1 (1), 523-532