

# EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN HIJAU INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG DENGAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS* (STUDI KASUS : TINJAUAN KEAMANAN DAN KESELAMATAN JALUR EVAKUASI)

Catur Bayu Wijaya Kusuma<sup>1</sup>, Ilham<sup>1</sup>, Annisa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung, Cikarang Pusat, Indonesia  
E-mail: caturbayuwk@gmail.com  
ilham@itsb.ac.id  
annisa@itsb.ac.id

---

## Informasi naskah:

Diterima  
2020  
Direvisi  
2020  
Disetujui terbit  
2020  
Diterbitkan  
2020

## Abstract

Buildings must be designed to be earthquake resistant for the safety and comfort of its users. This study evaluates the green building structure of the Bandung Institute of Technology using the Pushover Analysis method with an evacuation route case study. The ITSB building has one evacuation access point in the form of a main staircase which is quite open so that it is dangerous if an earthquake or fire occurs. Therefore, the evacuation route needs to be reviewed in terms of structural resilience with the Pushover Analysis method and from the safety side with the safety regulations of the evacuation route. The formulation of the problem in this study is the potential for plastic hinges on the evacuation route which can endanger the evacuation process due to the limited evacuation route. This study itself aims to determine the potential area of plastic joints in the ITSB Building obtained from Pushover Analysis.

The Pushover Analysis method is carried out by providing a structured lateral load simulation which is then gradually increased to determine the displacement shape of a building structure. Pushover analysis itself in this study is used to obtain information on which parts have the potential to experience plastic joints. This is because plastic hinges are a form of melting or weakening of the structure on the parts of the structural elements that cause the structure to fail to maintain its strength. From the modeling simulation results with the Pushover Analysis method, it was found that the distribution of plastic hinges could endanger building users to evacuate.

Data from Pushover Analysis shows that from the plastic hinge distribution mechanism that occurs, the first melting occurs on the landing beam ladder. Where the stairs are the main access to the evacuation route in the ITSB building. To determine the steps to prevent structural damage, a special evaluation is carried out in the area of the staircase structure regarding the structural resistance of the staircase area where plastic hinges occur and an evaluation of the comfort and safety of the ladder structure. access stairs during evacuation. The results of data processing indicate that in terms of structural durability, the ladder structure must be strengthened in areas where there are plastic hinges. And in terms of evacuation safety, it is necessary to add a special emergency ladder for disaster evacuation routes.

**Keywords:** *Building, Earthquake, Pushover Analysis, Evacuation Route*

---

## 1. PENDAHULUAN

Bangunan gedung ialah bentuk fisik pemanfaatan ruang, dengan kegunaan sebagai media manusia melaksanakan aktivitasnya, baik untuk hunian ataupun tempat untuk menetap, kependidikan, keagamaan, aktivitas usaha, budaya maupun kegiatan khusus lainnya. Perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangatlah penting di Indonesia, bangunan tahan gempa harus memiliki ketahanan untuk tidak runtuh, mampu untuk menahan bangunan itu sendiri, dan tidak rusak akibat gempa, maka dari itu Gedung perlu didesain tahan gempa demi keselamatan dan kenyamanan pemakainya, hal ini bertujuan untuk mencegah kegagalan struktur ataupun hilangnya korban jiwa.

Bangunan gedung Institut Teknologi Sains Bandung merupakan bangunan gedung yang mempunyai 4 lantai yang berkonsep *green building*. Gedung Institut Teknologi Sains Bandung menempati area seluas 5 hektar, di *Central Business District* Kota Deltamas, Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi. Usia gedung ITSB sendiri terbilang masih cukup baru karena dibangun pada tahun 2011. Gedung ITSB hanya mempunyai satu akses tangga yang cukup terbuka sehingga jika terjadi gempa atau kebakaran, tangga tersebut bisa membahayakan penggunanya. Syarat-syarat bangunan gedung yang baik yaitu harus mempunyai tangga darurat, dan tangga darurat harus memenuhi persyaratan tahan gempa. Untuk merencanakannya, dengan kriterianya yaitu dipergunakan untuk merancang, Juwana memaparkan (2005:139) dan dalam Bab 3 butir 3.8.1.1 Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 26/PRT/M/2008 bahwasanya keseluruhan tangga paling utama pada bangunan yang tidak rendah, terlindungi dari gas yang beracun, serta harus disesuaikan dengan kegunaan dan yang menjadi klasifikasinya, jumlah dan keadaan serta yang menjadi jarak aman. Sarana pintu keluar dan jalur evakuasi harus dilengkapi tanda arah yang memudahkan untuk dibaca serta jelas. Tentang sarana evakuasi juga tercantum pada Permen PUPR Nomor 14 Tahun 2017 tentang persyaratan kemudahan bangunan gedung.

Sarana evakuasi yang memadai sangat krusial dalam kesiapsiagaan, dalam kasus ini khususnya bencana gempa, ialah fenomena alam yang penyebabnya dari gesernya secara mendadak pada lapisan bawah bumi. Perhitungan gempa rencana ini harus menghasilkan struktur gedung yang masih bisa berdiri di keadaan bagaimanapun (Ary Marwanto, dkk., 2014). Oleh karena itu, dalam penelitian ini Penulis meneliti gedung ITSB dengan cara memodelkan struktur gedung utama ITSB dengan *software* ETABS 2018 versi 18.2.0. selanjutnya dianalisis menggunakan *Pushover Analysis* untuk mengetahui sendi plastisnya.

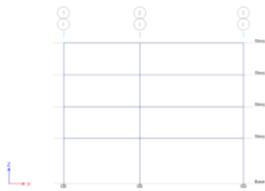
Pada tahap perencanaan struktur bangunan dilakukan pemodelan rencana bangunan yang kemudian disimulasikan terhadap berbagai beban gempa, pemodelan bangunan dimulai pada tahap simulasi rencana terhadap beban gempa. Simulasi rencana dapat memberikan informasi dan tingkatan yang rusak, sehingga dapat memperkirakan keselamatan, kesiapan pakai dan kerugian yang akan terjadi. Perencanaan khususnya bangunan tinggi menggunakan metode *Pushover Analysis*. *Pushover Analysis* bertujuan untuk mendapatkan keruntuhan gedung, besarnya perpindahan dan gaya geser maksimum dengan cara memberikan beban dorong statis pada pusat massa tiap lantai.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hasil analisis statis non linear (*Pushover Analysis*), mengetahui potensi sendi plastis bangunan, dan juga mengevaluasi kekuatan struktur bangunan dari sisi keselamatan dan keamanan jalur evakuasi.

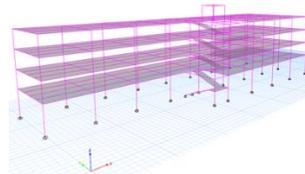
## 2. METODE

Pemodelan struktur ini menggunakan bangunan beton ditinjau dari gedung kampus ITSB pada Program ETABS, pemodelan meliputi:

Jumlah tingkat	: 5 lantai
Lebar portal	: 8.4 m & 11.4 m
Tinggi portal per lantai	: 3.7 m



a. Tampak Bangunan Eksisting



b. Tampak Bangunan 3D

Gambar 2.1 Denah Struktur Gedung Kampus Institut Teknologi Sains Bandung

Sumber: ETABS 2018 versi 18.2.0

### 2.1 Pembebanan Struktur

Beban mati tambahan yang bukan elemen struktur seperti *finishing* lantai, dinding partisi, dan lain-lain, dihitung berdasarkan berat satuan (*specific gravity*) menurut tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (SNI 1727:2020) seperti: Beban mati, Beban mati tambahan, Beban Hidup, Beban Gempa, Beban Angin, Beban Lateral.

### 2.2 Kombinasi Pembebanan

Pada pembebanan struktur merujuk berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung, dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3.  $1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 (\rho QE + 0,2SDSDL) \pm 1 (\rho QE + 0,2 SDSDL)$
4.  $1,2 DL + 1 LL \pm 1 (\rho QE + 0,2SDSDL) \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 SDSDL)$
5.  $0,9 DL \pm 0,3 (\rho QE - 0,2 SDSDL) \pm 1 (\rho QE - 0,2 SDSDL)$
6.  $0,9 DL \pm 1 (\rho QE - 0,2 SDSDL) \pm 0,3 (\rho QE - 0,2 SDSDL)$

dimana:

- DL = Beban Mati, termasuk SIDL.  
LL = Beban Hidup.  
EX = Beban Gempa arah-x.

- EY = Beban Gempa arah-y.  
P = faktor redudansi untuk desain seismik.  
SDS = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek.  
QE = pengaruh gaya seismik horizontal dari V.

## 2.3 Pushover Analysis

Analisa statis non linier ialah yang menjadi acuan untuk memperhatikan penyikapan, suatu pembangunan pada gempa, pengenalan pada penganalisaan *pushover*, ataupun pembebanan dorong statis. Tujuan analisa *pushover* yaitu diperuntukkan untuk perkiraan gaya serta deformasi dari perolehan informasi yang kritis, kemudian dengan identifikasi pembagian yang dibutuhkan dengan detail, penunjukan jika analisisnya memperoleh hasil yang cukup, untuk bangunan reguler serta tidak tinggi.

## 2.4 Jalur Evakuasi

Jalur evakuasi ialah media keamanan yang menjadi perhatian perencanaan gedung, yang pertama dilakukan dengan keadaan yang darurat, pencarian jalan keluar dengan ketepatan dan keamanan. Kualitasnya, dengan menanggulangi bencana, menjamin keselamatan penggunaan bangunan. Sistem keselamatan pada gedung yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sarana keselamatan dimana tiap-tiap komponennya mengacu kepada beberapa peraturan yang berlaku.

## 3. PEMBAHASAN DAN DISKUSI

### 3.1 Data Struktur

Pemodelan struktur dalam kajian ini adalah struktur Gedung Utama Institut Teknologi Sains Bandung. Struktur dimodelkan dalam skala tiga dimensi dengan memasukkan elemen struktur berupa kolom dan balok dan pelat lantai balok dibuat komposit dengan pelat lantai. Pelat lantai dihitung sebagai beban pada balok. Kolom-kolom dianggap jepit pada bagian bawah.

### 3.2 Aplikasi Pembebasan pada Model

#### 3.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat sendiri struktur bangunan, yang secara otomatis diperhitungkan oleh program berdasarkan berat jenis material dan dimensi penampang struktur.

#### 3.2.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati yang bekerja pada pelat lantai meliputi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3. 1 Beban Mati per m<sup>2</sup> pada Lantai Tipikal

Jenis Beban	Berat kN/m <sup>2</sup>	Diambil dari
Keramik Spesi	1,10	(ASCE 7-16 Table C3-1 Ceramic or quarry tile (19mm) on 25 mm mortar bed)
Ducting Mekanikal	0,19	(ASCE 7-16 Table C3-1, Mechanical Duct Allowance)
Penggantung Langit-langit	0,1	(ASCE 7-16 Table C3-1, Suspended Steel Channel System)
Plafon	0,05	(ASCE 7-16 Table C3-1, Acoustical fiberboard)
Total	1,44	

Jadi total beban mati tambahan adalah =  $1,44 \text{ kN/m}$ , untuk beban mati pada pelat atap antara lain meliputi:

Tabel 3. 2 Beban Mati per  $\text{m}^2$  pada Atap

Jenis Beban	Berat $\text{kN/m}^2$	Diambil dari
Lapisan <i>Waterproofing</i>	0,05	(ASCE 7-16 Table C3-1 <i>Waterproofing Membranes Liquid Applied</i> )
Ducting Mekanikal	0,19	(ASCE 7-16 Table C3-1, <i>Mechanical Duct Allowance</i> )
Penggantung Langit-langit	0,1	(ASCE 7-16 Table C3-1, <i>Suspended Steel Channel System</i> )
Plafoan	0,05	(ASCE 7-16 Table C3-1, <i>Acoustical fiberboard</i> )
Total	0,39	

Kemudian beban mati tambahan ini diterapkan pada pelat sebagai beban merata yang terdistribusi ke seluruh pelat lantai.

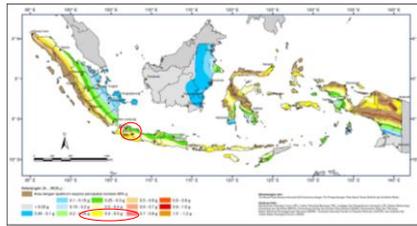
### 3.2.3 Beban Hidup

Mengacu pada peraturan pembebanan Indonesia, nilai pembebanan hidup dengan kegunaan ialah dari  $250 \text{ kg/m}^2$  pada masing-masing pelat lantai, diperuntukkan pada pembebanan pada lantai dengan  $100 \text{ kg/m}^2$ . Beban tersebut diaplikasikan sebagai beban merata pada pelat yang terdistribusi pada seluruh lantai pelat.

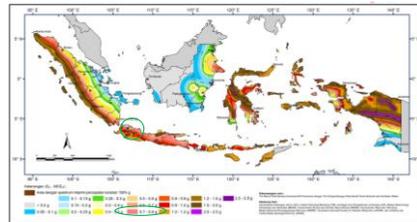
### 3.2.4 Beban Gempa

Analisis struktur terhadap beban gempa menggunakan metode respons spektrum. Analisis ini menggunakan Spektrum Respons Gempa Rencana dari SNI 1726:2019. Adapun perhitungannya dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Struktur bangunan ini termasuk dalam kategori Gedung Pendidikan memiliki kategori pemanfaatan IV.
2. Menentukan faktor keutamaan (*Importance Factors*) bangunan berdasarkan tabel untuk *occupancy category* II maka diperoleh faktor keutamaan gempa,  $I_e = 1,50$ .
3. Kota Deltamas, Kabupaten Bekasi merupakan daerah yang mayoritas memiliki jenis tanah yang berupa tanah Sedang. Selain itu hasil penyelidikan tanah pada lokasi struktur bangunan yang dibangun juga memiliki kriteria yang sama dengan peraturan SNI 1726:2019 yang menunjukkan bahwa klasifikasi kelas situs yaitu  $S_D$  (Tanah Sedang).
4. Menentukan besarnya parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek ( $S_{DS}$ ) dan pada perioda 1 detik ( $S_{D1}$ ). Berikut nilai  $S_s$  (parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek) dan  $S_1$  (parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1,0 detik) yang terdapat pada laporan *Site Specific Response Spectrum*. Berdasarkan laporan yang ada, untuk daerah Kota Deltamas, Kabupaten Bekasi didapatkan nilai  $S_s = 0,7 - 0,8 \text{ g}$  dan  $S_1 = 0,3 - 0,4 \text{ g}$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan 3.2



Gambar 3. 1  $S_1$  ( $MCE_R$ ), Kelas Situs SB  
Sumber: SNI 1726:2019



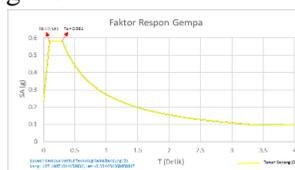
Gambar 3. 2  $S_s$  ( $MCE_R$ ), Kelas Situs SB  
Sumber: SNI 1726:2019

Berdasarkan peta zonasi gempa untuk Kota Deltamas, Kabupaten Bekasi diperoleh :

$$S_s = 0,705 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,3 \text{ g}$$

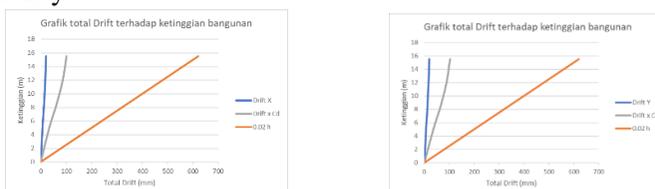
5. Menentukan Koefisien Situs (*Site Coefficient*),  $F_a$  dan  $F_v$ 
  - a. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dengan  $S_s = 0,705 \text{ g}$  untuk *site class* E didapatkan besar koefisien situs,  $F_a = 1,2$
  - b. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dengan  $S_1 = 0,3 \text{ g}$  untuk *site class* E didapatkan besar koefisien situs,  $F_v = 2,0$
6. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 menentukan *Maximum Considered Earthquake (MCE) Spectral Respons Acceleration* pada perioda 0,2 detik  $S_{DS} = 2/3 (F_a.S_s) = 2/3 (1,2 \times 0,705) = 0,564$
7. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 menentukan *Maximum Considered Earthquake (MCE) Spectral Respons Acceleration* pada perioda 1 detik  $S_{D1} = 2/3 (F_v.S_1) = 2/3 (2,0 \times 0,3) = 0,4$
8. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5 menentukan Kategori Desain Seismik KDS (*Seismic Design Category*). Pada situs kelas D dengan  $S_{DS} = 0,564 \text{ g}$  dan  $S_{D1} = 0,4 \text{ g}$  diperoleh Kategori Desain Seismik (KDS) adalah D (risiko gempa tinggi)
9. Adapun grafik spektrum respons gempa desain untuk wilayah gempa Kota Deltamas adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Kurva Faktor Respons Gempa  
Sumber: [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id)

### 3.3 Evaluasi Kinerja Struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019 disebutkan bahwa menentukan penyimpangan lantai desain yang menjadi perhitungan, perbedaan dengan pusat dan tingkatan paling atas. Simpangan yang dilakukan pemeriksaan dengan penjaminan stabilnya struktur, pencegahan yang menjadi elemen dan kenyamanannya. Besarnya penilaian tingkatan yang diperbolehkan ditentukan berdasarkan tabel 20 pada SNI 1726-2019. Berikut merupakan grafik simpangan pada arah x dan arah y.



Gambar 3. 4 Grafik Total Drift Terhadap Ketinggian Bangunan (Arah X dan Y)

Dapat dilihat pada Gambar grafik di atas besarnya perpindahan horizontal akibat beban gempa arah x adalah 20.16 mm, arah y adalah 20.71 mm Sedangkan perpindahan horizontal maksimum setelah dikalikan nilai Cd sebesar 5 adalah 100.82 mm arah x dan 103.55 mm arah y. Nilai tersebut masih di bawah batas maksimum 2% sebesar 403.28 mm untuk arah x, 414.2 mm untuk arah y, dan masih memenuhi syarat kinerja karena nilai simpangan yang terjadi berada di bawah nilai batas yang ditentukan SNI 1726-2019

### 3.4 Hasil Analisis ETABS

Setelah mendesain model dan memasukkan fungsi spektral desain pada program maka didapatkan nilai kurva kapasitas yaitu hasil dari gaya geser dan perpindahan yang dilakukan sampai bangunan yang direncanakan runtuh. Pada pemodelan ini diberikan beban dorong yang hingga simpangan maksimum menurut SNI 2847:2019 yaitu sebesar 2% dari tinggi total bangunan. Berikut ini distribusi sendi plastis pada pemodelan gedung Institut Teknologi Sains Bandung:

Tabel 3. 3 Distribusi sendi plastis *Pushover X-X*

Step	Monitored Disp (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1652	0	0	0	0	1652	0	0	0	1652
1	32.758	2056.0074	1650	2	0	0	0	1652	0	0	0	1652
2	138.456	8583.4012	1604	47	1	0	0	1649	2	0	1	1652
3	138.486	8419.8651	1600	50	0	2	0	1648	2	0	2	1652
4	150.181	9082.0718	1588	62	0	2	0	1642	8	0	2	1652

Dari mekanisme sebaran sendi plastis, dilihat dari **tabel 3.3** untuk analisis pushover bahwa pelelehan pertama kali terjadi pada area tangga yaitu pada step ke 1 dengan  $V = 2056.0074$  kN, kemudian proses berjalan sampai terbentuknya kondisi ultimit pada step ke 2 dengan  $V = 8583.4012$  kN, dimana pada area tangga sudah mengalami kegagalan artinya tidak dapat bekerja lagi.

Tabel 3. 4 Distribusi sendi plastis *Pushover Y-Y*

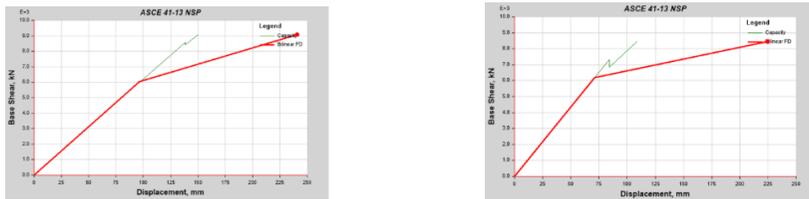
Step	Monitored Disp (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1652	0	0	0	0	1652	0	0	0	1652
1	7.121	641.5145	1650	2	0	0	0	1652	0	0	0	1652
2	84.018	7320.1426	1624	27	1	0	0	1651	0	0	1	1652
3	84.048	6837.941	1624	27	0	1	0	1651	0	0	1	1652
4	108.599	8460.7089	1620	31	0	1	0	1651	0	0	1	1652

Dan dari mekanisme sebaran sendi plastis, dilihat dari **tabel 3.4** untuk analisis pushover bahwa pelelehan pertama kali terjadi pada area tangga yaitu pada step ke 1 dengan

$V = 641.5145$  kN, kemudian proses berjalan sampai terbentuknya kondisi ultimit pada step ke 2 dengan  $V = 7320.1426$  kN, dimana pada area tangga sudah mengalami kegagalan artinya tidak dapat bekerja lagi.

### 3.5 Data Kurva Pushover

Dari data yang diperoleh hasil dari pemodelan, didapatkan data gaya geser dan perpindahan untuk kondisi ultimit dan kondisi leleh sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Target Perpindahan Struktur Arah X dan Y

### 3.6 Jalur Evakuasi

Berdasarkan hasil pengamatan, gedung utama ITSB telah memiliki beberapa sarana penyelamatan bahaya kebakaran dan gempa, seperti tangga, *exhaust* dan tanda penunjuk ke luar. Gedung utama ITSB memiliki tiga akses masuk di tiga sisi bangunan, yaitu di sisi depan, serta sisi samping kiri dan kanan yang mempunyai 4 lantai, dimana difungsikan untuk kegiatan umum untuk kepentingan kampus maupun kegiatan non kampus. Akan tetapi gedung ITSB hanya mempunyai satu akses tangga yang cukup terbuka sehingga jika terjadi gempa atau kebakaran, tangga tersebut bisa membahayakan penggunanya.

Tabel 3. 5 Kondisi tangga yang tersedia di Gedung ITSB

Komponen	Kondisi Eksisting	Standar SNI	Kesesuaian
Tangga	Berbentuk U	Tangga yang digunakan sebagai suatu komponen jalan ke luar, harus sesuai dengan persyaratan umum pada bagian/pasal 4 dan persyaratan khusus SNI 03 – 1746 - 2000	Memenuhi Standar
	Lebar = 180 cm	110 cm ( 44 inci), 90 cm ( 36 inci ), apabila total beban hunian dari semua lantai-lantai yang dilayani oleh jalur tangga kurang dari 50. SNI 03 – 1746 - 2000	Memenuhi Standar
	Tinggi anak tangga = 18 cm	18 cm ( 7 inci ) SNI 03 – 1746 - 2000	Memenuhi Standar
	Keedalaman anak tangga = 30 cm	28 cm ( 11 inci ). SNI 03 – 1746 - 2000	Memenuhi Standar
	Ketinggian Bordes = 2.8 m	3,7 m ( 12 ft ) SNI 03 – 1746 - 2000	Memenuhi Standar
	Tinggi railing = 80 cm	75 cm ( 30 inci ) SNI 03 – 1746 - 2000	Memenuhi Standar
	Jarak antar tangga = 29 m - 33 m	Jarak pencapaian ke tangga kebakaran dari setiap titik dalam ruang efektif, maksimal 25 m SNI 03 – 1746 - 2000	Belum memenuhi standar
Jarak pencapaian terjauh ke tangga = 33 m	Jarak pencapaian ke tangga kebakaran dari setiap titik dalam ruang efektif, maksimal 25 m SNI 03 – 1746 - 2000	Belum memenuhi standar	

Jalur evakuasi berupa tangga, secara umum telah memenuhi standar terutama dari segi estetika, dimensi, dan bentuknya. Hanya saja jarak pencapaian terjauh belum memenuhi standar yang ditetapkan dan hanya ada satu tangga untuk akses jalur evakuasi, hal ini dapat menghambat kelancaran proses evakuasi dan menyebabkan penumpukan di area tangga untuk jalur evakuasi.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan pada model bangunan gedung utama ITSB dengan menggunakan ETABS dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari mekanisme sebaran sendi plastis, dilihat dari tabel 3.3 dan 3.4 untuk analisis *pushover* arah X bahwa pelepasan pertama kali terjadi pada area tangga yaitu pada step ke 1 dengan  $V = 2056.0074$  kN, dan arah Y pelepasan pertama kali terjadi pada area tangga yaitu pada step ke 1 dengan  $V = 641.5145$  kN. Terbentuknya kondisi ultimit pada step ke 2 arah X dengan  $V = 8583.4012$  kN, dan step ke 2 arah Y dengan  $V = 7320.1426$  kN dimana pada area tangga sudah mengalami kegagalan artinya tidak dapat bekerja lagi.
2. Sendi plastis terjadi di area bordes tangga.
3. Ditinjau dari sisi ketahanan struktur dan keandalan gedung, terdapat 4 poin yang harus diperhatikan, yaitu:
  - a. Harus adanya perkuatan pada balok bordes tangga, didaerah terjadinya sendi plastis.
  - b. Harus dibuat tangga darurat baru, sesuai dengan peraturan atau standar yang berlaku.
  - c. Harus diperkuat dengan perkuatan struktur sesuai standar, di area yang terdapat sendi plastisnya.
  - d. Kekuatan struktur pada area tangga baru tersebut merupakan bagian yang harus mengalami sendi plastis yang terakhir kali, karena tangga tersebut merupakan jalur evakuasi untuk penyelamatan sehingga cukup waktu bagi pengguna gedung untuk menyelamatkan diri.

#### 5. SARAN

Setelah penelitian ini selesai maka ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat disarankan menggunakan perhitungan NLTHA (*Non Linier Time History Analysis*) atau dinamis nonlinier, karena hasil analisa *pushover* masih berupa pendekatan, bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan pembebanan analisa *pushover* adalah statik monotonik.
2. Jika memungkinkan dibuat tangga darurat. Atau pilihan yang lainnya, dibuat seluncuran *dock slide* untuk evakuasi saat terjadinya kebakaran atau gempa.
3. Jalur evakuasi tangga gedung utama ITSB secara umum telah memenuhi standar dari segi estetika, dimensi, dan bentuknya. Hanya saja jarak pencapaian terjauh belum memenuhi standar peraturan SNI 03-1746-2000.
4. Menurut PMK Nomor 48 Tahun 2016 tentang keselamatan dan Kesehatan Kerja Perkantoran, bangunan gedung bertingkat lebih dari 3 lantai, harus memiliki tangga darurat atau penyelamatan minimal 2 (dua) buah dan

mempunyai kekuatan struktur yang memadai, sehingga cukup waktu untuk para pengguna gedung tersebut untuk menyelamatkan diri dari kemungkinan terjadinya gempa, kebakaran dan lain-lain yang bisa menyebabkan korban jiwa.

## **6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan penelitian ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Orang tua, kakak, adik, dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan materi dan ikut mendoakan selalu.
- 2) Bapak Leo Bambang Budi Prasetyo, S.T., M.T., selaku ketua program studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
- 3) Bapak Ilham, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir program studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sains Bandung
- 4) Ibu Annisa, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II dan selaku koordinator Tugas Akhir program studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sains Bandung
- 5) Segenap Dosen Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
- 6) Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.

## **7. DAFTAR PUSTAKA**

- 1) Badan Standardisasi Nasional, (2000), "Tentang Tata Cara Perencanaan Akses Bangunan dan Akses Lingkungan Untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran Pada Bangunan Gedung.", SNI 03-1735-2000, Jakarta.
- 2) Badan Standardisasi Nasional, (2000), "Tata Cara Perencanaan dan Pemasangan Sarana Jalan Keluar Untuk Penyelamatan Terhadap Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung", SNI 03-1746-2000, Jakarta.
- 3) Badan Standardisasi Nasional, (2019), "Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung", SNI 03-1726-2019, Jakarta.
- 4) Badan Standardisasi Nasional, (2020), "Tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain", SNI 1727-2020, Jakarta.
- 5) Badan Standardisasi Nasional, (2019), "Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan", SNI 2847-2019, Jakarta.
- 6) Desain Spektra Indonesia. Puskim.pu.go.id. (2020). Diakses 26 Juni 2020
- 7) Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Universitas Pelita Harapan.
- 8) Dewobroto, W. (2006). Evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan SAP 2000. Jurnal Teknik Sipil, 3(1), 7-24.

- 9) Farlianti, S., & Sapta, S. (2020). Perhitungan Respons Spektra Percepatan Gempa Kota Palembang Berdasarkan SNI 1726; 2019 Sebagai Revisi Terhadap SNI 1726; 2012. *Teknika: Jurnal Teknik*, 6(2), 167-177.
- 10) Faruk, Achmat. 2018. Evaluasi Penerapan Jalur Evakuasi dan Assembly Point di Gedung Bertingkat Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Roudlotul Mubtadiin Balekambang. Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang.
- 11) FEMA 440. 2004. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- 12) KEBIJAKAN BANGUNAN GEDUNG DI INDONESIA Pembangunan nasional untuk memajukan kesejahteraan umum sebagaimana dimuat di dalam Undang-Undang Dasar 1945 pada hakikatnya adalah pembangunan manusia I | Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman. [Perkim.bantenprov.go.id](http://Perkim.bantenprov.go.id). (2020). Diakses 3 Juni 2020.
- 13) Marwanto, A., Budi, A. S., & Supriyadi, A. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Pushover Terhadap Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Wilayah Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).
- 14) Menkes RI. 2016. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 48 Tahun 2016 Tentang Standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja Perkantoran.
- 15) Permen PUPR No. 14 Tahun 2017 Tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung :: Edoc :: Direktorat Bina Penataan Bangunan. [Ciptakarya.pu.go.id](http://Ciptakarya.pu.go.id). (2020). Diakses 9 Maret 2020.
- 16) Pranata, Yosafat Aji, (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.
- 17) Pranata, Yosafat Aji, (2006), "Studi Perencanaan Berbasis Kinerja pada Rangka Beton Bertulang dengan Metode Direct Displacement-Based Design", *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.3 No.2.
- 18) Tangga Darurat / Tangga Kebakaran. [Synergysolusi.com](http://Synergysolusi.com). (2020). Diakses 11 Mei 2020
- 19) Tentang ITSB – Institut Teknologi Sains Bandung. [Itsb.ac.id](http://Itsb.ac.id). (2020). Diakses 15 Juni 2020.
- 20) UNDANG-UNDANG NOMOR 28 TAHUN 2002. Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional. (2020). Diakses 11 Mei 2020.
- 21) Yanto, Dwi. 2010. Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinear Static Pushover Analysis Metode Spektrum Kapasitas (Skripsi). Universitas Sebelas Maret, Surakarta.