

## Evaluasi dampak perkuatan gedung eksisting berdasarkan level kinerja struktur (Studi Kasus : *Concrete Jacketing* Kolom Gedung Rumah Sakit X di Yogyakarta)

**Wahyu Nur Rohman<sup>1</sup>, Muhammad Irfan Marasabessy<sup>2,\*</sup>, Muhamad Fadlan Alhamid<sup>1</sup>,  
Muhammad Zakki Rizal Hidayat<sup>1</sup>, Mayangsari Rafiqa Putri<sup>1</sup>, Nufrizal Faried Hanafi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>PT. Pola Data Consultant, Sleman, Indonesia

<sup>2</sup>Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Concrete jacketing  
Analisa pushover  
Kinerja Struktur  
Plastisitas Sendi plastis

### Corresponding Author:

M Irfan Marasabessy  
\*irfanmarssy@uii.ac.id

### Abstract

*Hospital building X, with 3 floors in Yogyakarta, was constructed in stages. The first phase involved erecting one floor, as planned according to SNI 1726 2012. Six years later, the next phase commenced. However, with the enactment of SNI 1726 2019, an evaluation was necessary. The result indicated that the existing building columns were unsafe, necessitating reinforcement and structural adjustment. Column reinforcement was done using the concrete jacketing method. The new structure altered the number of required reinforcements. The research aimed to assess the building's structural performance and the plastic hinge plasticity level before and after reinforcement. Licensed ETABS software was used for nonlinear pushover analysis. The modeling was divided into two parts: without and with reinforcement. The research findings showed a decrease in target displacement during BSE-2N earthquakes before and after reinforcement. The average reduction in both x and y directions was 23.85%, with consistent performance categorized as damage control. Similarly, target displacement during BSE-1N earthquakes decreased before and after reinforcement, with an average reduction of 23.35% in both directions. Consequently, the performance target improved from damage control to immediate occupancy. The plastic hinge plasticity level before and after reinforcement during BSE-1N earthquakes remained consistent, categorized as B-C. The average decrease in the number of plastic hinges in both x and y directions at the BSE-1N earthquake level was 36.45%.*

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia

All rights reserved

### Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh banyak sumber gempa aktif, telah menjadikannya rentan terhadap kejadian gempa bumi. Tingginya intensitas gempa ini sangat berpengaruh terhadap kinerja struktur gedung, sehingga sangat diperlukan adanya peraturan atau standar yang mengatur tentang prosedur perencanaan gedung tahan gempa. Seiring dengan bertambahnya sumber gempa baru di Indonesia, maka kemudian diikuti juga dengan revisi peta gempa Indonesia yang berakibat pada pembaharuan peraturan SNI

(Standard Nasional Indonesia) terkait pembebanan gempa yang berlaku.

Salah satu gedung rumah sakit X yang direncanakan memiliki 3 lantai di wilayah Yogyakarta telah dibangun secara bertahap yang mana pada tahapan pertama telah berdiri 1 lantai terlebih dahulu dengan perencanaan menggunakan SNI gempa 1726 2012. Kemudian selang 6 tahun kemudian pada proses pembangunan tahapan selanjutnya telah berlaku peraturan yang baru yaitu SNI 1726 2019, sehingga perlunya adanya evaluasi terhadap kelayakan kondisi gedung eksisting tersebut.

Perbedaan SNI 1726 2012 dan SNI 1726 2019 seperti parameter gempa. Parameter gempa SNI 1726 2012 berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa 2010 sedangkan SNI 1726 2019 berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa 2017 (BSN 1726, 2012, 2019). Parameter dari SNI 1726 2012 yaitu  $S_s$  sebesar 1,319 g dan  $S_1$  sebesar 0,475 g (Kementerian PUPR, 2010). Kemudian untuk SNI 1726 2019 pada kala ulang gempa 2500 yaitu  $S_s$  sebesar 1,3272 g dan  $S_1$  sebesar 0,5634 g (Kementrian PUPR, 2017). Perbedaan tersebut harus dilakukan analisa struktur.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan kolom gedung eksisting tidak aman sehingga perlu melakukan perkuatan dan penyesuaian struktur baru. Perkuatan pada area kolom adalah dengan metode *concrete jacketing*. Sedangkan struktur baru berubah luas kebutuhan tulangnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur gedung level bahaya gempa BSE-1N dan BSE-2N serta tingkat plastisitas sendi plastis yang dibatasi berdasarkan nilai target *displacement* level bahaya gempa BSE-1N sebelum dan sesudah perkuatan. Penelitian menggunakan *software* ETABS untuk analisa *nonlinear pushover*. Dalam penelitian ini diharapkan menghasilkan kinerja struktur gedung, level bahaya gempa BSE-1N dan BSE-2N sedangkan tingkat plastisitas sendi plastis dibatasi tingkat plastisitas sendi plastis berdasarkan nilai target *displacement* level bahaya gempa BSE-1N serta sebelum dan sesudah perkuatan.

### Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini sebagai berikut :

1. Analisa hanya menggunakan *pushover analysis* dengan *software* ETABS.
2. Analisa kinerja gedung menggunakan level bahaya gempa BSE-1N dan BSE-2N berdasarkan ASCE 41-17.
3. Analisa plastisitas sendi plastis hanya berdasarkan target *displacement* level bahaya gempa BSE-1N.

4. Tidak menganalisa pengecekan penerimaan analisa *non linear static*.
5. Analisa hanya perbandingan antara sebelum dan setelah perkuatan.
6. Kelas situs tanah diambil kelas D.
7. Pemodelan kolom *concrete jacketing* di ETABS menggunakan *section designer* dengan asumsi *hinge* kolom sama seperti *hinge* kolom baru.

### Landasan teori

#### *Nonlinear static pushover*

*Nonlinear static pushover* adalah prosedur analisis yang dilakukan untuk mengetahui perilaku perilaku sebuah struktur terhadap beban gempa (Manalip et al., 2014). Konsep dari analisa *pushover* adalah memberikan suatu pola pembebanan lateral statik secara bertahap sampai terpenuhinya perpindahan lateral yang didesain (Kurniati, 2018). Kelebihannya yaitu memerlukan waktu yang lebih sedikit daripada analisa dinamis. Kemudian kelemahannya yaitu hasil yang dipertanyakan keabsahannya (Ulza, 2021).

#### *Parameter gempa analisa pushover*

Level beban gempa yang digunakan untuk analisa mengikuti jenis bangunan yaitu bangunan eksisting dan bangunan baru. Level beban gempa yang digunakan untuk bangunan baru ditunjukkan pada tabel dibawah ini

Tabel 1. Parameter beban gempa struktur gedung baru (ASCE 41, 2017)

Level bahaya gempa	Kategori resiko	Target kinerja
BSE-1N	I dan II	<i>Life Safety</i>
	III	<i>Damage Control</i>
	IV	<i>Immediate Occupancy</i>
BSE-2N	I dan II	<i>Collapse Prevention</i>
	III	<i>Limited Safety</i>
	IV	<i>Life Safety</i>

Berdasarkan penjelasan diatas bahwa dalam analisis nantinya memerlukan data parameter gempa pada level gempa *basic safety earthquake - 1* ( BSE-1N ) dan BSE-2N pada jenis bangunan baru. Perbedaan BSE-1N dan BSE-2N yaitu pada penentuan nilai parameter. Nilai parameter pada gempa

BSE-1N adalah 2/3 dari gempa BSE-2N (ASCE 41, 2017).

### Level kinerja struktur

Level kinerja adalah tingkat kerusakan yang ditentukan kerusakan fisik struktur dan non struktur (Pramudhita & Buwono, 2019). Penjelasan pada Tabel 1 berikut:

#### 1. Immediate occupancy (IO)

Kerusakan yang terjadi setelah gempa yang terjadi pada elemen non struktur dan struktur tidak ada (ATC 40, 1996). Contoh bangunan yang masuk kategori ini seperti rumah sakit dan gudang bahan bakar (Tavio & Wijaya, 2018).

#### 2. Damage control (DC)

Kerusakan yang terjadi setelah gempa pada kategori ini teletak diantara tingkat kinerja IO dan LS (ATC 40, 1996). Contoh bangunan yang masuk kategori ini seperti bangunan bersejarah dan bangunan penyimpan barang berharga (Tavio & Wijaya, 2018).

#### 3. Life safety (LS)

Kategori ini memiliki arti bahwa bangunan memiliki kerusakan saat terjadi gempa. Namun kerusakan bangunan ini tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh (ATC 40, 1996). Resiko korban jiwa pada kategori ini adalah moderat. Kategori bangunan ini dapat digunakan kembali setelah melakukan perbaikan menyeluruh. Contoh bangunan yang masuk kategori ini adalah gedung perkantoran, perumahan dan gudang (Tavio & Wijaya, 2018).

#### 4. Limited safety

Kategori ini terletak antara LS dan CP (ASCE 41, 2017).

#### 5. Collapse prevention (CP)

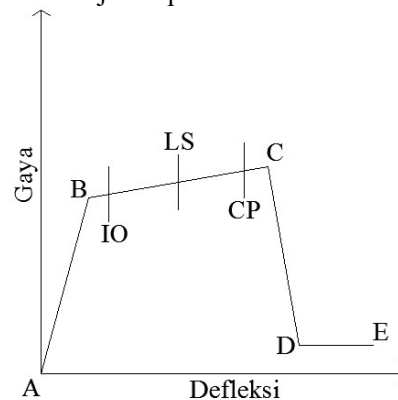
Didefinisikan yaitu kerusakan pasca gempa yang terjadi adalah struktur telah rusak namun masih bisa menahan beban gravitasi tetapi sangat berpotensi runtuh (ASCE 41, 2017).

Kriteria penentuan level kinerja sebuah struktur bangunan berdasarkan batas simpangan yang terjadi. Untuk sistem

rangka beton dengan level kinerja *life safety* memiliki batas simpangan sebesar 2 % dari tinggi bangunan (FEMA 356, 2000). Kemudian untuk sistem rangka beton dengan level kinerja *immediate occupancy* memiliki batas simpangan sebesar 1 % dari tinggi bangunan (FEMA 356, 2000). Kemudian untuk *damage control* memiliki batas simpangan antara 1 sampai 2 % dari tinggi bangunan.

### Plastisitas sendi plastis

Tingkatan kondisi dari plastisitas pada sendi plastis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tingkatan plastisitas sendi plastis (Tavio & Wijaya, 2018)

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa plastisitas sendi plastis mempunyai 8 tingkatan. Penjelasan sebagai berikut:

- A = Kondisi tanpa pembebanan sehingga belum terjadi plastifikasi
- B = Kondisi ketika elemen mengalami kelelahan pertama
- IO = Tahapan setelah terjadi kelelahan dengan tingkat kinerja *immediate occupancy*.
- LS = Elemen berada pada level kinerja *life safety*
- CP = Elemen berada pada level kinerja *collapse prevention*. Pada tahapan ini elemen berada pada kondisi hampir runtuh
- C = Kapasitas ultimit elemen
- D = Kekuatan sisa elemen

E = Elemen sudah mengalami keruntuhan  
Kondisi sendi plastis tersebut dapat menjadi parameter kerusakan struktur (Mahlisani, 2017).

**Metodologi penelitian**

**Data bangunan**

Gedung yang dilakukan untuk penelitian ini mempunyai ketinggian 11,7 m. Data potongan gedung yang menunjukkan struktur baru dan eksisting ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, kolom pada elevasi 0 sampai + 3,9 adalah kolom eksisting. Balok pada elevasi +3,9 adalah balok eksisting. Sedangkan kolom balok pada elevasi +3,9 keatas adalah struktur baru. Kemudian data-data lain dari gedung ini sebagai berikut:

ditunjukkan pada persamaan (1) (BSN 2847, 2019).

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c} \tag{1}$$

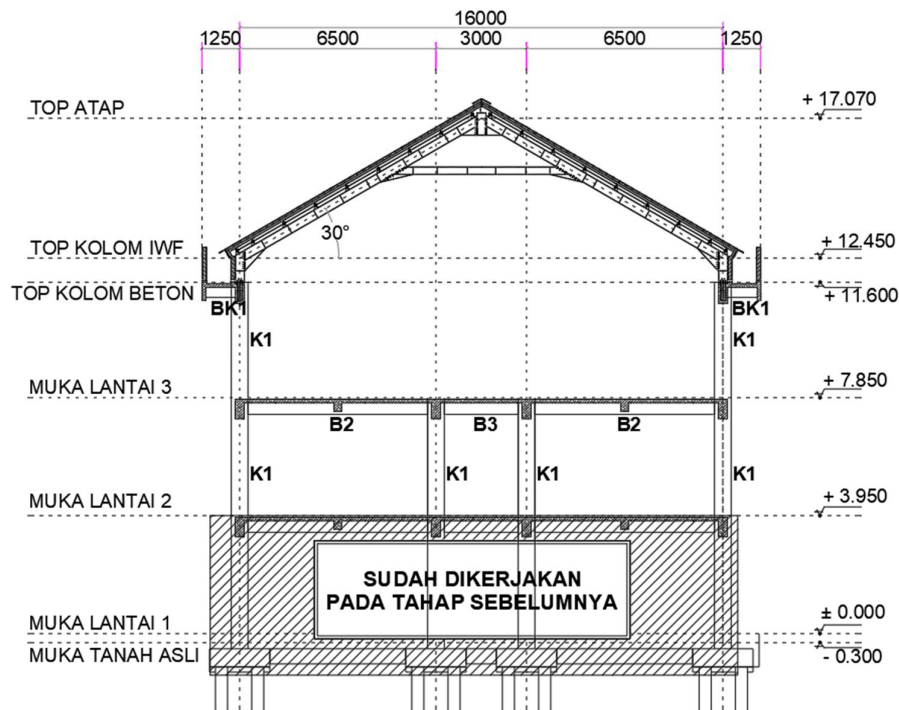
$$E_c = 4700 * \sqrt{25}$$

$$E_c = 23500 \text{ Mpa}$$

Modulus etastisitas beton pada struktur ini adalah 23500 Mpa. Kemudian untuk berat per volume beton adalah 2400 kg/m<sup>3</sup> (PPPURG-87, 1987).

2. Mutu baja tulangan  
Mutu baja tulangan ulir menggunakan mutu BJTS 420B dengan nilai kuat leleh minimum sebesar 420 Mpa. Modulus elastisitas tulangan sebesar 200000 Mpa.
3. Dimensi elemen struktur kolom  
Dimensi dari elemen struktur kolom ditunjukkan pada

Tabel 2.



Gambar 2. Potongan Gedung

1. Mutu beton

Mutu beton pada struktur gedung ini adalah  $f'_c$  25 Mpa. Kemudian perhitungan dari modulus elastisitas ( $E_c$ )

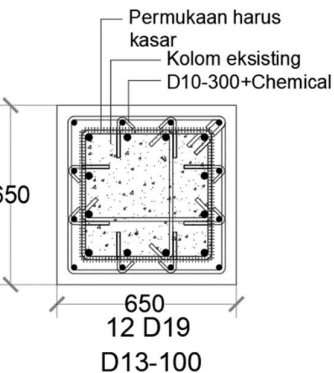
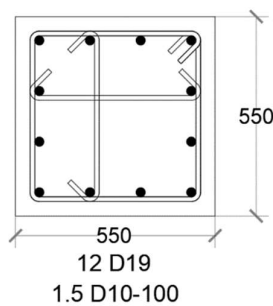
Tabel 2. Dimensi kolom struktur

Kode	Dimensi (cm)	Tipe	Perkuatan
KE1	55x55	Eksisting	Concrete Jacketing
KE2	40x55	Eksisting	Concrete Jacketing
KE3	40x30	Eksisting	Concrete Jacketing
K1	55x55	Baru	
K2	40x55	Baru	
K3	40x30	Baru	

Berdasarkan

Tabel 2 diketahui bahwa kolom KE1, KE2 dan KE3 merupakan kolom eksisting yang dilakukan perkuatan *concrete jacketing*. Perbedaan kolom sebelum dan setelah *concrete jacketing* kolom KE1 ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 tebal *concrete jacketing* pada kolom KE1 adalah 5 cm dengan penambahan tulangan sebanyak 12 tulangan diameter 19 mm dan tulangan sengkang yaitu D13-100. Kemudian tebal *concrete jacketing* pada kolom KE2 adalah 5 cm dengan penambahan tulangan sebanyak 12 tulangan diameter 16 mm dan tulangan sengkang yaitu D13-100. Kemudian tebal *concrete jacketing* pada kolom KE3 adalah 5 cm dengan penambahan tulangan sebanyak 12 tulangan



diameter 13 mm dan tulangan sengkang yaitu D10-100.

Metode *concrete jacketing* yaitu selimut beton kolom eksisting di bobok sampai tulangan terlihat. Kemudian permukaan dibuat kasar. Lalu memasang angkur dengan *chemical* untuk meningkatkan transfer gaya dari kolom eksisting ke lapisan tulangan baru sehingga tercapainya keadaan monolit. Kemudian permukaan kasar diberi *bonding agent*. Lalu penambahan *concrete jacketing*.

Penyesuaian struktur baru yaitu pada kolom K1 yang tulangan desain gambar rencana sebelumnya adalah 12D19 sengkang 1,5D10-100 menjadi 12D25 sengkang 1,5D13-100. Kemudian kolom K2 yang tulangan desain gambar rencana sebelumnya adalah 12D19 sengkang 1,5D10-100 menjadi 12D25 sengkang 1,5D13-100. Kolom K3 yang tulangan desain gambar rencana sebelumnya adalah 10D13 sengkang 1D10-100 menjadi 10D22 sengkang 1,5D13-100.

4. Dimensi elemen struktur balok  
Dimensi dari elemen struktur balok induk ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Dimensi balok struktur

Kode	Dimensi (cm)	Tipe
BE1	30x65	Eksisting
BE2	30x55	Eksisting

BE3	30x40	Eksisting
BE4	25x50	Eksisting
BE5	25x40	Eksisting
B1	30x65	Baru
B2	30x55	Baru
B2a	30x55	Baru
B3	30x40	Baru
B4	25x50	Baru
B5	25x40	Baru

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa balok BE1 sampai BE5 merupakan balok eksisting. Kemudian balok B1 hingga B5 merupakan balok baru. Jumlah tulangan yang digunakan pada penelitian ini mengikuti jumlah tulangan balok baru.

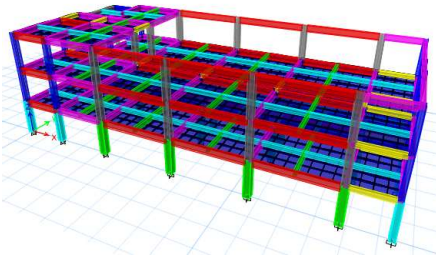
5. Tebal pelat

Tebal pelat yang digunakan pada proyek ini adalah 120 mm.

**Langkah-langkah analisa**

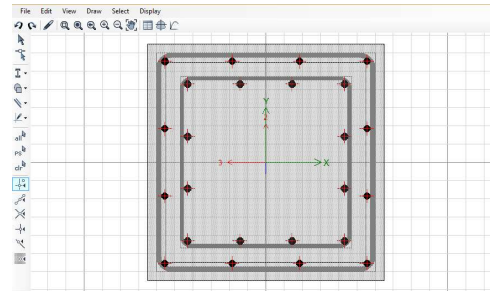
1. Pemodelan gedung

Denah 3d gedung ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Denah 3D gedung

Berdasarkan Gambar 4, sistem penahan gempa yang digunakan pada gedung ini adalah sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Tumpuan yang digunakan pada pemodelan adalah jepit. Pemodelan terbagi menjadi 2 yaitu pemodelan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan. Pemodelan *concrete jacketing* di ETABS dilakukan dengan *section design*. Contoh input *concrete jacketing* pada kolom KE1 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Section designer KE1 ETABS

Berdasarkan Gambar 5 *concrete jacketing* kolom dimodelkan jadi 1 dengan kolom eksisting supaya kekakuan dan kekuatan kolom *concrete jacketing* dihitung otomatis oleh software.

2. Pembebanan gedung

Beban mati tambahan yang digunakan sebesar 2 kN/m<sup>2</sup>. Kemudian untuk beban hidup yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4 (BSN 1727, 2020).

Tabel 4. Beban hidup

Fungsi ruang	Beban hidup (kN/m <sup>2</sup> )
Koridor diatas lantai 1	3,83
Ruang kantor	2,4
Atap	0,96
Ruang operasi	2,87
Ruang pasien	1,92
Beban partisi	0,72

Berdasarkan Tabel 4 diketahui beban hidup terbesar adalah 3,83 kN/m<sup>2</sup>.

3. Definisi sendi plastis

Kemudian definisi dari *hinge* balok dan kolom dihasilkan otomatis dari ETABS dengan jarak sendi plastis adalah 10 % dari panjang bentang. Input *hinge* dilakukan dengan 4 kombinasi berdasarkan arah beban *pushover* dan letak sendi plastis. Maka, 1 elemen struktur terdiri dari 4 *hinge*.

4. Analisa *static pushover*

Analisa dilakukan dengan definisi *load case*. Definisi pertama tentang beban grafitasi yang mewakili 1 DL + 0,25 LL (ASCE 41, 2017). Kemudian definisi *load case pushover*. Parameter yang dilakukan dengan P-delta yang aktif agar hasil *pushover* sudah termasuk P-delta. Kemudian nilai batasan *displacement control* sebesar 1,5 kali batas *drift* (ASCE 41, 2017). Lalu untuk titik tinjau dekat dengan titik berat.

5. Kesimpulan

Mengambil kesimpulan dari analisis.

**Analisis dan hasil**

**Parameter gempa**

Parameter gempa kala ulang 2500 kondisi  $MCE_R$  memiliki  $S_s$  sebesar 1,327 g dan  $S_1$  sebesar 0,563 g (Kementerian PUPR, 2017). Kemudian nilai faktor amplifikasi  $f_a$  sebesar 1 dan  $f_v$  sebesar 1,74. Parameter yang digunakan pada perhitungan gempa BSE-2N adalah  $S_{X(2N)}$  dan  $S_{x1(2N)}$ . Perhitungan  $S_{X(2N)}$  ditunjukkan pada persamaan (2) sedangkan  $S_{x1(2N)}$  ditunjukkan pada persamaan (3).

$$S_{X(2N)} = f_a * S_s \tag{2}$$

$$S_{X(2N)} = 1 * 1,327$$

$$S_{X(2N)} = 1,327 \text{ g}$$

$$S_{x1(2N)} = f_v * S_1 \tag{3}$$

$$S_{x1(2N)} = 1,74 * 0,563$$

$$S_{x1(2N)} = 0,980 \text{ g}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa  $S_{X(2N)}$  sebesar 1,327 g sedangkan  $S_{x1(2N)}$  sebesar 0,98 g. Kemudian perhitungan kondisi BSE-1N yaitu  $S_{X(1N)}$  ditunjukkan pada persamaan (4) sedangkan  $S_{x1(1N)}$  pada persamaan (5).

$$S_{X(1N)} = f_a * S_s * \frac{2}{3} \tag{4}$$

$$S_{X(1N)} = 1 * 1,327 * \frac{2}{3}$$

$$S_{X(1N)} = 0,885 \text{ g}$$

$$S_{x1(1N)} = f_v * S_1 * \frac{2}{3} \tag{5}$$

$$S_{x1(1N)} = 1,74 * 0,563 * \frac{2}{3}$$

$$S_{x1(1N)} = 0,653 \text{ g}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa  $S_{X(1N)}$  sebesar 0,885 g sedangkan  $S_{x1(1N)}$  sebesar 0,653 g.

**Batas penerimaan level kinerja**

Perhitungan batas penerimaan level kinerja LS mengikuti (6). Sedangkan untuk level IO mengikuti (7).

$$\text{Drift LS} = 0,02 * H \tag{6}$$

$$\text{Drift LS} = 0,02 * 11700$$

$$\text{Drift LS} = 234 \text{ mm}$$

$$\text{Drift IO} = 0,01 * H \tag{7}$$

$$\text{Drift IO} = 0,01 * 11700$$

$$\text{Drift IO} = 117 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka batas target *displacement* pada level kinerja LS adalah 234 mm. Kemudian batas target *displacement* pada level kinerja IO adalah 117 mm sedangkan *damage control* memiliki target *displacement* antara 117 mm dan 234 mm.

Tabel 5. Hasil *pushover* arah x

Langkah	Sebelum perkuatan		Setelah perkuatan	
	Simpangan ( mm )	Gaya geser dasar ( kN )	Simpangan ( mm )	Gaya geser dasar ( kN )
1	31,021	2742,7019	43,682	4722,9597
2	64,913	5171,1851	78,541	8039,6437
3	103,897	6967,4131	128,731	10723,224
4	139,039	8409,5384	179,368	13292,8455
5	184,94	9475,0719	227,089	15106,4888
6	222,149	10155,8405	287,256	17054,7254
7	259,247	10850,0974	334,283	18471,8073
8	296,09	11476,1235	391,099	19755,3849
9	322,356	11934,964	403,995	19955,9304
10	287,082	8776,9175	404,716	19960,1179
11			404,802	19960,868
12			404,973	19960,6649
13			405,071	19961,3349
14			405,218	19961,1902
15			405,225	19961,2282

Tabel 6. Hasil *pushover* arah y

Langkah	Sebelum perkuatan		Setelah perkuatan	
	Simpangan ( mm )	Gaya geser dasar ( kN )	Simpangan ( mm )	Gaya geser dasar ( kN )
1	28,71	2345,4359	40,189	4034,0098
2	62,579	4811,8846	77,202	7580,5289
3	99,895	6298,6409	127,189	9916,5193
4	135,442	7783,039	175,845	12262,7069
5	171,165	9037,6262	228,013	14289,8638
6	181,45	9342,3268	271,818	15855,7522

**Hasil analisa *pushover* terhadap Simpangan dan Gaya Geser**

Hasil analisa *pushover* gedung untuk arah x sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 diketahui bahwa langkah terbesar pada struktur sebelum perkuatan adalah 10 dengan simpangan sebesar 287,082 mm dan gaya geser dasar sebesar 8776,917 kN. Kemudian untuk struktur setelah perkuatan menghasilkan langkah terbesar adalah 15 dengan simpangan sebesar 405,225 mm dan gaya geser dasar sebesar 19961,2282 kN.

Masih berdasarkan Tabel 5 diatas perbandingan gaya geser dasar maksimum yang terjadi yaitu gaya geser dasar setelah perkuatan adalah 2,27 kali lebih besar dari sebelum perkuatan. Hal ini terjadi karena struktur setelah perkuatan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari struktur sebelum perkuatan. Sehingga meningkatkan ketahanan struktur dalam menerima beban yang terjadi. Kemudian untuk arah y ditunjukkan pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa langkah terbesar pada struktur sebelum perkuatan adalah 6 dengan simpangan sebesar 184,45 mm dan gaya geser dasar sebesar 9342,3268 kN. Kemudian untuk struktur setelah perkuatan menghasilkan langkah terbesar adalah 6 dengan simpangan sebesar 271,818 mm dan gaya geser dasar sebesar 15855,7522 kN.

Berdasarkan Tabel 6 perbandingan gaya geser dasar maksimum yang terjadi yaitu gaya geser dasar setelah perkuatan adalah 1,697 kali lebih besar dari sebelum perkuatan. Hal ini terjadi karena struktur

setelah perkuatan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari struktur sebelum perkuatan. Sehingga meningkatkan ketahanan struktur dalam menerima beban yang terjadi.

**Hasil analisa target *displacement* dan tingkat kinerja gedung**

Kemudian hasil target *displacement* dilakukan dengan analisa ASCE 41-13 NSP di Etabs. Hasil analisa tersebut ditunjukkan pada Tabel 7

Tabel 7. Hasil target *displacement*

Level gempa	Sebelum perkuatan		Setelah perkuatan	
	X ( mm )	Y ( mm )	X ( mm )	Y ( mm )
BSE-2N	198,35	218,27	153,597	163,593
BSE-1N	129,02	138,49	100,15	104,894

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa terjadi penurunan target *displacement*. Target *displacement* pada arah x level gempa BSE-2N setelah perkuatan mengalami penurunan sebesar 22,6 % lebih kecil dari struktur sebelum perkuatan. Lalu target *displacement* pada arah y level gempa BSE-2N setelah perkuatan mengalami penurunan sebesar 25,1 % lebih kecil dari struktur sebelum perkuatan. Maka rerata penurunan arah x dan y sebesar 23,85 %.

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa nilai target *displacement* arah y sebelum perkuatan melebihi batas simpangan Tabel 6. Hal ini terjadi karena perhitungan ASCE 41 dalam menentukan target *displacement* menggunakan rumus. Hal ini berbeda dengan metode pada FEMA 440 yang menggunakan perpotongan kurva *pushover* dengan grafik respon spektrum.

Tabel 9. Hasil plastisitas sendi pada *pushover* arah x setelah perkuatan

Langkah	Sebelum perkuatan					Setelah perkuatann				
	A-B	B-C	C-D	D-E	<E	A-B	B-C	C-D	D-E	<E
0	808	0	0	0	0	808	0	0	0	0
1	806	2	0	0	0	806	2	0	0	0
2	740	68	0	0	0	750	58	0	0	0
3	720	88	0	0	0	718	90	0	0	0
4	654	154	0	0	0	626	182	0	0	0
5	588	220	0	0	0	576	232	0	0	0
6	564	244	0	0	0	546	262	0	0	0
7	520	288	0	0	0	486	322	0	0	0
8	506	302	0	0	0	442	364	2	0	0
9	496	311	1	0	0	436	368	4	0	0
10	496	311	0	1	0	436	368	4	0	0
11						436	368	4	0	0
12						436	368	4	0	0
13						436	368	4	0	0
14						436	368	4	0	0
15						436	368	4	0	0

Lalu target *displacement* pada arah x level gempa BSE-1N setelah perkuatan mengalami penurunan sebesar 22,4 % lebih kecil dari struktur sebelum perkuatan. Lalu target *displacement* pada arah y level gempa BSE-1N setelah perkuatan mengalami penurunan sebesar 24,3 % lebih kecil dari struktur sebelum perkuatan. Maka rerata penurunan arah x dan y sebesar 23,35 %. Penurunan ini terjadi karena struktur setelah perkuatan mengalami peningkatan kekakuan akibat *concrete jacketing* kolom lantai 1. Kemudian rekap hasil kinerja ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan kinerja struktur gedung sebelum dan sesudah perkuatan

Level gempa	Sebelum perkuatan	Cek	Setelah perkuatan	Cek
BSE-2N	<i>Damage control</i>	Ok	<i>Damage control</i>	Ok
BSE-1N	<i>Damage control</i>	Tidak Ok	<i>Immediate occupancy</i>	Ok

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa level kinerja gedung untuk arah x dan y tidak mengalami perubahan pada level gempa BSE-2N. Berbeda dengan level gempa BSE-1N, level kinerja tersebut mengalami kenaikan. Level kinerja struktur sebelum perkuatan adalah *damage control* sedangkan setelah perkuatan menjadi *immediate occupancy*. Hal ini karena dimensi kolom pada lantai 1 terjadi penambahan akibat *concrete jacketing* sehingga meningkatkan kekakuan struktur. Oleh karena itu metode

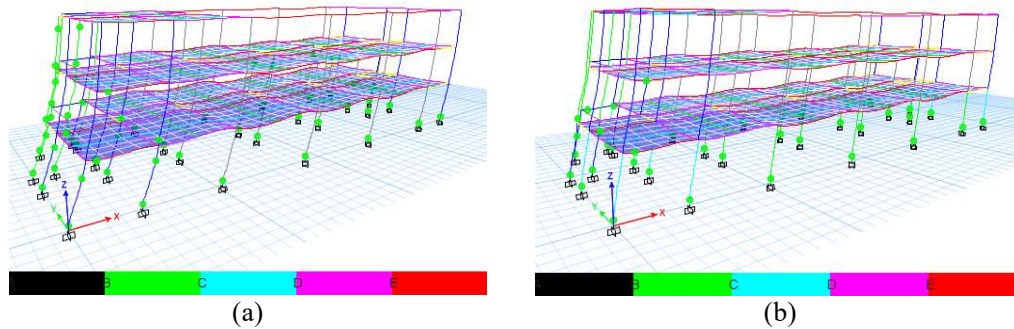
perkuatan *concrete jacketing* terbukti dapat menaikkan level kinerja gedung rumah sakit X. Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa batas kinerja minimum untuk struktur kategori resiko IV pada level gempa BSE-2N adalah *life safety* ( LS ) sedangkan BSE-1N adalah *immediate occupancy* ( IO ). Sehingga untuk struktur sebelum perkuatan adalah tidak aman sedangkan setelah perkuatan adalah aman.

**Hasil plastisitas sendi plastis**

Hasil plastisitas elemen gedung untuk arah x ditunjukkan pada Tabel 9.

Berdasarkan Tabel 9 diketahui bahwa tingkatan plastisitas terburuk untuk struktur sebelum perkuatan arah x yaitu D-E pada langkah ke 10. Jumlah sendi plastis tingkat D-E adalah 1 buah. Kemudian tingkatan plastisitas terburuk untuk struktur setelah perkuatan arah x yaitu C-D terletak pada langkah ke 10. Jumlah sendi plastis tingkat C-D adalah 4 buah. Perbedaan jumlah langkah terjadi karena kekuatan struktur yang berbeda. Struktur sebelum perkuatan memiliki kekuatan yang lebih rendah dari struktur yang telah diperkuat.

Berdasarkan nilai target *displacement* gempa BSE-1N sebelum perkuatan adalah 129,02 mm. Maka berdasarkan Tabel 9 nilai tersebut terletak pada langkah 3 dan 4 dengan tingkat plastisitas B-C.



Gambar 6. Plastisitas sendi plastis level bahaya gempa BSE-1N arah x, (a ) sebelum perkuatan; (b) setelah perkuatan

Berdasarkan nilai target *displacement* gempa BSE-1N setelah perkuatan adalah 100,15 mm. Maka berdasarkan Tabel 9 nilai tersebut terletak pada langkah 2 dan 3 dengan tingkat plastisitas B-C.

Kemudian visualisasi dari plastisitas sendi plastis pada level bahaya gempa BSE-1N berdasarkan target *displacement* ditunjukkan pada Gambar 6 .

Berdasarkan Gambar 6 pada level bahaya gempa BSE-1N dengan *pushover* arah x menunjukkan tingkat plastisitas yang sama yaitu B-C. Rangkuman kondisi dari plastisitas sendi plastis ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 10. Perbandingan hasil plastisitas sendi plastis level gempa BSE-1N arah x

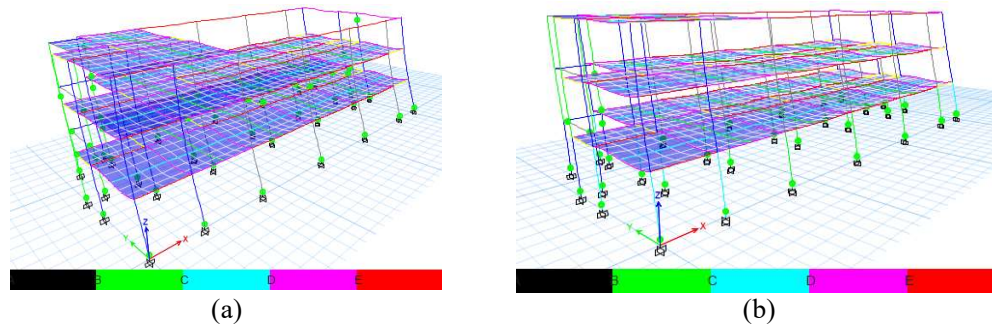
Kedadaan	Sebelum perkuatan	Setelah perkuatan
Tingkat plastisitas	B-C	B-C
Jumlah sendi plastis	122	76
Perbandingan	1,605	1

Berdasarkan Tabel 10 diketahui bahwa jumlah sendi plastis sebelum perkuatan yaitu 1,605 kali lebih besar dari setelah perkuatan. Hal ini juga memiliki arti bahwa terjadinya penurunan jumlah sendi plastis sebelum perkuatan ke setelah perkuatan sebesar 37,7 %. Hasil plastisitas elemen gedung untuk arah y ditunjukkan pada Tabel 11.

Berdasarkan Tabel 11 diketahui bahwa tingkatan plastisitas terburuk untuk struktur sebelum perkuatan arah y yaitu tingkat B-C terletak pada langkah ke 6. Jumlah sendi plastis dengan tingkat B-C adalah 194 buah. Kemudian tingkatan plastisitas terburuk untuk struktur setelah perkuatan arah y yaitu tingkat B-C terletak pada langkah ke 6. Jumlah sendi plastis dengan tingkat B-C adalah 249 buah. Jumlah plastifikasi sendi plastis setelah perkuatan lebih tinggi dari sebelum perkuatan karena gaya geser dasar yang terjadi pada struktur setelah perkuatan jauh lebih besar dari sebelum perkuatan. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 11. Hasil plastisitas sendi pada *pushover* arah y setelah perkuatan

Langkah	Sebelum perkuatan					Setelah perkuatan				
	A-B	B-C	C-D	D-E	<E	A-B	B-C	C-D	D-E	<E
0	808	0	0	0	0	808	0	0	0	0
1	804	4	0	0	0	806	2	0	0	0
2	742	66	0	0	0	750	58	0	0	0
3	738	70	0	0	0	736	72	0	0	0
4	702	106	0	0	0	670	138	0	0	0
5	640	168	0	0	0	598	210	0	0	0
6	614	194	0	0	0	559	249	0	0	0



Gambar 7. Plastisitas sendi plastis level bahaya gempa BSE-1N arah y, (a) sebelum perkuatan; (b) setelah perkuatan

Berdasarkan nilai target *displacement* gempa BSE-1N sebelum perkuatan adalah 138,49 mm. Maka berdasarkan Tabel 11 nilai tersebut terletak pada langkah 4 dan 5 dengan tingkat plastisitas B-C.

Berdasarkan nilai target *displacement* gempa BSE-1N setelah perkuatan adalah 104,894 mm. Maka berdasarkan Tabel 11 nilai tersebut terletak pada langkah 3 dan 4 dengan tingkat plastisitas B-C.

Berdasarkan nilai target *displacement* gempa BSE-2N sebelum perkuatan adalah 218,27 mm. Maka berdasarkan Tabel 11 nilai tersebut tidak ada dalam langkah yang ditampilkan. Hal ini terjadi karena Hal ini terjadi karena perhitungan ASCE 41 dalam menentukan target *displacement* menggunakan rumus. Sedangkan batas maksimal dari struktur adalah langkah 6 dengan simpangan sebesar 181,45 mm.

Berdasarkan nilai target *displacement* gempa BSE-2N setelah perkuatan adalah 163,593 mm. Maka berdasarkan Tabel 11 nilai tersebut terletak pada langkah 4 dan 5 dengan tingkat plastisitas B-C. Kemudian visualisasi dari plastisitas sendi plastis pada level bahaya gempa BSE-1N berdasarkan target *displacement* ditunjukkan pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 pada level bahaya gempa BSE-1N dengan *pushover* arah y menunjukkan tingkat plastisitas yang sama yaitu B-C. Rangkuman kondisi dari plastisitas sendi plastis ditunjukkan pada Tabel. 12.

Tabel. 12 Perbandingan hasil plastisitas sendi plastis level gempa BSE-1N arah y

Keadaan	Sebelum perkuatan	Setelah perkuatan
Tingkat plastisitas	B-C	B-C
Jumlah sendi plastis	108	70
Perbandingan	1,543	1

Berdasarkan Tabel. 12 diketahui bahwa jumlah sendi plastis sebelum perkuatan yaitu 1,543 kali lebih besar dari setelah perkuatan. Hal ini juga memiliki arti bahwa terjadinya penurunan jumlah sendi plastis sebelum perkuatan ke setelah perkuatan sebesar 35,2 %.

Rata-rata penurunan jumlah sendi plastis arah x dan y pada level gempa BSE-1N sebesar 36,45 %. Penurunan jumlah sendi plastis pada arah x dan y terjadi karena elemen struktur gedung dengan perkuatan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari sebelum perkuatan. Oleh karena itu kerusakan yang terjadi pasca gempa lebih sedikit.

**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Target *displacement* pada gempa BSE-2N sebelum dan setelah perkuatan mengalami penurunan. Rata-rata penurunan arah x dan y sebesar 23,85 % sedangkan tingkat kinerjanya adalah sama yaitu *damage control*. Kemudian target *displacement* pada gempa BSE-1N sebelum dan setelah perkuatan mengalami penurunan. Rata-rata

penurunan arah x dan y sebesar 23,35 %. Oleh karena itu target kinerjanya mengalami kenaikan yaitu dari *damage control* menjadi *immediate occupancy*.

2. Tingkat plastisitas sendi plastis sebelum dan setelah perkuatan pada gempa BSE-1N adalah sama yaitu B-C. Kemudian rerata penurunan jumlah sendi plastis arah x dan y pada level gempa BSE-1N sebesar 36,45 %.

#### Daftar pustaka

- ASCE 41. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. In *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. American Society of Civil Engineers.
- ATC 40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*. California : Applied Technology Council.
- BSN 1726. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- BSN 1726. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta :Badan Standarisasi Nasional.
- BSN 1727. (2020). Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. In *SNI 1727 2020*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- BSN 2847. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- FEMA 356. (2000). *Pre Standard and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Building*. Washington DC : Federal Menergency Management Agency.
- Kementerian PUPR. (2010). *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*. Bandung : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian PUPR. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kurniati, D. (2018). *Kajian Analisis Pushover untuk Performance Based Design pada Awana Condotel Yogyakarta*. 6(1), 85–93.
- Mahlisani, N. (2017). *Analisis Pushover Pada Struktur Bangunan Eksisting Dengan Simulasi Concrete Jacketing Pada Beberapa Elemen Kolom Struktur*. Tesis : Universitas Islam Indonesia.
- Manalip, S. H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2014). Analisis Pushover pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201–213.
- PPPURG-87. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Pramudhita, G., & Buwono, H. K. (2019). Analisis Nonlinier Statik Pushover Struktur Gedung Bertingkat Soft Story dengan Menggunakan Material Beton Bertulang dan Beton Prategang pada Blok Bentang Panjang. *Jurnal Konstruksia*, 10(2), 95–106.
- Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja ( Performance Based Design )*. Yogyakarta : Andy.
- Ulza, A. (2021). *Teori dan Praktik Evaluasi Struktur Beton Bertulang Berbasis Kinerja*. Yogyakarta : Deepublish.