

KEANDALAN STRUKTUR BEBERAPA BANGUNAN GEDUNG BETON BERTULANG DI WILAYAH JABODETABEK TERHADAP BEBAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019

Meiborn Simanjuntak

Program Magister Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ISTN Jakarta

simanjuntakmeiborn@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas assesmen keandalan bangunan beton bertulang yang berusia lebih dari 30 tahun. Obyek penelitian berada pada 3 lokasi bangunan yaitu Struktur A berlokasi di Jakarta Pusat, Struktur B berlokasi di Tangerang Selatan, dan Struktur C berlokasi di Jakarta Utara. Survei visual lapangan dilakukan untuk mengamati kondisi terkini dari struktur bangunan. Pengujian tanpa merusak / Non-Destruktif Test (NDT) dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton aktual dan jumlah tulangan yang terpasang dalam elemen struktur. Berdasarkan kekuatan material eksisting dilakukan modeling 3-Dimensi dan analisis struktur dengan metode elemen hingga, dengan menggunakan software ETABS 2017 diterapkan persyaratan seismik yang terdapat dalam SNI 1726:2019 untuk mengevaluasi kekuatan nominal elemen beton bertulang. Hasil Analisa struktur menunjukkan bahwa elemen kolom, balok dan pelat pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C tidak mampu menahan gaya momen, geser, dan drift inter story yang timbul akibat beban gempa yang timbul menurut persyaratan gempa pada SNI 1726:2019.

Perlu dilakukan perkuatan struktur pada ketiga struktur, agar kapasitas elemen struktur mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan.

Kata Kunci: assesmen, keandalan, pengujian, analisis struktur, perkuatan struktur

Abstract

This research presents and discuss reliability assessments of concrete building structures with the age of more than 30 years. The research objects located at 3 location in the Greater Jakarta area (Jabodetabek) where Structure A is located in Jakarta Pusat, Structure B in South Tangerang and Structure C in North Jakarta. Visual field surveys were conducted to obtain the current conditions of the building structures. Non-Destructive Tests (NDT) were employed to find out actual concrete compressive strength and the amount of steel reinforcements in the structural elements. Based on those experimental results, 3-D models and structural analysis by means of the finite element method using the ETABS 2017 computer software, were conducted. Seismic requirements as defined in the SNI 1726:2019 for evaluating nominal strength structural concrete element were used. Structural analysis results have shown that the columns, beams and slab elements of Structure A, Structure B and Structure C cannot resist the bending moment, shear forces and inter-story drift from the seismic loads according to the seismic requirements.

Hence, structural retrofitting and strengthening should be conducted in order to increase the capacity of the building structures in resisting the loading combinations occur on the structure.

Keywords: assessment, reliability, experimental tests, structural analysis, structural retrofitting

I. PENDAHULUAN

Wilayah kepulauan Indonesia secara geologis berdiri diatas lima lempeng tektonik aktif (*ring of fire*). Sehingga gempa bumi diatas 5 Skala Richter (SR) dapat terjadi hampir setiap saat di sekitar wilayah tersebut (Tamara, 2011), dan kerusakan serta kehancuran yang terjadi dapat sangat dahsyat sebagaimana yang menghantam Tohoku (9,0 SR) pada tahun 2011, Aceh (8,5 SR) pada tahun 2012, dan Padang (7,9 SR) pada tahun 2009.

Berdasarkan sejumlah kejadian dan permasalahan diatas maka sudah saatnya menganggap perlu dilakukan penelitian lebih dalam terhadap keandalan bangunan eksisting untuk mengetahui bagaimana keandalan struktur bangunan yang direncanakan dengan peraturan-peraturan gempa terdahulu.

Menurut Pribadi (2008) ada beberapa jenis kerusakan yang biasa ditemukan pada bangunan di Indonesia, yaitu:

1. *Soft story*, didefinisikan sebagai tingkat pada gedung yang memiliki sebagian besar kekakuan atau kapasitas untuk menyerap energinya sangat kecil untuk melawan atau menahan induksi tekanan akibat gempa terhadap gedung tersebut.



Gambar 1 Kegagalan struktur kolom bangunan di California akibat gempa
Sumber: pubs.usgs.gov



Gambar 2 Efek *Soft Story* yang menyebabkan keruntuhan total struktur
Sumber: Pribadi

2. Elemen dan sambungannya yang gagal, terlepas dari bangunan.



Gambar 3 Kegagalan elemen dan sambungan struktur
Sumber: Pribadi

3. Kekurangan atau kelemahan dalam sistem struktural dan / atau komponen mengakibatkan kerusakan kecil hingga runtuhnya sebagian atau keseluruhan struktur, seperti terungkap dari gempa bumi baru-baru ini.



Gambar 4 Gedung Kantor Pemerintah Yang Runtuh Akibat Gempa
Sumber: Iffah

Kerusakan tersebut dapat bersifat non-struktural dan struktural. Kerusakan non-struktural dapat berupa retak halus pada plesteran dinding. Sementara, kerusakan struktural dapat berupa:

- a. Kerusakan ringan struktur, dimana terjadi retak kecil dengan lebar celah 0,075 – 6 cm yang menyebar luas di banyak teMPat.
- b. Kerusakan struktur tingkat sedang, dimana terjadi retak besar dengan lebar celah > 6 cm yang meyebar luas di banyak teMPat.
- c. Kerusakan struktur tingkat berat, dimana elemen struktur mengalami tingkat kerusakan sekitar 50%.
- d. Kerusakan total, dimana dimana elemen struktur mengalami tingkat kerusakan

sebesar > 65% atau bangunan roboh seluruhnya. Kerusakan struktural tidak dapat diabaikan dan harus dicarikan solusinya. Untuk mendapatkan solusi yang tepat perlu dilakukan pemeriksaan terhadap keadaan dan kekuatan struktur bangunan tersebut. Dalam penelitian ini untuk mengkaji keandalan struktur bangunan gedung beton bertulang terhadap gempa dengan menggunakan metode yang bersifat tifold merusak (*non-destructive test*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Peraturan pertama tentang tata cara perencanaan struktur bangunan gedung terhadap gempa di Indonesia dikeluarkan pada tahun 1966 (PBI 1966). Dalam peraturan ini peta daerah rawan gempa adalah Pulau Kalimantan bagian Timur, Pulau Sulawesi bagian Utara, kepulauan

Pulau Jawa bagian Selatan, kepulauan Nusa Tenggara. Sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 2.1, daerah Irian Jaya dalam PBI 1966 belum dimasukan Maluku, Pulau Sumatera



bagian Barat.

Gambar 5. Peta Gempa PBI 1966
 Sumber: Geophysical Notes No. 2 1962

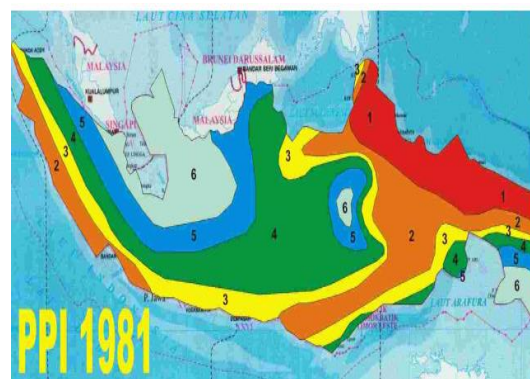
Selanjutnya, pada tahun 1970 pembagian wilayah gempa dilakukan revisi dengan diterbitkannya Peraturan Muatan Indonesia 1970 (PMI 1970), yang sudah memasukkan Irian Jaya. Revisi PBI 1966 menjadi PMI 1970 didasari salah satunya karena Indonesia akan membangun gedung tinggi pertama (30 lantai) oleh putra bangsa, yaitu Teddy Boen dan Wiratman.



Gambar 6 Peta Gempa PMI 1970
 Sumber: PMI 1970

Setelah terjadinya gempa di Bali (1979) yang cukup banyak menelan korban jiwa dan harta benda yang tidak sedikit, para ahli gempa Indonesia merasa perlu melakukan tinjauan ulang terhadap peta wilayah gempa Indonesia. Selanjutnya, terbitlah Peraturan Pembebanan Indonesia 1981 (PPI 1981) sebagai revisi PMI 1970, dan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG 1981). Banyak hal baru yang diperkenalkan dalam peraturan ini, seperti: konsep daktilitas struktur; konsep keruntuhan yang aman, yaitu

mekanisme goyang dengan pembentukan sendi plastis dalam balok (*beam side sway mechanism*), yang mensyaratkan kolom yang lebih kuat dari balok (*strong column weak beam*); dan konsep perencanaan kapasitas (*capacity design*). Diperkenalkan pula tiga cara analisa yaitu; (1) Analisa beban statik ekuivalen; (2) Analisa ragam spektrum respons; dan (3) Analisa respons riwayat waktu. Peta gempa diubah menjadi enam daerah gempa.

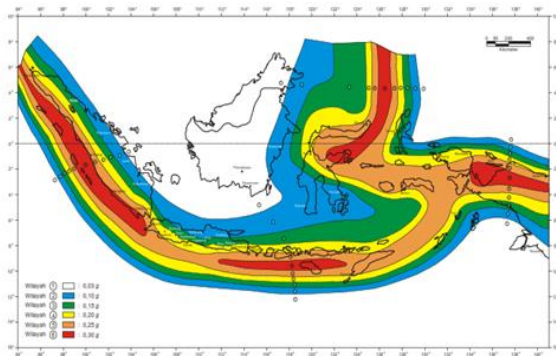


Gambar 7 Peta Gempa PPI1981
 Sumber: PMI 1981

Peraturan ini mendasarkan respons spektra yang digunakan kepada gempa dengan periode ulang 200 tahun (kemungkinan terjadi 10 % dalam jangka waktu kira-kira 20 tahun), setelah dibagi dengan daktilitas struktur sebesar 4. Peraturan ini kemudian berubah nama menjadi Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987, UDC: 699.84.

Seiring dengan semakin bertambah besarnya gaya gempa yang terjadi maka dikeluarkan kembali peraturan untuk Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung

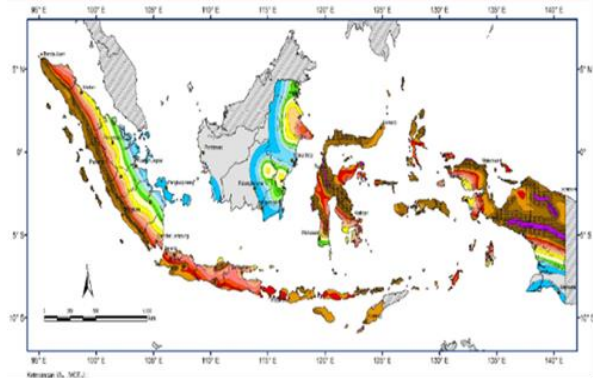
SNI 03-1726-2002, peraturan ini memperbarui peta gempa dengan tetap menggunakan enam daerah gempa. Respons spektra yang digunakan adalah respons spektra gempa yang kemungkinan terjadinya 10 % dalam kurun waktu 50 tahun, yaitu gempa dengan periode ulang 500 tahun (disebut gempa rencana).



Gambar 8 Peta Gempa 2002
Sumber: SNI 03 1726-2002

Pada tahun 2004 dan 2005 terjadi beberapa kejadian gempa besar di Indonesia, yaitu gempa Aceh dangempa Nisa, yang memiliki magnituda lebih besar dari magnituda maksimum perkiraan sebelumnya. Sehingga, peta gempa pada tahun 2002 dinilai kurang relevan lagi. Di samping itu, pada beberapa tahun terakhir telah dikembangkan metoda analisis baru yang bisa mengakomodasi model atenuasi sumber gempa tiga dimensi (3D). Akhirnya, dilakukan revisi peta gempa pada tahun 2010 yang dijadikan acuan untuk membuat Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, SNI 1726-2012, sejak diterbitkannya SNI 03-1726-2002. Penggunaan model 3D dapat menggambarkan

atenuasi penjalaran gelombang secara lebih baik dibandingkan dengan model 2-D yang digunakan untuk penyusunan peta gempa SNI 03-1726-2002.

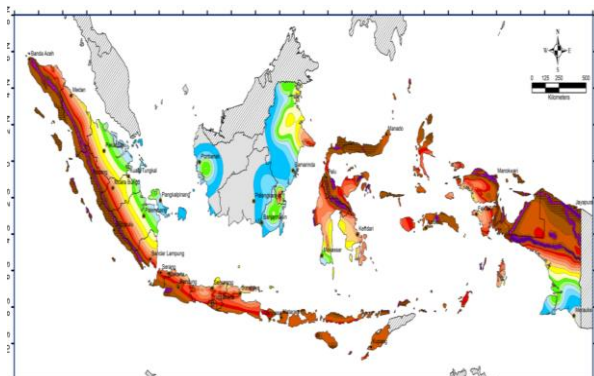


Gambar 9 Peta Gempa SNI 1726-2012
Sumber: SNI 1726-2012

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (KemenPUPR) telah merilis Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang merupakan hasil pemutakhiran Peta Gempa Tahun 2010.

Peta Gempa 2010 diperbaharui dengan pertimbangan antara lain peta telah berumur lebih dari 5 tahun; adanya identifikasi sumber kegempaan yang baru dari sisi geologi, seismologi, dan geodesi; peningkatan keakuratan estimasi parameter penting dalam mengkonstruksi peta gempa; dan pendetailan sumber gempa background, menggunakan persamaan atenuasi gelombang gempa terkini. Hasil dari Peta Gempa 2017 ditemukan banyak sesar aktif yang muncul di berbagai wilayah di Indonesia, yang mana sebelumnya pada Peta Gempa 2010 hanya terdapat 81 sesar aktif

namun pada Peta Gempa 2017 terdapat 295 sesar aktif (Gambar 2.3).



Gambar 10 Peta Gempa SNI 1726:2019
Sumber: SNI 1726:2019

Prinsip-prinsip dan ketentuan-ketentuan terkait keandalan bangunan gedung telah diatur secara jelas, tegas dan memadai dalam Undang-Undang (UU), Keputusan Presiden (Keppres), Peraturan Menteri (Permen), Peraturan Gubernur (Pergub), Peraturan Daerah (Perda). Secara lebih teknis perihal keandalan bangunan gedung diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait perencanaan struktur gedung.

Terdapat dua jenis metode pengujian keandalan struktur bangunan gedung yaitu metode merusak (*destructive test*) dan metode tak-merusak (*non-destructive test* – NDT) (Karundeng, 2015). Untuk pengujian dengan cara merusak material specimen atau *destructive test*, ada beberapa metode pengujian, yaitu:

- a) Pengujian tarik (*tensile test*) yang
- b) Pengujian tekan (*compressed test*) material tersebut hancur

- c) Pengujian bengkok (*bending test*)
- d) Pengujian kekerasan (*hardness test*)

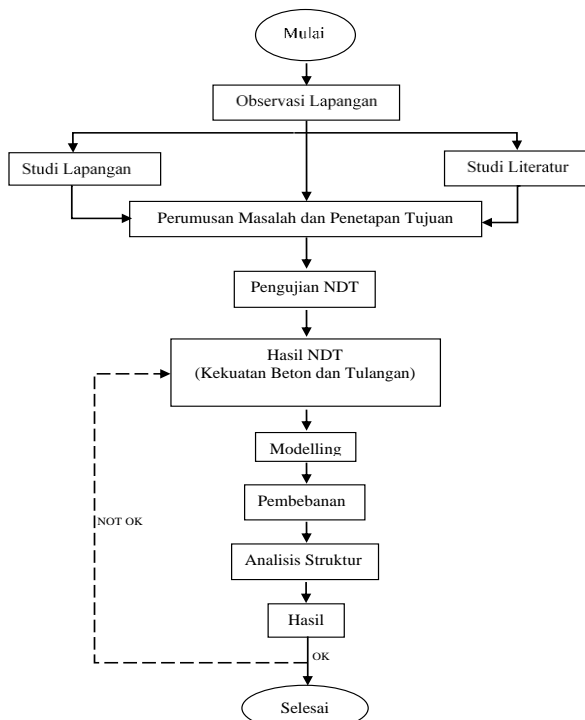
Sementara pengujian tak-merusak (*non-destructive test*) dapat dilakukan dengan beberapa beberapa metode, yaitu:

- a) Pemeriksaan Konfigurasi Tulangan (Covermeter)
- b) Pengujian Kerapatan Mutu Beton (UPV PUNDIT Test)
- c) Pemeriksaan Homogenitas Mutu Permukaan Beton (Hammer Test)
- d) Pengujian Kekerasan Mutu Baja (Brinell Hardness Test).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian atas keandalan struktur bangunan gedung beton bertulang terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 ini dilakukan dalam tahapan-tahapan yang jelas dan sistematis. Penelitian ini menggabungkan kerja eksperimental dan kerja analitikal. Kerja eksperimental dilaksanakan menggunakan metode tak-merusak (NDT) untuk mendapatkan data-data primer berupa hasil audit struktur terhadap, masing-masing, Struktur A, Struktur B dan Struktur C. Terhadap masing-masing struktur tersebut telah dilakukan hammer test, UPV test, cover meter test dan rebar scanner dan didapatkan keadaan terkini terkait kekuatannya

Selanjutnya, penulis melakukan analisa struktur dengan menggunakan data-data primer tersebut. Analisa struktur dilakukan menggunakan bantuan software ETABS 2017, baik itu pemodelan, simulasi pembebanan dan perhitungan gaya-gaya dalam serta tegangan-tegangan yang timbulkan akibat kombinasi pembebanan yang diberikan. Hasil analisa struktur apabila Not OK, maka proses diulangi kembali dari tahap menganalisa data hasil NDT, apabila OK maka proses dinyatakan selesai. Keseluruhan pekerjaan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 11 Diagram Alir Penelitian Keandalan Struktur Gedung

Obyek penelitian ini adalah tiga struktur bangunan gedung yang sudah dibangun dalam periode 1950-2018 yang berlokasi di wilayah Jabodetabek. Ketiganya diberi nama masing-masing Struktur A, Struktur B dan Struktur C.

Gedung A adalah bangunan gedung perkantoran dengan jumlah lantai sebanyak 15 lapis yang terbuat dari konstruksi beton bertulang.

Sementara itu, Struktur B adalah bangunan gedung kampus suatu perguruan tinggi di wilayah Jakarta Selatan yang dibangun pada tahun 2018 dan terbuat dari konstruksi beton bertulang dengan jumlah lantai sebanyak 10 lapis. Terakhir, Struktur C adalah bangunan gedung kantor dengan jumlah lantai 5 lapis yang terbuat dari onstruksi beton bertulang yang dibangun pada tahun 2018 dan berlokasi di Jakarta Timur.



Gambar 12 Ilustrasi pelaksanaan *UPV Test*



Gambar 13 Ilustrasi pelaksanaan *Covermeter Test* (Sumber: <https://hesa.co.id>)



Gambar 3.16. Ilustrasi pelaksanaan *Hammer Test* (Sumber: <https://hesa.co.id>)



Gambar 3.18. Pengujian *Brinell Test* (Sumber: PT. QIES Nusantara Konsultan)

IV. ANALISA HASIL PENELITIAN

Material Properties untuk mutu bahan yang digunakan untuk Struktur A, Struktur B, dan Struktur C dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 4.1 Material Propertis

Mutu Beton	Struktur A (MPa)	Struktur B (MPa)	Struktur C (MPa)
Kolom	20,66	23,39	25
Balok	21,71	27,1	25
Pelat Lantai	19,34	21,11	25
Mutu Tulangan	Struktur A (MPa)	Struktur B (MPa)	Struktur C (MPa)
Dia >12 mm dengan fy	400	390	400
Dia <12 mm dengan fy	240	240	240

Dengan mengacu pada SNI 1727:2013 Pasal 3.1. dapat ditentukan besaran beban mati untuk Struktur A, Struktur B, dan Struktur A, serta untuk besaran nilai beban hidup ditentukan menurut SNI 1727:2013 Pasal 4.

Kategori resiko bangunan, faktor keutamaan gempa dan faktor R^a , Ω_o^b , C_d^c , untuk sistem pemikul gaya seismik untuk Struktur A, Struktur B dan Struktur C dapat dilihat dalam Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data-data seismik

Struktur A		Struktur B		Struktur C	
PGA (g)	0,358	PGA (g)	0,393	PGA (g)	0,354
Ss (g)	0,677	Ss (g)	0,773	Ss (g)	0,670
Sl (g)	0,298	Sl (g)	0,326	Sl (g)	0,294
C_{RS}	0,993	C_{RS}	1,011	C_{RS}	0,990
C_{R1}	0,940	C_{R1}	0,936	C_{R1}	0,937
F_{PGA}	1,026	F_{PGA}	0,922	F_{PGA}	1,037
F_A	1,345	F_A	1,173	F_A	1,360
F_V	2,809	F_V	2,697	F_V	2,825
PSA (g)	0,367	PSA (g)	0,362	PSA (g)	0,367
S_{MS} (g)	0,911	S_{MS} (g)	0,906	S_{MS} (g)	0,911
S_{M1} (g)	0,836	S_{M1} (g)	0,879	S_{M1} (g)	0,830
S_{DS} (g)	0,607	S_{DS} (g)	0,604	S_{DS} (g)	0,607
S_{D1} (g)	0,558	S_{D1} (g)	0,586	S_{D1} (g)	0,553
T_0 (detik)	0,184	T_0 (detik)	0,194	T_0 (detik)	0,182
T_S (detik)	0,918	T_S (detik)	0,970	T_S (detik)	0,911

Data Hasil UPV Pundit Test untuk mutu elemen struktur pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Hasil UPV Pundit Test

Uraian	Struktur A	Struktur B	Struktur C
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Rata-rata mutu beton kolom f'c	20.66	23.39	25.04
Rata-rata mutu beton balok f'c	21.71	27.10	27.06
Rata-rata mutu beton pelat f'c	19.34	15.72	21.11

Data Hasil Covermeter Test / Pofo Meter Test untuk mutu elemen struktur pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data Hasil Covermeter Test / Pofo Meter Test Struktur A

Uraian	Struktur A		
	Kolom	Balok	Pelat
Rata-rata mtebal selimut beton (mm)	40	60	30

Tabel 4.5 Data Hasil Covermeter Test / Pofo Meter Test Struktur B

Uraian	Struktur B		
	Kolom	Balok	Pelat
Rata-rata mtebal selimut beton (mm)	40	60	30

Tabel 4.6 Data Hasil Covermeter Test / Pofo Meter Test Struktur C

Uraian	Struktur C		
	Kolom	Balok	Pelat
Rata-rata mtebal selimut beton (mm)	40	40	30

Data Hasil Hammer Test untuk mutu elemen struktur pada Struktur A, Struktur B, dan

Struktur C diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Hammer Test

Uraian	Struktur A	Struktur B	Struktur C
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Rata-rata mutu beton kolom f'c	-	25.04	14.94
Rata-rata mutu beton balok f'c	-	27.06	24.94
Rata-rata mutu beton pelat f'c	-	21.11	25.42

Data Hasil Brinell Test untuk mutu elemen struktur pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data Hasil Brinell Test Struktur A

Uraian	Struktur A		
	Kolom	Balok	Pelat
Rata-rata mutu tulangan utama, fy (MPa)	240	240	240
Rata-rata mutu tulangan geser, fy (MPa)	240	240	240

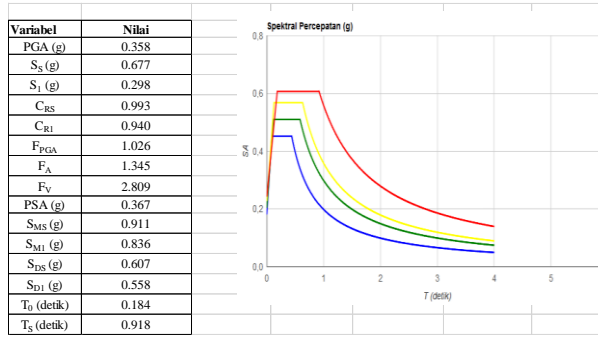
Tabel 4.9 Data Hasil Brinell Test Struktur B

Uraian	Struktur B		
	Kolom	Balok	Pelat
Rata-rata mutu tulangan utama, fy (MPa)	413.69	413.69	413.69
Rata-rata mutu tulangan geser, fy (MPa)	240	240	240

Tabel 4.10 Data Hasil Brinell Test Struktur C

Uraian	Struktur C		
	Kolom	Balok	Pelat
Rata-rata mutu tulangan utama, fy (MPa)	400	400	400
Rata-rata mutu tulangan geser, fy (MPa)	240	240	240

Hasil analisa struktur dengan menggunakan alat bantu software ETABS 2017 dan Respon Spektral Puskim PU dengan mengacu pada kaidah-kaidah dalam peraturan gempa SNI



1726:2019 diperoleh hasil analisa struktur

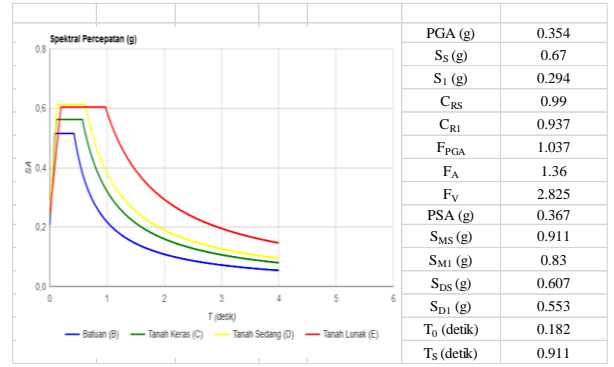
Story	Total Weight (kg)	h _i (m)	h _i ^k (m)	W _i h _i ^k (kg.m)	C _{v_x}
Slab 11	0.326	99,508	3,650	363,202,63	0.0091
C ₁₀	1.011	1,130,429	4,200	4,747,801,80	0.1188
C ₉	0.936	1,062,860	4,000	4,251,440,00	0.1064
F ₁₀	1.173	1,042,516	4,000	4,170,064,00	0.1043
F ₉	2.097	1,023,529	4,000	4,094,116,00	0.1024
PSA	0.362	1,037,521	4,000	4,150,084,00	0.1038
S _{MS}	0.906	1,057,584	4,000	4,230,336,00	0.1059
S _{M1}	0.879	1,058,225	4,000	4,232,900,00	0.1059
S _{DS}	0.604	1,058,225	4,000	4,232,900,00	0.1059
S _{D1}	0.586	1,058,225	4,000	4,232,900,00	0.1059
T ₀ (detik)	0.194				
T _S (detik)	0.97				
Story 2	1,098,088	5,000	5,000	5,490,440,00	0.1374
Total	9,668,537.57			39,963,496.43	1.000

sebagai berikut:

Gambar 4.1. Respon Spektral Struktur A

Tabel 4.11. Distribusi Gaya Geser Struktur A

Story	W _i (kg)	h _i (m)	h _i ^k (m)	W _i h _i ^k (kg.m)	C _{v(xy)}	F _X (kg)	F _Y 30% (kg)
ROOF	2,200,464	5	5.13	11,277,377.33	0.0595	173,115.82	51,934.75
L14	1,883,734	5	5.10	9,607,040.85	0.0597	147,474.96	44,242.49
L13	1,838,559	5	5.10	9,376,651.21	0.0495	143,030.31	42,901.49
L12	1,857,418	5	5.10	9,492,032.16	0.0527	153,213.62	45,973.09
L11	1,933,638	5	5.10	9,861,555.89	0.0520	151,301.95	45,414.38
L10	2,028,516	5	5.10	10,345,383.07	0.0546	158,012.11	47,643.63
L9	2,105,569	5	5.10	10,738,044.04	0.0566	164,042.19	49,622.66
L8	2,132,777	5	5.10	10,877,168.76	0.0574	166,972.21	50,091.66
L7	2,189,113	5	5.10	11,164,475.54	0.0589	171,382.70	51,414.81
L6	2,261,286	5	5.10	11,533,066.66	0.0608	177,040.83	53,112.25
L5	2,361,624	5	5.10	12,049,282.60	0.0608	177,039.59	53,117.85
L4	2,310,101	5	5.10	11,781,515.92	0.0621	180,654.71	54,256.41
L3	2,011,114	3	3.09	6,204,207.89	0.0527	95,240.26	28,572.08
ROOF STORAGE	1,179,061	3	3.30	3,979,330.07	0.0210	61,065.57	18,325.67
L2	5,162,654	5	5.10	26,329,532.95	0.1389	401,177.19	121,253.16
L1	4,902,797	5	5.10	25,001,265.57	0.1319	383,033.38	115,150.02
PODASI							
TOTAL	38,338,554			189,597,362.51	1.000	2910,655,297	873136,5891



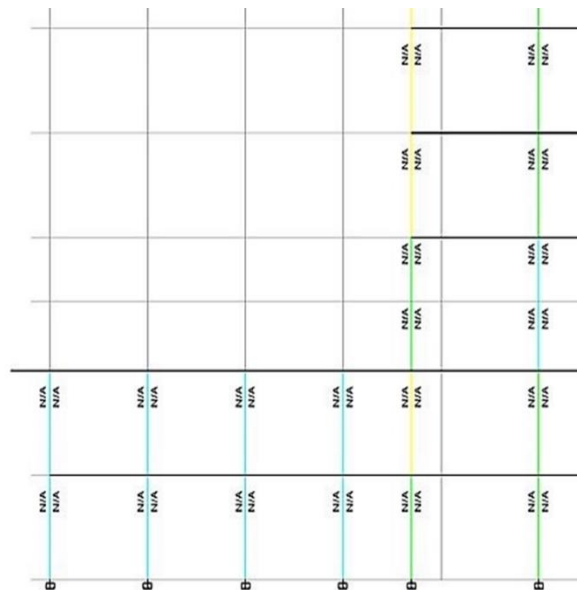
Gambar 4.2. Respon Spektral Struktur B

Tabel 4.12. Distribusi Gaya Geser Struktur B

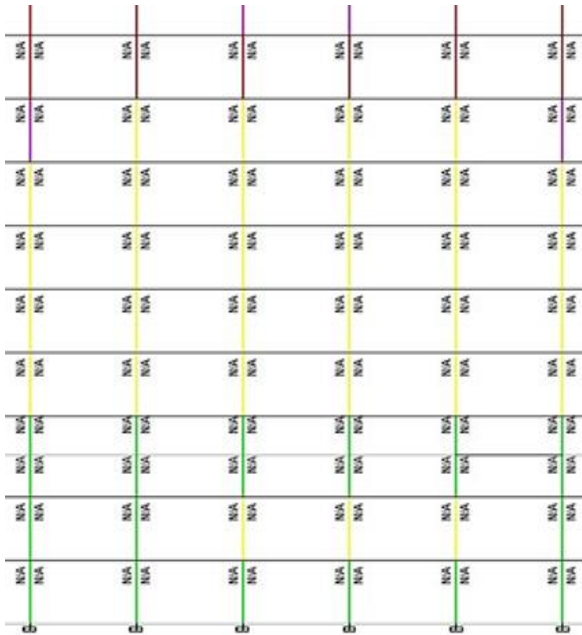
Gambar 4.3. Respon Spektral Struktur C

Tabel 4.13. Distribusi Gaya Geser Struktur C

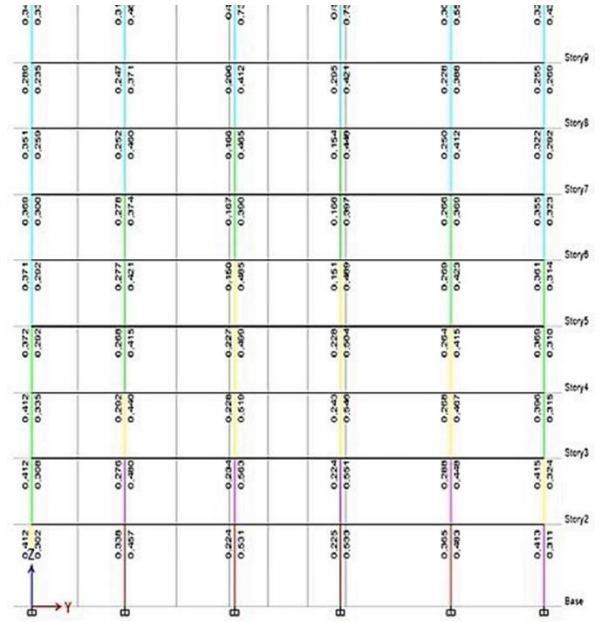
Story	W _i (kg)	h _i (m)	h _i ^k (m)	W _i h _i ^k (kg.m)	C _{v(xy)}	F _X (kg)	F _Y 30% (kg)
Lantai 6b	50335,01	1,35	1,35	67,952,26	0,01	1,443,50	433,05
Lantai 6a	31513,27	2,9	2,90	91,388,48	0,01	1,941,36	582,41
Lantai 6	21276,89	4,25	4,25	904,089,28	0,08	19,206,48	5,761,64
Lantai 5	40828,116	4,25	4,25	1,735,207,68	0,16	36,840,84	11,052,25
Lantai 4	44700,65	4,25	4,25	1,900,092,76	0,17	40,363,48	12,109,04
Lantai 3	490100,8	4,25	4,25	2,040,428,40	0,19	43,344,62	13,003,39
Lantai 2	439648,07	4,25	4,25	1,868,507,70	0,17	39,692,52	11,907,76
Lantai 1	549465,68	4,25	4,25	2,335,229,14	0,21	49,607,04	14,882,11
Basement	44452,73	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3063708,06			109,42895,71	1.000	232,458,85	69737,65172



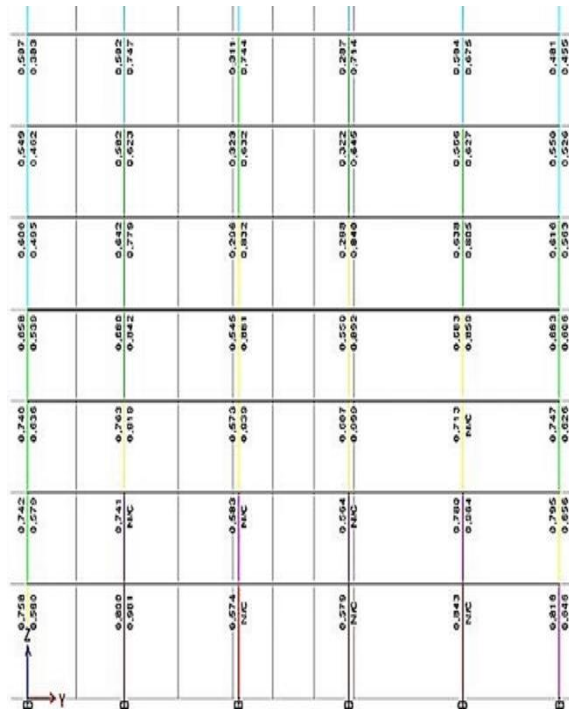
Gambar 4.4. Rasio Joint Shear Struktur A



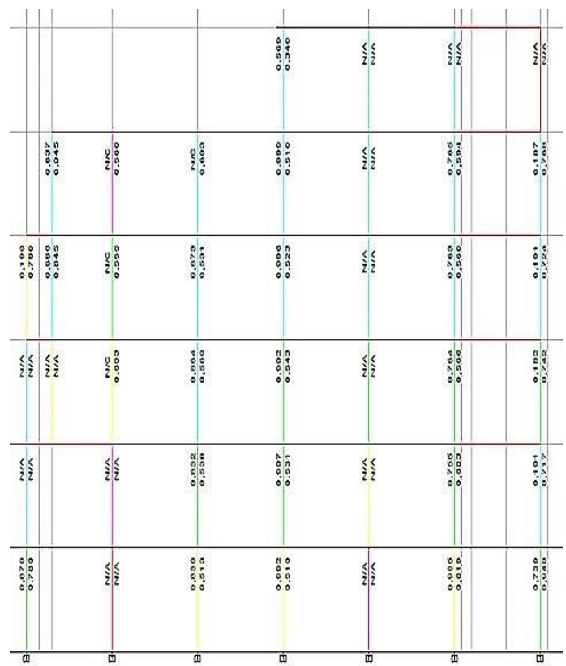
Gambar 4.5. Hasil Kekuatan Kolom Terhadap Balok Struktur A



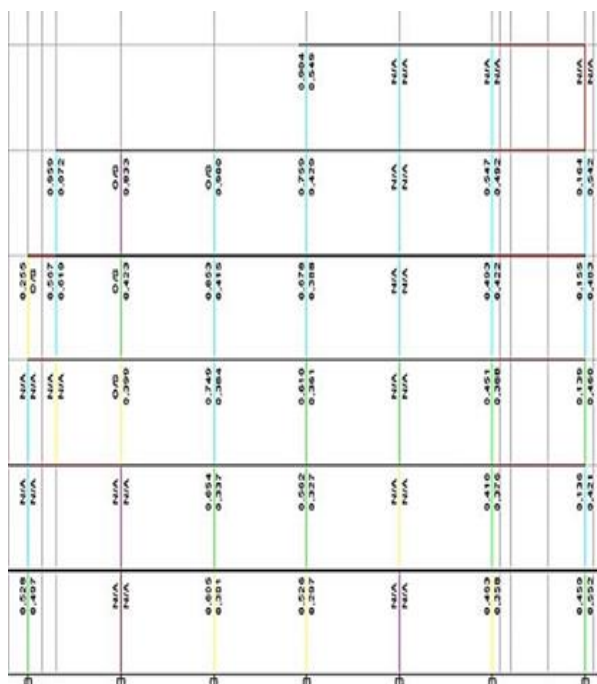
Gambar 4.7. Hasil Kekuatan Kolom Terhadap Balok Struktur B



Gambar 4.6. Rasio Joint Shear Struktur B



Gambar 4.8. Rasio Joint Shear Struktur C



Gambar 4.9. Hasil Kekuatan Kolom Terhadap Balok Struktur C

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan pengujian tanpa merusak dan analisa struktur dengan bantu software ETABS 2017 pada Struktur A, Struktur B dan Struktur C yang dianalisa dengan mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 1726:2019, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

• Kesimpulan

1. Pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C ada beberapa kolom, belum memenuhi syarat teknis dalam menahan gaya-gaya

dalam yang terjadi akibat beban gempa, dimana banyak ditemukan elemen kolom yang nilai momen kapasitas < momen rencana.

2. Pada Struktur A, Struktur B, dan Struktur C, ada beberapa balok belum memenuhi syarat teknis dalam menahan gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban gempa.
3. Pada Struktur A Struktur pelat lantai masih cukup baik dalam menahan beban yang terjadi, Struktur B Terdapat beberapa segmen pelat lantai yang perlu perkuatan struktur di lantai atap, dan Struktur C pelat lantai secara visual mengalami retak dan lendutan dan perlu perkuatan struktur.
4. Pada Struktur A, Struktur B dan Struktur C, untuk rasio join antara kolom dan balok, didapatkan hasil bahwa kolom lebih lemah daripada balok sehingga perlu dilakukan perbaikan kolom.

• Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pihak pemilik gedung yang gedungnya telah melewati usia 30 tahun atau telah mengalami gempa diatas 6 SR perlu diaudit strukturnya secara menyeluruh.
2. Berdasarkan hasil pengujian NDT pada ketiga struktur, perlu dilakukan perkuatan

struktur, Perkuatan struktur dengan menggunakan metode antara lain:

- Concrete Jacketing (Penambahan dimensi struktur beton)
- Steel Plate Bonding/H-Beam (Penambahan pelat baja/H-beam)
- Epoxy Spray (Menyemprotkan cairan epoxy ke dalam beton)
- Fiber Reinforced Polymer (FRP)

3. Pihak pemilik gedung disarankan untuk melakukan perawatan rutin ataupun berkala untuk bangunan gedung, dan melakukan assesmen struktur secara berkala setiap 5 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Celebi, M. (2003). *Monitoring Earthquake Shaking in Buildings to Reduce Loss of Life and Property*. Congress in 1977, the U.S. Geological Survey (USGS). USGS Fact Sheet 068-03 2003.
- Departemen Pekerjaan Umum Dan Jenderal Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (1981). *Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung* (1981).
- Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik, Direktorat Jenderal Cipta Karya (1970). *Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I.* 18.
- Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik, Direktorat Jenderal Cipta Karya (1966). *Peraturan Beton Indonesia 1966*.
- Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987
- Iffah, M. (2011). Artikel Tesis “Forensik Struktur Engineering Gedung Pemerintahan Bertingkat Yang Rusak Di Kota Padang Akibat Gempa 30 September 2009 (Studi Kasus Pada 15 Gedung, Dari 2 Lantai)”. Program Pascasarjana pada Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Andalas.
- Karundeng, S. V., Wallah, E. S., & Pandaleke, R. (2015). *Penerapan Metode*
- Pribadi, S. K., Kusumastuti. D., & Ridolva. (2008) *Learning from Recent Indonesian Earthquakes: An Overview to Improve Structural Performance*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- PT. QIES Nusantara Konsultan (2019). *Laporan Assessment, Testing, dan Analisis Struktur Gedung Plaza Pekalongan*. Kota Pekalongan, Jawa Tengah.
- Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). *Pemutakhiran Sumber Dan Peta Gempa Indonesia 2017*.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia 03-1726-2018. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- Standar Nasional Indonesia 1727-2013. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*.
- Tamara, M. (2011). *Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Besar*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 1, No. 1, ISSN 2087-9334