

EVALUASI STRUKTUR KOLOM KOMPOSIT PADA BANGUNAN KANTOR IMIGRASI KELAS I TPI POLONIA-SUMATERA UTARA TERHADAP KETENTUAN BANGUNAN TAHAN GEMPA

Luthfi Nazir¹, Ronal HT Simbolon², M Husni Malik Hasibuan³

^{1,2,3}Universitas Islam Sumatera Utara

Email: luthfinazir03@gmail.com¹, ronal.h.t.simbolon@uisu.ac.id²,
husnihasibuan@ft.uisu.ac.id³

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur, khususnya kapasitas kolom komposit, pada Gedung Kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara guna memastikan kesesuaiannya terhadap standar bangunan tahan gempa SNI 1726:2019. Analisis dilakukan menggunakan metode Dinamik Respons Spektrum dengan bantuan perangkat lunak untuk analisis kapasitas penampang kolom berdasarkan diagram interaksi. Hasil analisis ragam menunjukkan partisipasi massa terkombinasi sebesar 99,9% pada arah X dan Y pada moda ke-30, yang telah memenuhi syarat minimum. Validasi model menunjukkan kecocokan sempurna antara perhitungan manual gaya geser dasar (base shear) dengan output software sebesar 1.199,0133 kN. Kinerja batas layan gedung dinyatakan aman karena nilai simpangan antar lantai (story drift) pada kedua arah masih di bawah batas izin (Δ_{ijin}). Temuan ini diharapkan memberikan rekomendasi dan pengetahuan bagi pemilik bangunan untuk memastikan keamanan dan kelayakan struktur bangunan eksisting terhadap risiko gempa di Indonesia.

Kata kunci: Kolom Komposit, Gempa, Diagram Interaksi.

***Abstract:** This study aims to evaluate the structural performance, particularly the capacity of composite columns, of the Class I Immigration Office Building in Polonia, North Sumatra, to ensure its compliance with the Indonesian National Standard (SNI) 1726:2019 earthquake-resistant building standards. The analysis was conducted using the Dynamic Response Spectrum method with the aid of software for column cross-section capacity analysis based on interaction diagrams. The analysis of variance results indicated a combined mass participation of 99.9% in the X and Y directions for mode 30, which meets the minimum requirements. Model validation demonstrated excellent agreement between the manual calculation of base shear force and the software output of 1,199.0133 kN. The building's serviceability limit was declared safe because the story drift values in both directions were below the permitted limit (Δ_{ijin}). These conclusions are expected to provide recommendations and knowledge for building owners to ensure the safety and suitability of existing building structures against earthquake risks in Indonesia.*

Keywords: Composite Column, Earthquake, Interaction Diagram.

PENDAHULUAN

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau berguncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik (Atmojo & Muhandhis, 2019). Kolom adalah elemen struktur tekan yang berperan penting dalam suatu bangunan. Keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan lantai yang bersangkutan dan bahkan runtuhnya seluruh struktur (Sudarmoko, 1996). Alasan utama kolom komposit dipilih dibandingkan kolom beton bertulang biasa adalah untuk mendapatkan kekuatan dan kekakuan yang jauh lebih tinggi pada dimensi penampang (ukuran) yang lebih ramping. Upaya dalam memperkuat bangunan di masa kini telah banyak digunakan metode struktur beton bertulang dengan memanfaatkan bahan komposit. Persoalan yang sering muncul pada kolom komposit meliputi kekuatan tekan, daktilitas, dan detail sambungan yang harus memenuhi kriteria desain gempa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur terutama pada kolom komposit pada bangunan kantor imigrasi kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara untuk memastikan kesesuaiannya dengan peraturan bangunan tahan gempa, seperti SNI 1726-2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung).

Berdasarkan latar belakang permasalahan sebagaimana yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengevaluasi apakah struktur pada bangunan kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara telah memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726-2019.
2. Menganalisis kapasitas struktur kolom komposit terhadap beban gempa berdasarkan diagram interaksi kolom

TINJAUAN PUSTAKA

1. Tinjauan Umum

Kolom komposit dengan kombinasi material baja struktural dan beton bertulang merupakan sistem struktur modern yang menawarkan kekuatan tinggi dan efisiensi ruang. Perilakunya saat menahan beban gempa sangat kompleks dan memerlukan perencanaan yang detail dan akurat. Penelitian ini penting untuk memverifikasi apakah desain dan pelaksanaan struktur pada bangunan tersebut sudah mempertimbangkan kaidah-kaidah bangunan tahan gempa.

Pada bab ini Penulis memaparkan dasar-dasar teoritis mengenai kolom komposit, sifat material, perilaku seismik struktur, peraturan perencanaan ketahanan gempa, pembebanan yang berlaku di Indonesia, metode analisis linear yang digunakan untuk evaluasi kinerja, serta ringkasan studi-studi terdahulu yang relevan dengan topik skripsi ini.

2. Teori Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Pengertian tersebut sekaligus menjawab mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu akibat energi gempa yang merambat dari pusat gempa ke segala arah. Sebagaimana diketahui bahwa suatu kekuatan akan terkandung dalam suatu energi, artinya energi gempa akan menghasilkan suatu kekuatan yang dalam hal ini adalah getaran tanah (Pawiradikromo, 2012). Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik.

3. Struktur Komposit Sebagai Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa merupakan suatu struktur yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang timbul akibat gempa sehingga suatu bangunan dapat bertahan utuh dan tidak mudah roboh. Struktur/bangunan tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa. Bukan struktur yang semata-mata sudah diperhitungkan (dalam perencanaan) dengan beban gempa (beban horizontal) (Tjokrodimuljo K, 2007).

Bangunan yang kuat terhadap gempa bukan berarti mencegah semua kerusakan bangunan bila terjadi gempa yang dahsyat, bangunan seperti ini sulit dilaksanakan karena memerlukan biaya yang sangat mahal. Tujuan utama dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah menyelamatkan nyawa manusia, mengurangi secara maksimal kecelakaan yang akan terjadi dan harta benda serta mengurangi semaksimal mungkin biaya yang harus dikeluarkan bila harus melakukan perbaikan bangunan yang rusak akibat gempa.

Adapun prinsip-prinsip desain filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut ini (Widodo, 2007) :

- a. Pada gempa kecil (light/minor earthquake) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih diperbolehkan.

- b. Pada gempa menengah (moderate earthquake) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
- c. Pada gempa kuat (strong earthquake) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (totally collapse). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (great earthquake), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Untuk memahami Struktur komposit tahan gempa, kita harus paham dulu filosofi dasarnya. Gempa bumi memberikan beban siklik (bolak-balik) yang ekstrem pada bangunan, yang menuntut struktur memiliki tiga hal utama yaitu kekuatan, kekakuan, dan daktilitas.

4. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini ialah SNI 1726-2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012. Dimana terdapat perubahan dalam penentuan koefisien situs F_a dan F_v serta perubahan perubahan nilai S_s dan S_1 yang ada di beberapa kota di Indonesia. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode studi kasus di mana peneliti berusaha melakukan evaluasi apakah struktur pada bangunan kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara telah memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726-2019, serta menganalisis kapasitas struktur kolom komposit terhadap beban gempa berdasarkan diagram interaksi kolom.

2. Metode Pengumpulan Data

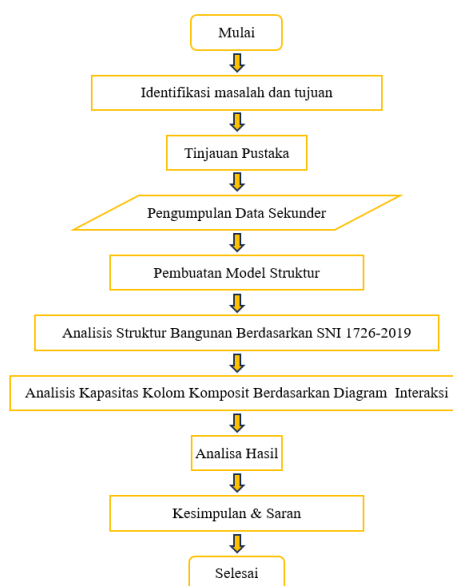
Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah data sekunder yang merupakan data dari pihak proyek yang berhubungan dengan rencana proyek, adapun data-data yang diperoleh

adalah sebagai berikut :

1. Gambar Struktur : Mencakup denah, potongan, detail dimensi kolom, balok, pelat, detail *joint* kolom dan balok, serta detail penulangan baja dan profil baja pada kolom komposit.
2. Rencana Mutu Pekerjaan Konstruksi (RMPK) : Untuk mengetahui data umum, standar desain dan mutu material yang digunakan pada saat pembangunan.
3. Kondisi tanah : Jenis tanah pada lokasi penelitian adalah tanah lempung berpasir yang termasuk kedalam kategori jenis tanah sedang.
4. Standar dan literatur :
 - a. SNI 1726-2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung”.
 - b. SNI 1727-2020 tentang “Beban Desain Minimum untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain”. dan
 - c. Jurnal dan buku teks terkait.

3. Tahapan Penelitian

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan yang terstruktur, mulai dari pemodelan hingga evaluasi kinerja menggunakan analisis linear. Penelitian ini akan dilaksanakan mengikuti alur kerja yang sistematis seperti yang digambarkan pada Bagan Alir Penelitian digambar 1 :



Gambar 1. Bagan alir pnelitian

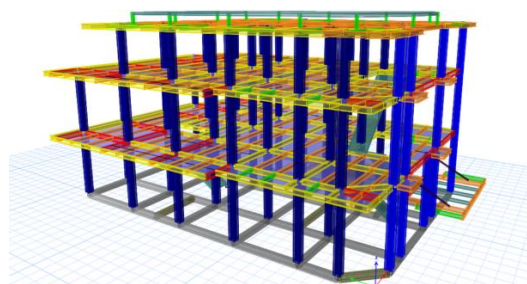
Alur analisis dalam bab ini dimulai dari deskripsi pemodelan struktur, dilanjutkan dengan analisis pembebanan, khususnya beban gempa. Langkah inti dari analisis ini adalah penerapan metode analisis linear untuk mendapatkan respon spektrum ragam, gaya geser (*base shear*), dan kurva simpangan antar lantai (*story drift*) terhadap kinerja global bangunan, serta menganalisis dengan fokus khusus pada kapasitas kolom komposit berdasarkan diagram interaksi akan dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini ini akan membahas secara rinci proses analisis dan pembahasan hasil penelitian mengenai evaluasi struktur kolom komposit pada gedung Kantor Imigrasi Kelas I TPI Polonia-Sumatera Utara. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan eksisting terhadap beban gempa berdasarkan standar yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1726-2019.

A. Pemodelan Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan program analisis struktur *ETABS*. Bangunan dimodelkan sebagai struktur 3D (tiga dimensi) untuk menangkap perilaku spasialnya secara akurat. Untuk sistem pemikul gaya seismik pada pemodelan bangunan ini menggunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan nilai $R = 8$, $\Omega_0 = 3$ dan $C_d = 5,5$. Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 4.8 Pemodelan 3D

B. Analisa Beban

1. Beban Gravitasi (Beban Mati dan Hidup)
 - a. Beban Mati (DL)

Terdiri dari berat sendiri (*self-weight*) elemen struktur yang dihitung secara otomatis oleh *software*, dan Beban Mati Tambahan (SIDL). SIDL yang diperhitungkan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Beban mati tambahan (SDL)

Komponen Beban (Material)	Tebal/Spesifikasi	Berat Satuan (kg/m²)	Beban (kN/m²)
Penutup Lantai (Keramik)	1 cm	24	0,24
Spesi / Adukan Perekat & Screed	3 cm	63	0,63
Plafon (Gypsum/GRC) + Rangka	-	20	0,2
Instalasi Mekanikal & Elektrikal (MEP)	-	25	0,25
TOTAL		332	1,31

Sumber : SNI 1727-2020

b. Beban Hidup (LL)

Ditentukan berdasarkan fungsi bangunan (perkantoran dan area publik) sesuai SNI 1727:2020 "Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain". Beban hidup yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Beban hidup (LL)

NO	RUANGAN	Beban (kN/m²)
1	Ruang Panel	4,79
2	Ruang Genset	6
3	Ruang Kantor	2,4
4	Ruang Pertemuan	4,79

5	Toilet	2,87
6	Tangga	4,79
7	Ruang Arsip	7,18
8	Mushola	4,79
9	Ruang Kantor	2,4
10	Loby	4,79

Sumber : SNI 1727-2020

c. Beban Gempa (SNI 1726-2019)

Beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726-2019. Parameter gempa ditentukan berdasarkan lokasi geografis bangunan dan data tanah. Data desain spektra dalam penelitian ini didapat dari PUSKIM PUPR.

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban gravitasi yang digunakan sebagai kondisi awal (initial condition) sebelum analisis pushover, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah menggunakan desain kekuatan batas yang telah ditetapkan dalam SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Adapun beban yang digunakan meliputi dead load (DL), super imposed dead load (SIDL), live load (LL), dan earthquake load (E). Pada review ini klasifikasi situs tanah adalah tanah sedang menggunakan nilai $SDS = 0,55$ dan redundansi $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 SNI 1726-2019).

C. Hasil Analisis Struktur Bangunan Berdasarkan SNI 1726-2019

1. Analisis Respon Spektrum Ragam Sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1

Analisis ragam getar alami untuk struktur harus menyertakan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur dalam masing-masing arah horizontal, namun sebagai alternatif diizinkan paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.

partisipasi massa ragam terkombinasi masing masing bernilai 99,9% dan 99,9% yang artinya nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1 yaitu analisis ragam getar alami untuk struktur harus menyertakan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur dalam masing-masing arah horizontal, namun sebagai alternatif diizinkan paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.

Setelah didapat partisipasi massa ragam terkombinasi selanjutnya adalah menganalisis periode alami struktur berdasarkan SNI 1726-2019, untuk perhitungan dan nilai periode alami struktur dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Periode alami struktur

Percepatan Desain Periode 1 Detik	S_{DI}	=	0,47 g
Koefisien untuk Batas Periode <i>SNI 1726-2019 tabel 17</i>	C_u	=	1,4
Parameter Periode Pendekatan <i>SNI 1726-2019 tabel 18</i>	C_t	=	0,0724
Parameter Periode Pendekatan <i>SNI 1726-2019 tabel 18</i>	x	=	0,8
Tinggi Bangunan (Seismik)	h	=	16,33 m
Periode Fundamental Pendekatan <i>SNI 1726-2019 persamaan 36</i>	T_a	=	$C_t \times h^x$
		=	0,6763 detik
Periode Maksimum <i>SNI 1726-2019 pasal 7.8.2</i>	T_{max}	=	$C_u \times T_a$
		=	0,947 detik
Periode Hasil Analisis Arah X (<i>output software</i>)	$T_{c,X}$	=	0,5045 detik

Periode Hasil Analisis Arah Y (<i>output software</i>)	$T_{c,Y}$	=	0,7787 detik
Periode Pakai Arah X	T_X	=	0,5045 detik
Periode Pakai Arah Y	T_Y	=	0,7787 detik

Sumber : Penulis

Berdasarkan SNI 1726-2019, persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS. Analisa menggunakan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan SRSS (*Square Root of the Sum of Square*) lebih besar dari 15%. Pada Analisa ini diperoleh hasil selisih perioda antar modal menunjukkan ada yang lebih besar dari 15%, yang artinya jenis perhitungan yang digunakan adalah SRSS (*Square Root of the Sum of Square*).

2. Gaya Geser (*Base Shear*)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1, apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam didalam *software ETABS*

$$\text{Faktor skala} = 100\% V/V_t = V/V_t \geq 1$$

Dimana :

V = gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung

V_t = gaya geser dasar hasil analisis kombinasi ragam *output software ETABS*

Tabel 4.7 Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal (V) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur (Vt).

Koefisien Respons Seismik SNI 1726:2019	C_s	=	$S_{DS} / (R/I_e)$
		=	0,0696

<i>persamaan 31</i>			
Batas Atas	$C_{s,max}$	=	$S_{D1} / [T (R/I_e)]$
<i>SNI 1726:2019</i>	$C_{s,max,X}$	=	0,1158
<i>persamaan 32</i>	$C_{s,max,Y}$	=	0,0750
Batas Bawah	$C_{s,min,1}$	=	$0.044 S_{DS} I_e \geq$
<i>SNI 1726:2019</i>			0.01
<i>persamaan 34</i>		=	0,0245
Batas Bawah (dipakai jika $S_I \geq$ 0,6 g)	$C_{s,min,2}$	=	$0.5 S_I / (R/I_e)$
<i>SNI 1726:2019</i>		=	0,0226
<i>persamaan 35</i>			
Koefisien Respons	$C_{s,pakai,X}$	=	0,0696
Seismik Pakai	$C_{s,pakai,Y}$	=	0,0696
Berat Seismik Efektif	W	=	17234 kN
Gaya Geser Statik (Perhitungan manual)	V	=	$C_s \times W$
<i>SNI 1726:2019</i>	V_X	=	1199,0133 kN
<i>persamaan 30</i>	V_Y	=	1199,0133 kN
Gaya Geser Statik (output ETABS)	V_{tX}	=	1199,0133 kN
	V_{tY}	=	1199,0133 kN

Sumber : Penulis

Dari tabel 4.7 diatas, hasil analisis gaya geser (*base shear*) terdapat kecocokan yang sempurna antara hasil perhitungan manual (V_x dan V_y) dengan hasil output ETABS (V_{t_x} dan V_{t_y}). Keduanya menghasilkan angka 1.199,0133 kN. Kecocokan angka ini membuktikan bahwa input parameter beban (berat struktur) dan parameter gempa (S_{DS} , S_{D1} , R , I_e) di dalam software analisis struktur yaitu ETABS sudah benar dan sesuai dengan perhitungan manual SNI 1726-2019.

Dalam analisis respon spektrum perlu diketahui bahwa gaya geser (*base shear*) dari hasil analisis tersebut setidaknya adalah sebesar 100% dari analisis respon dinamik dari ragam pertama. Untuk output *base reaction* dari *software* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Output base reaction

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Gempa Statik X	LinStatic	Step By Step	1	-1199,0133	0	0	0	-12372,633	16787,1382
Gempa Statik X	LinStatic	Step By Step	2	-1199,0133	0	0	0	-12372,633	18134,9896
Gempa Statik X	LinStatic	Step By Step	3	-1199,0133	0	0	0	-12372,633	15439,2867
Gempa Statik Y	LinStatic	Step By Step	1	0	-1199,0133	0	12372,633	0	-10660,6492
Gempa Statik Y	LinStatic	Step By Step	2	0	-1199,0133	0	12372,633	0	-11786,8276
Gempa Statik Y	LinStatic	Step By Step	3	0	-1199,0133	0	12372,633	0	-9534,4708
Gempa Dinamik X...	LinRespSpec	Max		513,2729	41,3583	0	332,2895	5134,5873	9714,107
Gempa Dinamik Y...	LinRespSpec	Max		41,3583	621,8538	0	6163,3746	366,0786	6374,5154

Sumber : ETABS, Editor Penulis

Dari tabel 4.8 nilai hasil analisis *base reaction* diatas menunjukkan perbedaan antara nilai gaya geser gempa statik dan gaya geser dinamik, dimana nilai gaya geser gempa statik (V_s) > gaya geser gempa dinamik (V_d). Untuk penskalaan gaya gempa bisa dilihat dari tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai pengali untuk penskalaan gaya geser

Arah Gaya	Vs	V 100%	Vd	Kontrol	Faktor Pengali
				$V_d \geq V_s$ 100%	Vd/Vs
X	1199,0133	1199,0133	513,2729	NOT OK	2,34 kN
Y	1199,0133	1199,0133	621,8538	NOT OK	1,93 kN

Sumber : Penulis

Dari Tabel 4.9 didapat faktor pengali terhadap nilai gaya geser gempa dinamik. Untuk hasil dari nilai gaya geser gempa dinamik yang telah dikoreksi menggunakan nilai penskalaan, dapat dilihat pada Tabel 4.10. untuk *output base reaction* setelah penskalaan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Penskalaan gaya geser dasar

Arah Gaya	Vs	V 100%	Vd	Kontrol
				Vd ≥ Vs 100%
X	1199,0133	1199,0133	1201,0577	OK
Y	1199,0133	1199,0133	1200,1769	OK

Sumber : Penulis

Tabel 4.11 Output base reaction setelah penskalaan

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Gempa Statik X	LinStatic	Step By Step	1	-1199,0133	0	0	0	-12372,633	16787,1382
Gempa Statik X	LinStatic	Step By Step	2	-1199,0133	0	0	0	-12372,633	18134,9896
Gempa Statik X	LinStatic	Step By Step	3	-1199,0133	0	0	0	-12372,633	15439,2867
Gempa Statik Y	LinStatic	Step By Step	1	0	-1199,0133	0	12372,633	0	-10660,6492
Gempa Statik Y	LinStatic	Step By Step	2	0	-1199,0133	0	12372,633	0	-11786,8276
Gempa Statik Y	LinStatic	Step By Step	3	0	-1199,0133	0	12372,633	0	-9534,4708
Gempa Dinami...	LinRespSpec	Max		1201,0577	96,7782	0	777,5569	12014,9251	22730,993
Gempa Dinami...	LinRespSpec	Max		79,8214	1200,1769	0	11895,3035	706,5311	12302,8049

Sumber : ETABS, Editor Penulis

3. Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Story drift atau simpangan antar lantai (Δ) merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_{ijin}).

Sedangkan untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, menurut SNI 1726-2019 pasal 7.12.1.1 simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_{ijin}/ρ untuk semua tingkat. ρ harus ditentukan. Untuk mengetahui simpangan antar lantai terdapat beberapa nilai nilai yang harus disertakan, dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan untuk hasil dari pengecekan simpangan antar lantai bisa dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.13 untuk melihat perbandingan antara simpangan antar lantai X, Y dan Δ_{max}

Tabel 4.12 Simpangan antar lantai izin

Simpangan Antar lantai Izin	(Δ_{ijin})	=	0,02 h	Tabel 20 SNI 1726-2019
Faktor Redundansi	(ρ)	=	1,3	SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.2
<i>Story Drift Max</i>	(Δ_{max})	=	Δ_{ijin} / ρ	Berdasarkan kategori desain seismik D
		=	0,0154 h	

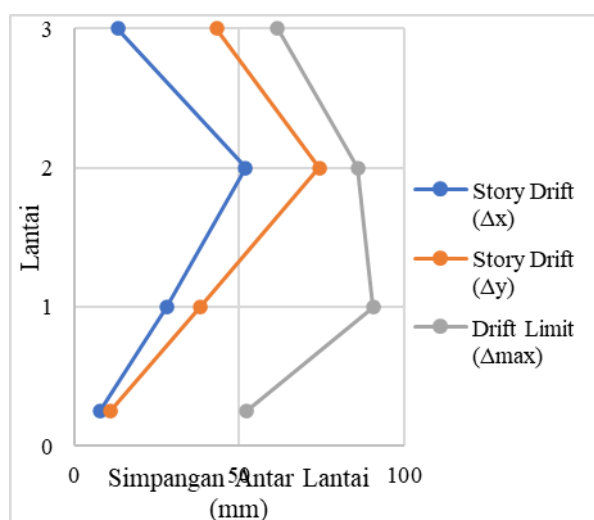
Faktor Pembesaran Defleksi	(C_d)	=	5,5	Tabel 12 SNI 1726-2019
Faktor Keutamaan Gempa	(I_e)	=	1,00	Tabel 4 SNI 1726-2019
Story Drift	(Δ)	=	$\delta * C_d / I_e$	Persamaan 44 SNI 1726-2019

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 4.13 Pengecekan simpangan antar lantai

Lantai	Displacement (Pergeseran)		Elastic Drift (Selisih Pergeseran)		h (mm)	Story Drift (Δ)		Drift Limit (Δ_{max}) (mm)	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
3	18,35 1	30,23	2,413	7,855	4000	13,27 2	43,20 3	61,538	OK
2	15,93 8	22,37 5	9,421	13,47 2	5580	51,81 6	74,09 6	85,846	OK
1	6,517	8,903	5,083	6,926	5880	27,95 7	38,09 3	90,462	OK
Bordes(+2,5m)	1,434	1,977	1,434	1,977	3380	7,887	10,87 4	52,000	OK

Sumber : Penulis



D. Analisis Kapasitas Kolom Komposit Berdasarkan Diagram Interaksi

Diagram interaksi Kapasitas kolom dianalisis berdasarkan rasio tuntutan terhadap kapasitas (*Demand/Capacity Ratio* atau *D/C Ratio*), disebut juga sebagai *P-M-M Interaction Ratio*. Dalam hal ini analisis dibantu dengan software *ETABS* untuk mengetahui gaya dalam kolom komposit di keadaan momen lentur maksimum dan minimum (M_{ux} & M_{uy}) terhadap gaya geser lateral maksimum (V_x & V_y), serta gaya tarik/tekan aksial maksimum dan minimum (P_u) yang nilai tersebut bisa dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Gaya dalam pada kolom komposit

AKSIAL - LENTUR			
KONDISI	P (kN)	Mu (kN-m)	My (kN-m)
P max	317,847	33,8741	101,2998
P min	-1652,7336	-99,392	-92,7292
Mx Max	-687,0557	533,5254	60,135
Mx Min	-718,6548	-385,1944	-100,2034
My Max	-203,2368	146,2454	561,3407
My Min	-568,8791	-115,2726	-411,6704

Sumber : *ETABS, Penulis*

Setelah didapat *output* gaya dalam kolom komposit pada *ETABS* selanjutnya adalah analisis diagram interaksi pada kolom komposit, dalam hal ini analisis dibantu dengan menggunakan *software CSICOL*.

Berdasarkan hasil analisis *output* dari *CSICOL* didapat diagram interaksi kolom yang menunjukkan dari 6 kondisi yang AMAN. pada kondisi momen lentur maksimum arah Y (My_{max}) berada diluar dari batas diagram dengan nilai rasio kapasitas maksimum adalah 1,328. Untuk *output* hasil perhitungan kapasitas kolom komposit dari *software CSICOL* dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Output hasil perhitungan kapasitas kolom komposit

	LOAD COMBINATION	LOAD, PU (KN)	MUX (KN-M)	MUY (KN-M)	MAX CAPACITY RATIO	REMARKS
1	Pmax	-317.8497	54.9971	124.9962	0.3221	OK
2	Pmin	1,652.7374	-99.4802	-93.0116	0.3444	OK
3	M2 Max	687.0431	533.5819	60.2981	0.9237	OK
4	M2 Min	718.6674	-385.2508	-100.3664	0.7661	OK
5	M3 Max	203.2368	146.2467	561.3553	1.3280	Not OK
6	M3 Min	568.8792	-115.2712	-411.6648	0.9932	OK

Sumber : CSICOL, Penulis

KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut beberapa kesimpulan yang peneliti peroleh pada hasil penelitian yang telah dilaksanakan:

1. Secara keseluruhan, struktur bangunan dinyatakan AMAN dan LAYAK, ditinjau dari aspek respons global (gaya geser dan simpangan antar lantai) terhadap beban gempa rencana sesuai standar yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1726-2019. Struktur memiliki daktilitas dan kekakuan yang memadai untuk merespons beban gempa tanpa melampaui batas izin yang ditetapkan.
2. Berdasarkan hasil analisis *output* dari CSICOL didapat diagram interaksi kolom yang menunjukkan dari 6 kondisi yang AMAN. pada kondisi momen lentur maksimum arah Y ($M_{y_{max}}$) berada diluar dari batas diagram dengan nilai rasio kapasitas maksimum adalah 1,328.

DAFTAR PUSTAKA

Ade P. A., Servie O. D., & Banu D. H. (2019). Evaluasi teknis penggunaan kolom komposit baja beton pada bangunan bertingkat banyak. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 285-290.

Alfirdaus, A. P., Dapas, S. O., & Handono, B. D. (2019). Evaluasi teknis penggunaan kolom komposit baja beton pada bangunan bertingkat banyak. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 285-290.

Atmojo, S., & Muhandhis, I. (2019). Sistem informasi geografis bencana gempa bumi dengan pendekatan PGA untuk mitigasi bencana. *Jurnal Ilmiah Edutic: Pendidikan dan Informatika*, 6(1), 10-14.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019). Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk

- Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2019). Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2020). Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B., & Supriatna, L. (2011). Studi komparasi desain bangunan tahan gempa dengan menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-2012. Bandung: Penerbit ITB.
- Computers and Structures, Inc. (2022). CSiCol: Comprehensive Column Design Software (Version 11) (Computer software). Walnut Creek, CA: Computers and Structures, Inc.
- Computers and Structures, Inc. (2024). ETABS: Integrated Building Design Software (Version 22) (Computer software). Walnut Creek, CA: Computers and Structures, Inc.
- Ge, H., & Usami, T. (1992). Strength of concrete-filled thin-walled steel box columns: Experiment. *Journal of Structural Engineering*, 118(11), 3036-3054.
- Irfan, M., & Palu, S. (2021). Studi perbaikan elemen kolom struktur bangunan gedung dengan sistem kolom komposit. *Jurnal Ilmiah Manusia Dan Kesehatan*, 4(1), 130-139.
- Kubon Tubuh, I. K. D. (2019). Studi perbandingan perilaku struktur gedung dengan kolom beton bertulang, kolom baja, dan kolom komposit. *Jurnal Bakti Saraswati (JBS): Media Publikasi Penelitian dan Penerapan Ipteks*, 8(2), 140-148.
- Kuncoro, H. B., & Budi, A. S. (2015). Analisis perbandingan perilaku struktur gedung kantor sewa di Surakarta dengan menggunakan kolom komposit dan kolom beton bertulang. *Matriks Teknik Sipil*, 3(1).
- Loh, G. H., & Fan, S. C. (2004). Design of composite columns. In *Proceedings of the Seminar on Design of Composite Structures*. Singapore: Singapore Structural Steel Society.
- Nursani, R., & Al Huseinny, M. S. (2022). Analisis perbandingan perilaku struktur gedung dengan kolom komposit dan kolom non komposit. *Jurnal Teknik Sipil*, 22(2), 175-184.
- Pamungkas, A., & Harianti, E. (2017). Struktur beton bertulang tahan gempa. Yogyakarta: Andi Offset.
- Propika, J., Fitriyah, D. K., & Septiarsilia, Y. (2020). Analisa perbandingan kolom komposit inside steel dan outside steel terhadap kapasitas tahanan aksial dan momen. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 5(2), 159–170.
- Salmon, C. G., & Johnson, J. E. (2008). *Struktur baja: Desain dan perilaku (Jilid 1)*. Erlangga.
- Setiawan, A. (2016). *Perencanaan struktur beton bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Shanmugam, N. E., & Lakshmi, B. (2001). *State of the art report on steel-concrete composite*

columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(10), 1041-1080.

Sudarmoko. (1996). *Diagram perancangan kolom beton bertulang*. Yogyakarta: Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Tjasyono, B. (2006). *Ilmu kebumihan dan antariksa*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.

Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.

Widodo. (2007). *Rekayasa gempa*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia