

IMPLEMENTASI KONSEP PBSD PADA MODIFIKASI STRUKTUR ATAS GEDUNG 4 LANTAI DI KOTA MALANG

Achmad¹, Taufiq Rochman², Bobby Asukmajaya R.³

Mahasiswa D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³.

Koresponden*, Email : achmad.touch@gmail.com¹, taufiq.rochman@polinema.ac.id², bobbyasukma@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan bencana alam yang umum terjadi hampir diseluruh dunia. Jenis bencana ini umumnya diakibatkan adanya pergerakan lapisan tanah yang disebabkan banyak faktor, salah satunya gesekan antar lempeng benua. Performance Based Seismic Design (PBSD) merupakan konsep dasar perencanaan struktur gedung tahan gempa yang didesain dengan level kerusakan. Dengan kata lain, struktur yang dirancang pasti akan mengalami kerusakan saat terjadi gempa. Konsep PBSD dinilai sebagai metode yang paling efektif dalam menanggulangi fenomena kehancuran struktur bangunan saat terjadi bencana gempa dan struktur dapat dikatakan lebih ekonomis dan lebih bersifat daktail sehingga kegagalan struktur dapat diminimalisir sekecil mungkin. Konsep PBSD yang akan diterapkan pada Gedung 4 lantai di kota Malang. Gedung akan dimodifikasi pada geometri strukturnya bertujuan mencegah rotasi pada struktur tersebut. Fungsi bangunan sebagai sekolah maka merujuk pada SNI 1726:2019 menentukan bahwa fungsi bangunan mempengaruhi tingkat risiko gempa yang terjadi dan sekolah termasuk tingkat risiko tertinggi, sebagai tambahan gempa juga diskalakan dengan gempa dinamis, sebelumnya struktur hanya dipertimbangkan hingga gempa statis. Tujuan dari skripsi ini adalah mengetahui permodelan 3D dalam mempertimbangkan kelakuan struktur, kekakuan struktur, metode CQC atau SRSS pada gaya gempa dinamik, pengecekan partisipasi massa dan pengecekan simpangan antar tingkat akibat beban gempa dan beban lainnya. Mengetahui gaya-gaya dalam yang didapat dari *software* setelah dikatakan aman dari pembebanan dan mendesain elemen struktur dengan acuan $R_u \leq \phi \times R_n$ untuk mendapatkan dimensi yang digunakan pada struktur atas dan bawah. Diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut : Dimensi B1 30/60 cm dan Tie beam dengan tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 3D19. B2 25/30 cm dengan tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19. B3 30/40 cm dengan tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19. Pelat lantai tebal 125 mm dengan tulangan lentur arah x dan y Ø10 – 150 mm, pada tulangan susut arah x dan y Ø8 – 150 mm. Pelat atap tebal 100 mm dengan tulangan lentur arah x Ø8 – 150 mm, tulangan lentur arah y Ø8 – 100 mm, pada tulangan susut arah x dan y Ø6 – 150 mm. Pelat tangga tebal 150 mm dengan tulangan lentur arah x Ø10 – 200 mm dan tulangan lentur arah y Ø10 – 250 mm. K1 dengan tulangan 12D19. Pilecap tebal 500 mm dengan tulangan lentur atas arah x dan y D10 – 100 mm dan tulangan lentur bawah arah x dan y D16 – 100 mm. Tiang Borepile dengan dimensi 40 cm dengan jumlah tulangan 6D13. Struktur atas dikatakan translasi pada kedua arah sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.7.3, kekakuan dan kelakuan sesuai peraturan SNI 1726:2019 dan Simpangan antar tingkat 56,25 mm (Simpangan Izin) > 27,9 mm (Simpangan terbesar terjadi) maka dikatakan aman.

Kata kunci : Etabs; PBSD; Gempa Dinamik.

ABSTRACT

Earthquakes are natural disasters that commonly occur almost throughout the world. This type of disaster is generally caused by movement of soil layers caused by many factors, one of which is friction between continental plates. Performance Based Seismic Design (PBSD) is a basic concept for planning earthquake-resistant building structures that are designed with damage levels in mind. In other words, the designed structure will definitely experience damage when an earthquake occurs. The PBSD concept is considered to be the most effective method in overcoming the phenomenon of destruction of building structures during an earthquake disaster and the structure can be said to be more economical and more ductile so that structural failure can be minimized as little as possible. The PBSD concept will be applied to a 4-story building in the city of Malang. The building will be modified in its structural geometry to prevent rotation of the structure. The function of the building as a school refers to SNI 1726:2019 which determines that the function of the building influences the level of earthquake risk that occurs and schools

are included in the highest risk level. In addition, earthquakes are also scaled with dynamic earthquakes, previously structures were only considered for static earthquakes. The aim of this thesis is to understand 3D modeling in considering structural behavior, structural stiffness, CQC or SRSS methods on dynamic earthquake forces, checking mass participation and checking deviations between levels due to earthquake loads and other loads. Knowing the internal forces obtained from the software after it is said to be safe from loading and designing structural elements with reference to $R_u \leq \phi \times R_n$ to obtain the dimensions used in the upper and lower structures. The following calculation results were obtained: Dimensions B1 30/60 cm and Tie beam with 4D19 tensile reinforcement and 3D19 compression reinforcement. B2 25/30 cm with 3D19 tensile reinforcement and 2D19 compression reinforcement. B3 30/40 cm with 3D19 tensile reinforcement and 2D19 compression reinforcement. The floor plate is 125 mm thick with flexural reinforcement in the x and y directions $\phi 10 - 150$ mm, in the x and y direction shrinkage reinforcement $\phi 8 - 150$ mm. The roof plate is 100 mm thick with flexural reinforcement in the x direction $\phi 8 - 150$ mm, flexural reinforcement in the y direction $\phi 8 - 100$ mm, in the x and y direction shrinkage reinforcement $\phi 6 - 150$ mm. The ladder plate is 150 mm thick with flexural reinforcement in the x direction $\phi 10 - 200$ mm and flexural reinforcement in the y direction $\phi 10 - 250$ mm. K1 with reinforcement 12D19. Pilecap 500 mm thick with upper flexible reinforcement in the x and y directions D10 - 100 mm and lower flexible reinforcement in the x and y directions D16 - 100 mm. Borepile pole with dimensions of 40 cm with 6D13 reinforcement. The upper structure is said to be translational in both directions in accordance with SNI 1726:2019 article 7.7.3, stiffness and behavior are in accordance with SNI 1726:2019 regulations and the deviation between levels is 56.25 mm (Permitting Deviation) > 27.9 mm (The largest deviation occurs) then it is said safe.

Keywords : Etab; PBSB; Dynamic Earthquake.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Gedung Madrasah Ibtidaiyah (MI) Manarul Islam Malang merupakan lembaga pendidikan tingkat dasar yang berciri khas Agama Islam yang diselenggarakan oleh Yayasan Amal Shaleh Malang (YASMA) dalam naungan Kementerian Agama (Kemenag) Republik Indonesia. Gedung Madrasah Ibtidaiyah (MI) Manarul Islam Malang pada perencanaannya dibangun 5 lantai dan 1 *Basement*, serta struktur tidak hanya beton tetapi juga menggunakan struktur baja yang digabung dengan beton (komposit) dan pada bagian atap struktur menggunakan baja ringan, gedung tersebut memiliki 3 gedung yang berbeda yaitu Gedung A,B dan C. Struktur pada pembebanan khususnya pada beban gempa dianalisa menggunakan gempa statik saja.

Dalam buku Handbook Analisa dan Desain Shear Wall yang ditulis oleh Dr. Yudha Lesmana, Gempa bumi merupakan bencana alam yang umum terjadi hampir diseluruh dunia. Jenis bencana ini umumnya diakibatkan adanya pergerakan lapisan tanah yang disebabkan banyak faktor, salah satunya gesekan antar lempeng benua. Melihat dari sudut yang lebih luas dengan mengutip dari buku Dr. Yudha Lesmana dalam judul Handbook Prosedur Analisa Beban Gempa Stuktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1726:2019 sejarahnya FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) dibentuk dengan tujuan untuk persiapan, pencegahan dan pemulihan kondisi pasca bencana baik berupa bencana alam ataupun bencana yang diakibatkan oleh ulah manusia (teror). Tujuan pembentukan FEMA oleh presiden Jimmy Carter salah satunya didasari oleh fenomena banyaknya gedung yang hancur saat terjadi gempa. Sehingga Pemerintah amerika menilai perlu dilakukan evaluasi terhadap konsep desain struktur yang digunakan pada saat itu. Konsep selanjutnya

yang dikembangkan oleh FEMA dikenal dengan PBSB (*Performance Based Seismic Design*) , PBSB merupakan konsep dasar perencanaan struktur gedung tahan gempa yang didesain dengan level kerusakan tertentu sesuai dengan level gempa yang direncanakan. Konsep PBSB dinilai sebagai metode yang paling efektif dalam menanggulangi fenomena kehancuran struktur bangunan saat terjadi bencana gempa dan struktur dapat dikatakan lebih ekonomis dan lebih bersifat daktail.

Penelitian ini menggunakan konsep PBSB yang akan diterapkan pada Gedung 4 lantai dikota Malang. Gedung akan dimodifikasi pada geometri strukturnya bertujuan mencegah rotasi pada struktur tersebut. Karena fungsi bangunan sebagai sekolah, SNI 1726:2019 menentukan bahwa fungsi bangunan mempengaruhi tingkat risiko gempa yang terjadi dan sekolah termasuk tingkat risiko tertinggi, sebagai tambahan gempa juga diskalakan dengan gempa dinamis dengan memperhatikan dan meninjau kelakuan struktur, kekakuan struktur, metode CQC atau SRSS pada gaya gempa dinamik, pengecekan partisipasi massa dan pengecekan simpangan antar tingkat yang merujuk pada SNI 1726:2019.

Tujuan dari pengangkatan judul skripsi ini antara lain Mengetahui hasil permodelan 3D dalam mempertimbangkan kelakuan struktur, kekakuan struktur, metode CQC atau SRSS pada gaya gempa dinamik, pengecekan partisipasi massa dan pengecekan simpangan antar tingkat akibat beban gempa dan beban lainnya. Mengetahui gaya-gaya dalam struktur atas yang didapat dari *software* setelah dikatakan aman dari pembebanan lalu ditinjau dengan perhitungan setiap elemen $R_u \leq \phi \times R_n$ untuk mendapatkan dimensi dan penulangan yang digunakan. Mengetahui gaya-gaya dalam

struktur bawah yang didapat dari *software* setelah dikatakan aman dari pembebanan lalu ditinjau dengan perhitungan setiap elemen $R_u \leq \phi \times R_n$ untuk mendapatkan dimensi dan penulangan yang digunakan.

Adapun penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi masyarakat luas ialah menambah wawasan bagaimana dalam memodelkan struktur menggunakan konsep PBSK, terlebih bagi para praktisi, perencana dan konsultan di proyek bangunan gedung dalam menghasilkan rancangan yang kokoh. Manfaat penelitian ini bagi akademik ialah menambah referensi untuk membuat suatu penelitian yang berkaitan dengan pembahasan PBSK lebih baik khususnya pada sistem struktur SPRMK.

2. METODE

Pembebanan

Pembebanan dibagi menjadi 4 antara lain yaitu, Beban Gravitasi, Angin, Gempa dan Kombinasi beban.

1) Beban Gravitasi

Pembebanan gravitasi yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan SNI 1727:2020, yaitu Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

2) Beban Angin

Beban Angin pada bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh Komponen dan Klading (K&K) gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut SNI 1727:2020 pada Pasal 26 sampai Pasal 31.

3) Beban Gempa

SNI 1726:2019 adalah rujukan utama untuk menentukan beban gempa pada penelitian ini. Beban gempa mencakup beban gempa statik dan dinamik.

4) Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan dasar berlandaskan pada kombinasi beban metode ultimit merujuk SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2.1. Kombinasi beban metode ultimit untuk penelitian ini sebagai berikut :

- | | |
|---|-----|
| 1,4D | (1) |
| 1,2D+1,6L+0,5 (L_r atau R) | (2) |
| 1,2D+1,6L (L_r atau R) + (L atau 0,5 W) | (3) |
| 1,2D+1W+L+0,5 (L_r atau R) | (4) |
| 0,9D + 1W | (5) |
| 1,2D + E_v + E_h + L | (6) |
| 0,9D - E_v + E_h | (7) |

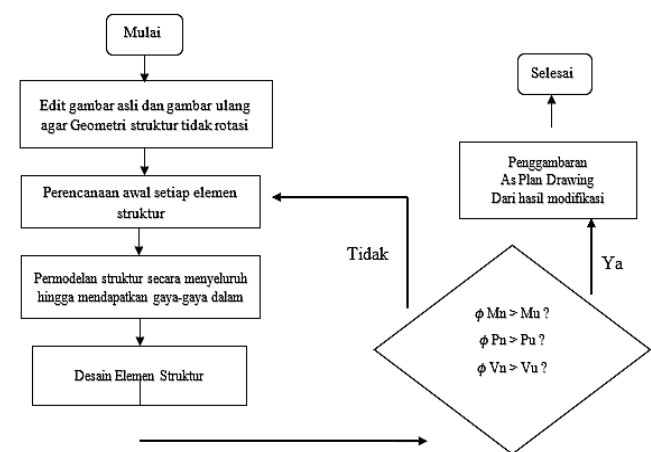
Kombinasi beban dengan metode ultimit maka E_v dan E_h dijelaskan lebih pada pasal 7.4.2.1 & 7.4.2.2 SNI 1726:2019.

Analisa Dimensi Penampang efek Pembebanan

Penampang sebelum dianalisa maka dilakukan *Preliminary Design* pada setiap penampang yang mengacu pada SNI 2847:2019. Modelling struktur mengacu terhadap beberapa buku teknik sipil serta peraturan lainnya. Analisa dilakukan dengan langkah berikut.

- 1) Pengecekan Kelakuan Struktur
- 2) Pengecekan Kekakuan Struktur
- 3) Penentuan metode CQC atau SRSS pada Gempa Dinamik
- 4) Redudansi
- 5) Penskalaan Gaya Dinamik terhadap Gaya Statik
- 6) Pengecekan Partisipasi Massa
- 7) Pengecekan Simpangan antar Tingkat

Berikut adalah gambar diagram alir penelitian ini.



Gambar 2. 1 diagram alir analisa gempa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perencanaan

Data perencanaan gedung sebagai berikut :

Fungsi bangunan	: Sekolah
Lokasi	: Kota Malang, Jawa Timur
Jumlah Lantai	: 4 Lantai
Sistem Struktur	: SPRMK
Tinggi total bangunan	: 15 m
Tinggi setiap Lantai	: 3,75 m
Luas Bangunan	: 2048 m ²
(f_c') Struktur Atas	: 25 MPa
(f_c') Struktur Bawah	: 30 MPa
Mutu baja (f_y)	: 420 MPa

Preliminary Design

Perencanaan awal untuk dimensi mengacu pada SNI 2847:2019. Balok 1 (B1) memiliki bentang 8 m, $8 / 16 = 0,5$ m atau 50 cm, B1 ditentukan tingginya (h) 60 cm. Dan lebar (b_w) pakai 30 cm. Balok 2 (B2) memiliki bentang 4 m, $4 / 16$

= 0,25 m atau 25 cm, B2 ditentukan tingginya (h) 30 cm. Dan lebar (b_w) pakai 25 cm. Pelat lantai didefinisikan sebagai pelat 2 arah karena dianggap bentang panjang / bentang pendeknya ≤ 2 . tebal minimal pelat 2 arah ditentukan dengan rumus $l_n / 33$. l_n adalah jarak bentang bersih memanjang, ditentukan sepanjang 4000 mm, $4000/33 = 121,22$ mm. Pada pasal 8.3.1.1 SNI 2847:2019 diatur bahwa tebal minimal pada pelat tanpa drop panel adalah 125 mm. Karena perhitungan kurang dari 125 maka ditentukan 125 mm untuk tebal pelat. Perencanaan awal kolom ditentukan dengan rumus $A_g = P_u / 0.35 \cdot f_c'$, P_u diambil dari perhitungan *software* yaitu 1.758 kN = 1.758.000 N. $f_c' = 25$ MPa, $A_g = 1.758.000 / 0.35 \cdot 25 = 200.914$ mm, $\sqrt{200.914} = 448$ mm. Digenapkan menjadi 500 mm = 50 x 50 cm.

Pembebanan

1) Beban Gravitasi

Beban Gravitasi dibagi menjadi 2 yaitu DL dan SIDL, DL telah dihitung oleh *Software* secara otomatis dan SIDL dihitung secara manual tanpa bantuan *software*.

Tabel 3. 1 Beban Mati tambahan (SIDL)

Sumber : Hasil Perhitungan

Beban (SIDL) pelat tangga sebesar 1,1 kN/m². Beban (LL)

Lantai 2 - 4		Lantai Atap	
Komponen	Beban (kN/m ²)	Komponen	Beban (kN/m ²)
Plafond	0,05	Plafond	0,05
Penggantung	0,10	Penggantung	0,10
ME	0,19	ME	0,19
Keramik	1,10	Waterproofing	0,05
Total	1,44	Total	0,39

pelat lantai 2 – 4 yaitu, ruang kelas dan toilet 1,92 kN/m² dan koridor 3,83 kN/m². Beban (LL) pelat atap 0,96 kN/m² dan Beban (LL) pada tangga ditentukan sebesar 4,79 kN/m².

2) Beban Angin

Beban angin dirangkum dengan hasil sebagai berikut, beban angin mengacu pada SNI 1727:2020 pasal 26-31 dan penentuan kecepatan angin dasar mengacu pada SNI 03-1727-1989. perhitungan P desain yang siap diinput pada *software* pada lantai 1. P desak dan Hisap pada satuan kN/m di dapat dari P desak dan Hisap dalam satuan kN/m² yang dikalikan dengan panjang tributari.

Tabel 3. 2 Perhitungan Beban Angin dan input Tekanan Angin Desain (P)

Arah X						
Lantai	P desak kN/m ²	P hisap kN/m ²	Kolom	Panjang Tributari (m)	P desak kN/m	P hisap kN/m
Lantai 1	0,084	-0,041	X1	2	0,168	-0,082
			X2	4	0,336	-0,165
			X3	4	0,336	-0,165
			X4	4	0,336	-0,165
			X5	2	0,168	-0,082
Arah Y						
Lantai	P desak kN/m ²	P hisap kN/m ²	Kolom	Panjang Tributari (m)	P desak kN/m	P hisap kN/m
Lantai 1	0,084	-0,013	Y1	2	0,168	-0,025
			Y2	4	0,336	-0,050
			Y3	4	0,336	-0,050
			Y4	4	0,336	-0,050
			Y5	4	0,336	-0,050
			Y6	4	0,336	-0,050
			Y7	4	0,336	-0,050
			Y8	4	0,336	-0,050
			Y9	2	0,168	-0,025

Sumber : Hasil Perhitungan

3) Beban Gempa

Dalam menentukan beban gempa merujuk pada SNI 1726:2019 dalam tahap input ke *software* serta dalam tahap analisa geometri struktur.

a) Menentukan Risiko Gempa & Faktor keutamaan gempa.

Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan di kategorikan sebagai risiko ke IV, Faktor Keutamaan Gempa (I_e) didapat 1,5.

b) Menentukan Klasifikasi Situs.

Klasifikasi Situs ditentukan SE merujuk pada SNI 1726:2019 pasal 5.1.

- c) Menentukan koefisien – koefisien situs dan parameter – parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER)

didapat dari Respon Spectra sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS &= 0,8732 \text{ g} & S1 &= 0,408 \text{ g} \\ Fa &= 1,201 & Fv &= 2,384 \\ Sms &= 1,049 \text{ g} & Sm1 &= 0,973 \text{ g} \\ TL &= 20 \text{ detik.} \end{aligned}$$

- d) Menentukan parameter percepatan spektral desain

$$SDS = \frac{2}{3} \cdot Sms = \frac{2}{3} \cdot 1,049 = 0,699 \text{ g.}$$

$$SD1 = \frac{2}{3} \cdot Sm1 = \frac{2}{3} \cdot 0,973 = 0,6484 \text{ g.}$$

- e) Menentukan Kategori desain seismik

Nilai SDS $0,50 \leq 0,699$, maka KDS diambil D

Nilai SD1 $0,20 \leq 0,6484$, maka KDS diambil D

Maka KDS ditentukan D.

- f) Menentukan Sistem Pemikul Gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya seismik ditentukan berdasarkan KDS, Sistem Pemikul Gaya seismik ditentukan SPRMK. $R = 8$, $\Omega_0 = 3$ dan $C_d = 5,5$.

- g) Penentuan batasan (T) Periode Fundamental pada geometri struktur.

Untuk mendapatkan batasan tersebut maka harus menghitung batasan bawah dan batasan atas.

$$\text{Batas bawah/Ta} = 0,652 \text{ detik.}$$

$$\text{Batas atas/Cu.Ta} = 0,912 \text{ detik.}$$

- 4) Kombinasi Beban

Kombinasi beban pada penelitian yang membahas struktur atas ditentukan kombinasi beban ultimit sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 pasal 4.2.2.1. kombinasi beban pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.- LRFD 1-1 (1,4.DL+1,4.SIDL)
- 2.- LRFD 2-1 (1,2.DL+1,2.SIDL+1,6.LL+0,5.LR)
- 4.- LRFD 3-1 (1,2.DL+1,2.SIDL+1.LL+1,6.LR)
- 5.- LRFD 3-2 (1,2.DL+1,2.SIDL+1,6.LR+0,5.Wx)
- 6.- LRFD 3-3 (1,2.DL+1,2.SIDL+1,6.LR+0,5.Wy)
- 7.- LRFD 3-4 (1,2.DL+1,2.SIDL+1,6.LR+0,375.Wx+0,375.Wy)
- 12.- LRFD 4-1 (1,2.DL+1,2.SIDL+1.LL+0,5.LR+1.Wx)
- 13.- LRFD 4-2 (1,2.DL+1,2.SIDL+1.LL+0,5.LR+1.Wy)
- 14.- LRFD 4-3 (1,2.DL+1,2.SIDL+1.LL+0,5.LR+0,75.Wx+0,75.Wy)
- 18.- LRFD 5-1 (0,9.DL+0,9.SIDL+1.Wx)
- 19.- LRFD 5-2 (0,9.DL+0,9.SIDL+1.Wy)
- 20.- LRFD 5-3 (0,9.DL+0,9.SIDL+0,75.Wx+0,75.Wy)
- 21.- LRFD 6-1 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+1,3.Rsx+0,39.Rsy)
- 22.- LRFD 6-2 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+1,3.Rsx+(-0,39.Rsy))

Mode	period	SumUX	SumUY
Mode 11	0,080	0,9992	0,9992
Mode 12	0,074	0,9992	0,9992

- 23.- LRFD 6-3 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+(-1,3.Rsx)+0,39.Rsy)
- 24.- LRFD 6-4 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+(-1,3.Rsx-0,39.Rsy))
- 25.- LRFD 6-5 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+0,39.Rsx+1,3.Rsy)
- 26.- LRFD 6-6 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+(-0,39.Rsx)+1,3.Rsy)
- 27.- LRFD 6-7 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+0,39.Rsx+(-1,3.Rsy))

- 28.- LRFD 6-8 (1,3399.DL+1,3399.SIDL+1.LL+(-0,39.Rsx-1,3.Rsy))
- 29.- LRFD 7-1 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+1,3.Rsx+0,39.Rsy)
- 30.- LRFD 7-2 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+1,3.Rsx+(-0,39.Rsy))
- 31.- LRFD 7-3 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+(-1,3.Rsx)+0,39.Rsy)
- 32.- LRFD 7-4 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+(-1,3.Rsx-0,39.Rsy))
- 33.- LRFD 7-5 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+0,39.Rsx+1,3.Rsy)
- 34.- LRFD 7-6 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+(-0,39.Rsx)+1,3.Rsy)
- 35.- LRFD 7-7 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+0,39.Rsx+(-1,3.Rsy))
- 36.- LRFD 7-8 (0,7601.DL+0,7601.SIDL+(-0,39.Rsx-1,3.Rsy))

Analisa Penampang Terhadap Pembebanan

- 1) Penskalaan gaya dinamik terhadap gempa statik.

Tabel 3. 3 Base Shear Setelah diskalakan

Output Case	Case Type	Fx (kN)	Fy (kN)
Sx	LinStatic	2243,5	0
Sy	LinStatic	0	1495,7
RSx	LinRespSpec	2246,8	37,5
RSy	LinRespSpec	31,2	1839,6

Sumber : Hasil Perhitungan

- 2) Pengecekan Kelakuan Struktur

Mode 1 dianggap translasi ke arah Y, karena Rz hanya 2% dan UX tidak sampai 1% dan UY 79%. Mode 2 dianggap translasi ke arah X, karena Rz hanya 1% dan UY tidak sampai 1% dan UX 81%. Maka struktur dianggap Translasi pada arah x dan y dan rotasi pada mode 3 yaitu sebesar 79%.

Tabel 3. 4 Kelakuan struktur pada mode 1,2 dan 3

Mode	Periode	UX	UY	RZ
Mode 1	0,723	0,0004	0,7976	0,0237
Mode 2	0,689	0,8167	0,0014	0,0096
Mode 3	0,689	0,0106	0,0227	0,7946

Sumber : Hasil Perhitungan

- 3) Pengecekan Kekakuan Struktur

Untuk pengecekan Kekakuan struktur dibatasi oleh Ta dan Cu.Ta ditentukan yaitu :

$$\text{Batas bawah (Ta)} = 0,652 \text{ detik.}$$

$$\text{Batas atas (Cu x Ta)} = 0,912 \text{ detik.}$$

Pada mode 1 dan 2 merujuk pada tabel 3.4 dinyatakan periode ialah 0,723 dan 0,689.

- 4) Pengecekan Partisipasi Massa

Sesuai pasal 7.9.1.1 bahwa partisipasi massa mendapatkan 100 %, tetapi juga di izinkan paling sedikit 90% dari masing-masing arah horizontal atau x dan y dari respon yang ditinjau oleh model.

Tabel 3. 5 Partisipasi Massa hasil analisa Software Etabs

Sumber : Hasil Perhitungan

- 5) Pengecekan Simpangan Antar Tingkat

Rujukan simpangan antar tingkat yaitu pada pasal 7.8.6 SNI 1726:2019. Simpangan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\Delta_{atap\ x} = \delta_{atap} - \delta_4 \cdot \frac{cd}{le} = 26,602 - \delta_4 \cdot \frac{5,5}{1,5} = 15,382 \text{ mm.}$$

Perhitungan Secara keseluruhan ditabelkan pada tabel berikut.

Tabel 3. 6 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Tingkat

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Δ_x (mm)	Δ_a (mm)	Ok/ NO	Δ_y (mm)	Δ_a (mm)	Ok/ NO
Lantai Atap	15,4	56,25	Ok	16,95	56,25	Ok
Lantai 4	26,3	56,25	Ok	27,98	56,25	Ok
Lantai 3	33,3	56,25	Ok	34,67	56,25	Ok
Lantai 2	22,7	56,25	Ok	22,9	56,25	Ok
Lantai 1	0	56,25	Ok	0	56,25	Ok

Sumber : Hasil Perhitungan

Simpangan Antar tingkat tertinggi dari kedua arah adalah 34,67 mm dan batas izin yaitu 56,25 maka dikatakan sangat aman.

Desain Elemen Struktur Atas

Desain elemen Struktur atas dibagi menjadi 3 bagian yaitu, Balok, Pelat dan kolom.

1) Desain elemen balok

Tabel 3. 7 Tulangan utama balok

Balok type	Lapangan		Tumpuan	
	Tul Atas	Tul bawah	Tul Atas	Tul bawah
B1 (30/60)	2D19	3D19	4D19	2D19
B2 (25/30)	2D19	2D19	4D19	2D19
B3 (30/40)	2D19	2D19	3D19	2D19

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3. 8 Tulangan geser balok

Balok type	Lapangan	Tumpuan
B1 & TB (30/60)	D10-100 mm	D10-100 mm
B2 (25/30)	D10-100 mm	D10-75 mm
B3 (30/40)	D10-150 mm	D10-75 mm

Sumber : Hasil Perhitungan

2) Desain elemen pelat lantai

Tabel 3. 9 Tulangan utama pelat

Tipe pelat	arah	diameter dan jarak	Tulangan susut
P.125 mm	x	P10-150 mm	P8-150 mm

P.100 mm	y	P10-150 mm	P8-150 mm
	x	P8-150 mm	P6-150 mm
	y	P8-100 mm	P6-150 mm
P. Tangga	x	P10-250 mm	-
	y	P10-200 mm	-

Sumber : Hasil Perhitungan

3) Desain Elemen Kolom

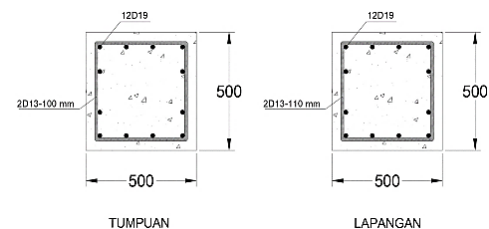
Berikut data yang digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan kolom:

f_c'	: 25 MPa
f_y	: 420 MPa
h (tinggi)	: 500 mm
b (lebar)	: 500 mm
d' (selimut beton):	40 mm
d (tinggi efektif)	: 500-40 = 460 mm
β_1	: 0,85
ρ min	: 0,01
ρ max	: 0,08
L kolom	: 3750 mm

Tabel 3. 10 Tulangan utama dan geser kolom

Dimensi	Tul utama	Tul geser	
		Tumpuan (mm)	Lapangan (mm)
50/50 cm	12D19	2D13-100	2D13-110

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 3. 1 Detail tulangan tumpuan dan lapangan kolom

Desain Elemen Struktur bawah

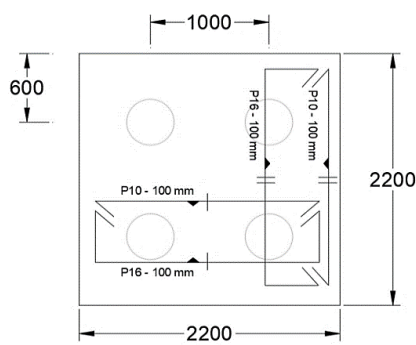
1) Desain Elemen Pilecap

Pilecap didesain dengan menggunakan metode cangkang, dikarenakan pelat mengalami tekan dan tarik. Maka tulangan pada pilecap didesain mempertimbangkan tulangan tekan (Cs), dapat disimpulkan sebagai tabel berikut.

Tabel 3. 11 Tulangan pilecap

Letak tul	diameter dan jarak
T atas	P10-100 mm
T bawah	P16-100 mm

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 3. 2 Detail tulangan pilecap

2) Desain tiang/pile

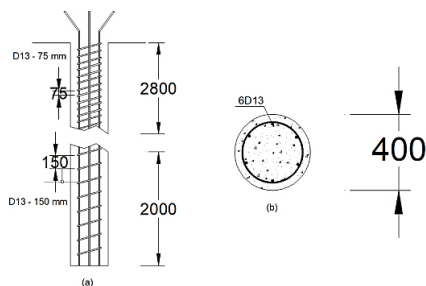
Berikut data yang digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan tiang:

f'_c	: 30 MPa
f_y	: 420 MPa
Diameter tiang	: 400 mm
d' (selimut beton):	75 mm
d (tinggi efektif)	: $400 - 75 = 325$ mm
β_1	: 0,836
Panjang plastis	: 2800 mm
Panjang plastis	: 2000 mm
Panjang tiang	: 4800 mm

Tabel 3. 12 Tulangan utama dan geser tiang

Diameter	Tul utama	Tul geser	
		Plastis (mm)	Non Plastis (mm)
40 cm	6D13	D13-75	D13-150

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 3. 3 Detail penulangan tiang Borepile

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Analisa dari *software* terhadap pembebanan sebagai berikut :

a) Struktur mengalami Translasi pada kedua arah ortogonal.

b) Pada Mode 1 Periode waktu (T) 0,723 detik dan pada Mode 2 Periode waktu (T) 0,689 detik.

c) Simpangan antar tingkat pada struktur 56,25 mm (Simpangan Izin) > 27,9 mm (Simpangan terbesar terjadi).

2. Hasil Perhitungan Struktur atas setelah mendesain penulangan sebagai berikut :

a) Balok 30/60 cm pada tumpuan tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19. Tulangan sengkang pada tumpuan 2D10-100 mm dan 2D10-150 mm.

b) Balok 25/30 cm pada tumpuan tulangan tarik 3D19, dan tulangan tekan 2D19 mm. Tulangan sengkang pada tumpuan 2D10-65 mm dan lapangan 2D10- 100 mm.

c) Balok 30/40 cm pada tumpuan tulangan tarik sejumlah 3D19 mm, dan tulangan tekan 2D19 mm. Tulangan sengkang pada tumpuan 2D10-75 mm dan lapangan 2D10-150 mm.

d) Kolom 50/50 cm dengan jumlah tulangan 12D19. Tulangan sengkang pada tumpuan memiliki 2D13-100 mm dan lapangan 2D13-110 mm.

e) Pelat lantai 2-4 tebal pelat 125 mm. Tulangan lentur P10-150 mm, tulangan susut P8-150 mm.

f) Pelat atap tebal pelat 100 mm. Penulangan pelat lantai arah x P8-150 mm dan arah y P8-100 mm, tulangan susut P6-150 mm.

g) Pelat tangga tebal pelat 150 mm. Penulangan pelat lantai arah x P10-200 mm dan arah y P10 mm-250 mm.

3. Hasil Perhitungan Struktur bawah setelah didesain penulangan sebagai berikut :

a) Pilecap tebal 0,8 m dimensi lebar dikali panjang 2,2 m, memiliki 4 tiang dengan jarak 1 m pada as tiang, as tiang terhadap ujung pilecap memiliki ukuran 0,6 m.

b) Penulangan *Pilecap* arah x dan y mengalami persamaan yang membedakan adalah tulangan atas dan bawah. Tulangan atas P10-100 mm dan tulangan bawah 16-100 mm. Mutu beton 30 MPa dan mutu tulangan 420 MPa.

c) Struktur tiang / *borepile* memiliki ukuran diameter 40 cm, jumlah tulangan 6D13. Tulangan sengkang pada zona plastis D13-75 mm dan non plastis D13-150 mm. Mutu beton 30 MPa dan mutu tulangan 420 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifi, Ev & Setyowulan, D 2020, *Perencanaan Struktur Baja Berdasarkan SNI 1729:2020*, UB Press, Malang.
- [2] Lesmana, Y 2020, *Handbook Analisa dan Desain Sheer Wall Beton Bertulang Dual System Berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019 Edisi pertama*, Nas Media Pustaka, Makassar.

- [3] Lesmana, Y 2020, *Handbook Prosedur Analisa Beban Gempa Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan 1726-2019 Edisi pertama*, Nas Media Pustaka, Makassar.
- [4] Lesmana, Y 2020, *Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2019 Edisi pertama*, Nas Media Pustaka, Makassar.
- [5] Sholeh, M.N 2022, *Struktur Bangunan Tahan Gempa Memahami Bencana Alam dan Rekayasa Bangunan lebih Aman di Indonesia*, Pustaka Pranala, Yogyakarta.
- [6] Lesmana, Y 2020, *Handbook Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang (SRPMB, SRPMM, SRPMK) Berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019 Edisi pertama*, Nas Media Pustaka, Makassar.
- [7] BSN 2020, *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*, www.bsn.go.id, Jakarta.
- [8] BSN, *SNI 03-1727:1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung Standar Nasional Indonesia*, www.bsn.go.id.
- [9] BSN 2019, *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)*, www.bsn.go.id, Jakarta.
- [10] BSN 2017, *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*, www.bsn.go.id, Jakarta.
- [11] BSN 2012, *SNI 1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, www.bsn.go.id, Jakarta.
- [12] BSN 2019, *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, www.bsn.go.id, Jakarta.
- [13] FEMA 273 1997, *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA Publication 273)*, Washington, D.C.
- [14] BSN 2017, *SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton*, www.bsn.go.id, Jakarta.
- [15] PUPR 2017, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Bandung.
- [16] PUPR 2017, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Bandung.
- [17] Bagio, T.H & Tavio 2022, *Desain Komponen Struktur Beton Bertulang Lanjut*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [18] Suseno, H 2020, *Analisis Pelat Elastis*, Universitas Negeri Malang, Malang.
- [19] Pamungkas, A 2023, *Desain Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Etabs versi 18.1.1 sesuai SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019*, UB Press, Malang.
- [20] Pamungkas, A 2021, *Contoh Laporan Struktur Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK) sesuai SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019*, DeePublish, Sleman.
- [21] PUPR 2019, *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*, Jakarta.
- [22] Lim, E., Imran, I., & Hendrik, F 2024, *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*, Penerbit ITB Press, Bandung.
- [23] Tavio & Christianto, D 2022, *Persyaratan Kode Bangunan Gedung untuk Beton Struktural (ACI 318I-19) dan Penjelasan tentang Persyaratan kode Bangunan Gedung untuk Beton Struktural (ACI 318RI-19)*, Penerbit Deepublish, Surabaya.