

PERENCANAAN UPPER STRUCTURE PADA HIGH RISE BUILDING YANG BERLOKASI DI TEPI PANTAI
DENGAN MENGGUNAKAN DUAL SYSTEM

Jeply Murdianan Guci¹, Rully Angraeni Safitri², Sherena Donna Bella³

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang

Jl. Perintis Kemerdekaan I No.33 Cikokol Tangerang

*Co Responden Email: jeply.murdianan@ft-umt.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di Asia Tenggara yang sedang mengalami perkembangan pesat dalam bidang infrastruktur karena seiring bertambahnya pertumbuhan populasi di Indonesia. Indonesia sendiri berada pada wilayah yang dilewati oleh dua jalur Gunung Api yang membentang sepanjang Asia-Pasifik yang disebut dengan Ring of Fire, oleh karena itu pada saat ini Indonesia sering dilanda oleh bencana alam berupa Gempa Bumi disetiap wilayah dalam kurun waktu yang berdekatan yang mengakibatkan rusaknya beberapa infrastruktur yang ada. Karena hal itulah banyak perusahaan konstruksi sedang berlomba - lomba dalam membangun bangunan Horizontal atau High Rise Building. Oleh karena itu diperlukan standarisasi nasional disetiap perancangannya yaitu dengan menerapkan aturan pada SNI 1726-2019 yang merupakan pedoman standarisasi untuk bangunan tahan gempa. Untuk merencanakan suatu bangunan tinggi (High Rise Building) yang diperuntukkan pada struktur atas bangunan dengan 13 lantai yaitu menggunakan Dual System (Wall-Frame System). Dibutuhkan beberapa tahapan perencanaan struktur agar tercapainya bangunan yang aman dari bahaya akibat gempa.

Kata Kunci: Struktur Bangunan Tinggi, Highrise Building, Dual System, Sistem Ganda, Gempa, Struktur Atas, Ring of Fire, Indonesia

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di Asia Tenggara dengan luas wilayah daratan sekitar 1.910.931 Km² (Sumber: Data BPS tahun 2014) dan luas wilayah lautan sekitar 3.273.000 Km² (Sumber: Data BPS tahun 2014) yang sedang mengalami perkembangan pesat dalam bidang infrastruktur karena dengan seiring bertambahnya pertumbuhan populasi penduduk di Indonesia yang mencapai 270.2 juta jiwa (Sumber: BPS pada September 2020).

Namun kendala yang akhir – akhir ini sedang terjadi ialah bencana alam seperti beberapa Gunung Berapi yang meletus dalam kurun waktu yang bersamaan, Gempa Bumi yang sedang melanda disetiap wilayah yang mengakibatkan rusaknya beberapa infrastruktur. Dari segi bentuk kontur Bumi, Indonesia merupakan daerah yang dilewati oleh dua jalur Gunung Berapi besar dunia dan beberapa jalur pegunungan lipatan dunia yang saling bertemu. Deretan – deretan Gunung Api yang membentang sepanjang Asia-Pasifik disebut dengan Ring of Fire atau Deret Sirkum Pasifik. Wilayah di Indonesia yang berada pada Fore Arc Zone antara lain seperti pesisir Selatan Jawa, dan pesisir pantai Utara Papua adalah wilayah yang sering mengalami aktifitas

patahan aktif atau Gempa Bumi yang bisa menyebabkan terjadi Tsunami.

Dengan semakin bertambahnya populasi dan semakin berkurangnya lahan yang akan digunakan, maka banyak perusahaan konstruksi berlomba dalam membangun bangunan Horizontal atau High Rise Building. Oleh karena itu dalam prosesnya diperlukan standarisasi nasional yaitu dengan mengikuti aturan – aturan standarisasi disain berdasarkan peraturan untuk gempa pada SNI 1726-2019.

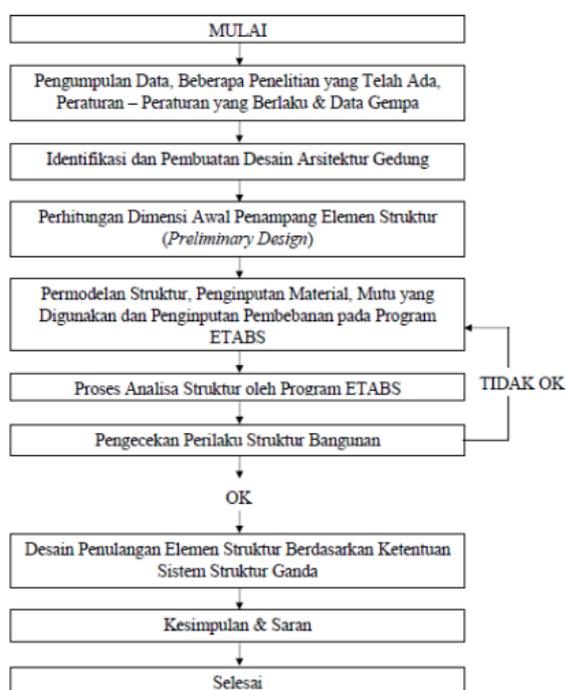
Untuk merencanakan suatu bangunan tinggi (High Rise Building) yang diperuntukkan pada struktur atas bangunan dengan 13 lantai yaitu menggunakan Dual System (Wall-Frame System) atau Sistem Ganda yang merupakan gabungan antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Geser (Shear-Wall System).

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini metode pengujian data yang digunakan menggunakan software ETABS 2013 yaitu aplikasi analisis struktur yang diluncurkan oleh CSI. Metode ini digunakan karena dikhususkan untuk analisis struktur dan kemudahan dalam pengoperasiannya. Pada penelitian ini, perencanaan struktur hanya terfokus pada struktur atas yaitu struktur yang terletak

diatas tanah yang meliputi kolom, balok, pelat lantai dan dinding geser (shearwall).

Alur pelaksanaan tugas akhir ini dimulai dari persiapan pengumpulan data, peraturan yang berlaku dalam perencanaan gedung tinggi, model atau layout bangunan yang akan direncanakan, informasi mengenai fungsi bangunan dan material yang digunakan serta data gempa pada lokasi bangunan yang akan direncanakan sampai desain penulangan tiap elemen struktur dan diakhiri dengan kesimpulan dan saran. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 2.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan awal dimensi struktur atau biasa disebut dengan preliminary design merupakan tahapan pemula atau tahap awal pada perencanaan suatu bangunan untuk mengetahui besaran dimensi per-elemen struktur untuk dianalisa dengan menggunakan software ETABS. Penentuan dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

3.1. Preliminary Design, Elemen Pelat Lantai

Preliminary design pada elemen pelat lantai dihitung berdasarkan pedoman SNI

2847:2019 Tabel 7.3.1.1 untuk Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang.

Tabel 3.1 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi tumpuan	$h^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Sumber: SNI 1847:2019

Perencanaan awal untuk dimensi pelat dan balok mengacu pada panjang bentang rencana yang menurut pedoman SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1 tentang Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm).

Tabel 3.2 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

f_c MPa	Tanpa drop panel ⁽¹⁾		Dengan drop panel ⁽¹⁾		Panel interior
	Panel eksterior		Panel eksterior		
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ⁽²⁾	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ⁽²⁾	
280	$l/33$	$l/36$	$l/36$	$l/40$	$l/40$
420	$l/30$	$l/33$	$l/33$	$l/36$	$l/36$
520	$l/28$	$l/31$	$l/31$	$l/34$	$l/34$

Sumber: SNI 1847:2019

Pada penentuan tebal minimum untuk pelat 1 arah jika $l_y / l_x > 2$, untuk pelat 2 arah jika $1 \leq l_y / l_x \leq 2$, dengan l_y adalah bentang terpanjang dan l_x adalah bentang terpendek. Digunakan rumus $ln/28$ untuk pelat 1 arah dan $ln/33$ untuk pelat 2 arah dengan ln adalah bentang terpendek. Hasil preliminary design elemen pelat pada perancangan bangunan 13 lantai ini adalah:

Tabel 3.3 Perhitungan Preliminary Design Elemen Pelat Lantai

Nomor Pelat	l_y	l_x	l_y/l_x	Ket.	H_{min} (mm)	H (mm)
S1	6000	3500	1.714286	2 Arah	106.0606	120
S2	4000	3500	1.142857	2 Arah	106.0606	120

Pada tabel diatas, dimensi tebal pelat yang digunakan ada satu tipe, yaitu 120 mm.

3.2. Preliminary Design, Elemen Pelat Lantai

Pada perhitungan dimensi awal elemen balok, digunakan rumus tinggi balok minimum untuk balok induk adalah $L/14$, untuk balok anak adalah $L/16$, dan untuk balok perangkai (link beam) adalah $L/4$. Selanjutnya, untuk nilai lebar balok, digunakan rumus $H/2$. Tipe balok yang digunakan untuk seluruh balok adalah balok persegi.

Tabel 3.4 Perhitungan Preliminary Design Elemen Balok

Nama Balok	Status	Tipe	L (mm)	Hmin (mm)	H (mm)	Bmin (mm)	B (mm)
B1	Balok Induk	Persegi	6000	428.6	500	250	300
B2	Balok Induk	Persegi	4000	285.7	300	150	200

Dari tabel diatas, terdapat dua tipe balok yang digunakan dalam perencanaan, yakni balok induk. Berikut adalah rangkuman dari dimensi balok yang akan digunakan.

Tabel 3.5 Perhitungan Preliminary Design Elemen Balok

Tipe	Status	B (mm)	H (mm)
B1	Balok Induk	300	500
B2	Balok Induk	200	300

3.3. Preliminary Design, Elemen Dinding Geser (Shearwall)

Dinding geser yang digunakan memiliki ketebalan yang sama disepanjang tinggi bangunan. Metode pertama tebal dinding geser dapat direncanakan berdasarkan tinggi perlantai terbesar (hw) dibagi 25 atau panjang dinding geser (lw) dibagi 25, diantara nilai tersebut dipilih yang terkecil dan tidak boleh lebih kecil dari 100 mm. berikut perhitungan ketebalan dinding geser:

$$\text{Tebal Dinding Geser} = \frac{hw}{25} = \frac{3500}{25} = 140 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Dinding Geser} = \frac{lw1}{25} = \frac{6000}{25} = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Dinding Geser} = \frac{lw2}{25} = \frac{4000}{25} = 160 \text{ mm}$$

Diambil nilai terkecil yaitu 140 mm.

Metode kedua untuk tebal minimum elemen dinding geser dapat dihitung berdasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 18.8.5.1 yaitu untuk panjang penyaluran (ldh) adalah sebagai berikut.

$$ldh = \frac{f_y d_b}{5,4 \cdot \lambda \sqrt{f_c'}}$$

Dengan,

λ : 0.75 untuk beton ringan, 1.0 untuk beton normal

f_y : tegangan leleh besi beton rencana (MPa)

d_b : diameter tulangan rencana (mm)

f_c' : mutu beton rencana (MPa)

ldh adalah jarak bersih tulangan dinding geser, sehingga harus ditambahkan tebal selimut beton untuk mendapatkan dimensi total dinding geser. dari rumus diatas dapat diperoleh jarak bersih tulangan dinding geser dengan perhitungan sebagai berikut:

$$ldh = \frac{f_y d_b}{5,4 \cdot \lambda \sqrt{f_c'}} = \frac{400 \times 25}{5,4 \times 1,0 \times \sqrt{35}} = 313.02 \text{ mm}$$

Diambil tebal selimut beton sebesar 25 mm, sehingga tebal minimum dinding geser adalah $T_{min} = ldh + T_{selimut}$

$$T_{min} = 313.02 + (2 \times 25) = 363 \text{ mm}$$

Dari hasil diatas, diketahui besar dimensi tebal dari shearwall atau dinding geser yang digunakan adalah 400 mm.

3.4. Preliminary Design, Elemen Kolom

Perhitungan dimensi awal kolom pada bangunan apartemen 13 lantai ini menggunakan metode *Tributary Area*. *Preliminary design* elemen kolom menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A_g \geq \frac{P_u}{0.35 \times \sqrt{f_c'}}$$

Keterangan:

A_g : Luas penampang kotor kolom

P_u : Beban total yang bekerja pada kolom

f_c' : Kuat tekan kolom

Perencanaan gedung apartemen 13 lantai ini terbagi atas 5 tipe kolom yang berbeda disetiap beberapa lantai. Pembebanan yang ditinjau adalah pembebanan lantai 1, lantai 2, lantai 3, lantai 4 – 12, dan lantai 13. Berikut tabel perhitungan yang didapatkan.

3.5. Desain Penulangan pada Elemen Struktur

Berdasarkan hasil pengecekan perilaku struktur pada ETABS maka selanjutnya menghitung tulangan pada elemen struktur pelat lantai, balok, kolom dan shearwall.

3.5.1. Penulangan Pelat Lantai

Berdasarkan hasil perhitungan preliminary design pelat lantai didapatkan pemodelan dengan pelat dua arah dan tebal 120 mm. berdasarkan SNI 2847:2019 untuk memperhitungkan pengaruh keretakan beton ketika terjadinya gempa, momen inersia padapenampang dilakukan pereduksian sebesar 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur. Perhitungan kebutuhan tulangan elemen pada pelat menggunakan metode perhitungan koefisien momen dengan menggunakan bantuan software Microsoft Excel untuk mempermudah dalam perhitungan. Berikut merupakan hasil dari perhitungan pelat lantai yang didapatkan:

Kuat tekan beton, $f'_c = 30.00$ MPa
Tegangan leleh baja untuk tulangan lentur, $f_y = 400$ MPa

Panjang bentang terpendek $L_x = 4.00$ m
Panjang bentang terpanjang $L_y = 6.00$ m
Tebal plat lantai, $h = 120$ mm
Koefisien momen plat untuk : $L_y / L_x = 1.50$ **KOEFISIEN MOMEN PLAT**

DUA ARAH karena $L_y/L_x > 2$

Lapangan x	$C_{lx} = 36$
Lapangan y	$C_{ly} = 17$
Tumpuan x	$C_{tx} = 76$
Tumpuan y	$C_{ty} = 57$

Didapat dari tabel momen pelat (Tabel 2)

Diameter tulangan yang digunakan, $\phi = 10$ mm
Tebal bersih selimut beton, $t_s = 30$ mm

No	Jenis Beban Mati	Berat satuan	Tebal (m)	Q (kN/m ²)
1	Berat sendiri plat lantai (kN/m ²)	24.0	0.12	2.880
2	Berat finishing lantai (kN/m ²)	20.0	0.05	1.000
3	Berat plafon dan rangka (kN/m ²)	0.5	-	0.500
4	Berat instalasi ME (kN/m ²)	0.2	-	0.190
Total beban mati,				$Q_D = 4.570$
Beban hidup pada lantai bangunan =				479 kg/m ²
Total beban rencana,				$Q_u = 4.79$ kN/m ²

Beban rencana terfaktor, $Q_u = 1.2 * Q_D + 1.6 * Q_L = 13.148$ kN/m²

Momen lapangan arah x,	$M_{lx} = C_{lx} * 0.001 * Q_u * L_x^2 =$	7.573	kNm
Momen lapangan arah y,	$M_{ly} = C_{ly} * 0.001 * Q_u * L_y^2 =$	3.576	kNm
Momen tumpuan arah x,	$M_{tx} = C_{tx} * 0.001 * Q_u * L_x^2 =$	15.988	kNm
Momen tumpuan arah y,	$M_{ty} = C_{ty} * 0.001 * Q_u * L_y^2 =$	11.991	kNm
Momen rencana (maksimum) plat,	$M_u =$	15.988	kNm

Untuk : $f'_c \leq 30$ MPa,	$\beta_1 =$	0.85
Untuk : $f'_c > 30$ MPa,	$\beta_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7 =$	-
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	$\beta_1 =$	0.85
Rasio tulangan pada kondisi balance,	$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f'_c / f_y * 600 / (600 + f_y) =$	0.0325

Faktor tahanan momen maksimum,	$R_{max} = 0.75 * \rho_b * f_y * [1 - 1/2 * 0.75 * \rho_b * f_y / (0.85 * f'_c)] =$	7.8883	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	$\phi =$	0.80	
Jarak tulangan terhadap sisi kearah beton,	$d_u = t_s + \phi / 2 =$	35.0	mm
Tebal efektif plat lantai,	$d = h - d_u =$	85.0	mm
Ditinjau plat lantai sebarang 1 m,	$b =$	1000	mm
Momen nominal rencana,	$M_n = M_u / \phi =$	19.985	kNm
Faktor tahanan momen,	$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) =$	2.76608	
$R_n < R_{max} \rightarrow$		(OK)	

TULANGAN LAPANGAN ARAH X

$M_{lx} =$	7.573	kNm
$K = M_u / \phi * b * d^2 =$	1.3103	Mpa
$a = 1 - (1 - (2 * k / 0.85 * f'_c) * d_u^2)^{1/2} =$	2.956	mm

Tulangan Pokok

$A_s = 0.85 * f'_c * a * b / f_y =$	188.413	mm ²
$f'_c < 31.36$ Mpa, Jadi $A_s, u \geq 1.4 / f_y * b * d =$	297.5	mm ²
Dipilih yang besar =	297.5	mm ²
Jarak Tulangan, $S = 1/4 * \pi * \phi^2 * b / A_s u =$	264.106	mm
Digunakan tulangan,	$\phi 10$	150

$2 * h = 240.0$
 $S \leq 2 * h \rightarrow$ (OKE)

Luas tulangan yang digunakan = $1/4 * \pi * \phi^2 * b / S =$ 523.8095
523.8095 > 297.5 (OKE)

TULANGAN TUMPUAN ARAH X

$M_{tx} =$	15.988	kNm
$K = M_u / \phi * b * d^2 =$	2.7661	Mpa
$a = 1 - (1 - (2 * k / 0.85 * f'_c) * d_u^2)^{1/2} =$	4.294	mm

Tulangan Pokok

$A_s = 0.85 * f'_c * a * b / f_y =$	273.758	mm ²
$f'_c < 31.36$ Mpa, Jadi $A_s, u \geq 1.4 / f_y * b * d =$	297.5	mm ²
Dipilih yang besar =	297.5	mm ²
Jarak Tulangan, $S = 1/4 * \pi * \phi^2 * b / A_s u =$	264.106	mm
Digunakan tulangan,	$\phi 10$	150

$2 * h = 240$
 $S \leq 2 * h \rightarrow$ (OKE)

Luas tulangan yang digunakan = $1/4 * \pi * \phi^2 * b / S =$ 523.8095
523.8095 > 298 (OKE)

Tulangan Pembagi

$A_{sb} = 20\% * A_s u =$	52.821	mm ²
$A_{sb} = 0.002 * b * h =$	240	mm ²
Dipilih yang besar =	240	mm ²
Digunakan tulangan $\phi =$	8	mm
Jarak Tulangan, $S = 1/4 * \pi * \phi^2 * b / A_{sb} =$	209.524	mm
$S \leq 5.0 h =$	600	mm
Dipilih yang kecil =	209.524	mm
Jarak Tulangan yang digunakan =	150	mm

Luas tulangan yang digunakan = $1/4 * \pi * \phi^2 * b / S =$ 335.2381
335.2381 > 240 (OKE)

TULANGAN LAPANGAN ARAH Y

$M_{ly} =$	3.576	kNm
$K = M_u / \phi * b * d^2 =$	0.6187	Mpa
$a = 1 - (1 - (2 * k / 0.85 * f'_c) * d_u^2)^{1/2} =$	2.031	mm

Tulangan Pokok

$A_s = 0.85 * f'_c * a * b / f_y =$	129.475	mm ²
$f'_c < 31.36$ Mpa, Jadi $A_s, u \geq 1.4 / f_y * b * d =$	297.5	mm ²
Dipilih yang besar =	297.5	mm ²
Jarak Tulangan, $S = 1/4 * \pi * \phi^2 * b / A_s u =$	264.106	mm
Digunakan tulangan,	$\phi 10$	150

$2 * h = 240.0$
 $S \leq 2 * h \rightarrow$ (OKE)

Luas tulangan yang digunakan = $1/4 * \pi * \phi^2 * b / S =$ 523.8095
523.8095 > 297.5 (OKE)

TULANGAN TUMPUAN ARAH Y

$M_{ay} =$	11.991	kNm
$K = M_u / P \cdot b \cdot d^2 =$	2.0746	Mpa
$a = 1 - (1 - (2 \cdot k / 0.85 \cdot f_c') \cdot d_r)^{1/2} =$	3.719	mm

Tulangan Pokok

$As = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b / f_y =$	237.082	mm ²
$f_c' < 31,36 \text{ Mpa}$, Jadi $As_u \geq 1,4 / f_y \cdot b \cdot d =$	297,5	mm ²
Dipilih yang besar =	297,5	mm ²
Jarak Tulangan, $S = 1/4 \cdot p \cdot f_y \cdot b / As_u =$	264,106	mm

Digunakan tulangan, $\varnothing 10$ - 150

$2 \cdot h = 240$
 $S \leq 2 \cdot h \rightarrow$ (OKE)

Luas tulangan yang digunakan = $1/4 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b / S = 523.8095$
 $523.8095 > 298$ (OKE)

Tulangan Pembagi

$Asb = 20\% \cdot As_u =$	52,821	mm ²
$Asb = 0,002 \cdot b \cdot h =$	240	mm ²
Dipilih yang besar =	240	mm ²
Digunakan tulangan $\varnothing =$	8	mm
Jarak Tulangan, $S = 1/4 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b / As_b =$	209,524	mm
$S \leq 5 \cdot h$	600	mm
Dipilih yang kecil =	209,524	mm
Jarak Tulangan yang digunakan =	150	mm

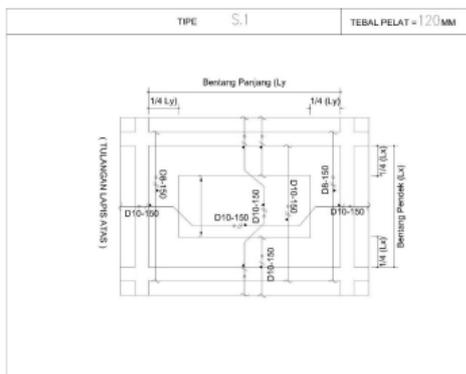
Luas tulangan yang digunakan = $1/4 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b / S = 335.2381$
 $335.2381 > 240$ (OKE)

Tabel 3.6 Hasil Perhitungan Tulangan pada Pelat untuk Arah X

ARAH X				
TULANGAN POKOK TUMPUAN	\varnothing	10	-	150
TULANGAN POKOK LAPANGAN	\varnothing	10	-	150
TULANGAN BAGI	\varnothing	8	-	150

Tabel 3.7 Hasil Perhitungan Tulangan pada Pelat untuk Arah Y

ARAH Y				
TULANGAN POKOK TUMPUAN	\varnothing	10	-	150
TULANGAN POKOK LAPANGAN	\varnothing	10	-	150
TULANGAN BAGI	\varnothing	8	-	150



Gambar 3.1 Hasil Desain Penulangan Pelat

3.5.2. Penulangan Balok

Desain penulangan pada balok dilakukan dengan pengambilan output data hasil pengecekan struktur pada ETABS. Didapatkan hasil yaitu untuk data tulangan geser, tulangan tumpuan, dan tulangan lapangan.

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan balok pada sisi bangunan 6 m:

Tabel 3.8 Hasil Output Data Concrete Design Beam 6m pada ETABS

AsMinTop	AsTop	AsMinBot	AsBot	Av/s
4654	23614	4654	13872	9.09

Dimensi Balok yang digunakan:

- B : 1000 mm
- H : 1400 mm
- T.selimut : 50 mm
- L.penampang : $B \times H = 1400000 \text{ mm}^2$

- Tulangan Geser / Sengkang

Tulangan yang digunakan: D 25 - 50

$$As \cdot D 25 = \left(0.25 \cdot x \left(\frac{22}{7}\right) \cdot (25^2)\right) = 491.0714286 \text{ mm}$$

$$\frac{As \cdot D 25}{s} = \frac{491.0714286}{50} = 9.821 \text{ mm}^2$$

$$\frac{As \cdot D 25}{s} = 9.821 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 9.09 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan Tumpuan

→ Tulangan atas, tulangan yang digunakan : 12 D 54

$$L. \text{tulangan} = \left(0.25 \cdot x \left(\frac{22}{7}\right) \cdot (54^2) \cdot x 12\right) = 27493.71 \text{ mm}^2$$

$$L. \text{tulangan} = 27493.71 \text{ mm}^2 > As \text{ butuh} = 23614 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

→ Tulangan bawah, tulangan yang digunakan : 6 D 54

$$L. \text{tulangan} = \left(0.25 \cdot x \left(\frac{22}{7}\right) \cdot (54^2) \cdot x 6\right) = 137460.86 \text{ mm}^2$$

$$L. \text{tulangan} = 137460.86 \text{ mm}^2 > As \text{ butuh} = 4654 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Total Luas Tulangan : 41241 mm²

- Tulangan Lapangan

→ Tulangan atas, tulangan yang digunakan : 6 D 54

$$L. \text{tulangan} = \left(0.25 \cdot x \left(\frac{22}{7}\right) \cdot (54^2) \cdot x 6\right) = 137460.86 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 137460.86 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 4654 \text{ mm}^2 (OK)$$

→ Tulangan bawah, tulangan yang digunakan : 7 D 54

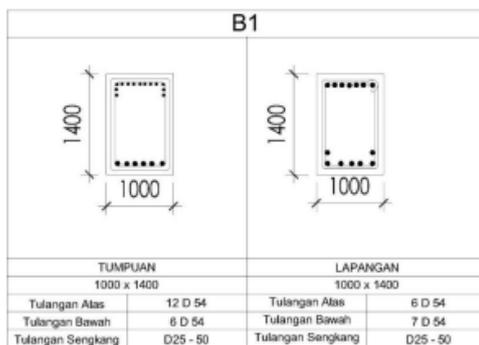
$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (54^2) \times 7\right) \\ = 16038 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 16038 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 13872 \text{ mm}^2 (OK)$$

Total Luas Tulangan : 29785 mm²

Tabel 3.9 Hasil Perhitungan Tulangan pada Balok 6m

	TUMPUAN	LAPANGAN
TULANGAN ATAS	12 D 54	6 D 54
TULANGAN BAWAH	6 D 54	7 D 54
TULANGAN SENGKANG	D 25 - 50	



Gambar 3.2 Hasil Desain Penulangan Balok 6m

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan balok pada sisi bangunan 4 m:

Tabel 3.10 Hasil Output Data Concrete Design Beam 4m pada ETABS

AsMinTop	AsTop	AsMinBot	AsBot	Av/s
2620	21241	2620	18372	7.28

Dimensi Balok yang digunakan:

B : 800 mm
H : 1000 mm
T.selimut : 50 mm
L.penampang : B x H = 800000 mm²

• Tulangan Geser / Sengkang

Tulangan yang digunakan: D 22 - 50

$$As .D 22 = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (22^2)\right) = 380.2857 \text{ mm}$$

$$\frac{As .D 22}{s} = \frac{380.2857}{50} = 7.606 \text{ mm}^2$$

$$\frac{As .D 25}{s} = 7.606 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 7.28 \text{ mm}^2 (OK)$$

• Tulangan Tumpuan

→ Tulangan atas, tulangan yang digunakan : 12 D 50

$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (50^2) \times 12\right) \\ = 23571.43 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 23571.43 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 21241 \text{ mm}^2 (OK)$$

→ Tulangan bawah, tulangan yang digunakan : 5 D 50

$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (50^2) \times 5\right) \\ = 9821.43 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 9821.43 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 2620 \text{ mm}^2 (OK)$$

Total Luas Tulangan : 33393 mm²

• Tulangan Lapangan

→ Tulangan atas, tulangan yang digunakan : 6 D 50

$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (50^2) \times 6\right) \\ = 11785.71 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 11785.71 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 2620 \text{ mm}^2 (OK)$$

→ Tulangan bawah, tulangan yang digunakan : 10 D 50

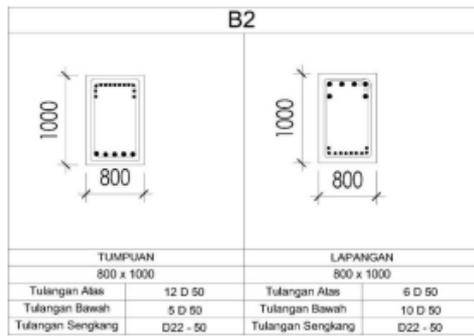
$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (50^2) \times 10\right) \\ = 19642.86 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 19642.86 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 18372 \text{ mm}^2 (OK)$$

Total Luas Tulangan : 31429 mm²

Tabel 3. 11 Hasil Perhitungan Tulangan pada Balok 4m

	TUMPUAN	LAPANGAN
TULANGAN ATAS	12 D 50	6 D 50
TULANGAN BAWAH	5 D 50	10 D 50
TULANGAN SENGKANG	D 22 - 50	



Gambar 3.3 Hasil Desain Penulangan Balok 4m

3.5.3. Penulangan Kolom

Desain penulangan pada kolom dilakukan dengan pengambilan output data hasil pengecekan struktur pada ETABS. Tipe kolom yang digunakan adalah berjumlah 5 jenis. Didapatkan hasil yaitu untuk data tulangan geser / Sengkang dan tulangan utama.

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan kolom 1000x1000:

Tabel 3.12 Hasil Output Data Concrete Design Column 1000x1000 pada ETABS

As Min	As	ComerRebarAs	MidRebarAs	VMajRebar	VMinRebar	Av/s
10000	196914	12307	12307	9.04	5.52	9.04

Dimensi Kolom yang digunakan:

- Arah X : 1000 mm
- Arah Y : 1000 mm
- T.selimut : 40 mm
- Tul. Arah X : 4 buah
- Tul. Arah Y : 4 buah
- L.penampang : BxH = 1000000 mm²

- Tulangan Geser / Sengkang

Tulangan yang digunakan: D 36 - 100

$$As .D 36 = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (36)\right) = 1018.286 \text{ mm}$$

$$\frac{As .D 36}{s} = \frac{1018.286}{100} = 10.183 \text{ mm}^2$$

$$\frac{As .D 36}{s} = 10.183 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 9.04 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan Utama

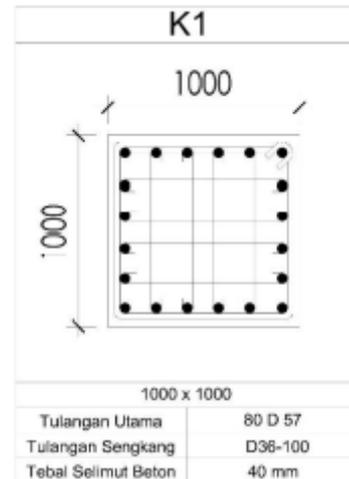
Tulangan yang digunakan: 80 D 57

$$L. \text{tulangan} = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (57^2) \times 80\right) = 204222.86 \text{ mm}^2$$

$$L. \text{tulangan} = 204222.86 \text{ mm}^2 > As \text{ butuh} \\ = 196914 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tabel 3.13 Hasil Perhitungan Tulangan pada Kolom 1000x1000

TULANGAN UTAMA	80 D 57
TULANGAN SENGGANG	D 36 - 100



Gambar 3.4 Hasil Desain Penulangan Kolom 1000x1000

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan kolom 900x900 :

Tabel 3.14 Hasil Output Data Concrete Design Column 900x900 pada ETABS

As Min	As	ComerRebarAs	MidRebarAs	VMajRebar	VMinRebar	Av/s
8100	164878	10305	10305	6.11	6.05	6.11

Dimensi Kolom yang digunakan:

- Arah X : 900 mm
- Arah Y : 900 mm
- T.selimut : 40 mm
- Tul. Arah X : 4 buah
- Tul. Arah Y : 4 buah
- L.penampang : B x H = 810000 mm²

- Tulangan Geser / Sengkang

Tulangan yang digunakan: D 29 - 100

$$As .D 29 = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (29^2)\right) = 660.7857 \text{ mm}$$

$$\frac{As .D 29}{s} = \frac{660.7857}{100} = 6.608 \text{ mm}^2$$

$$\frac{As .D 29}{s} = 6.608 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 6.11 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

• Tulangan Utama

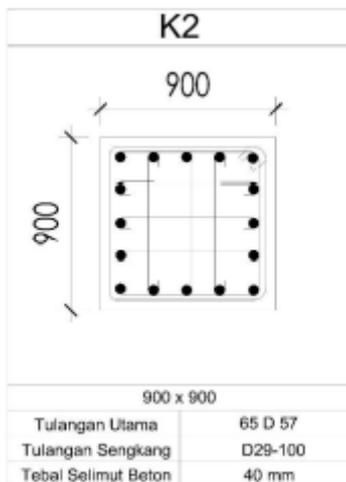
Tulangan yang digunakan: 65 D 57

$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (57^2) \times 65\right) = 165931.07 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 165931.07 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 164878 \text{ mm}^2(\text{OK})$$

Tabel 3.15 Hasil Perhitungan Tulangan pada Kolom 900x900

TULANGAN UTAMA	65 D 57
TULANGAN SENGGANG	D 29 - 100



Gambar 3.5 Hasil Desain Penulangan Kolom 900x900

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan kolom 800x800:

Tabel 3.16 Hasil Output Data Concrete Design Column 800x800 pada ETABS

As Min	As	CornerRebarAs	MidRebarAs	VMajRebar	VMinRebar	Av/s
6400	123111	7694	7694	7.78	7.63	7.78

Dimensi Kolom yang digunakan:

- Arah X : 800 mm
- Arah Y : 800 mm
- T.selimut : 40 mm
- Tul. Arah X : 4 buah
- Tul. Arah Y : 4 buah
- L.penampang : B x H = 640000 mm²

• Tulangan Geser / Sengkang

Tulangan yang digunakan: D 32 - 100

$$As .D 32 = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (32^2)\right) = 804.571 \text{ mm}^2$$

$$\frac{As .D 32}{s} = \frac{804.571}{100} = 8.046 \text{ mm}^2$$

$$\frac{As .D 32}{s} = 8.046 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 7.78 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

• Tulangan Utama

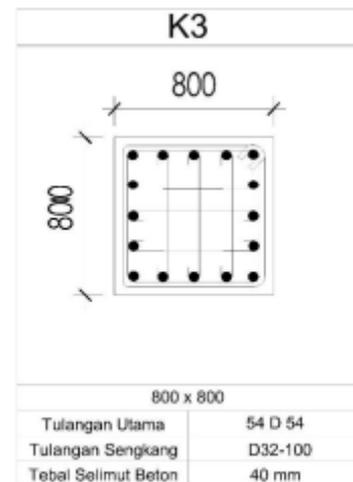
Tulangan yang digunakan: 54 D 54

$$L. tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7}\right) \times (54^2) \times 54\right) = 123721.71 \text{ mm}^2$$

$$L. tulangan = 123721.71 \text{ mm}^2 > \text{As butuh} \\ = 123111 \text{ mm}^2(\text{OK})$$

Tabel 3.17 Hasil Perhitungan Tulangan pada Kolom 800x800

TULANGAN UTAMA	54 D 54
TULANGAN SENGGANG	D 32 - 100



Gambar 3.6 Hasil Desain Penulangan Kolom 800x800

Tabel 3.18 Hasil Output Data Concrete Design Column 700x700 pada ETABS

As Min	As	CornerRebarAs	MidRebarAs	VMajRebar	VMinRebar	Av/s
4900	85699	5356	5356	6.65	6.62	6.65

Dimensi Kolom yang digunakan:

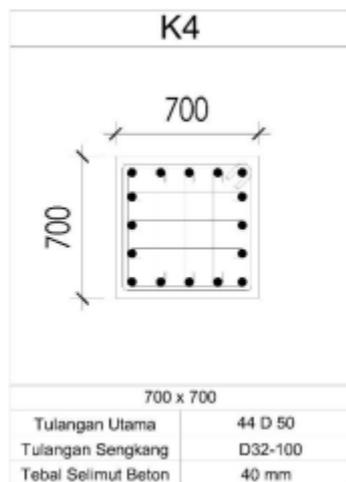
- Arah X : 700 mm
- Arah Y : 700 mm
- T.selimut : 40 mm
- Tul. Arah X : 4 buah
- Tul. Arah Y : 4 buah
- L.penampang : B x H = 490000 mm²

- Tulangan Geser / Senggang
Tulangan yang digunakan: D 32 - 100
$$As . D 32 = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7} \right) \times (32^2) \right) = 804.571 \text{ mm}$$
$$\frac{As . D 32}{s} = \frac{804.571}{100} = 8.046 \text{ mm}^2$$
$$\frac{As . D 323}{s} = 8.046 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 6.65 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$
- Tulangan Utama
Tulangan yang digunakan: 44 D 50
$$L.tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7} \right) \times (50^2) \times 44 \right) = 86428.57 \text{ mm}^2$$
$$L.tulangan = 86428.57 \text{ mm}^2 > As \text{ butuh}$$
$$= 85699 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan Geser / Senggang
Tulangan yang digunakan: D 29 - 100
$$As . D 29 = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7} \right) \times (29^2) \right) = 660.786 \text{ mm}$$
$$\frac{As . D 29}{s} = \frac{660.786}{100} = 6.608 \text{ mm}^2$$
$$\frac{As . D 29}{s} = 6.608 \text{ mm}^2 > \frac{Av}{s} = 5.89 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$
- Tulangan Utama
Tulangan yang digunakan: 30 D 50
$$L.tulangan = \left(0.25 \times \left(\frac{22}{7} \right) \times (50^2) \times 30 \right) = 58928.57 \text{ mm}^2$$
$$L.tulangan = 58928.57 \text{ mm}^2 > As \text{ butuh}$$
$$= 58811 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tabel 3.19 Hasil Perhitungan Tulangan pada Kolom 700x700

TULANGAN UTAMA	44 D 50
TULANGAN SENGKANG	D 32 - 100



Gambar 3.7 Hasil Desain Penulangan Kolom 700x700

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan kolom 600x600:

Tabel 3.20 Hasil Output Data Concrete Design Column 600x600 pada ETABS

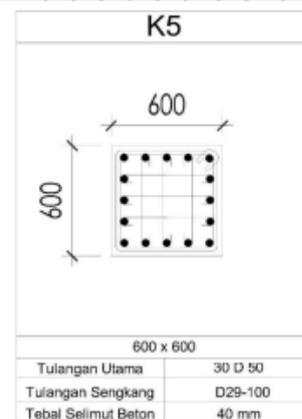
As Min	As	CornerRebarAs	MidRebarAs	VMajRebar	VMinRebar	Av/s
3600	58811	3676	3676	5.86	5.89	5.89

Dimensi Kolom yang digunakan:

- Arah X : 600 mm
- Arah Y : 600 mm
- T.selimut : 40 mm
- Tul. Arah X : 4 buah
- Tul. Arah Y : 4 buah
- L.penampang : B x H = 490000 mm²

Tabel 3.21 Hasil Perhitungan Tulangan pada Kolom 600x600

TULANGAN UTAMA	30 D 50
TULANGAN SENGKANG	D 29 - 100



Gambar 3.8 Hasil Desain Penulangan Kolom 600x600

3.5.4. Penulangan Dinding Geser (*Shearwall*)

Pada penulangan dinding *shearwall* diambil hasil output data dari pemrograman ETABS. Berikut merupakan hasil perhitungan untuk penulangan pada *shearwall*.

1. Menentukan kebutuhan baja tulangan vertikal dan horizontal minimum

$$\begin{aligned}
 V_u &= 10471.1271 \text{ kN} \\
 M_u &= 29325.9073 \text{ kNm} \\
 P_u &= 99400.5099 \text{ kN} \\
 f_c' &= 35 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 400 \text{ Mpa} \\
 \text{Lebar Dinding geser (l)} &= 250 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi gedung (h)} &= 47000 \text{ mm} \\
 \text{Panjang Total Dinding geser (hw)} &= 24000 \text{ mm} \\
 \lambda &= 1 \text{ untuk beton normal} \\
 0.17 A_{cv} \lambda f_c' &= 0.17 \cdot 6000000 \cdot 1 \cdot 35 = 3570000 \text{ N} \\
 0.17 A_{cv} \lambda f_c' &= 6034401.379 \text{ N} \\
 0.17 A_{cv} \lambda f_c' &= 6034.401379 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

sehingga $V_u = 10471.1271 \text{ kN} > 6034.401379 \text{ kN}$ sehingga **perlu dua lapis tulangan**

2. Menentukan kebutuhan baja tulangan longitudinal dan transversal

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= 0.0015 \\
 \rho_{min} &= 0.0025 \\
 s_{min} &= 450 \text{ mm} \\
 \text{kecuali jika} \\
 V_u &\leq 0.083 \lambda A_{cv} f_c' \\
 10471.1271 &\leq 0.083 \cdot 1 \cdot 6000000 \cdot 35 = 17400000 \text{ N} \\
 10471.1271 &\leq 2946.207732 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

maka **perlu direduksi sesuai pasal 14.3** dan digunakan nilai $\rho = 0.0025$
Luas penampang longitudinal dan transversal dinding geser per meter panjang

$$\begin{aligned}
 A &= 0.25 \text{ m} \\
 A_{min} &= 625 \text{ mm} \text{ atau} \\
 \text{bila digunakan } 2 \text{ D } 25 \text{ maka} \\
 A_s' &= 491.071 \text{ mm} \\
 A_{st} &= 982.143 \text{ mm} \\
 n_{min} &= 0.63636 \text{ maka dipakai } 1 \text{ pasang} \\
 s_{min} &= 1000 \text{ mm} \text{ TIDAK OKE} \text{ maka digunakan} \\
 s &= 400 \text{ mm} \text{ maka OKE} \\
 \text{jadi digunakan } 2 \text{ D } 25 - 400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{cv} (\rho_c \lambda f_c' + \rho_s f_y) \\
 V_n &= 6000000 (0.25 \cdot 1 \cdot 35 + 0.00982 \cdot 400) \\
 V_n &= 32445548.25 \text{ N} \\
 V_n &= 32445.548 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Menentukan baja tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 V_n &\leq A_{cv} (\rho_c \lambda f_c' + \rho_s f_y) \\
 \rho_c &= 0.25 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \leq 1.5 \text{ atau } 0.16667 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \\
 \text{jika nilai } \frac{h_w}{l_w} \text{ berada diantara } 1.5 - 2 \text{ maka variatif secara linear} \\
 \frac{h_w}{l_w} &= \frac{47000}{24000} = 1.96 \\
 \text{maka } \rho_c &= 0.25 \\
 \text{dengan } 2 \text{ D } 25 - 400 \text{ mm} \\
 \rho_{min} &= 0.0015 \\
 \rho_{pt} &= 0.009821429 \text{ maka OKE}
 \end{aligned}$$

Kuat geser perlu

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0.75 \cdot 32445.548 \\
 \phi V_n &= 24334.16118 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

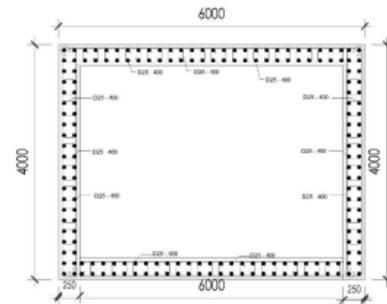
$$V_u = 10471.1 \text{ kN} \text{ maka OKE}$$

Batas geser nominal ≤ 0.5

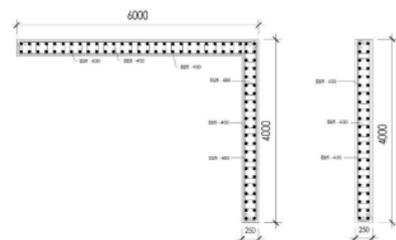
$$\begin{aligned}
 V_n \text{ maks} &= 0.83 A_{cv} f_c' \\
 V_n \text{ maks} &= 0.83 \cdot 6000000 \cdot 35 = 17400000 \text{ N} \\
 V_n \text{ maks} &= 17400.000 \text{ kN} \\
 V_n \text{ maks} &= 2946.207732 \text{ N} \\
 V_n \text{ maks} &= 2946.077 \text{ kN} \text{ maka OKE}
 \end{aligned}$$

maka digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{tulangan pokok} &= 2 \text{ D } 25 - 400 \text{ mm} \\
 \text{tulangan transversal} &= 2 \text{ D } 25 - 400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.9 Hasil Desain Penulangan Shearwall (1)



Gambar 3.10 Hasil Desain Penulangan Shearwall (2)

4. KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan dari proses perencanaan struktur highrise building apartemen 13 lantai dengan metode dual system didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di Asia Tenggara yang sedang mengalami perkembangan pesat dibidang infrastruktur karena seiring bertambahnya pertumbuhan populasi di Indonesia. Indonesia terletak diantara dua jalur gunung api yang membentang sepanjang Asia-Pasifik yang disebut dengan Ring of Fire maka dari itu sering

dilanda bencana alam gempa bumi yang mengakibatkan kerusakan di beberapa infrastruktur. Oleh karena itu, semakin banyak perusahaan konstruksi sedang berlomba dalam hal pembangunan infrastruktur dan diperlukan standarisasi nasional pada setiap perancangan yaitu dengan menerapkan aturan pada SNI 1726-2019 yang merupakan pedoman standarisasi untuk bangunan tahan gempa. Untuk merencanakan suatu bangunan tinggi yang diperuntukkan pada struktur atas bangunan dengan 13 lantai yaitu dengan menggunakan Dual System.

2. Berikut merupakan proses dari perencanaan struktur atas apartemen 13 lantai dengan menggunakan *Dual System*:
 - Pencarian bahan dan data dari berbagai sumber literatur, peraturan - peraturan yang berlaku di Indonesia, data gempa serta data angin rata - rata (Researching)
 - Proses pembuatan desain arsitektur dengan menggunakan software AutoCAD
 - Perencanaan awal atau perhitungan dimensi struktur (Preliminary Design)
 - Pemodelan struktur bangunan dengan menggunakan software ETABS
 - Pengecekan beberapa perilaku yang terjadi pada struktur bangunan, yaitu:
 - Pengecekan Rasio Partisipasi Massa
 - Perhitungan Koefisien Respons Seismic
 - Perhitungan Skala Faktor
 - Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai (Story Drift)
 - Pemeriksaan P-Delta
 - Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal
 - Pengecekan Gaya Dalam Momen Maksimum
 - Perencanaan Elemen pada Struktur Bangunan Atas
 - Desain Tulangan pada Pelat
 - Desain Tulangan pada Balok
 - Desain Tulangan pada Kolom

- Desain Tulangan pada Shearwall

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, S., 2020, Perencanaan Struktur Gedung Bertingkat 15 Lantai Dengan Sistem Ganda, UMT, Tangerang.
- Hariyo, K., 2019, Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa Untuk Perkantoran Dengan Sistem Ganda, UMT, Tangerang.
- Iswandi, Hendrik., 2019, Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang, ITBPress, Bandung.
- Iswandi, Zulkifli., 2019, Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang, ITBPress, Bandung.
- Punmia, Ashok K. Jain, Arun K. Jain, 2016, Building Construction (Eleventh Edition), Penerbit Andi, Yogyakarta.
- SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2019.
- SNI 1727:2013, Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, 2013.
- SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, 2019.
- SNI 2052:2017, Baja Tulangan Beton, 2017.
- Tavio, Usman Wijaya., 2018, Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja, Penerbit Andi, Yogyakarta