

## BAB II

### PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka untuk perancangan struktur atas akan menampilkan tentang bagaimana perancangan dan perhitungan dari struktur atas dilakukan. Sub bab ini akan menjelaskan mulai dari perancangan pelat atap, pelat lantai, balok, kolom, dan tangga. Dilakukannya perencanaan ini supaya dapat diperoleh bangunan yang memenuhi standar bangunan tahan gempa. Perancangan akan membahas pemilihan sistem struktur yang digunakan, material yang akan dipakai, serta dimensi yang akan dirancang untuk bisa memenuhi syarat – syarat dasar dari perancangan gedung bertingkat dan disesuaikan dengan standar Indonesia.

##### 2.1.1 Preliminary Design

Sebuah bangunan gedung memiliki komponen dari stuktur balok, pelat, kolom, pelat, tangga, dan fondasi. Setiap perencanaan yang dilakukan memerlukan nilai – nilai koefisien dan angka pendukung lainnya. Diperlukan juga estimasi dimensi yang bisa digunakan dalam setiap komponen struktur. Melalui alasan tersebut dibutuhkan acuan dalam perencanaan tersebut dan digunakan lah SNI 2847: 2019 sebagai referensi Tata Cara untuk Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

##### a. Batasan Nilai Mutu Beton

Persyaratan yang diberikan untuk campuran beton diberi dengan alasan untuk merancang beton yang mempunyai kekuatan serta durabilitas cukup untuk memikul momen dan sturuktur yang ada. Batasan nilai dari mutu beton ( $f_c'$ ) diambil dari peraturan SNI 2847:2019 tabel 19.2.1 dan ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batasan Nilai  $f_c'$

Kegunaan	Jenis beton	Nilai $f_c'$ Minimum (MPa)	Nilai $f_c'$ Maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
	Berat normal dan berat ringan	21	Tidak ada batasan

Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	Berat ringan	21	35
--	--------------	----	----

Sumber : SNI 2847:2019 tabel 19.2.1.1

### b. Batasan Nilai Kekuatan Leleh Tulangan

Nilai kekuatan leleh tulangan ( $f_y$ ) disebut sebagai nilai tegangan yang mampu mengakibatkan material meregang dengan cepat, yang pada akhirnya material bisa putus jika mencapai titik tertentu yang melampaui titik tegangannya. Batasan yang dibutuhkan untuk nilai kekuatan leleh terhadap tulangan ulir non prategang diambil menggunakan acuan SNI 2847:2019 Tabel 20.2.2.4.a dan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tulangan Ulir Nonprategang

Penggunaan	Aplikasi	$f_y$ atau $f_{yt}$ maks. yang diizinkan untuk perhitungan desain, (MPa)	Spesifikasi ASTM yang sesuai			
			Batang ulir	Kawat ulir	Kawat yang dilas	Batang ulir yang dilas
Lentur; gaya aksial; dan susut dan suhu	Sistem seismik khusus	420	Mengacu pada 20.2.2.5	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	Lainnya	550	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	A184 <sup>[1]</sup>
Kekangan lateral dari batang longitudinal atau kekangan beton	Sistem seismik khusus	700	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	A1064M <sup>[2]</sup> , A1022M <sup>[2]</sup>	Tidak diizinkan
	Spiral	700	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan

	Lainnya	550	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
Geser	Sistem seismik khusus	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M[2], A1022M[2]	Tidak diizinkan
	Spiral	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	geser friksi	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
	senggang, senggang ikat, senggang pengekang	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M Kawat las polos	Tidak diizinkan
		550	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan	A1064M, A1022M Kawat las ulir	Tidak diizinkan
Torsi	Longitudinal dan tranversal	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 20.2.2.4a.

### c. Ketebalan Selimut Beton

Dengan tujuan keawetan dan keamanan dari struktur beton, maka ketebalan selimut beton haruslah juga menjadi bagian dari perancangan. Ketebalan selimut beton adalah jarak beton terluar ke tulangan pada struktur beton bertulang. Peraturan dari ketebalan selimut beton diatur pada SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1 dan dijabarkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketebalan Selimut Beton untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut (mm)
Dicor dan secara permanen kotak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
	Balok, kolom pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengeang	40

Sumber : SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1

#### d. Faktor Modifikasi ( $\lambda$ )

Faktor modifikasi disebut sebagai nilai yang akan dipakai dalam analisis perhitungan tulangan. Faktor modifikasi memiliki nilai yang berbeda tergantung jenis beton dan campurannya dan cara menentukan angka faktor yang digunakan dijelaskan dalam Tabel 2.4 Faktor Modifikasi  $\lambda$  dan menggunakan acuan dari peraturan SNI 2847:2019 tabel 19.2.4.2.

Tabel 2.4 Faktor Modifikasi  $\lambda$

Beton	Komposisi Agregat	$\lambda$
Beton ringan dengan semua agregat ringan	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	0,75

Beton ringan, agregat halus campuran	Halus: Kombinasi ASTM C330M dan C33M Kasar: ASTM C330M	0,75 s/d 0,85 <sup>1</sup>
Beton ringan dengan pasir ringan	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	0,85
Beton ringan dengan pasir ringan, dan agregat kasar campuran	Halus: ASTM C330M Kasar: Kombinasi ASTM C330M dan C33M	0,85 s/d 1
Beton normal	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	1

Sumber : SNI 2847:2019 pada tabel 19.2.4.2

#### e. Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )

Faktor reduksi kekuatan memiliki fungsi yang dapat memperkirakan kemungkinan ketika kekuatan dari penampang diluar batas dikarenakan faktor perbedaan dimensi dan material yang memiliki kekuatan berbeda. Faktor reduksi kekuatan dinyatakan dalam bentuk nilai yang diatur dalam SNI 2847:2019 tabel 21.2.1 dan dijabarkan dalam Tabel 2. 5 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ).

Tabel 2. 5 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )

Gaya atau elemen struktur		$\phi$	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 - 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik ( <i>pretension</i> ) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, $\phi$ harus sesuai dengan 21.2.3
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu ( <i>bearing</i> )	0,65	-

e)	Zona angkur pascatarik ( <i>posttension</i> )	0,85	-
f)	<i>Bracket</i> dan korbel	0,75	-
g)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>structand-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,9	-
i)	Beton polos	0,6	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 - 0,75 sesuai Pasal 17	-

Sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019.

#### f. Estimasi Dimensi Balok

Balok disebut sebagai salah satu elemen struktur yang bertugas menahan beban yang berasal dari dinding dan pelat lantai. Perhitungan estimasi dimensi balok dihitung menggunakan acuan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1. Penjabaran tinggi minimum balok nonprategang ditunjukkan pada Tabel 2. 6 Tinggi Minimum Balok Nonprategang.

Tabel 2. 6 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi perlekatan	Minimum $h^{(1)}$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

Sumber : SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.

Setelah didapatkan tinggi balok, dilakukan perencanaan dimensi lebar balok. Lebar balok dapat ditentukan dengan persamaan  $2/3$  tinggi balok.

**g. Estimasi Dimensi kolom**

Kolom adalah bagian dari elemen struktur yang bertugas untuk menahan beban seluruh bangunan kemudian akan meneruskannya ke fondasi. Menurut Hoffman, 1972 dalam buku *Structural Design Guide to the ACI Building Code* dikatakan bahwa kolom tidak memiliki batasan khusus untuk dalam perancangan dimensinya. Maka dari itu, cukup digunakan persamaan berikut untuk menentukan luas kolom persegi:

$$A_g = \frac{P_u}{0,3 \times \phi \times f_c'} \dots\dots\dots(2.1)$$

**2.1.2 Penentuan Kelas Situs**

**a. Klasifikasi Situs Bangunan**

Klasifikasi situs merupakan bagian dari kriteria desain seismik yang penentuannya diberi berdasarkan lapisan tanah dari sebuah lokasi. Fungsi dari klasifikasi untuk menentukan peningkatan besar dari percepatan gempa yang terjadi antar batuan dasar ke permukaan tanah. Klasifikasi dilakukan dengan Tabel 5 SNI 1726:2019 sebagai acuan dan dijabarkan pada Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs dibawah ini.

Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis repons spesifik-situs yang mengikuti 0)	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>S_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol> <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>• Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>• Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> <p>Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>S_u &lt; 50</math> kPa</p>		

Sumber : Tabel 5 Klasifikasi Situs pada SNI 1726:2019.

**b. Kategori Risiko Bangunan**

Bangunan dikelompokkan menjadi beberapa bagian untuk menentukan seberapa besar risiko yang terjadi pada setiap bangunan terhadap gempa mulai dari risiko I yang memiliki risiko terendah hingga bangunan yang memiliki risiko IV dengan risiko tertinggi sehingga memiliki tingkat keamanan serta keutamaan yang tertinggi juga. Risiko yang dimaksud adalah risiko terhadap jiwa manusia jika terjadi kegagalan struktur akibat gempa, sehingga setiap bangunan memiliki kategorinya masing – masing untuk menyesuaikan standar struktur yang harus digunakan. Kategori risiko bangunan ini dapat dilihat dalam penjabaran Tabel 2. 8 yang mengambil Tabel 3 SNI 1726:2019

Tabel 2. 8 Kategori risiko bangunan

<b>Jenis pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"><li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li><li>- Fasilitas sementara</li><li>- Gudang penyimpanan</li><li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li></ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>- Perumahan</li><li>- Rumah toko dan rumah kantor</li><li>- Pasar</li><li>- Gedung perkantoran</li><li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li><li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li><li>- Bangunan industry</li><li>- Fasilitas manufaktur</li><li>- Pabrik</li></ul>	II



<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber : Tabel 3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa pada SNI 1726:2019.

### c. Faktor Keutamaan Gempa

Terdapat angka faktor sebagai pengkali pengaruh gempa dalam perencanaan sebuah struktur, angka faktor memiliki nilai yang berbeda untuk setiap kategori risiko bangunan. Faktor ini dibedakan untuk membedakan keamanan struktur setiap bangunan tergantung fungsinya demi mengurangi risiko terhadap hilangnya jiwa ketika terjadi kegagalan struktur akibat gempa. Faktor keutamaan gempa dibedakan dan dijabarkan pada Tabel 2.9 dibawah yang dibuat berdasarkan Tabel 4 Faktor Keutamaan Gempa SNI 1726:2019 sebagai acuan.

Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

(Sumber : Tabel 4 Faktor Keutamaan Gempa pada SNI 1726:2019)

### d. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dibedakan menjadi dua nilai yaitu nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Kategori desain seismik dapat ditentukan menurut Tabel 2.10 dan diambil dari Sumber Tabel 8 SNI 1726:2019 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek. Kemudian kategori desain seismik yang kedua ditentukan menggunakan Tabel 2.11 yang diambil dari Tabel 9 SNI 1726:2019 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Tabel 2.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 < S_{DS}$	D	D

Sumber : Tabel 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Tabel 2.11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{DS}$	D	D

Sumber : Tabel 9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

**e. Sistem Pemikul Gaya Seismik Struktur**

Sistem struktur bangunan didesain supaya bangunan bisa menahan dampak yang terjadi akibat gempa melalui respon inelastis yang terjadi pada bagian – bagian struktur tertentu. Supaya bangunan bisa menahan dampak gempa tersebut maka didalam perancangan bangunan sistem pemikul gaya seismik harus dimasukkan kedalam variabel perhitungan sesuai dengan kategori masing – masing. Sistem pemikul gaya dijabarkan dalam Tabel 2.12 Faktor R, Cd, dan  $\Omega_{0b}$  untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik dengan SNI 2847:2019 pasal 18 sebagai acuan.

Tabel 2.12 Faktor R, Cd, dan  $\Omega_{0b}$  untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik		Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_{0b}$	Faktor pembesaran defleksi $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
					Kategori Desain Seismik				
					B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
A. Sistem dinding penumpu									
1	Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30
2	Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
3	Dinding geser beton polos detail <sup>g</sup>	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
4	Dinding geser beton polos biasa <sup>g</sup>	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
5	Dinding geser pracetak menengah <sup>g</sup>	4	2,5	4	TB	TB	12 <sup>i</sup>	12 <sup>i</sup>	12 <sup>i</sup>
6	Dinding geser pracetak biasa <sup>g</sup>	3	2,5	3	TB	TI	TI	TI	TI
7	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2,5	3,5	TB	TB	48	48	30

8	Dinding geser geser batu bata bertulang menengah	3,5	2,5	2,25	TB	TB	TI	TI	TI
9	Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	1,75	TB	48	TI	TI	TI
10	Dinding geser batu bata polos didetail	2	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
11	Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
12	Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
13	Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2,5	2	TB	10	TI	TI	TI
14	Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
15	Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu dilapisi dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
16	Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditunjukkan untuk tahan geser, atau dengan lembaran baja	6,5	3	4	TB	TB	20	20	20
17	Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2,5	2	TB	TB	10	TI	TI
18	Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3,5	TB	TB	20	20	20
B. Sistem Rangka Bangunan									
1	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3	Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3,25	2	3,25	TB	TB	10 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>	TI <sup>j</sup>
4	Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
5	Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
6	Dinding geser beton polos detail <sup>g</sup>	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
7	Dinding geser beton polos biasa <sup>g</sup>	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
8	Dinding geser pracetak menengah <sup>g</sup>	5	2,5	4,5	TB	TB	12 <sup>i</sup>	12 <sup>i</sup>	12 <sup>i</sup>
9	Dinding geser pracetak biasa <sup>g</sup>	4	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI
10	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4,5	TB	TB	48	48	30
12	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13	Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6,5	2,5	5,5	TB	TB	48	48	30
14	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
15	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

16	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,2	2,5	4	TB	TB	48	48	30
17	Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
18	Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	2	TB	TB	TI	TI	TI
19	Dinding geser batu bata polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI
20	Dinding geser batu bata polos biasa	1,5	2,5	1,25	TB	TI	TI	TI	TI
21	Dinding geser batu bata prategang	1,5	2,5	1,75	TB	TI	TI	TI	TI
22	Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2,5	4,5	TB	TB	22	22	22
23	Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditunjukkan untuk tahan geser, atau dengan lembaran baja	7	2,5	4,5	TB	TB	22	22	22
24	Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2,5	2,5	2,5	TB	TB	10	TB	TB
25	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	48	48	30
26	Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem Rangka Pemikul Momen									
1	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10 <sup>k</sup>	10 <sup>k</sup>	10 <sup>k</sup>
4	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>
5	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
6	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
12	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>	3,5	3 <sup>o</sup>	3,5	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan									
1	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB

2	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
3	Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
4	Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
5	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
6	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
7	Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
8	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
9	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
10	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11	Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI
12	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
13	Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan									
1	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus <sup>p</sup>	6	2,5	5	TB	TB	10	TI	TI
2	Dinding geser beton bertulang khusus <sup>g,h</sup>	6,5	2,5	5	TB	TB	48	30	30
3	Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2,5	TB	48	TI	TI	TI
4	Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5,5	2,5	4,5	TB	TB	48	30	TI
6	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3,5	2,5	3	TB	TB	TI	TI	TI
7	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
8	Dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>	5,5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser - rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa <sup>g</sup>									
		4.5	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk:									
1	Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2,5	1,25	2,5	10	10	10	10	10
2	Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1,25	1,25	1,25	10	10	TI'	TI'	TI'
3	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	2,5	1,25	2,5	10	10	10	10	10

4	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1,5	1,25	1,5	10	10	TI	TI	TI
5	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1,25	1	10	TI	TI	TI	TI
6	Rangka kayu	1,5	1,5	1,5	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever		3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726:2019 tabel 12

#### f. Periode Fundamental

Periode getar struktur atau yang bisa disebut dengan periode fundamental ( $T_a$ ), bisa ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan  $h_n$  sebagai ketinggian struktur yang dihitung dari dasar hingga tingkat teratas. Nilai  $C_t$  dan  $x$  bisa ditentukan melalui Tabel 2.13 yang menggunakan SNI 1726:2019 Tabel 18 sebagai acuan.

Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 18

Periode fundamental (T) harus didapat dengan menggunakan sifat struktur dan sifat deformasi elemen penahan didalam analisis yang sudah diuji. Nilai dari periode getar struktur tidak diperbolehkan lebih dari nilai hasil perkalian koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung ( $C_u$ ). Berikut persamaan yang dipakai untuk mencari angka periode getar struktur (T) :

$$T = C_u T_a \dots \dots \dots (2.3)$$

Nilai periode yang dipakai bisa ditentukan dengan mengikuti persyaratan pada Tabel yang dijabarkan menggunakan acuan buku dengan judul *Seismic Loads: Guide to the Seismic Load Provisions of ASCE 7-10* yang ditulis oleh Finley A. Charney ditunjukkan pada tabel G17-1 *Summary of Period Values to Be Used in Calculations*.

Tabel 2. 14 Petunjuk Nilai Periode yang dipakai

Situasi	Periode T yang Digunakan pada Perhitungan Kekuatan	Periode T yang Digunakan pada Perhitungan Drift
$T_{\text{computed}} \leq T_a$	$T_a$	$C_u T_a$
$T_a < T_{\text{computed}} < C_u T_a$	$T_{\text{computed}}$	$T_{\text{computed}}$
$T_{\text{computed}} \geq C_u T_a$	$C_u T_a$	$T_{\text{computed}}$

Sumber : *Seismic Loads : Guide to the Seismic Load Provisions of ASCE 7-10* oleh Finley A. Charney pada tabel G17-1 *Summary of Period Values to Be Used in Calculations*.

#### g. Faktor Respons Gempa

Respon seismik ( $C_s$ ) dicari dengan menggunakan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 sebagai acuan, dan dijabarkan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Nilai  $C_s$  tidak perlu lebih dari nilai :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \text{ (Untuk } T \leq T_L) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \text{ (Untuk } T > T_L) \dots\dots\dots(2.6)$$

Nilai  $C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.7)$$

### 2.1.3 Perencanaan Pembebanan Struktur

#### a. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup memiliki pengertian sebagai beban yang ada akibat dari penghuni dari bangunan ataupun pengguna dari sebuah bangunan yang tidak dihitung sebagai beban konstruksi dan juga beban dari lingkungan (beban angin, beban hujan, beban akibat bencana alam, ataupun beban mati). Beban hidup minimum untuk masing – masing



struktur sudah dijabarkan pada Tabel 2.15 dan menggunakan Tabel 4.1 SNI 1727:2013 sebagai acuan. Dalam Pasal 4.1 SNI 1727:2013 dikatakan tidak diperbolehkan beban merata minimum ditetapkan lebih rendah dari Tabel 4-1 dan beban hidup yang digunakan dalam perancangan haruslah nilai maksimum dari beban hidup yang bisa diampu oleh bangunan tersebut.

Tabel 2.15 Beban Hidup Minimum SNI 1727 : 2013

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
• Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
• Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
• Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
• Lobi	100 (4,79)	
• Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
• Panggung pertemuan	100 (4,79)	
• Lantai podium	100 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor	100 (4,79)	
• Lantai pertama	sama seperti pelayanan hunian	
• Lantai lain	kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. [50 mmx50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan ( pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)

Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4,5	
Garasi/Parkir		
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	
Truk dan bus		
Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan	Lihat pasal 4,5	
Helipad	60 (2,87) Tidak boleh direduksi	
Rumah sakit :		
• Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
• Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
• Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
• Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		
• Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
• Berat	250 (11,97)	3000 (13,40)
Gedung perkantoran :		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)	
Bangsas dansa dan Ruang dansa	100 (4,79)	

Gimnasium	100 (4,79)	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	sama seperti hunian dilayani	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	200 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik,		
		300 (1,33)

gudang, dan perbaikan garasi Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak/scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,6)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang) penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,0)	1000 (4,45)
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

Sumber : Tabel 4-1 SNI 1727:2013

#### b. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban yang bersifat *still* atau tetap selama bangunan tersebut berdiri. Beban mati dari sebuah bangunan terdiri dari berat bagian bangunan sendiri,

dan juga segala peralatan yang berada di gedung. Berat untuk bangunan memiliki berat yang berbeda tergantung dari bahan bangunan yang digunakan, dan untuk menentukan beratnya digunakan Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 dalam menuliskan berat volume bangunan dan dalam penulisannya digunakan PPIUG 1983 Tabel 2.1 sebagai acuan.

Tabel 2.16 Berat Sendiri Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Volume Kg/m <sup>3</sup>
Baja	7850
Batu Alam	2600
Batu Belah, Batu Bulat, Batu gunung (Berat Tumpuk)	1500
Batu Karang (berat tumpuk)	700
Batu Pecah	1450
Besi Tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (Kelas I)	1000
Kerikil, Koral	1650
Pasangan Bata Merah	1700
Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	2200
Pasangan Batu Cetak	2200
Pasangan Batu Karang	1450
Pasir (Kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (Jenuh air)	1800
Pasir Kerikil, koral (Kering udara sampai lembab)	1850
Tanah, Lempung dan Lanau (Kering udara sampai lembab)	1700
Tanah, Lempung dan Lanau (basah)	2000
Timah Hitam	11400

Tabel 2.17 Berat Volume Komponen Gedung

Bahan Bangunan	Berat Volume Kg/m <sup>3</sup>
Adukan per cm tebal :	
• Dari semen	21
• Dari Kapus, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14

Dinding pasangan batu merah	
• Satu batu	450
• Setengah batu	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang	
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa Lubang	
• Tebal dinding 15 cm	300
• Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: • semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan	11
tebal maksimum 4 mm	
• kaca, dengan tebal 3 – 4 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m <sup>2</sup>	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap	50
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

### c. Kombinasi Pembebanan Struktur

Setelah menentukan beban mati, beban hidup, serta beban dari lingkungan diperlukan kombinasi dari setiap beban tersebut untuk menghasilkan sebuah nilai beban yang harus bisa diampu struktur bangunan demi terciptanya bangunan yang kuat dan tahan terhadap setiap pembebanan yang ada.

Kombinasi beban yang digunakan dalam struktur bangunan Terminal Purboyo Kota Madiun telah dijabarkan dalam Tabel 2.18 dan menggunakan SNI 1726:2019 sebagai acuan kombinasi pembebanan

Tabel 2.18 Kombinasi Beban Struktur

KOMBINASI	ACUAN
D	SNI 1726 : 2019
D + L	
D + (Lr atau R)	
D + 0,75 L + 0,75 (Lr atau R)	
D + 0,6 W	
D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 (Lr atau R)	
0,6 D + 0,6 W	
1,0 D + 0,7 Ev + 0,7 Eh	
1,0 D + 0,525 Ev + 0,525 Eh + 0,75 L	
0,6 D - 0,7 Ev + 0,7 Emh	

## 2.2 Perencanaan Struktur Atas

### 2.2.1 Preliminary Design

Nama Proyek	: Pembangunan Terminal Purboyo Madiun
Lokasi Proyek	: Jl.Basuki Rahmat No.1,Patihan,Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur
Jumlah Lantai	: 2 Lantai
Luas Bangunan	: 3222 m <sup>2</sup>
Struktur Utama Proyek	: Beton Bertulang
Fungsi Bangunan	: Terminal Penumpang
Ø tulangan lentur pelat lantai	: 10 mm
Ø tulangan susut pelat lantai	: 8 mm
Ø tulangan lentur balok	: 16 mm
Ø tulangan sengkang balok	: 10 mm

#### d. Nilai Mutu Beton

Menurut Tabel 2.1 nilai mutu beton ( $f_c'$ ) yang digunakan pada sebuah bangunan dengan sistem rangka pemikul momen khusus memiliki  $f_c'$  minimum sebesar 21 Mpa

dan tidak ada batasan untuk nilai maksimum. Melalui acuan tersebut perencanaan untuk beton balok, pelat lantai, dan kolom yang akan digunakan pada proyek pembangunan Terminal Purboyo Madiun menggunakan  $f_c' = 25$  Mpa.

**e. Nilai Kekuatan Leleh Tulangan**

Menurut Tabel 2.2, kekuatan leleh ( $f_y$ ) tulangan lentur dan susut memiliki batas atas atau maksimal sebesar 420 Mpa sehingga untuk perancangan pelat digunakan  $f_y$  sebesar 280 Mpa. Kemudian untuk batasan atas nilai kekuatan leleh tulangan longitudinal, lentur, dan transversal memiliki nilai sebesar 420 Mpa, sehingga perancangan balok memiliki nilai  $f_y$  sebesar 400 Mpa. Terakhir, untuk batasan atas nilai kekuatan leleh untuk tulangan lentur dan geser dengan sistem seismik khusus adalah 420 Mpa sehingga pada kolom digunakan nilai  $f_y$  sebesar 400 Mpa.

Nilai  $f_y$  pada pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun :

- $f_y$  Pelat = 280 Mpa
- $f_y$  Balok = 400 Mpa
- $f_y$  Kolom = 400 Mpa

**f. Ketebalan Selimut Beton**

Pada Tabel 2.3 dituliskan jika syarat untuk selimut beton untuk komponen balok dan kolom yang tidak terpapar dengan cuaca atau bersentuhan dengan tanah serta yang menggunakan tulangan utama dan sengkang, maka ketebalan selimut beton yang digunakan sebesar 40 mm. Dengan persyaratan tersebut maka perancangan balok dan kolom menggunakan selimut beton setebal 40 mm. Kemudian pada Tabel 2.3 juga dijelaskan jika pada komponen pelat yang tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah dan menggunakan tulangan yang lebih kecil dari 36 mm harus memiliki ketebalan selimut beton sebesar 20 mm, maka dari itu digunakan angka 20 mm untuk ketebalan selimut beton pelat pada perancangannya.

Tebal selimut beton pada pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun :

- Selimut Beton Pelat = 20 mm
- Selimut Beton Balok = 40 mm
- Selimut Beton Kolom = 40 mm



**g. Faktor Modifikasi ( $\lambda$ )**

Didapatkan dari Tabel 2.4 nilai faktor modifikasi ( $\lambda$ ) yang dipakai untuk perancangan beton normal bernilai 1 (satu). Dengan acuan tersebut maka pada pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun digunakan nilai faktor modifikasi sebesar 1 dalam variabel perencanaannya.

**h. Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )**

Tabel 2.5 menunjukkan jika faktor reduksi ( $\phi$ ) yang digunakan untuk perancangan komponen struktur yang dapat menahan setiap gaya momen, aksial, dan geser menggunakan faktor reduksi sebesar 0,65 – 0,9. Namun, untuk perancangan komponen struktur yang memiliki peranan menahan gaya torsi, digunakan nilai faktor reduksi 0,75. Maka, dengan acuan tersebut pembangunan Terminal Purboyo Madiun menggunakan nilai faktor reduksi sebesar 0,75 dalam variabel perancangan pelat lantai yang diharapkan mampu menahan gaya geser, aksial, momen, dan torsi.

**i. Estimasi Dimensi Balok**

Pada pembangunan Terminal Purboyo Madiun digunakan balok induk dengan bentang sebesar 5,5 m dengan kondisi perlekatan sederhana. Dengan Tabel 2.6 sebagai acuan, maka dapat ditentukan tinggi minimum dari balok yang akan digunakan dengan cara sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{\ell}{16} = \frac{5500}{16} = 343,75 \text{ mm}$$

$$h_{\text{dipakai}} = 350 \text{ mm}$$

Perhitungan lebar minimum yang digunakan menggunakan acuan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2. dimana perencanaan lebar balok yang menggunakan selimut beton sebesar 40 mm menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$b_w = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 400 \\ = 266,67 \text{ mm}$$

$$b_{w \text{ pakai}} = 250 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, maka dimensi balok induk yang akan digunakan dalam pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun menggunakan dimensi 250/350 mm.

#### j. Estimasi Dimensi Balok Anak

Pada pembangunan Terminal Purboyo Madiun digunakan balok anak dengan bentang sebesar 5,5 m dengan kondisi perlekatan sederhana. Dengan Tabel 2. 6 sebagai acuan, maka dapat ditentukan tingi minimum dari balok yang akan digunakan dengan cara sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{\ell}{21} = \frac{5500}{21} = 261,9 \text{ mm}$$

$$h_{\text{dipakai}} = 400 \text{ mm}$$

Perhitungan lebar minimum yang digunakan menggunakan acuan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2. dimana perencanaan lebar balok yang menggunakan selimut beton sebesar 40 mm menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} b_w &= \frac{2}{3} \times h \\ &= \frac{2}{3} \times 400 \\ &= 266,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b_w \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, maka dimensi balok induk yang akan digunakan dalam pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun menggunakan dimensi 200/300 mm.

#### k. Estimasi Dimensi Kolom

Pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun direncanakan memiliki 2 lantai, maka perencanaan kolom pada perencanaan bangunan ini akan menggunakan persamaan yang menggunakan bentang kolom  $L_x$  sebesar 5 m dan  $L_y$  sebesar 6 m dengan mutu beton ( $f'_c$ ) sebesar 25 Mpa. Didalam estimasi perhitungan dimensi kolom digunakan asumsi jika setiap lantai kolom mendapati beban sebesar 15 kn. Kemudian digunakan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,65 dalam variabel perhitungan karena komponen kolom yang diharapkan menahan gaya aksial.

$$\begin{aligned} P_u &= L_y \times L_x \times \text{berat sendiri kolom} \times \text{jumlah lantai} \\ &= 6 \times 5 \times 15 \times 2 \\ &= 900 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,3 \times \phi \times f_c'}$$

$$A_g = \frac{900 \times 1000}{0,3 \times 0,65 \times 25}$$

$$= 184615,385$$

$$C = \sqrt{184615,385}$$

$$= 429,669 \text{ mm} \sim 450 \text{ mm}$$

Dengan perhitungan diatas, maka pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun menggunakan kolom dengan dimensi 450 mm x 450 mm.

## 2.2.2 Penentuan Kelas Situs

### a. Klasifikasi Situs Bangunan

Klasifikasi yang dilakukan pada situs bangunan bisa didapat dengan melakukan uji pengeboran (*Standard Penetration Test*) pada tanah yang akan dibangun. Dari hasil yang didapat akan dilanjutkan ke pengerjaan nilai N rerata. N rerata ini didapatkan dengan cara membagi kedalaman (T) per seksi pukulan dan jumlah pukulan yang dibutuhkan (N1). Tabel 2. 19 menunjukkan hasil perhitungan N rerata.

Tabel 2. 19 Hasil N rerata

Kedalaman (m)	T (m)	N	N = T/N
2	2	8	0.25
4	2	8	0.25
6	2	11	0.181818
8	2	15	0.133333
10	2	18	0.111111
12	2	38	0.052632
14	2	38	0.052632
16	2	41	0.04878
18	2	18	0.111111
20	2	22	0.090909
22	2	27	0.074074
24	2	18	0.111111
26	2	35	0.057143
28	2	54	0.037037
30	2	55	0.036364
Jumlah	30		1.598055

	N rerata	18.773
Jenis Tanah	<b>SD (tanah sedang)</b>	

Dari perhitungan yang dijabarkan pada tabel Tabel 2. 19 jenis tanah pada proyek pembangunan Terminal Purboyo Kota Madiun adalah SD (tanah sedang) hal ini didapat menggunakan acuan Tabel 2. 7 yang mengklasifikasikan N rerata dengan rentang 15 – 50 adalah tanah sedang.

**b. Kategori Risiko Bangunan**

Terminal Purboyo yang akan dibangun di Kota Madiun memiliki fungsi sebagai gedung perkantoran sehingga berdasarkan Tabel 2. 8 yang didapat dari SNI 1726:2019, kategori risiko bangunan terminal ini masuk kedalam kategori risiko II yang masuk kedalam gedung yang memiliki risiko tidak terlalu tinggi terhadap risiko korban jiwa.

**c. Faktor Keutamaan Gempa**

Pada kategori risiko bangunan, Terminal Purboyo Kota Madiun ditentukan menjadi bangunan dengan kategori risiko II, maka berdasarkan Tabel 2.9 bangunan Terminal Purboyo Kota Madiun memiliki faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sebesar 1,0. Dengan acuan tersebut, faktor keutamaan gempa Terminal Purboyo Kota Madiun adalah 1,0.

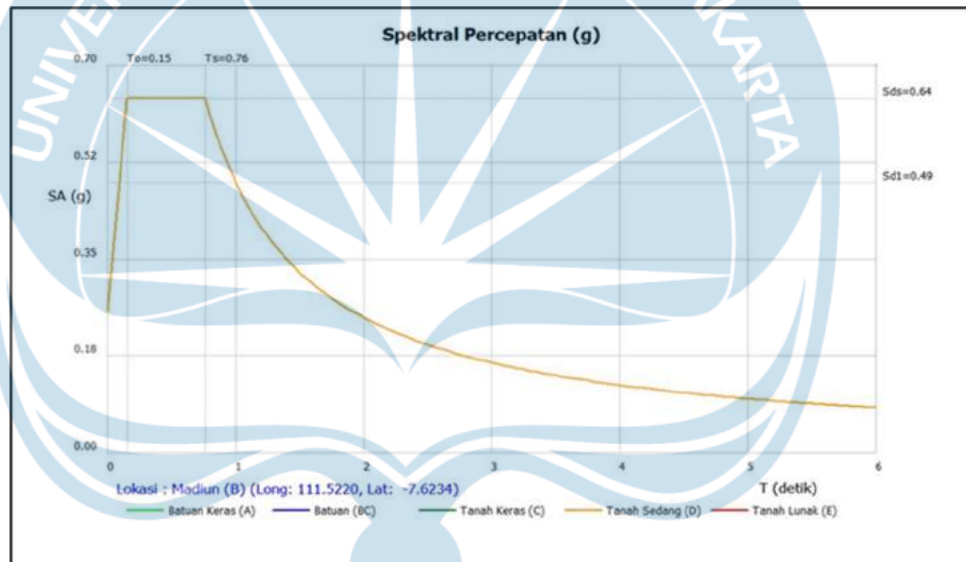
**d. Spektrum Gempa**

Analisis spektrum gempa dilakukan menggunakan program Respons Spektra Gempa Indonesia 2019. Berikut hasil yang didapat dari analisis spektrum gempa di Kota Madiun dengan klasifikasi Tanah Sedang (SD) :

Nama Kota : Madiun (B)  
 Kelas Situs : SD – Tanah Sedang  
 Bujur : 111,522 Degrees  
 Lintang : -7, 6234 Degrees

PGA = 0.371058 g  
 PGAm = 0.456008 g  
 CRs = 0.000000  
 CR1 = 0.000000

$S_s = 0.818597 \text{ g}$   
 $S_1 = 0.381487 \text{ g}$   
 $TL = 20.000000 \text{ detik}$   
 $F_a = 1.172561$   
 $F_v = 1.918513$   
 $S_{ms} = 0.959855 \text{ g}$   
 $S_{m1} = 0.731887 \text{ g}$   
 $S_{ds} = 0.639903 \text{ g}$   
 $S_{d1} = 0.487925 \text{ g}$   
 $T_0 = 0.152499 \text{ detik}$   
 $T_s = 0.762497 \text{ detik}$



Gambar 2. 1 Grafik Spektrum di Kota Madiun dengan Tanah Sedang (SD)

### e. Kategori Desain Seismik

Mengkategorikan Desain Seismik dapat dilakukan dengan memeriksa besarnya nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Analisis dilakukan dengan bantuan Program Respons Spektra Peta Gempa Indonesia 2019 dan bertujuan untuk mendapatkan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Nilai  $S_{DS}$  yang didapatkan adalah 0,639903 g, sedangkan nilai  $S_{D1}$  sebesar 0,487925 g. Dengan memeriksa tabel kategori desain seismik periode pendek pada Tabel 2.10, bangunan Terminal Purboyo masuk pada kategori D dikarenakan syarat  $0,50 \leq S_{DS}$  pada kategori risiko II. Sedangkan untuk nilai  $S_{D1}$ , berdasarkan SNI 1726:2019 kategori desain

seismik percepatan pada periode 1 detik dan dijabarkan pada Tabel 2.11 ditunjukkan setiap bangunan yang masuk dalam syarat nilai  $0,20 \leq S_{DI}$  pada kategori risiko II digolongkan bangunan dengan kategori desain seismik D. Maka dari itu, Terminal Purboyo yang direncanakan dibangun pada Kota Madiun merupakan bangunan dengan Kategori Desain Seismik D.

**f. Sistem Pemikul Gaya Seismik Struktur**

Terminal Purboyo Kota Madiun memakai sistem pemikul gaya seismik dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Dapat dilihat pada SNI 1726:2019 dan dijabarkan pada Tabel 2.12, maka ditarik kesimpulan faktor R,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  yang akan digunakan pada bangunan dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus memiliki nilai R sebesar 8, nilai  $C_d$  sebesar 5,5 dan nilai  $\Omega_0$  sebesar 3.

**g. Periode Fundamental**

Bangunan Terminal Purboyo Kota Madiun menggunakan sistem pemikul gaya seismik dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus dan memiliki tinggi bangunan setinggi 10,5 m. Untuk menentukan Parameter Periode Fundamental dari bangunan ini akan menggunakan SNI 1726:2019 Tabel 18 dan yang sudah dijabarkan pada Tabel 2.13. Melalui karakteristik bangunan yang merupakan sistem pemikul rangka beton momen khusus ditentukan nilai  $C_t$  sebesar 0,0466 dan nilai  $x$  sebesar 0,9. Berikutnya, untuk mencari nilai koefisien  $C_u$  ditentukan menggunakan acuan dari SNI 1726:2019 Tabel 18 dan dijabarkan pada Tabel 2. 14. Melalui aturan atas nilai  $SDS \geq 0,4$  maka ditentukan nilai koefisien  $C_u$  pada bangunan adalah 1,4.

Periode fundamental ( $T_a$ ) ditentukan dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times 10,5^{0,99} \\ &= 0,387 \end{aligned}$$

Nilai T ditentukan dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} T &= C_u T_a \\ &= 1,4 \times 0,387 \\ &= 0,541 \end{aligned}$$

Periode fundamental gempa didapatkan dengan analisis yang dilakukan pada ETABS dan didapatkan nilai sebesar 2,845. Berdasarkan aturan yang sudah dijabarkan pada Tabel 2. 14 jika  $T_{\text{computed}} \geq C_u T_a$ , maka periode fundamental yang digunakan pada perhitungan kekuatan adalah  $T_{\text{computed}}$ . Melalui persyaratan tersebut didapatkan nilai periode fundamental gempa pada bangunan Terminal Purboyo Kota Madiun sebesar 2,845.

#### **h. Faktor Respons Gempa**

Pada Bangunan Terminal Purboyo Kota Madiun, didapatkan nilai  $S_{DS}$  bernilai 0,640 g. Maka, koefisien respons seismik ( $C_s$ ) sudah dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,640}{\left(\frac{8}{1,0}\right)}$$

$$C_s = 0,080$$

Hasil perhitungan  $C_s$  diatas tidak perlu melebihi nilai  $C_s$  yang dihitung dengan cara berikut :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,488}{2,845 \left(\frac{8}{1,0}\right)}$$

$$C_s = 0,0214$$

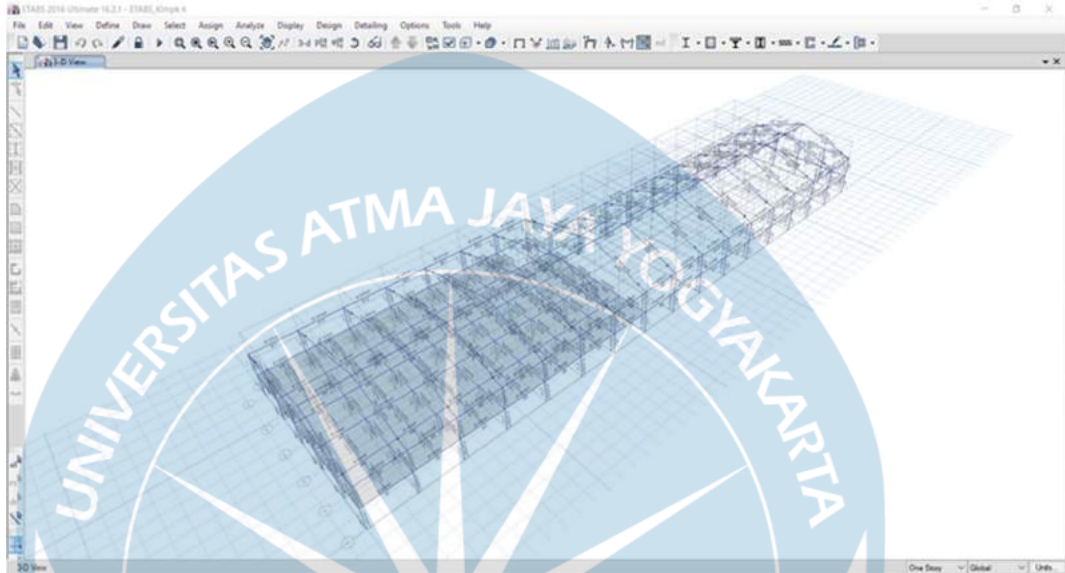
Kemudian nilai  $C_s$  min tidak harus kurang dari 0,01 dan dihitung dengan cara berikut:

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,640 \times 1,0 \geq 0,01 \\ &= 0,0282 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Maka nilai  $C_s$  yang digunakan adalah 0,08

### 2.2.3 Permodelan Struktur

Pemodelan struktur secara tiga dimensi yang dilakukan dalam perencanaan Terminal Purboyo Kota Madiun menggunakan aplikasi ETABS v16.2.1 seperti pada Gambar 2.2.



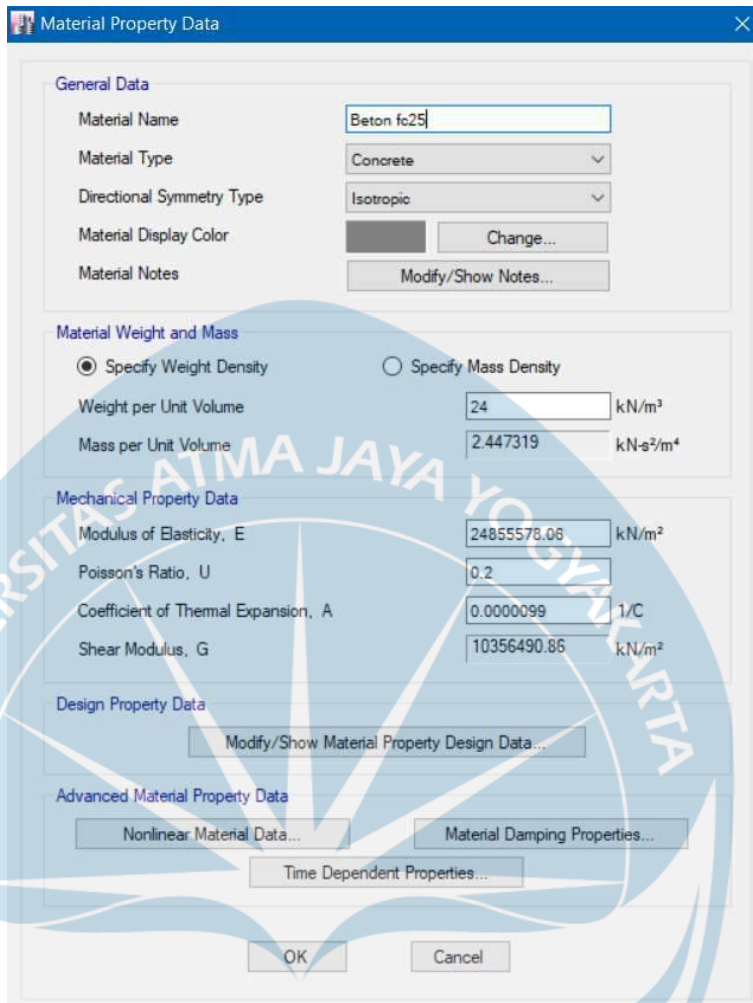
Gambar 2. 2 Pemodelan 3D Struktur Bangunan

#### a. Data Material

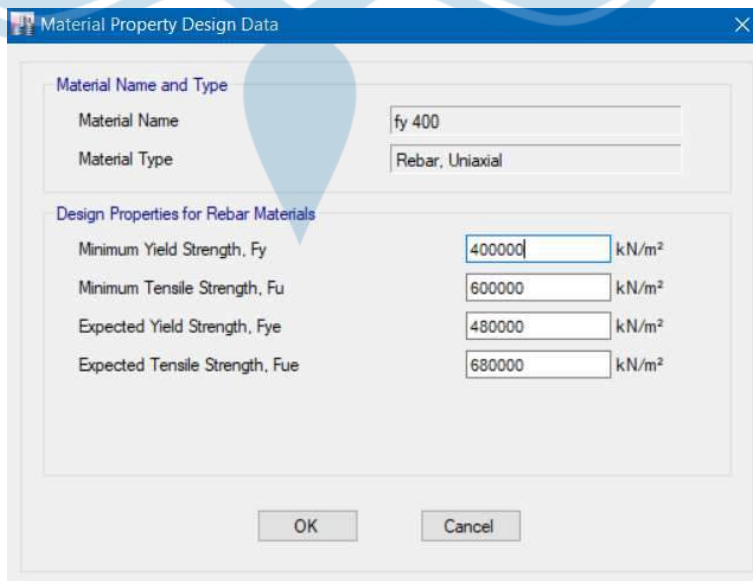
Menentukan jenis material yang akan digunakan pada elemen-elemen struktur dengan sifat-sifat material tersebut. Penentuan jenis material beton dan tulangan baja dilakukan pada Menu *Define-Material PropertiesMaterial Property Data*.

Bangunan Terminal Purboyo direncanakan menggunakan beton dengan mutu  $f_c'$  25 MPa atau setara K – 300 atau setara K-300 untuk elemen kolom, balok, pelat dan tangga. Untuk baja tulangan, digunakan baja ulir dengan mutu baja  $f_y$  400 MPa dan baja polos dengan mutu  $f_y$  240 MPa.

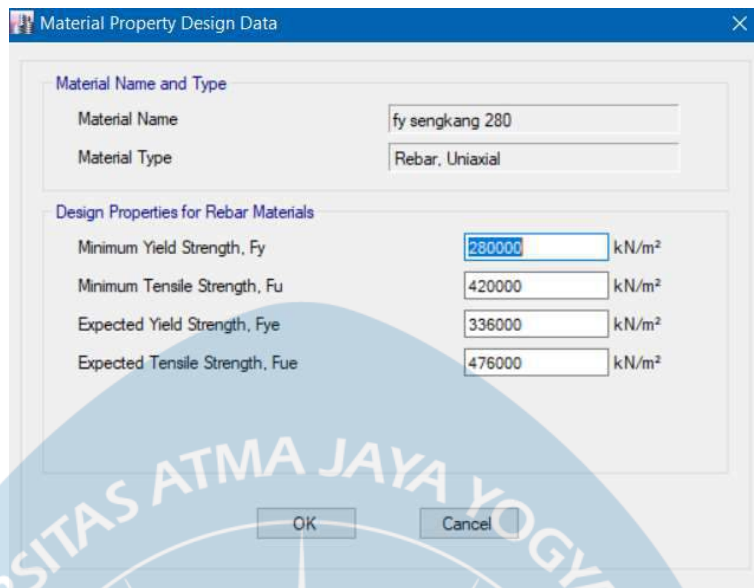




Gambar 2. 3 Material Beton Mutu  $f'c$  25 MPa



Gambar 2. 4 Material Baja Tulangan Mutu  $f_y$  400 MPa



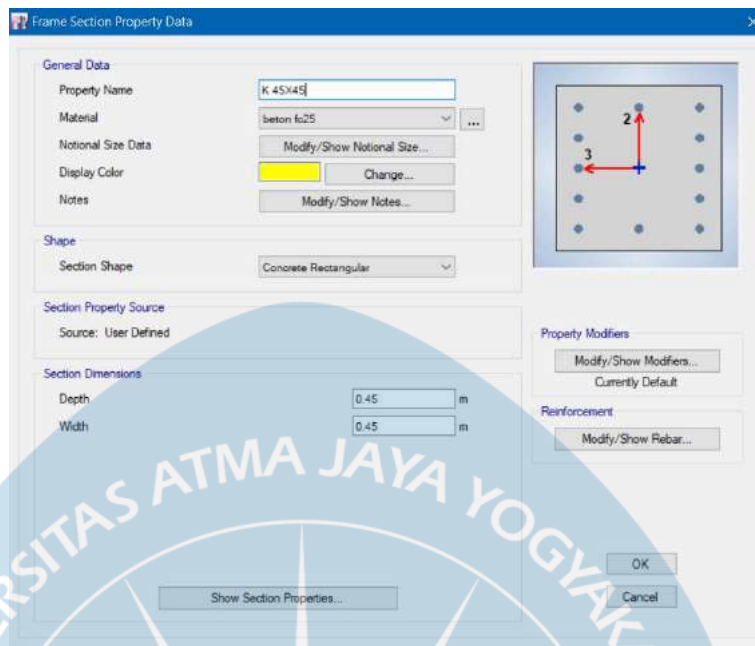
Gambar 2. 5 Material Baja Tulangan Mutu  $f_y$  280 Mpa

#### b. Data Dimensi Elemen Struktur

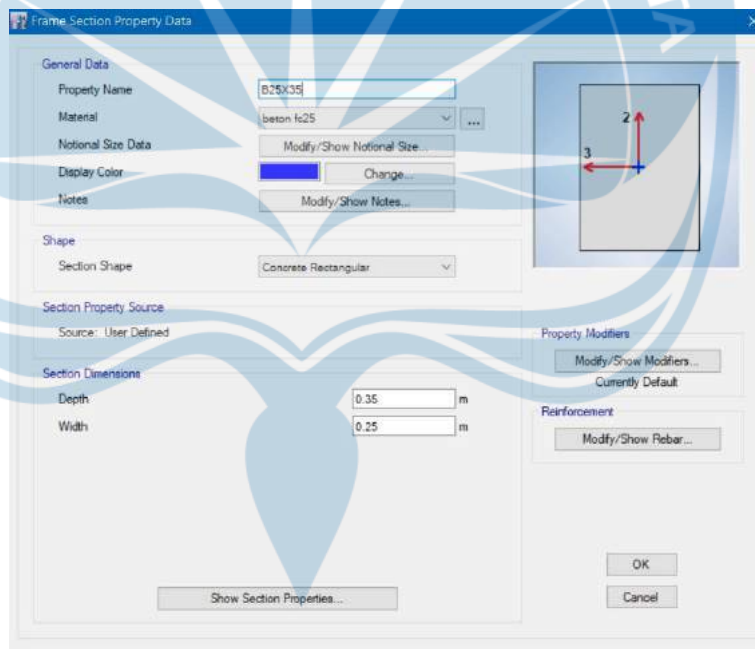
Setelah penentuan jenis material dilakukan, input dimensi pada aplikasi ETABS v16.2.1. dikerjakan sesuai dengan dimensi elemen struktur pada *preliminary design*. pada tahap ini akan dilakukan penentuan dimensi penampang elemen balok, kolom, dan plat lantai dengan berbagai pilihan bentuk penampang. Proses menginput dimensi penampang dilakukan pada Menu *Define-Section Properties-Frame SectionsFrame Section Property Data*.

Dimensi balok yang diinput dalam ETABS ada beberapa macam, dan diberi kode sesuai dengan dimensinya. Untuk balok menggunakan balok 25x35cm, 25x40cm, dan 30x50cm, sedangkan untuk kolom menggunakan kolom persegi dengan ukuran 45x45cm dan untuk atap menggunakan kuda-kuda baja WF dengan ukuran 300 x 150 x 6,5 x 9 dan 350 x 175 x 7 x 11.

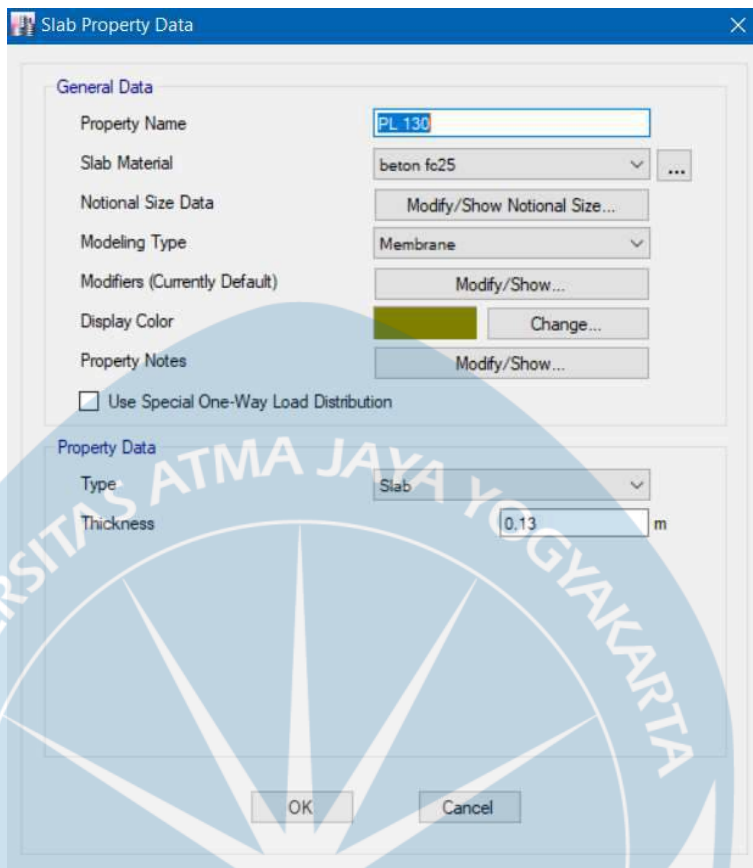
Dimensi elemen struktur kolom dapat dilihat pada Gambar 2.6 ,untuk dimensi balok dapat dilihat pada Gambar 27. ,untuk elemen pelat lantai dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan untuk elemen kuda-kuda atap dapat dilihat pada Gambar 2.9.



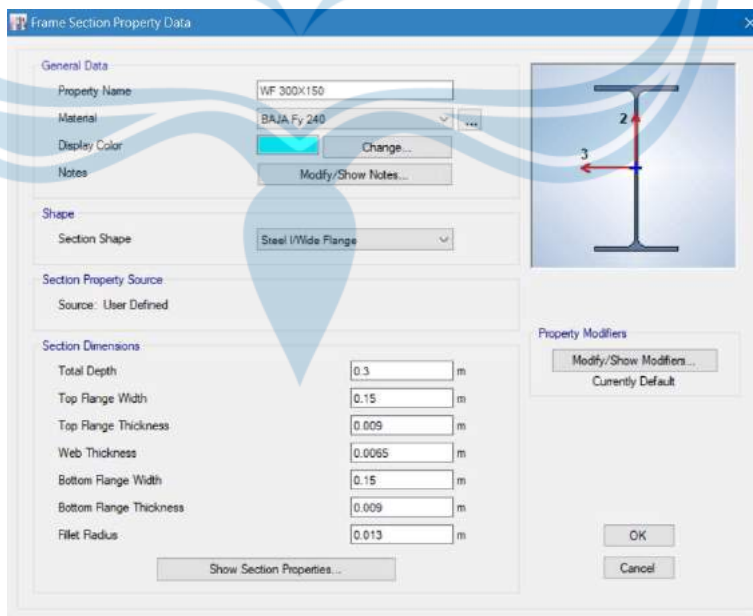
Gambar 2. 6 Dimensi Kolom



Gambar 2. 7 Dimensi Balok



Gambar 2. 8 Dimensi Plat Lantai



Gambar 2. 9 Dimensi Baja WF Atap

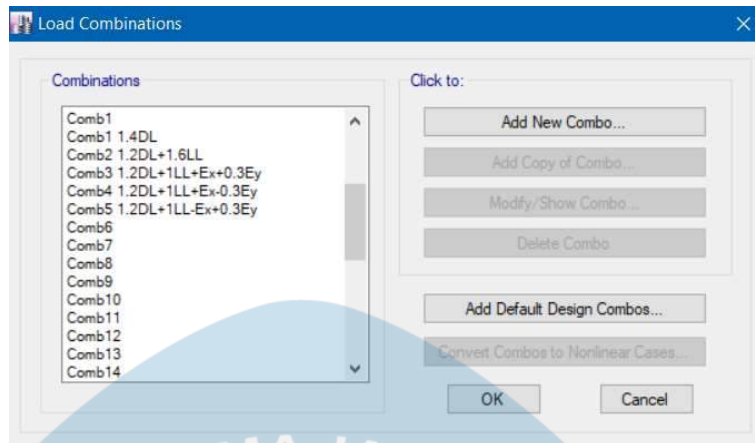
### c. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2019 adapun jenis beban yang dipakai yaitu beban mati (DL), beban hidup (LL) dan beban gempa arah-X (EQx) serta gempa arah-Y (EQy). Sedangkan metode pemecahan 6 kombinasi awal menjadi 18 kombinasi secara berkebalikan dapat dilihat pada Tabel 2. 20 Kombinasi Pembebanan Gempa :

	Kombinasi
1	1,4 DL
2	1,2 DL + 1,6 LL
3	1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 . 1,0 EQx + 1,0 EQy
4	1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 . 1,0 EQx + 1,0 EQy
5	1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 . 1,0 EQx - 1,0 EQy
6	1,2 DL + 1,0 LL - 0,3 . 1,0 EQx - 1,0 EQy
7	1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx + 0,3 . 1,0 EQy
8	1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQx + 0,3 . 1,0 EQy
9	1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 EQx - 0,3 . 1,0 EQy
10	1,2 DL + 1,0 LL - 1,0 EQx - 0,3 . 1,0 EQy
11	0,9 DL + 0,3 . 1,0 EQx + 1,0 EQy
12	0,9 DL - 0,3 . 1,0 EQx + 1,0 EQy
13	0,9 DL + 0,3 . 1,0 EQx - 1,0 EQy
14	0,9 DL - 0,3 . 1,0 EQx - 1,0 EQy
15	0,9 DL + 1,0 EQx + 0,3 . 1,0 EQy
16	0,9 DL - 1,0 EQx + 0,3 . 1,0 EQy
17	0,9 DL + 1,0 EQx - 0,3 . 1,0 EQy
18	0,9 DL - 1,0 EQx - 0,3 . 1,0 EQy

Tabel 2. 20 Kombinasi Pembebanan Gempa

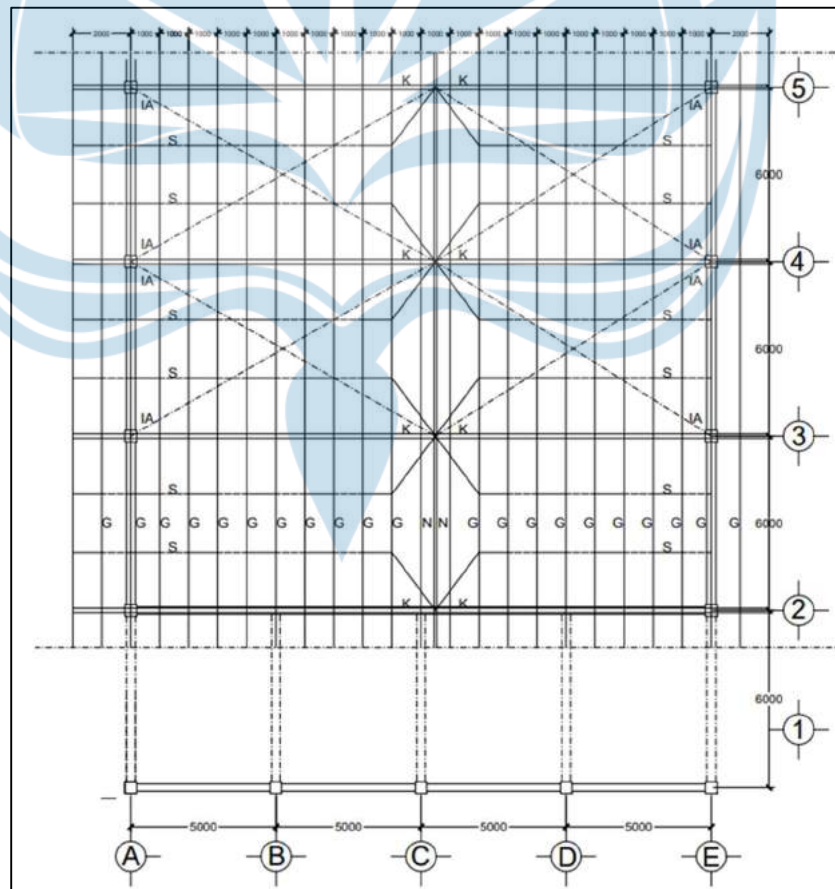
Kombinasi beban tersebut diinput dalam ETABS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2. 10 Kombinasi Pembebanan

### 2.3 Perancangan Struktur Atap

Pada perencanaan ini digunakan struktur atap dari rangka baja, yang diperhitungkan dapat menahan beban-beban, baik berupa beban mati maupun beban hidup. Denah atap dan letak kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2. 11 Denah Rencana Atap

Keterangan :

K = Kuda-kuda rangka baja

G = Gording

N = Nok

S = Sagrod

IA = Ikatan angin

### 2.3.1 Perancangan Gording

Pada perencanaan gording digunakan data-data sebagai berikut:

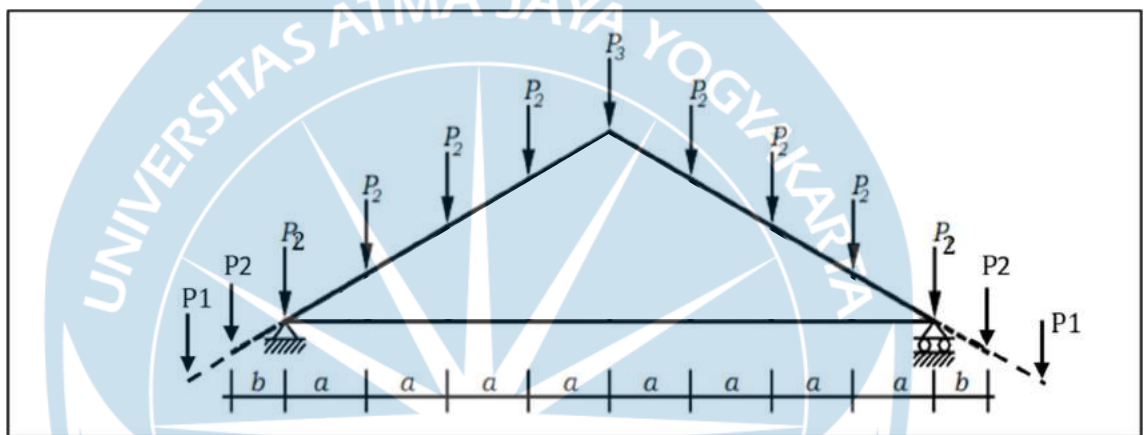
Kemiringan atap ( $\alpha$ )	= 11°
Bentang gording (L)	= 6 m
Jarak antar gording	= 1 m
Jarak sagrod	= 2 m
Atap Metal Sandproof	= 0.15 kN/m <sup>2</sup>
Berat atap	= 0.1528 kN/m <sup>2</sup>
Berat sendiri	= 0.0927 kN/m <sup>2</sup>
Berat plafon	= 0.18 kN/m <sup>2</sup>
Mutu baja fy	= 240 MPa
Rencana gording q	= 0.4255 kN/m <sup>2</sup>
Berat gording	= 0.064 kH/m <sup>2</sup>

Dicoba digunakan baja profil kanal C 150 × 65 × 20 × 3

Dari tabel profil, diperoleh spesifikasi data penampang sebagai berikut :

- Tinggi profil (h) = 150mm
- Lebar profil (b) = 65 mm
- Tebal profil (t) = 3mm
- Kait (h1) = 20 mm

- e. Berat sendiri (wg) = 6,13 kg/m
- f. Luas penampang (A) = 7,81 cm<sup>2</sup>
- g. I<sub>x</sub> = 181 cm<sup>4</sup>
- h. I<sub>y</sub> = 27 cm<sup>4</sup>
- i. Z<sub>x</sub> = 29 cm<sup>3</sup>
- j. Z<sub>y</sub> = 8,02 cm<sup>3</sup>



Gambar 2. 12 Pembebanan Atap

Rencana beban mati

Berat beban sendiri + berat atap + berat plafon

- Beban mati arah x ( $q_{DL. x} = q_{D1} \cos \alpha$ )
  - =  $0.4225 \times \cos (11^\circ)$
  - =  $0.4177 \text{ kN/m}^2$
- Beban mati arah y ( $q_{D. y} = q_{D1} \sin \alpha$ )
  - =  $0.4225 \times \sin (11^\circ)$
  - =  $0.0812 \text{ kN/m}^2$

Rencana beban hidup

Berat hidup di tengah gording  $P = 100 \text{ kg} = 1 \text{ kN/m}^2$



- Beban hidup arah x ( $q_{L.L. x}$ ) =  $P \cos \alpha$

$$= 1 \times \cos (11)$$

$$= 0.982 \text{ kN/m}^2$$

- Beban hidup arah y ( $q_{L.L. y}$ ) =  $P \cos \alpha$

$$= 1 \times \sin (11)$$

$$= 0.191 \text{ kN/m}^2$$

### Rencana Momen Gording

Konstruksi gording dianggap sebagai simple beam. Momen maksimum berada di tengah bentang

- Momen arah sb.3

$$M_{3,D} = \frac{1}{8} q \cos \alpha (L_1)^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 0.4177 \times (6)^2$$

$$= 1.880 \text{ kNm}$$

$$M_{3,L} = \frac{1}{4} P \cos \alpha (L_1)$$

$$= \frac{1}{4} \times 0.982 \times 6$$

$$= 1.472 \text{ kNm}$$

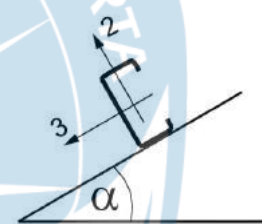
- Momen arah sb.2

$$M_{2,D} = \frac{1}{8} q \cos \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^2$$

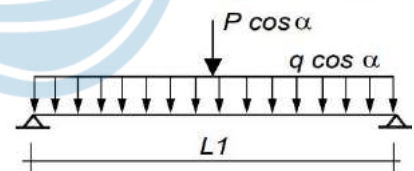
$$= \frac{1}{8} \times 0.08119 \times \left(\frac{6}{3}\right)^2$$

$$= 0.041 \text{ kNm}$$

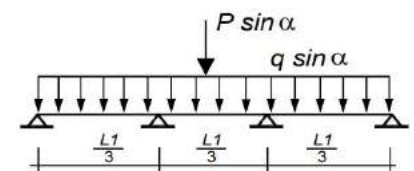
$$M_{2,L} = \frac{1}{4} P \cos \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)$$



**Beban gording arah sb-2**



**Beban gording arah sb-3**



Gambar 2. 13 Rencana Gording

$$= \frac{1}{4} \times 0.191 \times \frac{6}{3}$$

$$= 0.095 \text{ kNm}$$

#### Kombinasi Pembebanan

- $M_u = 1.4 M_D$
- $M_u = 1.2 M_D + 1.6 M_L$

#### Momen arah sb.3

$$M_{3,u} = 1.4 (1.880) = 2.631 \text{ kNm}$$

$$M_{3,u} = 1.2 (1.880) + 1.6 (1.472) = 4.611 \text{ kNm}$$

#### Momen arah sb.2

$$M_{2,u} = 1.4 (0.041) = 0.057 \text{ kNm}$$

$$M_{2,u} = 1.2 (0.041) + 1.6 (0.0952) = 0.201 \text{ kNm}$$

Momen untuk perencanaan dipakai yang terbesar, diperoleh :

$$M_{3,u} = 4.611 \text{ kNm}$$

$$M_{2,u} = 0.201 \text{ kNm}$$

Profil C 150 × 65 × 20 dengan tebal 3 mm

$$W_3 = Z_x = 38.755 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_x = 286.789 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_2 = Z_y = 7.122 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 31.9049 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

#### Kontrol Tegangan

Dengan nilai  $\phi = 0.9$  untuk lentur dan geser (tabel 6.4–2 SNI 03–729–2002)

$$f_b = \frac{M_{3,u}}{\phi W_3} + \frac{M_{2,u}}{\phi W_2} \leq f_y$$

$$f_b = \frac{4.611 \times 10^4}{0.9 \times 38.755 \times 10^3} + \frac{0.201 \times 10^6}{0.9 \times 7.122 \times 10^3} \leq 240 \text{ MPa}$$

$$= 163.62 \leq 240 \text{ MPa (Aman) // Mutu baja } f_y = 240 \text{ MPa}$$

### Kontrol Lendutan

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{0.4255 \cos (11) (6000)^4}{2 \times 10^5 \times 2867890} + \frac{1}{48} \times \frac{1000 \cos (11) (6000)^3}{2 \times 10^5 \times 2867890}$$

$$= 12.2887 + 7.701$$

$$= 19.990 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha (L_1)^3}{EI}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{0.4225 \sin(11) (2000)^4}{2 \times 10^5 \times 2867890} + \frac{1}{48} \times \frac{1000 \sin (11) (2000)^3}{2 \times 10^5 \times 2867890}$$

$$= 0.0884 + 0.1661$$

$$= 0.254 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} = \sqrt{0.254^2 + 19.990^2} = 19.992 \text{ mm}$$

$\delta < \left(\frac{1}{240} \times L\right)$ , Sesuai batas lendutan maksimum (tabel 6.4-1 SNI 03-1729 2002)

$$\delta < \left(\frac{1}{240} \times 6000\right)$$

$$19.992 < 25 \text{ (Aman)}$$

### 2.3.2 Perencanaan Sagrod

Jumlah gording dibawah nok pada gambar II.1 sejumlah n = 11 baris

Gaya pada sagrod :

$$f_{i.L} = \frac{n}{2} P \sin \alpha$$

$$= \frac{11}{2} \times 1 \sin (11^\circ)$$

$$= 1.04 \text{ kN}$$

$$f_{t,D} = n \left( \frac{L_1}{3} \times q \sin \alpha \right)$$

$$= 11 \left( \frac{6}{3} \times 0.4261 \sin (11^\circ) \right)$$

$$= 1.789 \text{ kN}$$

Kombinasi pembebanan

- $f_{t,u} = 1.4 \times f_{t,D}$
- $f_{t,u} = 1.2 \times f_{t,D} + 1.6 \times f_{t,L}$

$$f_{t,u} = 1.4 \times f_{t,D}$$

$$= 1.4 \times 1.789$$

$$= 2.504 \text{ kN}$$

$$f_{t,u} = 1.2 \times f_{t,D} + 1.6 \times f_{t,L}$$

$$= 1.2 \times 1.789 + 1.6 \times 1.04$$

$$= 3.808 \text{ kN}$$

Ddigunakan yang terbesar  $f_{t,u} = 3.808 \text{ kN}$

Luas bidang sagrod yang diperlukan

$$Asr = \frac{f_t \times 10^3}{\phi t y} = \frac{3.8079 \times 10^3}{0.9 \times 240}$$

$$= 17.629 \text{ mm}^2$$

Diameter sagrod

$$d = \sqrt{\frac{Asr}{\frac{1}{4} \pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{17,629}{\frac{1}{4} \pi}}$$

$$= 4.738$$

Digunakan sagrod/trekstang dengan diameter 12 mm.

Mempertimbangkan dari bentang, jarak kuda - kuda dan profil WF yang digunakan, maka digunakan ikatan angin diameter 16 mm.

### 2.3.3 Perencanaan Kuda-Kuda Baja WF

Dalam perencanaan batang kuda-kuda, titik buhul dianggap sebagai sendi. Gaya batang pada suatu kuda-kuda hanya ada 2 macam, yaitu sebagai batang tarik atau sebagai batang tekan, maka perencanaan kuda-kuda pada dasarnya merupakan perencanaan batang tarik dan batang tekan.

#### A. Perhitungan Baja Atap ( Profil 300 x 150 x 6,5 x 9 )

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

$$M = 0,3$$

$$G = \frac{\frac{200.000}{(1+0,3)}}{2} = 76,923 \text{ MPa}$$

$$P_u = 129,67 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 59,78 \text{ kNm}$$

$$L_x = 15,9 \text{ m}$$

$$L_y = 1,02 \text{ m}$$

$$K = 1$$

Data baja WF profil 300 x 150 x 6,5 x 9

$$A = 4,533 \text{ mm}^2$$

$$r_x = 123,7 \text{ mm} \quad I_x = 69.306,966 \text{ mm}^4$$

$$r_y = 33,4 \text{ mm} \quad I_y = 5.068,954 \text{ mm}^4$$

$$W_x = 462,046 \text{ mm}^3$$

$$C_w = 300 \times 9 \times 5.068,954 = 107.311.016,803 \text{ mm}^6$$

$$Z_x = 522,077 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 104,229 \text{ mm}^3$$

$$J = 99,539 \text{ mm}^4$$

Kekuatan Tekan

$$\lambda_x = \frac{Lx \cdot k \cdot 1000}{r_x} = \frac{(15,9 \times 1) \times 1000}{123,7} = 128,5$$

$$\lambda_y = \frac{Ly \cdot k \cdot 1000}{r_y} = \frac{(1 \times 1) \times 1000}{33,4} = 30,5$$

dipilih  $\lambda_x$  dikarenakan lebih besar dari  $\lambda_y$

$\lambda_{\max} < 200$ , maka dinyatakan aman

$$f_e = \mu^2 \times \frac{E}{\lambda_{\max}} = \mu^2 \times \frac{200000}{240} = 119,53 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\max} < 4,71 \left( \frac{200000}{240} \right)^{0,5} = \lambda_{\max} < 135,96$$

$$\text{Maka } F_{cr} = 0,658 \left( \frac{240}{119,53} \right) \times 240 = 103,57 \text{ MPa}$$

Tekan Torsional

$$f_e = \left( \frac{\mu^2 \times E \times C_w}{(k \times L_x \times 1000)^2} + G \cdot J \right) + \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left( \frac{\mu^2 \times 2 \times 10^5 \times 107,311 \times 0,16 \cdot 803}{(1 \times 15,9 \times 1000)^2} + 76,923 \times 99,539 \right) + \frac{1}{69.306,966 + 5.068,954}$$

$$= 114,23 \text{ MPa}$$

Karena  $F_e > 0,44 \times 240 = 105,6 \text{ MPa}$

$$\text{Maka } F_{cr2} = 0,658 \left( \frac{240}{114,23} \right) \times 240 = 99,61 \text{ MPa}$$

$F_{cr}$  digunakan adalah 99,61 MPa

$$P_n = \frac{F_{cr}}{1000} \times A = \frac{99,61}{1000} \times 4,533 = 451,52 \text{ kN}$$

Kapasitas Kuat Tekan =  $\phi P_n = 0,9 \times 451,52$

$$= 406,37 \text{ kN}$$

## Kekuatan Lentur

### Flens

$$\lambda = \frac{\left(\frac{150}{2}\right)}{9} = 8,3 \quad L_{bx} = 15890$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \left(\frac{2 \times 10^5}{240}\right)^{0,5} = 11 \quad L_{by} = 1020$$

$$\lambda_r = \left(\frac{200000}{240}\right)^{0,5} = 28,9 \quad L_p = 1699$$

$$\text{Web} \quad L_r = 4556$$

$$\lambda = \frac{300}{9} = 33,3$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \left(\frac{2 \times 10^5}{240}\right)^{0,5} = 108,5$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \left(\frac{200000}{240}\right)^{0,5} = 164,5$$

$$M_{px} = 125,30 \text{ kNm} \quad M_{nTBx} = 510,784 \text{ kNm} \quad C_b = 1$$

$$M_{py} = 25,01 \text{ kNm} \quad M_{nTBy} = 25,01 \text{ kNm}$$

### Penampang Kompak atau Tidak Kompak

$$M_{nx} = 125,30 \text{ kNm} \quad \text{Kapasitas Lentur } \phi_b M_{nx} = 112,777 \text{ kN}$$

$$M_{ny} = 23,34 \text{ kNm} \quad \text{Kapasitas Lentur } \phi_b M_{ny} = 21,01 \text{ kN}$$

### Persamaan Interaksi

$$\frac{Pr}{P_c} = \frac{129,67}{406,37} = 0,32 > 0,2$$

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1$$

$$\frac{129,67}{406,37} + \frac{8}{9} \left( \frac{59,79}{112,77} + \frac{0}{21,01} \right) \leq 1$$

0,790  $\leq$  1 , maka dinyatakan Aman.

B. Perhitungan Baja Atap ( Profil 350 x 175 x 7 x 11 )

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_u = 370 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

$$M = 0,3$$

$$G = \frac{\frac{200.000}{(1+0,3)}}{2} = 76,923 \text{ MPa}$$

$$P_u = 149,54 \text{ kN}$$

$$M_{ux} = 108,42 \text{ kNm}$$

$$L_x = 15,9 \text{ m}$$

$$L_y = 1 \text{ m}$$

$$K = 1$$

Data baja WF profil 350 x 175 x 7 x 11

$$A = 6,146 \text{ mm}^2$$

$$r_x = 146,1 \text{ mm} \quad I_x = 69.306,966 \text{ mm}^4$$

$$r_y = 40 \text{ mm} \quad I_y = 5.068,954 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 350 \times 11 \times 9.834,894 = 282.559.025,592 \text{ mm}^6$$

$$Z_x = 840.847 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 172.456 \text{ mm}^3$$

$$J = 194.042 \text{ mm}^4$$

Kekuatan Tekan

$$\lambda_x = \frac{L_x \cdot k \cdot 1000}{r_x} = \frac{(15,9 \times 1) \times 1000}{146,1} = 108,8$$

$$\lambda_y = \frac{L_y \cdot k \cdot 1000}{r_y} = \frac{(1 \times 1) \times 1000}{40} = 25,5$$

dipilih  $\lambda_x$  dikarenakan lebih besar dari  $\lambda_y$

$\lambda_{max} < 200$  , maka dinyatakan aman



$$f_e = \mu^2 \times \frac{E}{\lambda_{\max}} = \mu^2 \times \frac{200000}{108,8} = 166,88 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\max} < 4,71 \left( \frac{200000}{240} \right)^{0,5} = \lambda_{\max} < 135,96$$

$$\text{Maka } F_{cr} = 0,658 \left( \frac{240}{166,88} \right) \times 240 = 131,46 \text{ MPa}$$

Tekan Torsional

$$f_e = \left( \frac{\mu^2 \times E \times C_w}{(k \times L_x \times 1000)^2} + G \cdot J \right) + \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left( \frac{\mu^2 \times 2 \times 10^5 \times 282,559 \times 0,25 \cdot 592}{(1 \times 15,9 \times 1000)^2} + 76,923 \times 194,042 \right) + \frac{1}{131.195.868 + 9.834.894}$$

$$= 121,50 \text{ MPa}$$

Karena  $f_e > 0,44 \times 240 = 105,6 \text{ MPa}$

$$\text{Maka } F_{cr2} = 0,658 \left( \frac{240}{121,5} \right) \times 240 = 104,99 \text{ MPa}$$

$F_{cr}$  digunakan adalah 104,99 MPa

$$P_n = \frac{F_{cr}}{1000} \times A = \frac{104,99}{1000} \times 6,146 = 645,28 \text{ kN}$$

$$\text{Kapasitas Kuat Tekan} = \phi P_n = 0,9 \times 645,28$$

$$= 580,75 \text{ kN}$$

Kekuatan Lentur

Flens

$$\lambda = \frac{\left( \frac{175}{2} \right)}{11} = 8 \qquad L_{bx} = 15.890$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \left( \frac{2 \times 10^5}{240} \right)^{0,5} = 11 \qquad L_{by} = 1.020$$

$$\lambda_r = \left( \frac{200000}{240} \right)^{0,5} = 28,9 \qquad L_p = 2.032$$

$$\text{Web} \qquad L_r = 5.425$$

$$\lambda = \frac{350}{11} = 31,8$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \left(\frac{2 \times 10^5}{240}\right)^{0,5} = 108,5$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \left(\frac{200000}{240}\right)^{0,5} = 164,5$$

$$M_{px} = 201,80 \text{ kNm} \quad M_{nTBx} = 716,18 \text{ kNm} \quad C_b = 1$$

$$M_{py} = 41,39 \text{ kNm} \quad M_{nTBy} = 41,39 \text{ kNm}$$

Penampang Kompak atau Tidak Kompak

$$M_{nx} = 201,80 \text{ kNm} \quad \text{Kapasitas Lentur } \phi_b M_{nx} = 181,62 \text{ kN}$$

$$M_{ny} = 41,39 \text{ kNm} \quad \text{Kapasitas Lentur } \phi_b M_{ny} = 37,25 \text{ kN}$$

Persamaan Interaksi

$$\frac{Pr}{P_c} = \frac{149,54}{580,75} = 0,309 > 0,2$$

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1$$

$$\frac{149,54}{580,75} + \frac{8}{9} \left( \frac{108,42}{181,62} + \frac{0}{37,25} \right) \leq 1$$

$0,788 \leq 1$  , maka dinyatakan Aman.

### 2.3.4 Perhitungan Sambungan Atap

Dalam perhitungan sambungan diperlukan beberapa koefisien yang mempengaruhi perhitungan sambungan. Koefisien tersebut antara lain adalah tipe sambungan, tata letak baut, kualitas baut, dan komponen penyambungannya. Sebagai pedoman landasan teori yang ada kami menggunakan SNI 03-1729-2002 “Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung”,.

A. Sambungan Atap Baja WF 300 x 150 x 6,5 x 9

Mutu Baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

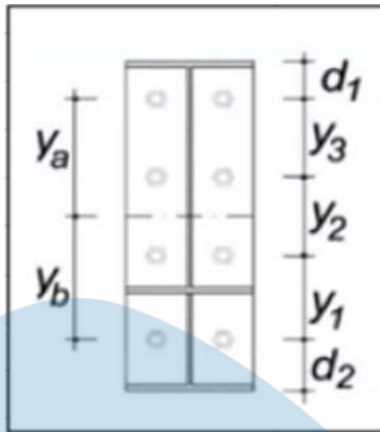
Mutu Baut ( $f_{yb}$ ) = 585 MPa

Mutu Beton ( $f_c$ ) = 25 MPa

Data momen dan gaya geser diambil dari ETABS 2016 sebagai berikut :

$M_u$  = 59,8 kNm

$V_u$  = 29,21 kN



Gambar 2. 14 Sambungan Atap Baja WF 300 x 150

Direncanakan data sambungan :

Diameter baut = 20 mm

Tebal plat Sambung = 10 mm

d 1 = 50 mm

d 2 = 50 mm

Ab =  $\frac{1}{4} \pi 20^2$   
 = 314,159 mm<sup>2</sup>  
 = 0,00031 mm<sup>2</sup>

y1 = 100 mm

y2 = 103 mm

y3 = 103 mm

yb =  $\frac{(2 \times 283,53) + (2 \times 283,53 \times (100 + 103)) + (2 \times 283,53 \times (100 + 103 + 103))}{(4 \times 2 \times 283,53)}$

= 152,25 mm

ya = ( 100 + 103 + 103 ) – 152,25

= 153,75 mm

ya – y3 = 153,75 – 103 = 50,75 mm

yb = y1 = 152,25 - 100 = 52,25 mm

$\Sigma y^2 = (103 + 50,75)^2 + (50,75)^2 + (52,25)^2 + (100 + 52,25)^2$

$$= 52124,8 \text{ mm}^2$$

Kekuatan baut dalam memikul gaya geser dari satu baut dihitung sebagai berikut (SNI 03-1729- 2002 pasal 13.2.2.1):

$$\phi_f = 0,75$$

$$r_1 = 0,5 \text{ ( untuk baut tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$r_1 = 0,4 \text{ ( untuk baut dengan ulir pada bidang geser)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser Baut (Vd)} &= \phi_f r_1 F_u^b A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 585 \times 0,00031 \\ &= 55,135 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kekuatan baut dalam memikul kuat tarik rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut (SNI 03-1729- 2002 pasal 13.2.2.2):

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik Baut (Td)} &= \phi 0,75 F_u^b A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 585 \times 0,00031 \\ &= 103,378 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tarik Maks. Baut (Ft)} &= \frac{Mu \ ymax}{2\Sigma y^2} \\ &= \frac{59,8 \times 153,75 \times 1000}{2 \times 52124,8} = 88,195 \end{aligned}$$

Tarik Maksimal Baut (Ft) < Kuat Tarik Baut (Td) maka dinyatakan Aman.

$$\begin{aligned} \text{Geser pada Baut (Fu)} &= \frac{Vu}{8} \\ &= \frac{29,21}{8} = 3,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Geser pada Baut (Fu) < Kuat Geser Baut (Vd) maka dinyatakan Aman.

$$\text{Interaksi geser dan Tarik} = Ft = \sqrt{\left(\frac{Ft}{Td}\right)^2 + \left(\frac{Fu}{Vd}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{88,195}{103,378}\right)^2 + \left(\frac{3,651}{55,135}\right)^2}$$

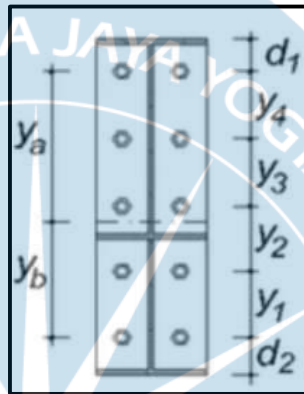
= 0,861 < 1 , dinyatakan Aman.

### B. Sambungan Atap Baja WF 350 x 175 x 7 x 11

Data momen dan gaya geser diambil dari ETABS 2016 sebagai berikut :

Mu = 108,42 kNm

Vu = 43,44 kN



Gambar 2. 15 Sambungan Atap Baja WF 350 x 175

Direncanakan data sambungan :

Diameter baut = 20 mm

Tebal plat Sambung = 10 mm

d 1 = 50 mm

d 2 = 50 mm

Ab =  $\frac{1}{4} \mu 20^2$   
= 314,159 mm<sup>2</sup>

= 0,00031 mm<sup>2</sup>

y1 = 140 mm

y2 = 120 mm

y3 = 123 mm

y4 = 123 mm

y<sub>b</sub> dijabarkan sebagai berikut :

$$\frac{(2 \times 314,159 \times 140) + (2 \times 314,159 \times (140 + 123)) + (2 \times 314,159 \times (140 + 120 + 123)) + (2 \times 314,159 \times (140 + 120 + 123 + 123))}{(5 \times 2 \times 314,159)}$$

$$y_b = 257,8 \text{ mm}$$

$$y_a = (140 + 120 + 123 + 123) - 257,8$$

$$= 248,2 \text{ mm}$$

$$y_3 - y_4 = 248,2 - 123 - 123 = 2,2 \text{ mm}$$

$$y_b - y_1 = 257,8 - 140 = 117,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma y^2 &= (2,2)^2 + (123 + 2,2)^2 + (123 + 123 + 2,2)^2 + (117,8)^2 + (140 + 117,8)^2 \\ &= 157621 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kekuatan baut dalam memikul gaya geser dari satu baut dihitung sebagai berikut (SNI 03-1729- 2002 pasal 13.2.2.1):

$$\phi_f = 0,75$$

$$r_1 = 0,5 \text{ ( untuk baut tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$r_1 = 0,4 \text{ ( untuk baut dengan ulir pada bidang geser)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser Baut (Vd)} &= \phi_r t F_u^b A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 585 \times 0,00031 \\ &= 49,759 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kekuatan baut dalam memikul kuat tarik rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut (SNI 03-1729- 2002 pasal 13.2.2.2):

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik Baut (Td)} &= \phi_0,75 F_u^b A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 585 \times 0,000284 \\ &= 93,299 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tarik Maks. Baut (Ft)} &= \frac{Mu_{ymax}}{2\Sigma y^2} \\ &= \frac{59,8 \times 153,75 \times 1000}{2 \times 52124,8} = 88,195 \end{aligned}$$

Tarik Maksimal Baut (Ft) < Kuat Tarik Baut (Td), maka dinyatakan Aman.

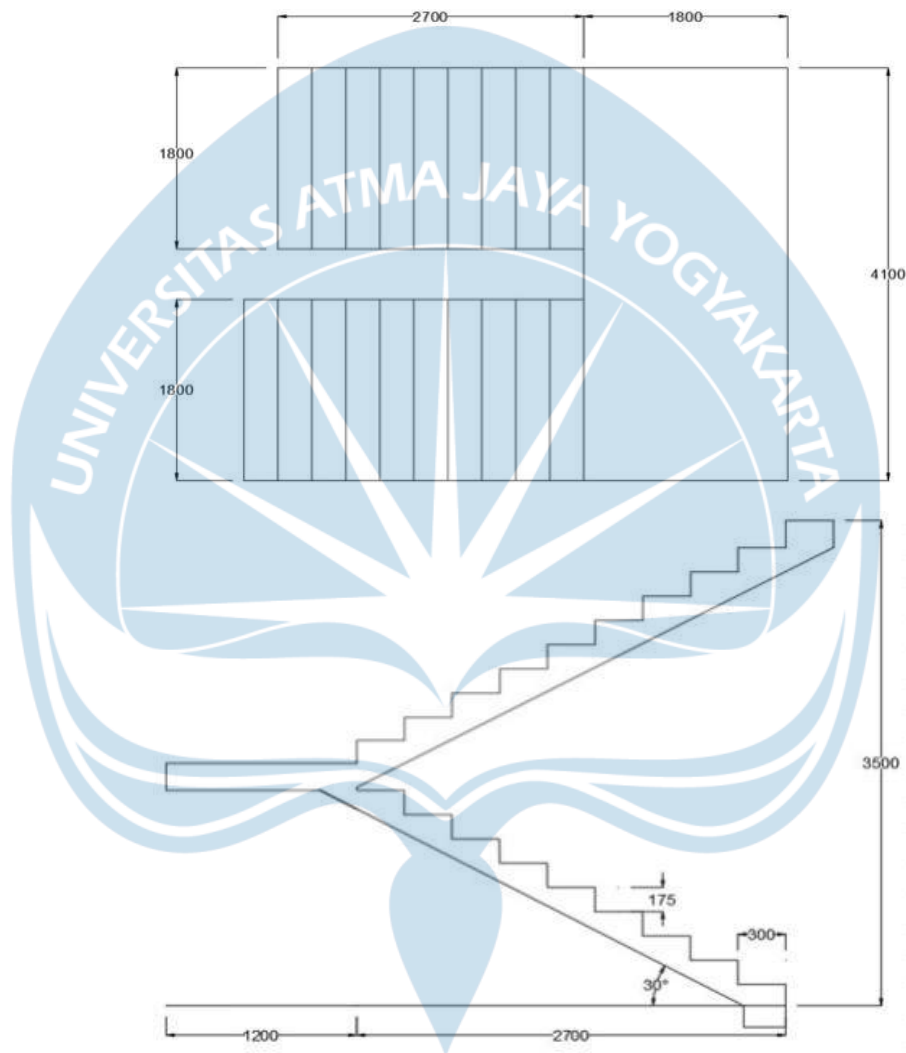
$$\begin{aligned} \text{Geser pada Baut (Fu)} &= \frac{Vu}{8} \\ &= \frac{29,21}{8} = 3,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Geser pada Baut (Fu) < Kuat Geser Baut (Vd) maka dinyatakan Aman.

$$\begin{aligned} \text{Interaksi geser dan Tarik} = Ft &= \sqrt{\left(\frac{Ft}{Td}\right)^2 + \left(\frac{Fu}{Vd}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{88,195}{93,299}\right)^2 + \left(\frac{3,651}{49,759}\right)^2} \\ &= 0,954 < 1, \text{ dinyatakan Aman} \end{aligned}$$

## 2.4 Perancangan Tangga

Perancangan tangga dimodelkan dimana ujung perletakan pada pelat dianggap sebagai sendi dan perletakan bordes dianggap rol dengan anggapan tangga merupakan unsur sekunder yang tidak mempengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan.



Gambar 2. 16 Denah Rencana Tangga

### Data Tangga

- Jarak antar lantai 1 dan 2 = 3500 mm
- Lebar tangga = 4,1 m
- Lebar bordes = 1,8 m
- Optrade = 17,5 cm syarat :  $15 \leq O \leq 20$
- Atrade = 30 cm syarat :  $28 \leq A \leq 30$



- Jumlah anak tangga  $= \frac{3500}{175} = 20$  anak tangga
- Sudut kemiringan tangga  $= \tan^{-1}\left(\frac{175}{300}\right) = 30.256 = 30^\circ$
- Tebal plat tangga  $= 15$  cm

#### 2.4.1 Pembebanan Tangga

##### a. Hitungan beban permeter lebar tangga

Beban mati :

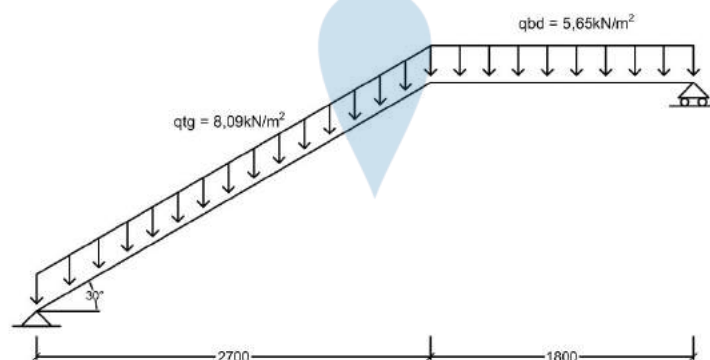
- Berat sendiri tangga  $= \frac{0.15}{\cos(30)} \times 24 = 4.157 \text{ kN/m}^2$
- Berat anak tangga  $= \frac{1}{2} \times 0.175 \times 24 = 2.1 \text{ kN/m}^2$
- Berat ubin dan spesi  $= 0.05 \times 21 = 1.050 \text{ kN/m}^2$
- Berat railing (diperkirakan)  $= 1 \text{ kN/m}^2 +$   
 $8.307 \text{ kN/m}^2$

##### b. Hitungan beban permeter lebar bordes

Beban mati :

- Berat sendiri tangga  $= 0.15 \times 24 = 3.6 \text{ kN/m}^2$
- Berat ubin dan spesi  $= 0.05 \times 21 = 1.2 \text{ kN/m}^2$
- Berat railing (diperkirakan)  $= 1 \text{ kN/m}^2 +$   
 $5.65 \text{ kN/m}^2$

Beban hidup  $= 4.8 \text{ kN/m}^2$



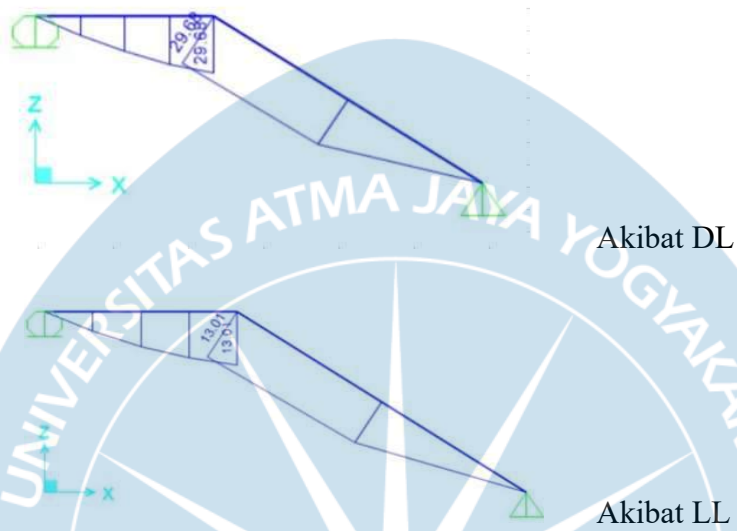
Gambar 2. 17 Beban Tangga

##### c. Analisis gaya dalam

Setelah menghitung beban tangga, digunakan software SAP 2000 untuk menghitung gaya-gaya rencana, menggambar SFD dan BMD, serta untuk

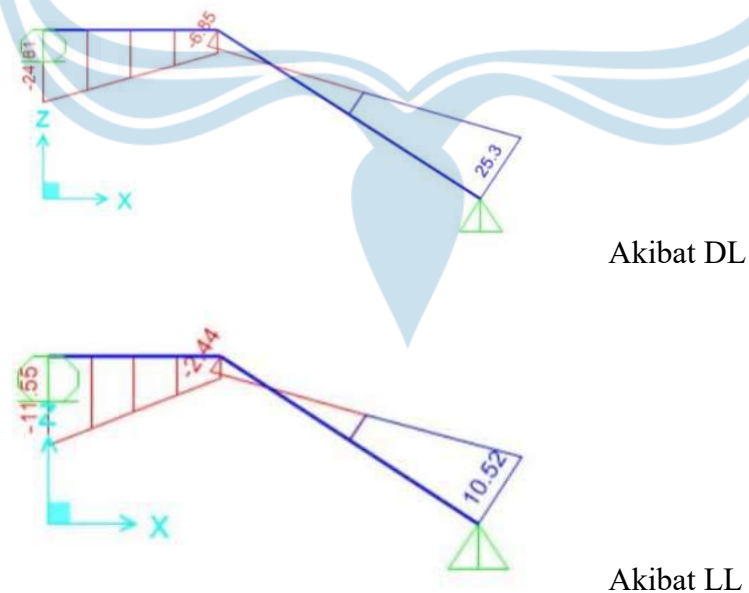
menganalisis reaksi tumpuan yang bekerja akibat beban mati. Dari analisis dengan software *SAP2000* diperoleh momen dan gaya dalam BMD dan SFD sebagai berikut:

BMD



Gambar 2. 18 BMD hasil analisis software SAP2000

SFD



Gambar 2. 19 SFD hasil analisis software SAP2000

Berdasarkan diagram diatas dapat disimpulkan momen dan gaya yang dipadat sebagai berikut :

$$M_{DL} = 29.68 \text{ kNm}$$

$$M_{LL} = 13.01 \text{ kNm}$$

$$V_{DL} = 25.3 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = 11.55 \text{ kN}$$

#### 2.4.2 Penulangan Tangga

Kombinasi pembebanan

Pada analisis nilai momen dan gaya geser yang bekerja pada tangga, digunakan nilai yang diambil dari software SAP 2000. Data momen dan gaya dari software *SAP2000* dimasukkan ke dalam kombinasi pembebanan sebagai berikut :

- $M_u = 1.4 M_{DL}$
- $M_u = 1.2 M_{DL} + 1.6 M_{LL}$
- $V_u = 1.4 V_{DL}$
- $V_u = 1.2 V_{DL} + 1.6 V_{LL}$

$$\begin{aligned} M_u &= 1.4 M_{DL} \\ &= 1.4 (29.68) \\ &= 41.55 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1.2 M_{DL} + 1.6 M_{LL} \\ &= 1.2 (29.68) + 1.6 (13.01) \\ &= 56.42 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1.4 V_{DL} \\ &= 1.4 (25.3) \\ &= 35.42 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1.2 V_{DL} + 1.6 V_{LL} \\
 &= 1.2 (25.3) + 1.6 (11.55) \\
 &= 48.84 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Digunakan yang terbesar :

$$M_u = 56.42 \text{ kNm}$$

$$V_u = 48.84 \text{ kN}$$

### Penulangan Tangga Lapangan dan Tumpuan

$$M_n = \frac{M_u}{0.8} = \frac{56.42}{0.8} = 70.525 \text{ kNm}$$

Direncanakan :

- Tulangan pokok = D13
- Tulangan susut = d8
- $f_y$  tulangan = 280 MPa
- Mutu beton = 25 MPa ;  $b_w = 1000 \text{ mm}$  ;  $s_b = 20 \text{ mm}$

$$d = 150 - (20 + 13 \times 0.5) = 123.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b_w \times d^2} = \frac{56.42 \times 10^{-3}}{0.8 \times 1 \times 123.5^2} = 4.624 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_{\min} = 0.0018$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f'_c}} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 25}{280} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4.624}{280}} \right) = 0.0189
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\
 &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{280} \left[ \frac{600}{600 + 280} \right] = 0.033
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  , maka digunakan  $\rho_{\text{perlu}} = 0.0189$

$$A_s \text{ perlu} = 0.0189 \times 123.5 \times 150 = 349.32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi} &= \frac{1000 \times \text{luas tulangan D13}}{A_s} \\ &= \frac{1000 \times 132.7}{349.32} = 379.88 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan spesi 300 mm

$$\begin{aligned} \text{Aspakai} &= \frac{1000 \times \text{luas tulangan D13}}{\text{spesi}} \\ &= \frac{1000 \times 132.7}{300} = 442.3 > 349.32 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 – 300 mm

Tulangan Susut

Dicoba menggunakan tulangan d10

$$\text{As min} = 0.002 \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{1000 \times 78.54}{250} = 314.16 \text{ mm}$$

Digunakan spasi 300 mm

$$\text{As pakai} = \frac{1000 \times 78.54}{300} = 261,8 \text{ mm}^2$$

Karena As pakai > As min (Aman)

Maka digunakan tulangan d10 – 300 mm

Kontrol geser

$$V_u = 48.84 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 1000 \times 123.5 \times 10^{-3} = 102,917 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 102,917 = 77,188$$

$V_u < \phi V_c$  (Aman)

Karena  $V_u < \phi V_c$  maka tulangan geser tidak diperlukan

### 2.4.3 Perhitungan Balok Bordes

Bangunan Terminal Purboyo Madiun merupakan bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau bangunan dengan kategori desain seismik D, hal tersebut berdasarkan Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18. Dalam perancangan balok bangunan dengan SRPMK digunakan SNI 2847:2019 pasal 18.6.

Nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) mengacu pada tabel 21.2.1 SNI 2847:2019, nilai faktor reduksi ditentukan melalui Tabel 2. 5. Balok direncanakan dapat menahan gaya geser, sehingga nilai faktor reduksi kekuatan sebesar 0,75.

Nilai faktor modifikasi ( $\lambda$ ) mengacu pada dalam SNI 2847:2019 pada tabel 19.2.4.2, Dalam perancangan digunakan beton normal, berdasarkan pada Tabel 2.4 maka digunakan nilai faktor modifikasi yang digunakan adalah 1.

Nilai beban terfaktor ( $q_u$ ) yang bekerja pada balok bordes tangga dapat dihitung sebagai berikut :

Beban mati

$$\text{Berat sendiri} = 1,2 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 24 \cdot 1 = 2,88 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 2,5 \cdot 1,75 \cdot 1,2 = 5,25 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Reaksi tangga per meter lebar} = 24,81 \quad \text{kN/m}$$

$$q_u = 32,94 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Beban hidup} = 4,8 \text{ kN/m}$$

$$q_u = q_d + q_l$$

$$= 32,94 + 4,8 = 37,74 \text{ kN/m}$$

Digunakan balok bordes ukuran 25/40

$$b_w = 250 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{tulangan pokok} = \text{D16}$$

tulangan Sengkang = d10

selimut beton = 40 mm

tinggi efektif balok :

$d_s$  = selimut beton + diameter sengkang + 0,5. diameter tulangan lentur

$$= 40 + 10 + \frac{16}{2} = 58 \text{ mm}$$

$d = h - d_s$

$$= 400 - 58 = 342 \text{ mm}$$

### Penulangan tumpuan

a. Penulangan negatif

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{12} \times q_u \times L^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 37,74 \times 4,1^2 \\ &= 52,867 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{0,8 \times b_w \times d^2} \\ &= \frac{52,867 \times 10^6}{0,8 \times 250 \times 342^2} \\ &= 2,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,26}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,00599 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{400}$$

$$= \frac{1.4}{400}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f} \right]$$

$$= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right]$$

$$= 0,0203$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka  $\rho$  dipakai = 0,00599

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,00599 \times 250 \times 342 = 512,14 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{512,14}{\frac{1}{4} \times \pi \times (19)^2} = 2.55 \approx 3 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan tumpuan 3D16

$$\text{As pakai} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 603,186 \text{ mm}^2$$

As pakai > As perlu (Aman)

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w}$$

$$= \frac{603,186 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 45,416$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\phi Mn = \phi \times As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$



$$= 0,9 \times 603,186 \times 400 \left( 342 - \frac{45,416}{2} \right)$$

$$= 69333287 = 69,33 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$69,33 > 52,867 \text{ (Aman)}$$

b. Penulangan positif

$$Mu = 0,5 \times \phi Mn$$

$$= 0,5 \times 69,33$$

$$= 34,665 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \times bw \times d^2}$$

$$= \frac{34,665 \times 10^6}{0,8 \times 250 \times 342^2}$$

$$= 1,48$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,48}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,00384$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'c}{fy} \left[ \frac{600}{600+} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right]$$

$$= 0,0203$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka  $\rho$  dipakai = 0,00384

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,00384 \times 250 \times 342 = 328,32 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{328,32}{\frac{1}{4} \times \pi \times (16)^2} = 1,63 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan tumpuan 2D16

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$  (Aman)

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w} \\ &= \frac{402,124 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 30,279 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ) digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 402,124 \times 400 \left( 342 - \frac{30,279}{2} \right) \\ &= 47317842 = 47,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi M_n$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\emptyset Mn > Mu$$

$$47,32 > 34,665 \text{ (Aman)}$$

### Penulangan lapangan

#### a. Penulangan positif lapangan

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{1}{16} \times qu \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 37,74 \times 4,1^2 \\ &= 39,65 \text{ kNm} \end{aligned}$$

digunakan dengan syarat

$$Mu > 0,25 \emptyset Mn$$

$$39,65 > 0,25 \times 37,74$$

$$39,65 > 9,435$$

Digunakan  $Mu = 39,65 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mu}{0,8 \times bw \times d^2} \\ &= \frac{39,65 \times 10^6}{0,8 \times 250 \times 342^2} \\ &= 1,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,69}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0044 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right]$$

$$= 0,0203$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka  $\rho$  dipakai = 0,0044

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,0044 \times 250 \times 342 = 376,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{376,2}{\frac{1}{4} \times \pi \times (16)^2} = 1,87 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lapangan 2D16

$$\text{As pakai} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

As pakai > As perlu (Aman)

b. Penulangan Negatif Lapangan

$$M_u = 0.25 \times \emptyset M_n$$

$$= 0.25 \times 37,74$$

$$= 9,435 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0.8 \times b_w \times d^2}$$

$$= \frac{9,435 \times 10^6}{0.8 \times 250 \times 342^2}$$

$$= 0,403$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0.85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,403}{0.85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,00102$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f_y} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right] \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min} < \rho_{\max}$  maka  $\rho$  dipakai = 0.0035

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,0035 \times 250 \times 342 = 299,25 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{299,25}{\frac{1}{4} \times \pi \times (16)^2} = 1,49 \approx 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lapangan 2D16

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

As pakai > As perlu (Aman)

### **Penulangan Geser**

$$\begin{aligned}q_u &= q_{dl} + q_{ll} \\ &= 32,94 + 4,8 = 37,74 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 0,5 q_{dl} \cdot L + 0,5 q_{ll} \cdot L \\ &= (0,5 \times 32,94 \times 4,1) + (0,5 \times 4,8 \times 4,1) \\ &= 67,527 + 9,84 \\ &= 77,367\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 1/6 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= (1/6 \times \sqrt{25} \times 250 \times 342) \times 10^{-3}\end{aligned}$$

$$= 71,25 \text{ kN}$$

Check :

$$V_u > \phi V_c = 77,367 > 0,75 \cdot 71,25$$

$$= 77,367 > 53,44$$

gunakan tulangan geser

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}$$

$$= \frac{77,367}{0,75} = 103,156 \text{ kN}$$

Kuat geser  $V_s$  tidak boleh lebih dari  $V_s$  maksimum, yaitu:

$$V_{s, \text{maks}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 250 \times 342 = 285 \text{ kN}$$

Digunakan tulangan P10

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 240 \times 342}{103,156 \times 10^3}$$

$$= 124,99 \text{ mm}$$

Menentukan spasi maksimum

Didalam sendi plastis

- spasi maksimum =  $d/4$   
 $= 342/4$   
 $= 85,5 \text{ mm}$
- $6 \times D = 6 \times 16 = 96 \text{ mm}$
- 150 mm
- Pilih 80 mm

Maka digunakan tulangan geser P10 – 80

Diluar sendi plastis

$$\begin{aligned} S_{maks} &= d/2 \\ &= 342/2 = 171 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan geser P10 – 150

#### 2.4.4 Perencanaan Pondasi Tangga

- Beban mati (DL) tangga = 30.15
- Beban hidup (LL) tangga = 12.54
- Beban dinding / sloof tangga = 6.12 +
- Beban Qtg = 48.81 kNm

Data pondasi

$$d = 1.7 \text{ m}$$

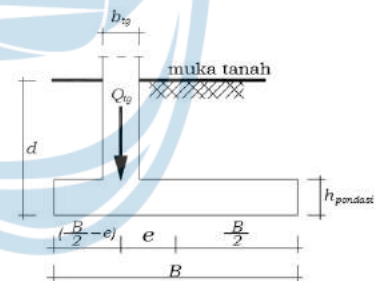
$$h = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pondasi (B)} = 1.7 \text{ m}$$

$$\text{Tebal plat} = 0.15 \text{ m}$$

$$\gamma \text{ tanah} = 18.6 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Daya dukung tanah} = 150 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 2. 20 Beban Tangga

$$\sigma_{netto} = \sigma \text{ tanah} - (d - A) (\gamma \text{ tanah}) - h (\gamma \text{ beton})$$

$$= 150 \times (1.7 \times 0.15) 18.6 - 0.15 (24)$$

$$= 117. 42 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung eksentris

$$e = \frac{1}{2} \times \frac{Mu}{Qtg} = \frac{1}{2} \times \frac{56.42}{28.81} = 0.578 \text{ m}$$

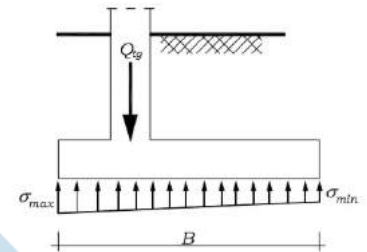
$$\frac{bo}{2} = e \rightarrow bo = 2e$$

$$bo = 2 \times 0.578 = 1.156 \text{ m}$$

Dihitung  $\sigma$  max dan  $\sigma$  min

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{Q_{tg}}{B} + \frac{6 Q_{tg} (e)}{B^2} \leq \sigma_{\text{netto}} \\ &= \frac{48.81}{1.7} + \frac{6 \times 48.81(0.578)}{1.7^2} \leq 117.42 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= \frac{Q_{tg}}{B} - \frac{6 Q_{tg} (e)}{B^2} \leq 0 \\ &= \frac{48.81}{1.7} - \frac{6 \times 48.81(0.578)}{1.7^2} \leq 0 \\ &= -29.86 \leq 0 \text{ kN/m}^2 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$



Gambar 2. 21 Tegangan Pada Tanah

Menghitung tegangan faktor

- Beban mati (DL) tangga  $\times 1,2$  =  $30,15 \times 1,2 = 36,18 \text{ kNm}$
  - Beban hidup (LL) tangga  $\times 1,6$  =  $12,54 \times 1,6 = 20,06 \text{ kNm}$
  - Beban dinding/sloof tangga  $\times 1,2$  =  $6,12 \times 1,2 = 7,34 \text{ kNm} +$
- Beban  $Q_{\text{utg}} = 63,588 \text{ kNm}$

Menghitung kembali  $\sigma$  max dan  $\sigma$  min

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{Q_{tg}}{B} + \frac{6 Q_{tg} (e)}{B^2} \\ &= \frac{63,588}{1,7} + \frac{6 \times 63,588 (0,578)}{1,7^2} \leq 117,42 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= \frac{Q_{tg}}{B} - \frac{6 Q_{tg} (e)}{B^2} \\ &= \frac{63,588}{1,7} - \frac{6 \times 63,588 (0,578)}{1,7^2} \leq 0 \end{aligned}$$

Untuk  $\sigma_{\max} \rightarrow 113,70 \leq 117,42 \text{ kN/m}^2$  (aman)

$\sigma_{\min} \rightarrow -38,89 \leq 0$  (aman)

Rencana penulangan pondasi



$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{2} \left( \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \right) \left( \frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} b t g \right)^2 \\
 &= \frac{1}{2} \left( \frac{113,70 + (-3,89)}{2} \right) \left( \frac{17}{2} + (0,578) - \frac{1}{2} (0,15) \right)^2 \\
 &= 34,234 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \left( \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \right) \left( \frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} b t g \right)^2 \\
 &= \left( \frac{113,70 + (-38,89)}{2} \right) \left( \frac{17}{2} + (0,578) - \frac{1}{2} (0,15) \right)^2 \\
 &= 50,607 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan D13

$$\begin{aligned}
 d &= 150 - 20 - (0,5 \times 13) \\
 &= 123,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{34,234 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 123,5^2} = 2,806
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f'_{t_c}}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_{t_c}}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,806}{0,85 \times 25}} \right) = 0,0075
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_{t_c}}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right] \\
 &= 0,0203
 \end{aligned}$$

Digunakan  $\rho_{perlu} = 0,0075$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0075 \times 150 \times 123,5 = 138,94$$

Digunakan D13 – 300 mm

Cek geser

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 123,5 \\ &= 102,917 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times 102,917 \\ &= 77,188 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &< V_c \\ 77,188 &< 102,917 \text{ kN (aman)}\end{aligned}$$

## 2.5 Perancangan Pelat Lantai

Pada perancangan plat lantai Gedung Terminal Purboyo Kota Madiun menggunakan dimensi 5000 mm x 6000 mm pada perancangannya. Pelat lantai ditentukan dengan perhitungan inersia pada balok, dimana terdapat 3 dimensi balok serta satu balok dimensi balok anak pada perancangan pelat lantai. Namun sebelum masuk ke perhitungan inersia diperlukan penentuan apakah pelat lantai yang direncanakan bersifat satu arah atau dua arah. Berikut dijabarkan perhitungan untuk mencari jenis plat lantai yang digunakan:

$$\text{Dimensi balok } B_1 = 250 \times 350 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dimensi balok } B_2 = 250 \times 400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dimensi balok } B_3 = 300 \times 500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dimensi balok } B_a = 200 \times 400 \text{ mm}^2$$

$$L_x \text{ pelat} = 5000 \text{ mm}$$

$$L_y \text{ pelat} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat} = 150 \text{ mm (rencana)}$$

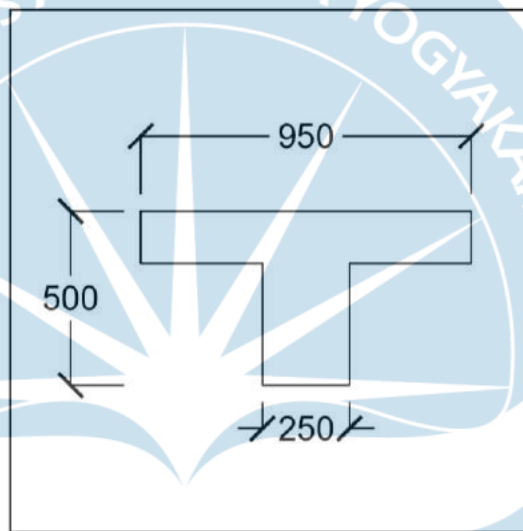
$$\text{Bentang pelat} = \frac{6000}{5000} = 1,2 \text{ (pelat 2 arah)}$$

Setelah mendapatkan jenis pelat yang akan digunakan maka, perhitungan dilanjutkan untuk mencari inersia setiap balok dan berikut penjabaran mencari nilai inersia balok dan perhitungan komponen variabel yang diperlukan lainnya:

Balok B<sub>1</sub> (Dimensi : 250 x 350 mm<sup>2</sup>)

$$b_w + 2h_b = 250 + 2(350) = 950 \text{ mm (pakai yang ini)}$$

$$b_w + 8h_f = 250 + 8(150) = 1450 \text{ mm}$$



Gambar 2. 22 Dimensi Sayap dan Badan Balok B1

Luas bagian sayap

$$= 150 \times 950 = 142500 \text{ mm}^2$$

Luas bagian badan

$$= 250 \times 350 = 87500 \text{ mm}^2$$

Luas total = 230000 mm<sup>2</sup>

$$y = \frac{(142,5 \times 10^3 \times 75) + (87,5 \times 10^3 \times 350)}{230 \times 10^3} = 179,62 \text{ mm}$$

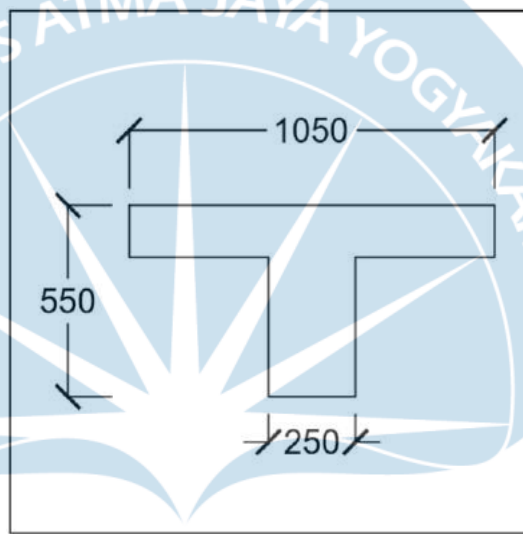
$$I = \left[ \frac{1}{12} \times 950 \times 150^3 + (142,5 \times 10^3 \times 104,62^2) \right] + \left[ \frac{1}{12} \times 250 \times 350^3 + (87,5 \times 10^3 \times 145,38^2) \right]$$

$$= 4,569 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Balok B<sub>2</sub> (Dimensi : 250 x 400 mm<sup>2</sup>)

$$b_w + 2h_b = 250 + 2(400) = 1050 \text{ mm (pakai yang ini)}$$

$$b_w + 8h_f = 250 + 8(150) = 1450 \text{ mm}$$



Gambar 2. 23 Dimensi Sayap dan Badan Balok B2

Luas bagian sayap

$$= 150 \times 1050 = 157500 \text{ mm}^2$$

Luas bagian badan

$$= 250 \times 350 = 100000 \text{ mm}^2$$

Luas total = 257500 mm<sup>2</sup>

$$y = \frac{(157,5 \times 10^3 \times 75) + (100 \times 10^3 \times 400)}{257,5 \times 10^3} = 201,21 \text{ mm}$$

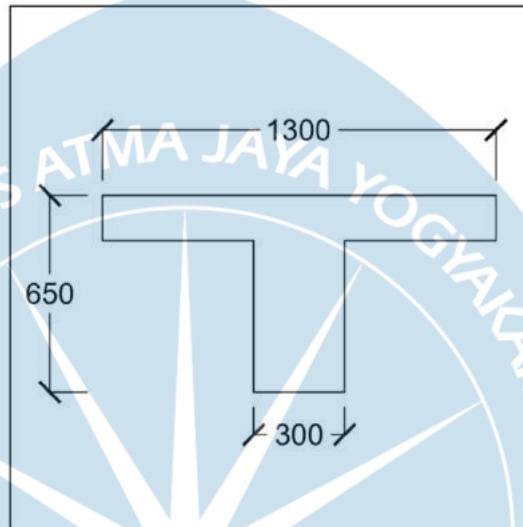
$$I = \left[ \frac{1}{12} \times 1050 \times 150^3 + (157,5 \times 10^3 \times 126,21^2) \right] + \left[ \frac{1}{12} \times 250 \times 400^3 + (100 \times 10^3 \times 148,786^2) \right]$$

$$= 6,351 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Balok B<sub>3</sub> (Dimensi : 300 x 500 mm<sup>2</sup>)

$$bw + 2hb = 300 + 2(500) = 1300 \text{ mm (pakai ini)}$$

$$bw + 8hf = 300 + 8(150) = 1500 \text{ mm}$$



Gambar 2. 24 Dimensi Sayap dan Badan Balok B3

Luas bagian sayap

$$= 150 \times 1300 = 195000 \text{ mm}^2$$

Luas bagian badan

$$= 300 \times 500 = 150000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas total} = 345000 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{(195,5 \times 10^3 \times 75) + (150 \times 10^3 \times 500)}{345 \times 10^3} = 259,78 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I &= \left[ \frac{1}{12} \times 1300 \times 150^3 + (195 \times 10^3 \times 184,78^2) \right] + \left[ \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 + (150 \right. \\ &\quad \left. \times 10^3 \times 140,22^2) \right] \\ &= 13,098 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Balok anak

$$I = \frac{1}{12} \times 200 \times (350)^2 = 714583,333 \text{ mm}^4$$

Setelah mendapatkan inersia untuk masing – masing balok maka langkah selanjutnya menentukan inersia untuk bentang panjang dan pendek sehingga bisa dilakukan perhitungan mencari alpha ( $\alpha$ ) sebagai perbandingan kekakuan balok. Berikut penjabaran untuk menentukan inersia bentang panjang dan pendek:

$$I_{\text{pelat}_1} = \frac{1}{12} \times L_{ny} \times h^3$$

$$I_{\text{pelat}_2} = \frac{1}{12} \times L_{nx} \times h^3$$

$$L_{nx1} = 5000 - \left(\frac{300}{2}\right) - \left(\frac{300}{2}\right) = 4700 \text{ mm}$$

$$L_{ny1} = 6000 - \left(\frac{300}{2}\right) - \left(\frac{300}{2}\right) = 5700 \text{ mm}$$

$$I_{\text{pelat}_1} = \frac{1}{12} \times 5700 \times 150^3 = 1,603 \times 10^9 \text{ (arah panjang) mm}^4$$

$$I_{\text{pelat}_2} = \frac{1}{12} \times 4700 \times 150^3 = 1,322 \times 10^9 \text{ (arah pendek) mm}^4$$

Perencanaan tebal plat sudah dapat dimulai setelah menggunakan setiap data inersia yang sudah dihitung kedalam perhitungan nilai alpha ( $\alpha$ ). Perhitungan ini yang akan menentukan rumus digunakan dalam mencari nilai h minimum untuk plat lantai Gedung Terminal Purboyo Kota Madiun. Penentuan nilai alpha atau disebut sebagai perbandingan nilai kekakuan balok dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Mutu beton pelat} = f_{cp} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu beton balok} = f_{cb} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja tulangan} = f_y = 280 \text{ Mpa}$$

$$E_{cs} = L_{nx1} \times \sqrt{f_{cp}} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_{cb} = L_{nx1} \times \sqrt{f_{cb}} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

$$I_{\text{s bentang panjang}} = \frac{1}{12} \times 5700 \times 150^3 = 1,603 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{s bentang pendek}} = \frac{1}{12} \times 4700 \times 150^3 = 1,322 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_b \text{ Balok B}_1 = 4,569 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_b \text{ Balok B}_2 = 6,351 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_b \text{ Balok B}_3 = 13,098 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_b \text{ Balok Anak} = 1,066 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

### $\alpha$ Balok B<sub>1</sub>

$$\alpha_{f1} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang panjang}} = \frac{23500 \times 4,569 \times 10^9}{23500 \times 1,603 \times 10^9} = 2,8256$$

$$\alpha_{f2} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang pendek}} = \frac{23500 \times 4,569 \times 10^9}{23500 \times 1,322 \times 10^9} = 3,4204$$

$$\alpha_{fm} = \frac{2,8256 + 3,4204}{2} = 3,123$$

### $\alpha$ Balok B<sub>2</sub>

$$\alpha_{f1} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang panjang}} = \frac{23500 \times 6,351 \times 10^9}{23500 \times 1,603 \times 10^9} = 3,9274$$

$$\alpha_{f2} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang pendek}} = \frac{23500 \times 6,351 \times 10^9}{23500 \times 1,322 \times 10^9} = 4,7542$$

$$\alpha_{fm} = \frac{3,9274 + 4,7542}{2} = 4,3408$$

### $\alpha$ Balok B<sub>3</sub>

$$\alpha_{f1} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang panjang}} = \frac{23500 \times 13,098 \times 10^9}{23500 \times 1,603 \times 10^9} = 8,099$$

$$\alpha_{f2} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang pendek}} = \frac{23500 \times 13,098 \times 10^9}{23500 \times 1,322 \times 10^9} = 9,804$$

$$\alpha_{fm} = \frac{8,099 + 9,804}{2} = 8,952$$

### Balok anak $\left\{ \alpha = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is} \right\}$

$$\alpha_{f1} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang panjang}} = \frac{23500 \times 1,066 \times 10^9}{23500 \times 1,603 \times 10^9} = 0,66$$

$$\alpha_{f2} = \frac{Ecb \times Ib}{Ecs \times Is \text{ bentang pendek}} = \frac{23500 \times 1,066 \times 10^9}{23500 \times 1,322 \times 10^9} = 0,798$$

$$\alpha_{fm} = \frac{0,66 + 0,798}{2} = 0,7290$$

Setelah mendapatkan  $\alpha_{fm}$  atau perbandingan nilai kekakuan balok dari setiap balok yang ada, maka dicari nilai reratanya.

$$\alpha_{rerata} = \frac{3,1230 + 4,3408 + 8,9518 + 0,7290}{4} = 4,2861$$

Sesuai dengan peraturan pada SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1 dan yang sudah dijabarkan pada Tabel 2. 21 untuk mencari nilai h minimum dengan kondisi  $\alpha_m \geq 2$  ditentukan dengan persamaan :

Tabel 2. 21 Ketentuan Pelat Minimum Dua Arah

$\alpha_{fm}$	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari	$\frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari	$\frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

Sumber : SNI 2847:47 tabel 8.2.1.2

$$\text{Rumus hmin digunakan} = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$$

Berikut penjabaran untuk mencari nilai h minimum pada pelat lantai Gedung Terminal Purboyo Kota Madiun:

$$\text{Koef } fy = 0,8$$

$$Lnx1 = 5000 - \left(\frac{300}{2}\right) - \left(\frac{300}{2}\right) = 4700 \text{ mm}$$

$$Lny1 = 6000 - \left(\frac{300}{2}\right) - \left(\frac{300}{2}\right) = 5700 \text{ mm}$$

$$\beta1 = \frac{Lny}{Lnx} = \frac{5700}{4700} = 1,2128$$

$$h \text{ min} = \frac{600 \left(0,8 + \frac{280}{1400}\right)}{36 + 9(1,2128)} = 127,89 \text{ mm (tebal pelat dua arah)}$$



Setelah melakukan perhitungan tebal pelat minimum berdasarkan aturan pada SNI 2847:47, Maka tebal pelat lantai yang digunakan pada Gedung Terminal Purboyo Kota Madiun setebal 130 mm.

### 2.5.1 Penulangan Pelat Lantai

Tabel 2. 22 Pembebanan pada masing – masing pelat

Fungsi Pelat	Macam Pembebanan	Tebal	B. Vol	B. mati D	B. mati Pelat	B. Hidup (L)	Wo = 1,2D + 1,6L
Lantai	1. Beban sendiri	130	24	2,88			
	2. Beban pasir	50	18	0,9			
	3. Beban ubin+spesi	50	21	1,05			
	4. Beban platform	-	-	0,18			
	5. Lain-lain						
			Total	5,25	2,13	4,8	13,98

Tabel 2. 23 Analisis Penulangan Pelat

Tipe Pelat	Kondisi Tumpuan	L x L y	Arah	Koef	Mu kNm	Vu kN	ØVc kN	A Mm <sup>2</sup>	Dipasang		
									t.pokok	mm <sup>2</sup>	t.bagi
Lantai A Wu = 13,98 kN/m <sup>2</sup>	Ly = 6000 Lx = 5500	1, 1	Mlx	46	19,45	44,21	66,3	260	P10-150	523,6	P8-150
			Mtx	46							
			Mly	38	16,07	48,23	60,5	260	P10-150	523,6	P8-150
			Mty	38			6				
Lantai B Wu = 13,98 kN/m <sup>2</sup>	Ly = 6000 Lx = 5000	1, 2	Mlx	46	16,08	40,19	66,9	260	P10-150	523,6	P8-150
			Mtx	46			4				
			Mly	38	13,28	48,23	60,5	260	P10-150	523,6	P8-150
			Mty	38			6				

## Rencana Penulangan Pelat

Pelat A (lantai)

$$L_y = 6000$$

$$\text{selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$L_x = 5500$$

$$f_y = 280 \text{ Mpa}$$

$$M_{Lx} = 19,45$$

$$f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$M_{Ly} = 16,07$$

$$h \text{ lantai} = 130 \text{ mm}$$

- Penulangan arah x

$$\text{Asumsi menggunakan } d \ 10 \rightarrow A_s = 78,571 \text{ mm}^2$$

$$d_x = 130 - 2 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

$$R_n \text{ perlu} = \frac{19,45 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 105^2} = 2,2056$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{280}{0,85 \times 25} = 13,176$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,176} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,176 \times 2,206}{280}} \right) = 0,037 \ (\rho \text{ digunakan})$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{280} = 0,0484$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,002$$

- Penulangan arah y

$$\text{Asumsi menggunakan } d \ 10 \rightarrow A_s = 78,571 \text{ mm}^2$$

$$d_y = 130 - 2 - \frac{10}{2} - 10 = 95 \text{ mm}$$

$$R_n \text{ perlu} = \frac{16,07 \times 10^6}{0,8 \times 1000 \times 95^2} = 2,5542$$

$$m = 13,176$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,176} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,176 \times 2,502}{280}} \right) = 0,0372 \ (\rho \text{ digunakan})$$

$$\rho_{\max} = 0,0484$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

Penulangan arah x

$$A_s \text{ perlu} = 0,0370 \times 130 \times 105 = 505,61 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,571 \times 1000}{505,61} = 155,40 \text{ mm} \rightarrow d10 - 150$$

Penulangan arah y

$$A_s \text{ perlu} = 0,0372 \times 130 \times 95 = 459,544 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,571 \times 1000}{459,544} = 170,98 \text{ mm} \rightarrow d10 - 150$$

Pelat B (lantai)

$$L_y = 6000 \quad s_b = 20 \text{ mm}$$

$$L_x = 5000 \quad f_y = 280 \text{ MPa}$$

$$M_{lx} = 16,08 \quad f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$M_{ly} = 13,28 \quad h \text{ lantai} = 130 \text{ mm}$$

- Penulangan arah x

Asumsi menggunakan d 10  $\rightarrow A_s = 78,571 \text{ mm}^2$

$$d_x = 130 - 2 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

$$R_n \text{ perlu} = 2,0486$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0337 \rightarrow \rho$  dipakai

$$\rho_{\max} = 0,0484$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0337 \times 130 \times 105 = 459,64 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,571 \times 1000}{459,64} = 170,94 \rightarrow d10 - 150$$

- Penulangan arah y

Asumsi menggunakan d 10  $\rightarrow A_s = 78,571 \text{ mm}^2$

$$d_y = 130 - 2 - \frac{10}{2} - 10 = 95 \text{ mm}$$

$$R_n \text{ perlu} = 2,1109$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0338 \rightarrow \rho$  dipakai

$$\rho_{\text{max}} = 0,0484$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,002$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0338 \times 130 \times 95 = 417,761 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,571 \times 1000}{417,761} = 188,01 \text{ mm} \rightarrow d10 - 150$$

## 2.6 Perancangan Balok

Bangunan Terminal Purboyo Madiun merupakan bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) atau bangunan dengan kategori desain seismik D, hal tersebut berdasarkan Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18. Dalam perancangan balok bangunan dengan SRPMK digunakan SNI 2847:2019 pasal 18.6.

Nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) mengacu pada tabel 21.2.1 SNI 2847:2019, nilai faktor reduksi ditentukan melalui Tabel 2. 5. Balok direncanakan dapat menahan gaya geser, sehingga nilai faktor reduksi kekuatan sebesar 0,75.

Nilai faktor modifikasi ( $\lambda$ ) mengacu pada dalam SNI 2847:2019 pada tabel 19.2.4.2, Dalam perancangan digunakan beton normal, berdasarkan pada Tabel 2.4 maka digunakan nilai faktor modifikasi yang digunakan adalah 1.

### 2.6.1 Balok B1 Lantai 2

Data penampang balok:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 250 \text{ mm dan } h = 350 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada lantai 2.

$$\text{Momen tumpuan negatif} = -61,54 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan positif} = 0,5 \cdot 61,54 = 30,77 \text{ KNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 34,0462 \text{ kNm}$$

$$\text{Bentang balok (L)} = 5 \text{ m}$$

Direncanakan dengan menggunakan:

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

Tebal selimut beton = 40 mm

$d_s$  = selimut beton + diameter sengkang + 0,5 diameter tulangan lentur

$$= 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$$

$d = h - d_s$

$$= 350 - 58 = 292 \text{ mm}$$

A. Tulangan Tumpuan

a. Tumpuan negatif

$$M_u = -61,54 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } R_n = \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{61,54 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 292^2}$$

$$= 3,208$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,208}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0087$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{f_y \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\rho_{\max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0087

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0087 \times 292 \times 250 \\ &= 637,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D-16

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 4 \times \frac{1}{4}\pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 60,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 804,25 \times 400 \left( 292 - \frac{60,55}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 75,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$\phi Mn > Mu$

75,78 > 61,54 (Aman)

b. Tumpuan positif

Mu = 30,77 kNm

Koefisien tahanan,  $Rn = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$

$$= \frac{30,77 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 292^2}$$

$$= 1,604$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,604}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,0042$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{fy \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'c}{fy} \left[ \frac{600}{600 + fy} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 4} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0042

As perlu =  $\rho \times b \times d$

$$= 0,0042 \times 292 \times 250$$

$$= 304,68 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D-16



$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 2 \times 1/4\pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 30,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 402,12 \times 400 \left( 292 - \frac{30,28}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 40,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$\phi Mn > Mu$

$$40,08 > 30,77 \text{ (Aman)}$$

B. Tulangan Lapangan

$$Mu = 34,04 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } Rn = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{34,04 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 292^2}$$

$$= 1,775$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,775}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0046 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0046

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0046 \times 292 \times 250 \\ &= 338,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D-16

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 2 \times \frac{1}{4}\pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_w} \\ &= \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 30,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 402,12 \times 400 \left( 292 - \frac{30,28}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 40,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$40,08 > 34,04 \text{ (Aman)}$$

### C. Tulangan Geser

Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.6.2, Kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak  $1,25f_y$ .

Perhitungan  $M_{pr}$

$M_{pr}$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 4D-16

( $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b_w}$$

$$= \frac{1,25 \times 804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 75,69 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 804,25 \times 400 \left( 292 - \frac{75,69}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 102,2 \text{ kNm}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D-16

( $A_s = 402,12 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'c b w}$$

$$= \frac{1,25 \times 402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 37,85 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 402,12 \times 400 \left( 292 - \frac{37,85}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 54,91 \text{ kNm}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

$$V_g = 58,74 \text{ kN}$$

$$V_e = \frac{M_{Pr}^- + M_{Pr}^+}{l_n}$$

$$= \frac{102,20 + 54,91}{5}$$

$$= 31,42 \text{ kN}$$

$$V_{e1} = V_e + V_g$$

$$= 31,42 + 58,74$$

$$= 90,161 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_e - V_g \\
 &= 31,42 - 58,74 \\
 &= -27,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,35 m, maka  $2h = 0,7$  m.

Tulangan geser tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.6.5.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$\begin{aligned}
 0,5V_u &= 0,5(90,161) \\
 &= 45,081 > V_e (31,42\text{kN}), \text{ maka } V_c \neq 0
 \end{aligned}$$

$V_c$  perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c} b_w.d, \lambda = 1 \\
 &= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 292) \cdot 10^{-3} \\
 &= 62,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c \\
 &= \left( \frac{90,161}{0,75} \right) - 62,05 \\
 &= 58,165 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smaks} &= 0,66\sqrt{f_c} b_w.d \\
 &= (0,66 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 292) \cdot 10^{-3} \\
 &= 240,9 \text{ kN} > V_s (58,165 \text{ kN}) \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2D10

$$A_s = 2 \times 1/4\pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak sengkang (s)} &= \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \times 400 \times 292}{58,165 \times 1000} = 315,43 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pasal 18.6.4.4 SNI 2487:2019 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari nilai terkecil a) hingga c):

$$a) d/4 = 292/4 = 73 \text{ mm}$$

$$b) 6db = 6(16) = 96 \text{ mm}$$

$$c) 150 \text{ mm}$$

Dipilih S maks = 73 mm

Sehingga digunakan tulangan 2P10-70

Tulangan geser lapangan

$$V_u = 82,61 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c} bw.d \quad , \lambda = 1$$

$$= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 292) \cdot 10^{-3}$$

$$= 62,05 \text{ kN}$$

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left( \frac{82,61}{0,75} \right) - 62,05$$

$$= 48,10 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = 0,33\sqrt{f_c} bw.d$$

$$= (0,33 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 292) \cdot 10^{-3}$$

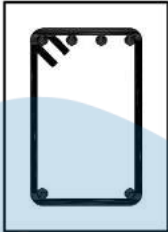

$$= 120,45 \text{ kN} > V_s(48,10 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 400 \times 292}{48,10 \times 1000} = 381,43 \text{ mm}$$

Pasal 18.4.2.5 SNI 2847:2019 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 292/2 = 146 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2P10-100

TYPE	BALOK B1	
LANTAI	LANTAI 2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	250 x 350	
TUL. ATAS	4 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	2 D16
SENGKANG	P10 - 70	P10 - 100

Gambar 2. 25 Tulangan Balok B1 Lantai 1

### 2.6.2 Balok B1 Atap

Data penampang balok:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 250 \text{ mm dan } h = 350 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada ringbalk.

$$\text{Momen tumpuan negatif} = -18,73 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan positif} = 0,5 \cdot 18,73 = 9,37 \text{ KNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 11,489 \text{ kNm}$$

$$\text{Bentang balok (L)} = 5 \text{ m}$$

Direncanakan dengan menggunakan:

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 13 \text{ mm}$$

Diameter sengkang = 8 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

ds = selimut beton + diameter sengkang + 0,5 diameter tulangan lentur

$$= 40 + 8 + 13/2 = 54,5 \text{ mm}$$

d = h – ds

$$= 350 – 58 = 295,5 \text{ mm}$$

A. Tulangan Tumpuan

a. Tumpuan negatif

Mu = -18,73 kNm

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tahanan, } R_n &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{18,73 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 295,5^2} \\ &= 0,953 \end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,953}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0024 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 4} \right] \end{aligned}$$



$$= 0,0203$$

karena  $\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0031 \times 295,5 \times 250 \\ &= 230,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 3D-13

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 3 \times \frac{1}{4}\pi \times 13^2 \\ &= 398,20 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{398,20 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 29,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 398,20 \times 400 \left( 295,5 - \frac{29,98}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 40,21 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$\phi Mn > Mu$

40,21 > 18,73 (Aman)

b. Tumpuan positif

Mu = 9,37 kNm

Koefisien tahanan,  $Rn = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$

$$= \frac{9,37 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 295,5^2}$$

$$= 0,477$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,477}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,0012$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{fy \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'c}{fy} \left[ \frac{600}{600+f} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+4} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho < \rho_{min} < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

As perlu =  $\rho \times b \times d$

$$= 0,0031 \times 295,5 \times 250$$

$$= 230,86 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D-13

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 2 \times 1/4\pi \times 13^2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{265,46 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 19,99 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 265,46 \times 400 \left( 295,5 - \frac{19,99}{2} \right) \times 10^6 \\ &= 27,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$\phi Mn > Mu$

27,28 > 9,37 (Aman)

B. Tulangan Lapangan

$Mu = 11,49 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tahanan, } Rn &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{11,49 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 295,5^2} \end{aligned}$$

$$= 0,585$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0.85 \times 25}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,585}{0.85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0015\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right] \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

karena  $\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0031 \times 295,5 \times 250 \\ &= 230,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D-13

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= 2 \times \frac{1}{4}\pi \times 13^2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}\end{aligned}$$

Cek  $\phi M_n > M_u$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\
 &= \frac{265,46 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\
 &= 19,99 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \times 265,46 \times 400 \left( 295,5 - \frac{19,99}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 27,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$27,28 > 11,49 \text{ (Aman)}$$

### C. Tulangan Geser

Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.6.2, Kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak  $1,25fy$ .

Perhitungan  $M_{pr}$

$M_{pr}$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D-13

( $As = 398,2 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 a_{pr} &= \frac{1,25 As fy}{0,85 f'c bw} \\
 &= \frac{1,25 \times 398,2 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\
 &= 37,48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \times 398,2 \times 400 \left( 295,5 - \frac{37,48}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 55,10 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D-13

( $A_s = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 a_{pr} &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'c b_w} \\
 &= \frac{1,25 \times 265,46 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\
 &= 24,98 \text{ mm} \\
 M_{pr}^+ &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \times 265,46 \times 400 \left( 292 - \frac{24,98}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 37,56 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

$$V_g = 15,536 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{Pr}^- + M_{Pr}^+}{l_n} \\
 &= \frac{55,10 + 37,56}{5}
 \end{aligned}$$

$$= 18,53 \text{ kN}$$

$$V_{e1} = V_e + V_g$$

$$= 18,53 + 15,536$$

$$= 34,07 \text{ kN}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,35 m, maka  $2h = 0,7 \text{ m}$ .

Tulangan geser tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.6.5.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$0,5V_u = 0,5(34,07) \\ = 17,035 < V_e (18,53 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0$$

$V_c$  tidak perlu diperhitungkan, maka

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c \\ = \left( \frac{34,07}{0,75} \right) - 0 \\ = 45,43 \text{ kN}$$

$$V_{s\text{maks}} = 0,66\sqrt{f_c} b_w \cdot d \\ = (0,66 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 295,5) \cdot 10^{-3} \\ = 243,79 \text{ kN} > V_s (45,43 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D8

$$A_s = 2 \times 1/4\pi \times 8^2 = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ = \frac{100,53 \times 400 \times 295,5}{45,43 \times 1000} = 261,58 \text{ mm}$$

Pasal 18.6.4.4 SNI 2487:2019 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari nilai terkecil a) hingga c):

a)  $d/4 = 295,5/4 = 73,87 \text{ mm}$

b)  $6d_b = 6(13) = 78 \text{ mm}$

c) 150 mm

Dipilih S maks = 73,87 mm

Sehingga digunakan tulangan 2P10-70

Tulangan geser lapangan

$$V_u = 19,12 \text{ kN}$$

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - 0$$

$$= \left( \frac{19,12}{0,75} \right) - 0$$

$$= 25,49 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = 0,33 \sqrt{f_c} b_w \cdot d$$

$$= (0,33 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 295,5) \cdot 10^{-3}$$



$$= 121,89 \text{ kN} > V_s (25,49 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D8 ( $A_s = 100,53 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{100,53 \times 400 \times 295,5}{25,49 \times 1000} = 466,17 \text{ mm}$$

Pasal 18.4.2.5 SNI 2847:2019 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 295,5/2 = 147,75 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2P8-100

TYPE	BALOK B1	
LANTAI	ATAP	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	250 x 350	
TUL. ATAS	3 D13	2 D13
TUL. BAWAH	2 D13	2 D13
SENGKANG	P8 - 70	P8 - 100

Gambar 2. 26 Tulangan Balok B1 Atap



### 2.6.3 Balok B2 Lantai 2

Data penampang balok:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\emptyset = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 250 \text{ mm dan } h = 400 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada lantai 2.

$$\text{Momen tumpuan negatif} = -73,35 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan positif} = 0,5 \cdot 73,35 = 36,67 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 44,964 \text{ kNm}$$

$$\text{Bentang balok (L)} = 5,5 \text{ m}$$

Direncanakan dengan menggunakan:

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d_s = \text{selimut beton} + \text{diameter sengkang} + 0,5 \text{ diameter tulangan lentur}$$

$$= 40 + 10 + 16/2 = 58 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 400 - 58 = 342 \text{ mm}$$

A. Tulangan Tumpuan

a. Tumpuan negatif

$$M_u = -73,35 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tahanan, } R_n &= \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{73,35 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 342^2} \\ &= 2,787 \end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,787}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0075 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right] \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

karena  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0075

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0075 \times 342 \times 250 \\ &= 640,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D-16

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 4 \times \frac{1}{4}\pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Cek  $\phi M_n > M_u$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 60,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 804,25 \times 400 \left( 342 - \frac{60,55}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 90,25 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$90,25 > 73,35 \text{ (Aman)}$$

b. Tumpuan positif

$$Mu = 36,67 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } Rn = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{36,67 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 342^2}$$

$$= 1,393$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,393}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0036$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c}}{f_y \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\rho_{\max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0036

As perlu =  $\rho \times b \times d$

$$= 0,0036 \times 342 \times 250$$

$$= 308,32 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D-16

As pakai =  $2 \times \frac{1}{4}\pi \times 16^2$

$$= 402,12 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw}$$

$$= \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 30,28 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 402,12 \times 400 \left( 342 - \frac{30,28}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 47,32 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\begin{aligned}\phi Mn &> Mu \\ 47,32 &> 36,67 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

#### B. Tulangan Lapangan

$$Mu = 44,964 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Koefisien tahanan, } Rn &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{44,964 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 342^2} \\ &= 1,709\end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,709}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0045\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{fy \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\text{maks}}$ )

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 4} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{maks}}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0045

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0045 \times 342 \times 250$$

$$= 381,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D-16

$$\text{As pakai} = 2 \times \frac{1}{4}\pi \times 16^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw}$$

$$= \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 30,28 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\phi Mn = \phi \times As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \times 402,12 \times 400 \left( 342 - \frac{30,28}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 47,32 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$47,32 > 44,964 \text{ (Aman)}$$

### C. Tulangan Geser

Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.6.2, Kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak  $1,25f_y$ .

Perhitungan  $M_{pr}^-$

$M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 4D-16

( $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w}$$

$$= \frac{1,25 \times 804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 75,69 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 804,25 \times 400 \left( 342 - \frac{75,69}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 122,31 \text{ kNm}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D-16

( $A_s = 402,12 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 a_{pr} &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w} \\
 &= \frac{1,25 \times 402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\
 &= 37,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^+ &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \times 402,12 \times 400 \left( 342 - \frac{37,85}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 64,96 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

$$V_g = 69,37 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{Pr}^- + M_{Pr}^+}{l_n} \\
 &= \frac{122,31 + 64,96}{5,5} \\
 &= 34,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_e + V_g \\
 &= 34,05 + 69,37 \\
 &= 103,42 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= V_e - V_g \\
 &= 34,05 - 69,37 \\
 &= -35,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,35 m, maka  $2h = 0,7$  m.

Tulangan geser tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.6.5.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.



$$0,5V_u = 0,5(103,42)$$

$$= 51,71 > V_e (34,05 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0$$

$V_c$  perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c} b_w.d \quad , \lambda = 1$$

$$= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 342) \cdot 10^{-3}$$

$$= 72,675 \text{ kN}$$

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left( \frac{103,42}{0,75} \right) - 72,675$$

$$= 65,22 \text{ kN}$$

$$V_{s\text{maks}} = 0,66\sqrt{f_c} b_w.d$$

$$= (0,66 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 342) \cdot 10^{-3}$$

$$= 282,15 \text{ kN} > V_s(65,22 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D10

$$A_s = 2 \times \frac{1}{4}\pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 400 \times 342}{65,22 \times 1000} = 329,50 \text{ mm}$$

Pasal 18.6.4.4 SNI 2487:2019 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari nilai terkecil a) hingga c):

a)  $d/4 = 342/4 = 85,5 \text{ mm}$

b)  $6d_b = 6(16) = 96 \text{ mm}$

c) 150 mm

Dipilih S maks = 85,5 mm

Sehingga digunakan tulangan 2P10-70

Tulangan geser lapangan

$$V_u = 101,195 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c} bw.d \quad , \lambda = 1$$

$$= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 342) \cdot 10^{-3}$$

$$= 72,675 \text{ kN}$$

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left( \frac{101,195}{0,75} \right) - 72,675$$

$$= 62,25 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = 0,33\sqrt{f_c} bw.d$$

$$= (0,33 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 342) \cdot 10^{-3}$$

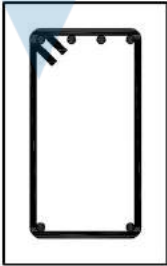
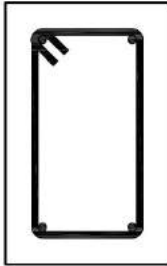
$$= 141,075 \text{ kN} > V_s (62,25 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 400 \times 342}{62,25 \times 1000} = 381,43 \text{ mm}$$

Pasal 18.4.2.5 SNI 2847:2019 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 342/2 = 171 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2P10-100

TYPE	BALOK B2	
LANTAI	LANTAI 2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	250 x 400	
TUL. ATAS	4 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	2 D16
SENGKANG	P10 - 70	P10 - 100

Gambar 2. 27 Tulangan Balok B2 Lantai 1

#### 2.6.4 Balok B2 Atap

Data penampang balok:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 250 \text{ mm dan } h = 400 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada atap/ringbalk.

$$\text{Momen tumpuan negatif} = -19,54 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan positif} = 0,5 \cdot 19,54 = 9,77 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 10,569 \text{ kNm}$$

$$\text{Bentang balok (L)} = 5,5 \text{ m}$$

Direncanakan dengan menggunakan:

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d_s = \text{selimut beton} + \text{diameter sengkang} + 0,5 \text{ diameter tulangan lentur}$$

$$= 40 + 8 + 13/2 = 54,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 400 - 54,5 = 345,5 \text{ mm}$$

A. Tulangan Tumpuan

a. Tumpuan negatif

$$Mu = -19,54 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } Rn = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{19,54 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 345,5^2}$$

$$= 0,727$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,727}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0019$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{fy \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'c}{fy} \left[ \frac{600}{600 + fy} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho < \rho_{min} < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

As perlu =  $\rho \times b \times d$

$$= 0,0031 \times 345,5 \times 250$$

$$= 296,92 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 3D-13

$$As \text{ pakai} = 3 \times 1/4\pi \times 13^2$$

$$= 398,2 \text{ mm}^2 \geq As \text{ perlu ( OK! )}$$

$$= 398,20 \text{ mm}^2 \geq As \text{ perlu ( OK! )}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{398,20 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 29,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 398,20 \times 400 \left( 345,5 - \frac{29,98}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 47,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$47,38 > 19,54 \text{ (Aman)}$$

b. Tumpuan positif

$$Mu = 9,77 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tahanan, } R_n &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{9,77 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 345,5^2} \\ &= 0,364 \end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,364}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0009 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right] \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

karena  $\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

As perlu =  $\rho \times b \times d$

$$\begin{aligned} &= 0,0031 \times 345,5 \times 250 \\ &= 296,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D-13

As pakai =  $2 \times 1/4\pi \times 13^2$

$$= 270,46 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\ &= \frac{265,46 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\ &= 19,99 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 265,46 \times 400 \left( 345,5 - \frac{19,99}{2} \right) \times 10^6 \\ &= 32,06 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$\phi Mn > Mu$

$32,06 > 9,77$  (Aman)

B. Tulangan Lapangan

$Mu = 10,569 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tahanan, } Rn &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{10,569 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 345,5^2} \\ &= 0,393 \end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0.85 \times 25}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,393}{0.85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0010\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

karena  $\rho < \rho_{min} < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0031 \times 345,5 \times 250 \\ &= 269,92 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 3D-13

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= 3 \times \frac{1}{4}\pi \times 13^2 \\ &= 398,197 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}\end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw}$$



$$= \frac{398,197 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 29,98 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \times 398,197 \times 400 \left( 345,5 - \frac{29,98}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 47,38 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$47,38 > 10,569 \text{ (Aman)}$$

### C. Tulangan Geser

#### Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.6.2, Kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak  $1,25fy$ .

#### Perhitungan $M_{pr}$

$M_{pr}$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D-13

$$(As = 398,2 \text{ mm}^2)$$

$$a_{pr} = \frac{1,25 As fy}{0,85 f'c bw}$$

$$= \frac{1,25 \times 398,2 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250}$$

$$= 37,48 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \times 398,2 \times 400 \left( 345,5 - \frac{37,48}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 65,06 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D-13

( $A_s = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 a_{pr} &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b_w} \\
 &= \frac{1,25 \times 265,46 \times 400}{0,85 \times 25 \times 250} \\
 &= 24,98 \text{ mm} \\
 M_{pr}^+ &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \times 265,46 \times 400 \left( 345,5 - \frac{24,98}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 44,20 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

$$V_g = 6,315 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{Pr}^- + M_{Pr}^+}{l_n} \\
 &= \frac{65,06 + 44,20}{5}
 \end{aligned}$$

$$= 19,865 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_e + V_g \\
 &= 19,865 + 6,315 \\
 &= 37,23 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,35 m, maka  $2h = 0,7 \text{ m}$ .

Tulangan geser tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.6.5.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$0,5V_u = 0,5(37,23)$$

$$= 18,62 < V_e (19,865 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0$$

$V_c$  tidak perlu diperhitungkan, maka

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left( \frac{37,23}{0,75} \right) - 0$$

$$= 49,64 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = 0,66\sqrt{f_c} b_w.d$$

$$= (0,66 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 345,5) \cdot 10^{-3}$$

$$= 285,04 \text{ kN} > V_s (49,64 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D8

$$A_s = 2 \times 1/4\pi \times 8^2 = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{100,53 \times 400 \times 345,5}{49,64 \times 1000} = 279,87 \text{ mm}$$

Pasal 18.6.4.4 SNI 2847:2019 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari nilai terkecil a) hingga c):

$$\text{a) } d/4 = 345,5/4 = 86,375 \text{ mm}$$

$$\text{b) } 6d_b = 6(13) = 78 \text{ mm}$$

$$\text{c) } 150 \text{ mm}$$

$$\text{Dipilih } S \text{ maks} = 86,375 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan 2P10-70

Tulangan geser lapangan

$$V_u = 28,55 \text{ kN}$$

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - 0$$

$$= \left( \frac{28,55}{0,75} \right) - 0$$

$$= 38,06 \text{ kN}$$

$$V_{\text{maks}} = 0,33\sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= (0,33 \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 345,5) \cdot 10^{-3}$$



$$= 142,52 \text{ kN} > V_s (38,06 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D8 ( $A_s = 100,53 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{100,53 \times 400 \times 345,5}{38,06 \times 1000} = 365 \text{ mm}$$

Pasal 18.4.2.5 SNI 2847:2019 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 345,5/2 = 172,8 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2P8-100

TYPE	BALOK B2	
LANTAI	ATAP	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	250 x 400	
TUL. ATAS	3 D13	2 D13
TUL. BAWAH	2 D13	3 D13
SENGKANG	P8 - 70	P8 - 100

Gambar 2. 28 Tulangan Balok B2 Atap

### 2.6.5 Balok B3 Lantai 2

Data penampang balok:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\emptyset = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 300 \text{ mm dan } h = 500 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada lantai 2.

$$\text{Momen tumpuan negatif} = -193 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan positif} = 0,5 \cdot 193 = 96,50 \text{ KNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 107,22 \text{ kNm}$$

$$\text{Bentang balok (L)} = 6 \text{ m}$$

Direncanakan dengan menggunakan:

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d_s &= \text{selimut beton} + \text{diameter sengkang} + 0,5 \text{ diameter tulangan lentur} \\ &= 40 + 10 + 19/2 = 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 500 - 59,5 = 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### A. Tulangan Tumpuan

##### a. Tumpuan negatif

$$M_u = -193 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } R_n = \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{193 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 440,5^2}$$

$$= 3,684$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,684}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0102$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\rho_{\max} = 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0102

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0102 \times 440,5 \times 300$$

$$= 1346,10 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 5D-19

$$\text{As pakai} = 5 \times 1/4\pi \times 19^2$$

$$= 1417,64 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw}$$

$$= \frac{1417,64 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 88,95 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 1417,64 \times 400 \left( 440,5 - \frac{88,95}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 202,11 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$202,11 > 193 \text{ (Aman)}$$

b. Tumpuan positif

$$Mu = 96,50 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } Rn = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{96,50 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 440,5^2}$$

$$= 1,842$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,842}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0048$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{fy \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\rho_{max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f_y} \right]$$

$$= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right]$$

$$= 0,0203$$

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0048

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0048 \times 440,5 \times 300$$

$$= 637,47 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 3D-19

$$As_{pakai} = 3 \times \frac{1}{4}\pi \times 19^2$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2 \geq As_{perlu} \text{ ( OK! )}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw}$$

$$= \frac{850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 53,37 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\phi Mn = \phi \times As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \times 850,59 \times 400 \left( 440,5 - \frac{53,37}{2} \right) \times 10^{-6}$$



$$= 126,715 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$126,715 > 96,5 \text{ (Aman)}$$

#### B. Tulangan Lapangan

$$Mu = 126,53 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tahanan, } Rn &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{126,53 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 440,5^2} \\ &= 2,415 \end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,415}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0064 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{\sqrt{f_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+400} \right] \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0064

$$\begin{aligned}As \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\&= 0,0064 \times 440,5 \times 300 \\&= 849,261 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D-19

$$\begin{aligned}As \text{ pakai} &= 4 \times \frac{1}{4}\pi \times 19^2 \\&= 1134,11 \text{ mm}^2 \geq As \text{ perlu ( OK! )}\end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned}a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times bw} \\&= \frac{1134,11 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \\&= 71,16 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\&= 0,9 \times 1134,11 \times 400 \left( 440,5 - \frac{71,16}{2} \right) \times 10^{-6} \\&= 161,89 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$\phi Mn > Mu$

$$161,89 > 126,53 \text{ (Aman)}$$

C. Tulangan Geser

Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.6.2, Kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak  $1,25f_y$ .

Perhitungan  $M_{pr}^-$

$M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 5D-19

( $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w}$$

$$= \frac{1,25 \times 1417,64 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 111,19 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 1417,64 \times 400 \left( 440,5 - \frac{111,19}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 272,83 \text{ kNm}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 3D-19

( $A_s = 402,12 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_c b w}$$

$$= \frac{1,25 \times 850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 66,71 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 850,59 \times 400 \left( 440,5 - \frac{66,71}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 173,16 \text{ kNm}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

$$V_g = 138,85 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{MPr^- + MPr^+}{ln} \\ &= \frac{272,83 + 173,16}{6} \\ &= 74,331 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e1} &= V_e + V_g \\ &= 74,331 + 138,85 \\ &= 213,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e1} &= V_e - V_g \\ &= 74,331 - 138,85 \\ &= -64,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,5 m, maka  $2h = 1$  m.

Tulangan geser tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.6.5.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$\begin{aligned} 0,5V_u &= 0,5(213,18) \\ &= 106,59 > V_e (74,331 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0 \end{aligned}$$

$V_c$  perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c} b_w.d, \lambda = 1 \\ &= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3} \\ &= 112,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c \\
 &= \left( \frac{213,18}{0,75} \right) - 112,33 \\
 &= 171,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s\text{maks}} &= 0,66\sqrt{f_c} b_w.d \\
 &= (0,66 \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3} \\
 &= 436,1 \text{ kN} > V_s (171,91 \text{ kN}) \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2D10

$$A_s = 2 \times 1/4\pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak sengkang (s)} &= \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \times 400 \times 440,5}{171,91 \times 1000} = 161 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pasal 18.6.4.4 SNI 2487:2019 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari nilai terkecil a) hingga c):

$$\text{a) } d/4 = 440,5/4 = 110,125 \text{ mm}$$

$$\text{b) } 6d_b = 6(19) = 114 \text{ mm}$$

$$\text{c) } 150 \text{ mm}$$

Dipilih S maks = 110,125 mm

Sehingga digunakan tulangan 2P10-100

Tulangan geser lapangan

$$V_u = 140,43 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c} b_w.d \quad , \lambda = 1 \\
 &= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3} \\
 &= 112,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

$$= \left( \frac{140,43}{0,75} \right) - 112,33$$

$$= 74,92 \text{ kN}$$

$$V_{\text{maks}} = 0,33\sqrt{f_c} b_w.d$$

$$= (0,33 \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3}$$

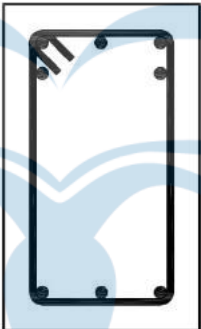
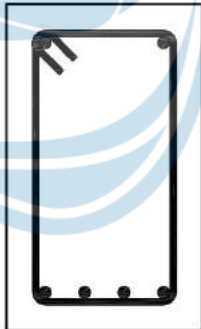
$$= 218,05 \text{ kN} > V_s (74,92 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 400 \times 440,5}{74,92 \times 1000} = 369,44 \text{ mm}$$

Pasal 18.4.2.5 SNI 2847:2019 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 440,5/2 = 220,25 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2P10-200

TYPE	BALOK B3	
LANTAI	LANTAI 2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	300 x 500	
TUL. ATAS	5 D19	2 D19
TUL. BAWAH	3 D19	4 D19
SENGKANG	P10 - 100	P10 - 200

Gambar 2. 29 Tulangan Balok B3 Lantai 2

### 2.6.6 Balok B3 Atap

Data penampang balok:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 300 \text{ mm dan } h = 500 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada lantai 2.

$$\text{Momen tumpuan negatif} = -107,22 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan positif} = 0,5 \cdot 107,22 = 53,61 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 36,15 \text{ kNm}$$

$$\text{Bentang balok (L)} = 6 \text{ m}$$

Direncanakan dengan menggunakan:

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d_s = \text{selimut beton} + \text{diameter sengkang} + 0,5 \text{ diameter tulangan lentur}$$

$$= 40 + 10 + 19/2 = 58 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 500 - 59,5 = 440,5 \text{ mm}$$

#### A. Tulangan Tumpuan

##### a. Tumpuan negatif

$$M_u = -107,22 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } R_n = \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{107,22 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 440,5^2}$$

$$= 2,047$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0.85 \times 25}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,047}{0.85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0054\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600 + 400} \right] \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0054

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0054 \times 440,5 \times 300 \\ &= 712,27 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 3D-19

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= 3 \times \frac{1}{4}\pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}\end{aligned}$$

Cek  $\phi Mn > Mu$

Pemeriksaan momen nominal

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw}$$



$$= \frac{850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 53,37 \text{ mm}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\phi Mn = \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \times 850,59 \times 400 \left( 440,5 - \frac{53,37}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 126,715 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$126,715 > 107,22 \text{ (Aman)}$$

b. Tumpuan positif

$$Mu = 53,61 \text{ kNm}$$

$$\text{Koefisien tahanan, } Rn = \frac{Mu}{\phi b.d^2}$$

$$= \frac{53,61 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 440,5^2}$$

$$= 1,151$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,151}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0030$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600} \right] \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+4} \right] \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

karena  $\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0031 \times 440,5 \times 300 \\ &= 412,97 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D-19

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= 2 \times \frac{1}{4}\pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )}\end{aligned}$$

Cek  $\phi M_n > M_u$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned}a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw} \\ &= \frac{567,06 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 35,58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \times As \times fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 567,06 \times 400 \left( 440,5 - \frac{35,58}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 86,29 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$86,29 > 53,61 \text{ (Aman)}$$

B. Tulangan Lapangan

$$Mu = 36,15 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Koefisien tahanan, } Rn &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\ &= \frac{36,15 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 440,5^2} \\ &= 0,690\end{aligned}$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,690}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{\sqrt{f'c}}{fy \cdot 4} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4} \\ &= 0,0031\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600+f_y} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+4} \right] \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

karena  $\rho < \rho_{min} < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0031

$$\begin{aligned}As_{perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0031 \times 440,5 \times 300 \\ &= 412,97 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D-19

$$\begin{aligned}As_{pakai} &= 2 \times 1/4\pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \geq As_{perlu} \text{ ( OK! )}\end{aligned}$$

Cek  $\phi M_n > M_u$

Pemeriksaan momen nominal

$$\begin{aligned}a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times bw} \\ &= \frac{567,06 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 35,58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2. 5 digunakan nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebesar 0,9 karena balok direncanakan mampu menahan momen lentur yang bekerja pada struktur.

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times As \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 567,06 \times 400 \left( 440,5 - \frac{35,58}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 85,38 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, nilai  $\phi Mn$  diisyaratkan lebih besar atau sama dengan nilai momen ultimit yang bekerja pada balok.

$$\phi Mn > Mu$$

$$85,38 > 36,15 \text{ (Aman)}$$

D. Tulangan Geser

Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.6.2, Kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak  $1,25f_y$ .

Perhitungan  $M_{pr}^-$

$M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D-19

( $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'c b w}$$

$$= \frac{1,25 \times 850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 66,71 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= 1,25 \times 850,59 \times 400 \left( 440,5 - \frac{66,71}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 173,16 \text{ kNm}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D-19

( $A_s = 402,12 \text{ mm}^2$ )

$$a_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'c b w}$$

$$= \frac{1,25 \times 567,06 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 44,47 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^+ &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \times 567,06 \times 400 \left( 440,5 - \frac{44,47}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 118,59 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

$$V_g = 43,857 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{Pr}^- + M_{Pr}^+}{l_n} \\
 &= \frac{173,16 + 118,59}{6} \\
 &= 48,624 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_e + V_g \\
 &= 48,624 + 43,857 \\
 &= 92,481 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,5 m, maka  $2h = 1$  m.

Tulangan geser tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 18.6.5.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$\begin{aligned}
 0,5V_u &= 0,5(92,481) \\
 &= 46,241 < V_e (48,624 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0
 \end{aligned}$$

$V_c$  tidak perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c \\
 &= \left( \frac{92,481}{0,75} \right) - 0 \\
 &= 123,31 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smaks} &= 0,66\sqrt{f_c} bw.d \\
 &= (0,66 \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3} \\
 &= 436,1 \text{ kN} > V_s (123,31 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2D10

$$A_s = 2 \times 1/4\pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak sengkang (s)} &= \frac{A_s f_y d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \times 400 \times 440,5}{123,31 \times 1000} = 224,46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pasal 18.6.4.4 SNI 2487:2019 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari nilai terkecil a) hingga c):

$$\text{a) } d/4 = 440,5/4 = 110,125 \text{ mm}$$

$$\text{b) } 6d_b = 6(19) = 114 \text{ mm}$$

$$\text{c) } 150 \text{ mm}$$

$$\text{Dipilih } S_{maks} = 110,125 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan 2P10-100

Tulangan geser lapangan

$$V_u = 54,15 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c} bw.d \quad , \lambda = 1 \\
 &= (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3} \\
 &= 112,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - 0 \\
 &= \left( \frac{54,15}{0,75} \right) - 0 \\
 &= 72,20 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{smaks} = 0,33\sqrt{f_c} bw.d$$

$$= (0,33 \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 440,5) \cdot 10^{-3}$$



$$= 218,05 \text{ kN} > V_s (72,20 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08 \times 400 \times 440,5}{72,20 \times 1000} = 383,35 \text{ mm}$$

Pasal 18.4.2.5 SNI 2847:2019 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 440,5/2 = 220,25 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2P10-200

TYPE	BALOK B3	
LANTAI	ATAP	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	300 x 500	
TUL. ATAS	3 D19	2 D19
TUL. BAWAH	2 D19	2 D19
SENGKANG	P10 - 100	P10 - 200

Gambar 2. 30 Tulangan Balok B3 Atap

### 2.6.7 Perencanaan Sloof

Data penampang sloof:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\emptyset = 0,9 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal 21}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pasal R22.2.2.4.3}$$

$$b = 200 \text{ mm dan } h = 300 \text{ mm}$$



Perhitungan tulangan lentur diambil dari momen pada lantai 2.

Momen = 15,51 kNm

Direncanakan dengan menggunakan:

Diameter tulangan lentur = 12 mm

Diameter sengkang = 8 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

$d_s$  = selimut beton + diameter sengkang + 0,5 diameter tulangan lentur

$$= 40 + 8 + 12/2 = 54 \text{ mm}$$

$d = h - d_s$

$$= 300 - 54 = 246 \text{ mm}$$

Penulangan sloof

Mu = 15,51 kNm

Koefisien tahanan,  $R_n = \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2}$

$$= \frac{15,51 \times 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 246^2}$$

$$= 1,424$$

Rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,424}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0037$$

Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y \cdot 4}$$

$$= \frac{\sqrt{25}}{400 \cdot 4}$$

$$= 0,0031$$

Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{maks}$ )

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0.75 \times 0.85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \left[ \frac{600}{600+4} \right] \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

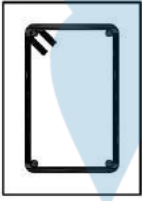

karena  $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ , maka digunakan  $\rho$  digunakan = 0,0037

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 256 \times 200 \\ &= 181,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2P-12

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 2 \times 1/4\pi \times 12^2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \geq \text{As perlu ( OK! )} \end{aligned}$$

Tulangan geser digunakan 2P8-15

TYPE	SLOOF	
LANTAI	LANTAI 1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
B x H	200 x 300	
TUL. ATAS	2 P12	2 P12
TUL. BAWAH	2 P12	2 P12
SENGKANG	P8 - 15	P8 - 15

Gambar 2. 31 Tulangan Sloof

## 2.7 Perancangan Kolom

Direncanakan kolom sebagai berikut:

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi kolom} = 450 \times 450 \text{ mm}$$

$$H_1 = 3,5 \text{ m}$$

$$H_2 = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 0,65$$

### Syarat Dimensi Penampang

Kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus memiliki batasan dimensi yang diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, kolom-kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

$$450 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

- b) Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4

$$\frac{450}{450} \geq 0,4$$

$$1 \geq 0,4$$

### Perencanaan Tulangan Pokok

Kolom Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal  $A_{st}$  tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  dan tidak boleh lebih dari  $0,06A_g$ . Maka dapat dihitung nilai  $A_{st}$  minimum sebagai berikut:

$$A_{st} = 1\% \times c_1 \times c_2$$

$$= 1 \% \times 450 \times 450$$

$$= 2025 \text{ mm}^2$$

Dirancang tulangan pokok diameter 19 mm dengan jumlah sebagai berikut:

$$n = \frac{A_{st}}{\text{Luas tulangan}}$$

$$= \frac{2025}{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2} = 7,14 \approx 12 \text{ buah}$$

$$\rho = \frac{\text{Luas tulangan total}}{A_{total}}$$

$$= \frac{12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2}{2025} = 1,68 \%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa tulangan pokok kolom 12D19 memenuhi persyaratan SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, dimana nilai  $\rho$  lebih besar dari 0,01 dan lebih kecil dari 0,06.

### 2.7.1 Kolom Lantai 1

#### A. Tulangan Longitudinal

Perencanaan penulangan diambil nilai  $P_u$  dan  $M_u$  kolom yang terbesar dari perhitungan dan hasil analisis dengan ETABS, maka dari data output

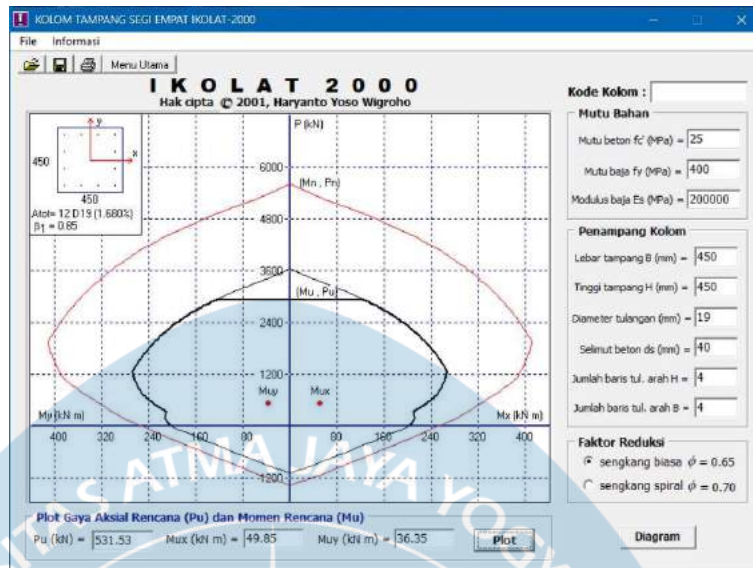
ETABS diperoleh :

$$M_2 = M_y = 49,85 \text{ kNm}$$

$$M_3 = M_x = 36,35 \text{ kNm}$$

$$P_u = 531,53 \text{ KN}$$

Data data output ETABS tersebut kemudian diinput kedalam aplikasi IKOLAT 2000 dengan tulangan rancangan 12D19 yang ditunjukkan pada **Gambar** sebagai berikut:



Gambar 2. 32 Diagram Interaksi Kolom Lantai 1

Menggunakan aplikasi IKOLAT 2000, didapat nilai  $M_{nc}$  sebagai berikut :

$$M_{nc} = 320 \text{ kNm}$$

Kolom direncanakan dengan faktor reduksi 0,65.

$$M_{nc} = \frac{320}{0,65} = 492,31 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal pada balok B2, diperoleh tulangan pada tumpuan atas 4D16 dan tulangan tumpuan bawah 2D16.

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - 0,59 \frac{A_s \cdot f_y}{f'_c b w} \right)$$

$$M_n^- = 804,25 \cdot 400 \left( 342 - 0,59 \frac{804,25 \cdot 400}{25 \cdot 250} \right)$$

$$= 100251859 \text{ Nmm} = 100,25 \text{ kNm}$$

$$M_n^+ = 402,12 \cdot 400 \left( 342 - 0,59 \frac{402,12 \cdot 400}{25 \cdot 250} \right)$$

$$= 52567691 \text{ Nmm} = 52,57 \text{ kNm}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, dijelaskan bahwa kekuatan lentur kolom harus memenuhi konsep Strong Column Weak Beam yang dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ 492,31 &\geq 1,2 (100,25 + 52,57) \\ 492,31 \text{ kNm} &\geq 183,384 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Maka syarat Strong Column Weak Beam pada kolom lantai 1 sesuai dengan ketentuan dan terpenuhi.

### B. Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847 pasal 18.7.5.1, panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara a) hingga c):

- a) Tinggi komponen struktur ( $h$ ) = 450 mm
- b) Seperenam tinggi bersih kolom =  $\frac{1}{6} \times 3150 = 525$  mm
- c) 450 mm

Maka digunakan panjang terbesar yaitu,  $l_o = 525$  mm

Tulangan Transversal Kolom Lantai 1

$$\begin{aligned}P_u &< 0,3 \times A_g \times f'_c \\ 531,53 \text{ kN} &< 0,3 \times 450 \times 450 \times 25 \\ 531,53 \text{ kN} &< 1518,75 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$bc = C - (2 \times \text{tebal selimut}) = 450 - (2 \times 40) = 370 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = bc^2 = 370^2 = 136900 \text{ mm}^2$$

$$A_g = C_1 \times C_2 = 450 \times 450 = 202500 \text{ mm}^2$$

Pada SNI 2847 pasal 18.10.6.3, luas penampang sengkang tertutup persegi ( $A_{sh}/sbc$ ) tidak boleh kurang dari yang ditentukan sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}a) \quad &0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &0,3 \left( \frac{202500}{136900} - 1 \right) \frac{25}{400} = 0,00898\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ 0,09 \frac{25}{400} &= 0,00563 \end{aligned}$$

Nilai  $Ash/sbc$  diantara persamaan a) dan b) diambil yang terbesar, yaitu 0,00898.

### Penentuan jarak tulangan sepanjang $l_o$

Dalam melakukan perencanaan jarak tulangan transversal, ditentukan jarak  $h_x$ , yaitu spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang sebagai berikut :

$$\begin{aligned} h_x &= \frac{(450 - (2 \times 40)) - 2(10) - 19}{3} \\ &= 110,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai  $h_x$  telah memenuhi syarat pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2, tidak boleh melebihi 200 mm. Batasan spasi tulangan transversal yang dipasang sepanjang  $l_o$  diperoleh berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3:

$$\begin{aligned} \text{a) } \frac{1}{4} \times \text{dimensi terkecil kolom} &= \frac{1}{4} \times 450 = 112,5 \text{ mm} \\ \text{b) } 6 \times \text{diameter tulangan longitudinal} &= 6 \times 19 = 114 \text{ mm} \\ \text{c) } S_o &= 100 + \frac{(350 - h)}{3} \\ &= 100 + \left( \frac{350 - 110,33}{3} \right) = 179,89 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tulangan sepanjang  $l_o$  ( $s$ ) sebesar 80 mm

$$\begin{aligned} \frac{Ash}{s} &= b_c \times \frac{As}{s_{bc}} \\ &= 370 \times 0,00898 \\ &= 3,324 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash perlu} &= \frac{Ash}{s} \times s \\ &= 3,3243 \times 80 \\ &= 265,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{sh \text{ perlu}}}{A_s}$$

$$= \frac{265,95}{78,54}$$

$$= 3,39 \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_{sh \text{ pakai}} = n \times A_s$$

$$= 4 \times 78,54$$

$$= 314,16 \text{ mm}^2 > 265,95 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka digunakan tulangan sengkang sepanjang  $l_o$  4D10-80 pada kolom lantai 1.

#### **Penentuan jarak tulangan di luar $l_o$**

Penentuan gaya geser akibat gempa, untuk menghitung gaya geser akibat gempa dihitung berdasarkan  $M_{pr}$  balok.

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{\sum M_{pr \text{ atas}} \times 0,5 + \sum M_{pr \text{ bawah}} \times 0,5}{l_u} \\ &= \frac{(122.31+64.96) \times 0,5 + (122.31+64.96) \times 0,5}{3,5} \\ &= 53,504 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum terfaktor hasil analisis,  $V_e = 90,161 \text{ kN}$

Maka  $V_e$  yang digunakan untuk perhitungan tulangan geser =  $90,161 \text{ kN}$ . Selanjutnya dengan mengasumsikan kuat geser yang disumbang oleh beton,  $V_c = 0$ , maka :

$$\begin{aligned} V_s &= \left( \frac{V_u}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{90.161}{0.75} \right) \\ &= 120,21 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d} \\ &= \frac{120,21}{400 \times 390,5} \\ &= 0,7696\end{aligned}$$

Untuk  $s = 80$  mm, maka  $A_v = 0,7696(80) = 61,57 \text{ mm}^2$

Sudah disediakan sengkang tertutup dan ikat silang, 4D10-80 mm ( $A_{sh} = 314,16 \text{ mm}^2$ )

Untuk diluar  $l_o$ , maka nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{531,53 \times 1000}{14 \times 202500} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \times 390,5 \\ &= 177,37 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena  $V_c$  sudah melebihi  $V_u$ , (90.161 kN) di luar panjang  $l_o$ , maka pada daerah di luar  $l_o$  dapat dipasang tulangan sengkang dengan jarak :

$$d/2 = 390,5/2 = 195,25 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}.$$

Namun berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 persyaratan jarak tulangan transversal di luar daerah  $l_o$ , menyatakan bahwa jarak antara tulangan tidak boleh melebihi 150 atau  $6d_b$  ( $= 114 \text{ mm}$ ), sehingga digunakan jarak tulangan di luar  $l_o$  ( $s$ ) sebesar 100 mm. Maka digunakan tulangan 4D10-100 mm.

## 2.7.2 Kolom Lantai 2

### A. Tulangan Longitudinal

Perencanaan penulangan diambil nilai  $P_u$  dan  $M_u$  kolom yang terbesar dari perhitungan dan hasil analisis dengan ETABS, maka dari data output

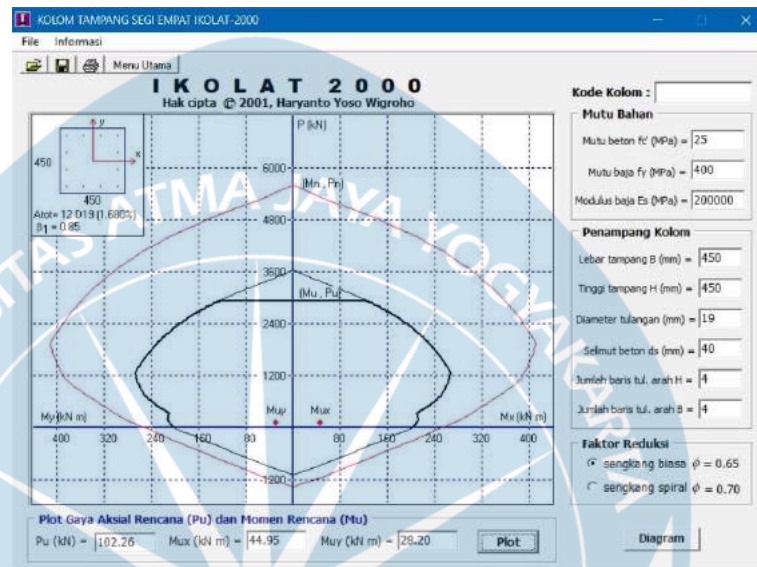
ETABS diperoleh :

$$M_2 = M_y = 44,95 \text{ kNm}$$

$$M_3 = M_x = 28,20 \text{ kNm}$$

$$P_u = 102,26 \text{ KN}$$

Data data output ETABS tersebut kemudian diinput kedalam aplikasi IKOLAT 2000 dengan tulangam rancangan 12D19 yang ditunjukkan pada Gambar sebagai berikut:



Gambar 2. 33 Diagram Interaksi Kolom Lantai 2

Menggunakan aplikasi IKOLAT 2000, didapat nilai  $M_{nc}$  sebagai berikut :

$$M_{nc} = 260 \text{ kNm}$$

Kolom direncanakan dengan faktor reduksi 0,65.

$$M_{nc} = \frac{260}{0,65} = 400 \text{ kNm}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal pada balok B3, diperoleh tulangan pada tumpuan atas 3D19 dan tulangan tumpuan bawah 2D19.

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - 0,59 \frac{A_s \cdot f_y}{f'c \cdot b_w} \right)$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= 850,59 \cdot 400 \left( 440,5 - 0,59 \frac{850,59 \cdot 400}{25 \cdot 300} \right) \\ &= 140767462 \text{ Nmm} = 140,77 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_n^+ = 402,12 \cdot 400 \left( 342 - 0,59 \frac{402,12 \cdot 400}{25 \cdot 250} \right)$$

$$= 95868640 \text{ Nmm} = 95,87 \text{ kNm}$$

Kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk melawan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Kolom-kolom selalu didesain 20% lebih kuat dari balok-balok di suatu hubungan balok kolom atau disebut konsep *Strong Column Weak Beam* untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 diharuskan bahwa kuat lentur untuk kolom harus memenuhi persamaan:

$$\begin{aligned} \sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ 400 &\geq 1,2 (140,77 + 95,87) \\ 400 \text{ kNm} &\geq 283,87 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka syarat *Strong Column Weak Beam* pada kolom lantai 2 sesuai dengan ketentuan dan terpenuhi.

### B. Tulangan Tranversal

Menurut SNI 2847 pasal 18.7.5.1, panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara a) hingga c):

- a) Tinggi komponen struktur ( $h$ ) = 450 mm
- b) Seperenam tinggi bersih kolom =  $\frac{1}{6} \times 3150 = 525 \text{ mm}$
- c) 450 mm

Maka digunakan panjang terbesar yaitu,  $l_o = 525 \text{ mm}$

Tulangan Tranversal Kolom Lantai 1

$$\begin{aligned} P_u &< 0,3 \times A_g \times f'_c \\ 102,26 \text{ kN} &< 0,3 \times 450 \times 450 \times 25 \\ 102,26 \text{ kN} &< 1518,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$bc = C - (2 \times \text{tebal selimut}) = 450 - (2 \times 40) = 370 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = bc^2 = 370^2 = 136900 \text{ mm}^2$$

$$A_g = C_1 \times C_2 = 450 \times 450 = 202500 \text{ mm}^2$$

Pada SNI 2847 pasal 18.10.6.3, luas penampang sengkang tertutup persegi ( $A_{sh}/s_{bc}$ ) tidak boleh kurang dari yang ditentukan sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{c) } & 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ & 0,3 \left( \frac{202500}{136900} - 1 \right) \frac{25}{400} = 0,00898 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } & 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \\ & 0,09 \frac{25}{400} = 0,00563 \end{aligned}$$

Nilai  $A_{sh}/s_{bc}$  diantara persamaan a) dan b) diambil yang terbesar, yaitu 0,00898.

#### Penentuan jarak tulangan sepanjang $l_o$

Dalam melakukan perencanaan jarak tulangan transversal, ditentukan jarak  $h_x$ , yaitu spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang sebagai berikut :

$$\begin{aligned} h_x &= \frac{(450 - (2 \times 40) - 2(10) - 19)}{3} \\ &= 110,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai  $h_x$  telah memenuhi syarat pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2, tidak boleh melebihi 200 mm. Batasan spasi tulangan transversal yang dipasang sepanjang  $l_o$  diperoleh berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3:

$$\text{a) } \frac{1}{4} \times \text{dimensi terkecil kolom} = \frac{1}{4} \times 450 = 112,5 \text{ mm}$$

$$\text{b) } 6 \times \text{diameter tulangan longitudinal} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } S_o &= 100 + \frac{(350 - h)}{3} \\ &= 100 + \left( \frac{350 - 110,33}{3} \right) = 179,89 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan jarak tulangan sepanjang  $l_o$  ( $s$ ) sebesar 80 mm

$$\frac{A_{sh}}{s} = b_c \times \frac{A_{sh}}{s_{bc}}$$

$$= 370 \times 0,00898$$

$$= 3,324 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash perlu} = \frac{Ash}{s} \times s$$

$$= 3,3243 \times 80$$

$$= 265,95 \text{ mm}^2$$

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{Ash \text{ perlu}}{As}$$

$$= \frac{265,95}{78,54}$$

$$= 3,39 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{Ash pakai} = n \times As$$

$$= 4 \times 78,54$$

$$= 314,16 \text{ mm}^2 > 265,95 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka digunakan tulangan sengkang sepanjang  $l_0$  4D10-80 pada kolom lantai 2.

### Penentuan jarak tulangan di luar $l_0$

Penentuan gaya geser akibat gempa, untuk menghitung gaya geser akibat gempa dihitung berdasarkan  $M_{pr}$  balok.

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{\sum M_{pr \text{ atas}} \times 0,5 + \sum M_{pr \text{ bawah}} \times 0,5}{l_u} \\ &= \frac{(173,16 + 111,59) \times 0,5 + (173,16 + 118,59) \times 0,5}{3,5} \\ &= 83,357 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum terfaktor hasil analisis,  $V_e = 92,481 \text{ kN}$

Maka  $V_e$  yang digunakan untuk perhitungan tulangan geser = 92,481 kN. Selanjutnya dengan mengasumsikan kuat geser yang disumbang oleh beton,  $V_c = 0$ , maka :

$$\begin{aligned} V_s &= \left( \frac{V_u}{\phi} \right) \\ &= \left( \frac{92,481}{0,75} \right) \\ &= 123,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d} \\ &= \frac{123,31 \times 10^3}{400 \times 390,5} \\ &= 0,7894 \end{aligned}$$

Untuk  $s = 80$  mm, maka  $A_v = 0,7894(80) = 63,15 \text{ mm}^2$

Sudah disediakan sengkang tertutup dan ikat silang, 4D10-80 mm ( $A_{sh} = 314,16 \text{ mm}^2$ )

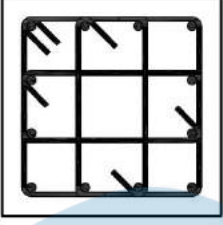
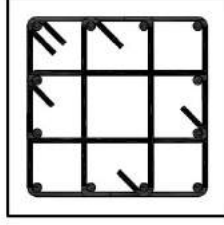
Untuk diluar  $l_o$ , maka nilai  $V_c$  ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w \cdot d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{102,26 \times 1000}{14 \times 202500} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \times 390,5 \\ &= 154,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena  $V_c$  sudah melebihi  $V_u$ , (92,481 kN) di luar panjang  $l_o$ , maka pada daerah di luar  $l_o$  dapat dipasang tulangan sengkang dengan jarak :

$$d/2 = 390,5/2 = 195,25 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm.}$$

Namun berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5 persyaratan jarak tulangan transversal di luar daerah  $l_o$ , menyatakan bahwa jarak antara tulangan tidak boleh melebihi 150 atau  $6d_b$  (= 114 mm), sehingga digunakan jarak tulangan di luar  $l_o$  (s) sebesar 100 mm. Maka digunakan tulangan 4D10-100 mm.

TYPE	KOLOM	
	TUMPUAN	LAPANGAN
POSISI		
GAMBAR		
B x H	450 x 450	
TUL. UTAMA	12 D19	12 D19
SENGKANG	4 D10 - 80	4 D10 - 100

Gambar 2. 34 Tulangan Kolom

