



**TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 180609**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 4  
LANTAI FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS  
UNIVERSITAS TRUNOJOYO DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
MENENGAH (SRPMM) DAN METODE  
PELAKSANAAN KOLOM**

**YUSRON HAKIKI  
NRP. 10111600000068**

**RIZKY PUTRI MAULIDIZA  
NRP. 10111600000067**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Srie Subekti, S.T, M.T  
NIP. 19560520 198903 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 180609

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 4  
LANTAI FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS  
UNIVERSITAS TRUNOJOYO DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
MENENGAH (SRPMM) DAN METODE  
PELAKSANAAN KOLOM**

YUSRON HAKIKI  
NRP. 10111600000068

RIZKY PUTRI MAULIDIZA  
NRP. 10111600000067

Dosen Pembimbing  
Ir. Srie Subekti, S.T, M.T  
NIP. 19560520 198903 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**FINAL APPLIED PROJECT - VC 180609**

**STRUCTURAL DESIGN OF 4 LEVEL OF  
BUSINESS AND ECONOMICS FACULTY OF  
TRUNOJOYO UNIVERSITY USING  
INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME  
SYSTEM (IMRFS) AND IMPLEMENTATION  
METHODS OF COLUMNS**

**YUSRON HAKIKI  
NRP. 10111600000068**

**RIZKY PUTRI MAULIDIZA  
NRP. 10111600000067**

**Consellor Lecturer  
Ir. Srie Subekti, S.T, M.T  
NIP. 19560520 198903 2 001**

**DIPLOMA III STUDY PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING  
Faculty Of Vocational  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2020**



## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 4 LANTAI FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS TRUNOJOYO DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM) DAN METODE PELAKSANAAN KOLOM

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik

pada

Konsentrasi Bangunan Gedung

Program Studi D-III Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

#### MAHASISWA I

**YUSRON HAKIKI**

NRP. 10111600000068

#### MAHASISWA II

**RIZKY PUTRI MAULIDIZA**

NRP. 10111600000067

Disetujui oleh,

Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



29 JAN 2020

DEPARTEMEN  
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
SURABAYA, 28 JANUARI 2020



**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 4 LANTAI FAKULTAS  
EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS TRUNOJOYO  
DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
MENENGAH (SRPMM) DAN METODE PELAKSANAAN  
KOLOM**

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>:</b> Yusron Hakiki
<b>NRP.</b>	<b>:</b> 101116 000 000 68
<b>Jurusan</b>	<b>:</b> Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>:</b> Rizky Putri Maulidiza
<b>NRP.</b>	<b>:</b> 101116 000 000 67
<b>Jurusan</b>	<b>:</b> Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>:</b> Ir. Srie Subekti, S.T., M.T.
<b>NIP.</b>	<b>:</b> 19560520 198903 2 001

## **ABSTRAK**

*Gedung yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir terapan ini merupakan desain ulang dari gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Trunojoyo Madura hanya saja lokasinya diubah di kota Balikpapan sesuai dengan data tanah yang digunakan. Berdasarkan hasil Standart Penetration Test (SPT), didapatkan bahwa gedung dibangun diatas tanah kondisi sedang (kelas situs SD). Berdasarkan parameter respons percepatan didapatkan kategori desain seismik C sehingga perhitungan struktur dilakukan dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).*

*Perhitungan struktur dan gempa mengacu pada peraturan yang berlaku, yakni SNI 2847:2013, SNI 1729:2015, SNI 1726:2012, SNI 1727:2013. Proses perhitungan struktur meliputi analisa pembebanan, permodelan struktur menggunakan program bantu SAP 2000, analisa gaya dalam, perhitungan penulangan, dan pengecekan syarat elemen struktur.*

*Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan ini, diperoleh struktur primer yaitu terdapat 1 tipe balok induk, balok anak dan sloof dengan tulangan D19 dengan sengkang Ø10. Pada kolom terdapat 2 tipe yaitu K1 dan K2, untuk K1 menggunakan tulangan D22 dan*

*sengkang Ø10. Sedangkan untuk K2 menggunakan tulangan D19 dan sengkang Ø10. Pada pondasi terdapat 2 tipe, tipe 1 menggunakan 2 tiang pancang sedangkan untuk tipe 2 menggunakan 1 tiang pancang.*

*Berdasarkan hasil perhitungan untuk struktur sekunder digunakan Pelat tangga dan bordes menggunakan tulangan D12 dan Ø10 untuk tulangan susut. Pelat lantai terdiri dari 5 tipe yang menggunakan tulangan D12 dan Ø10 untuk tulangan susut. Tugas akhir terapan ini juga menyertakan metode pelaksanaan dari pekerjaan kolom.*

**Kata kunci : Perencanaan struktur, SRPMM, metode pelaksanaan kolom**

# **STRUCTURAL DESIGN OF 4 LEVEL OF BUSINESS AND ECONOMICS FACULTY OF TRUNOJOYO UNIVERSITY USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM (IMRFS) AND IMPLEMENTATION METHODS OF COLUMNS**

<b>Student 1</b>	<b>:</b> Yusron Hakiki
<b>NRP.</b>	<b>:</b> 101116 000 000 67
<b>Program</b>	<b>:</b> Diploma III Civil Infrastructure Engineering FV-ITS
<b>Student 2</b>	<b>:</b> Rizky Putri Maulidiza
<b>NRP.</b>	<b>:</b> 101116 000 000 30
<b>Program</b>	<b>:</b> Diploma III Civil Infrastructure Engineering FV-ITS
<b>Supervisor</b>	<b>:</b> Ir. Srie Subekti, S.T., M.T.
<b>NIP.</b>	<b>:</b> 19560520 198903 2 001

## **ABSTRACT**

*The building used in this final project is a redesign of the faculty of business and economics building from the University of Trunojoyo Madura but the location has been changed in Balikpapan. Based on the results of the Standard Penetration Test (SPT), it was found that the building was built on land with moderate soil conditions (SD site class), the Intermediate Moment Resisting Frame System (IMRFS) was chosen because it is located on land with moderate soil conditions (SD site class) and also it is located in Category Seismic Design C.*

*Calculation of structures and earthquakes refer to applicable regulations like SNI 2847:2013, SNI 1729:2015, SNI 1726:2012, SNI 1727:201. The structural calculation process includes load analysis, structure modeling using SAP2000, inner force analysis, calculation of reinforcement, and checking the requirements of structural elements.*

*Based on the results of this planning calculation. The primary structure is obtained, there are 1 type of main beam, 1 type of secondary beam, 1 type of landing beam with bending reinforcement D22 and stirrups of Ø10. There are 2 types for the columns. The first Type (K1) is using bending reinforcement D22 and stirrups of Ø10. The second type (K2) is using bending reinforcement D19 and stirrups of Ø10. The foundation has 2 types, with two spun pile and one spun pile.*

*Based on the results of this planning calculation of the secondary structure, there are 5 types of slab with reinforcement using D12 and Ø10. Stair and ladder slab reinforcement using D12 and Ø10. In this final project included the column formwork.*

***Keywords : Structural design, IMRFS, Column formwor***

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur dipanjangkan kehadiran Allah S.W.T. yang telah melimpahkan anugerah dan perkenaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Perencanaan Struktur Gedung 4 Lantai Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Trunojoyo Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) Dan Metode Pelaksanaan Kolom”**.

Tersusunnya tugas akhir terapan ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu penulis menyampaikan begitu banyak ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu serta keluarga tercinta, sebagai pemberi semangat dan dukungan baik secara moril maupun materil, terutama doa.
2. Ibu Ir. Srie Subekti,MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen dan karyawan Depastemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS.
4. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satupersatu, yang telah bersedia memberikan bantuan dan saran selama proses penggerjaan tugas akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir terapan ini. Kami berharap apa yang kami sajikan dalam laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR NOTASI .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	1
1.3    Batasan Masalah.....	1
1.4    Tujuan.....	2
1.5    Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1    Struktur Gedung Universitas Trunojoyo .....	3
2.2    Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)5	5
2.3    Metode Pelaksanaan Kolom .....	6
BAB III METODOLOGI .....	9
3.1    Pengumpulan Data .....	9
3.2    Studi Literatur.....	10
3.3    Modifikasi dan Penentuan Kriteria.....	11
3.3.1    Modifikasi Desain Bangunan .....	11
3.3.2    Penentuan Kriteria.....	11
3.4 <i>Preliminary Design</i> .....	12

3.5	Analisa Pembebanan.....	13
3.6	Permodelan Struktur .....	14
3.7	Analisa Gaya Dalam.....	15
3.8	Perencanaan Struktur Atap Baja.....	15
3.9	Perhitungan Penulangan Struktur .....	15
3.10	Cek Syarat .....	16
3.11	Gambar Perencanaan .....	17
3.12	Metode Pelaksanaan .....	17
3.13	<i>Flow Chart</i> Metodologi.....	18
3.14	<i>Flow Chart</i> Perhitungan .....	21
3.15.1	Perhitungan beban gempa.....	21
3.15.2	Perhitungan Atap Baja Rangka Kaku.....	23
3.15.3	Perhitungan Pelat.....	29
3.15.4	Perhitungan Tangga.....	31
3.15.5	Perhitungan Balok .....	33
3.15.6	Perhitungan Kolom.....	37
3.15.7	Perencanaan Pondasi .....	40
BAB IV PEMBAHASAN .....	43	
4.1	<i>Preliminary Design</i> .....	43
4.1.1	<i>Preliminary Design</i> balok.....	43
4.1.2	<i>Preliminary Design</i> kolom .....	44
4.1.3	Preliminary Design pelat .....	46
4.1.4	<i>Preliminary Design</i> tangga.....	52
4.2	Perhitungan Pembebanan .....	54
4.2.1	Beban Mati .....	54

4.2.2	Beban Hidup.....	54
4.2.3	Beban Hujan.....	55
4.2.4	Beban Angin.....	55
4.2.5	Beban Gempa .....	60
4.3	Perhitungan Struktur Sekunder .....	75
4.3.1	Perhitungan Struktur Atap.....	75
4.3.2	Perhitungan Struktur Pelat Lantai .....	148
4.3.3	Perhitungan Struktur Tangga.....	159
4.4	Perhitungan Struktur Primer.....	170
4.4.1	Perhitungan Struktur Balok .....	170
4.4.2	Perhitungan Struktur Kolom.....	216
4.4.3	Perhitungan Struktur Sloof .....	269
4.5	Perhitungan Struktur Bawah .....	292
4.5.1	Perhitungan Struktur Pondasi .....	292
4.6	Metode Pelaksanaan .....	324
4.6.1	Pekerjaan Persiapan.....	324
4.6.2	Pekerjaan Pembesian Kolom.....	325
4.6.3	Pekerjaan Bekisting Kolom.....	328
4.6.4	Pekerjaan Pengecoran Kolom.....	330
4.6.5	Pekerjaan Pelepasan Bekisting Kolom.....	332
4.6.6	Pekerjaan Perawatan Beton .....	333
BAB V	PENUTUP.....	335
5.1	Kesimpulan.....	335
5.2	Saran.....	338
DAFTAR	PUSTAKA.....	339

X

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

X

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Perbandingan Kondisi Bangunan Eksisting dan Modifikasi .....	11
<b>Tabel 4. 1</b> Rekapitulasi beban angin yang terjadi .....	59
<b>Tabel 4. 2</b> Rekapitulasi beban angin yang terjadi .....	59
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil tes SPT Balikpapan, Kalimantan Timur.....	60
<b>Tabel 4. 4</b> Berat bangunan per-lantai.....	64
<b>Tabel 4. 5</b> Perhitungan F per-lantai .....	67
<b>Tabel 4. 6</b> Gaya gempa tiap as searah sumbu x .....	69
<b>Tabel 4. 7</b> Gaya gempa tiap as searah sumbu y lantai 1 .....	70
<b>Tabel 4. 8</b> Gaya gempa tiap as searah sumbu y lantai 2 .....	71
<b>Tabel 4. 9</b> Gaya gempa tiap as searah sumbu y lantai 3 .....	72
<b>Tabel 4. 10</b> Gaya gempa tiap as searah sumbu y lantai 4 .....	73
<b>Tabel 4. 11</b> Gaya gempa tiap as searah sumbu y lantai 5 .....	74
<b>Tabel 4. 12</b> Rekapitulasi kebutuhan tulangan pelat lantai .....	157
<b>Tabel 4. 13</b> Perhitungan momen dengan metode cross .....	163
<b>Tabel 4. 14</b> Rekapitulasi penulangan balok induk (B1).....	215
<b>Tabel 4. 15</b> Rekapitulasi penulangan balok anak (B2) .....	216
<b>Tabel 4. 16</b> Rekapitulasi penulangan kolom K1 .....	268
<b>Tabel 4. 17</b> Rekapitulasi penulangan kolom K2.....	268
<b>Tabel 4. 18</b> Rekapitulasi penulangan sloof (S1) .....	292
<b>Tabel 4. 19</b> Perhitungan jarak tiang pancang dari titik pusat...297	
<b>Tabel 4. 20</b> Perhitungan jarak tiang pancang dari titik pusat...313	
<b>Tabel 5. 1</b> Kesimpulan rangka baja .....	335
<b>Tabel 5. 2</b> Kesimpulan plat tangga dan plat bordes .....	336
<b>Tabel 5. 3</b> Kesimpulan pelat satu arah dan dua arah .....	336
<b>Tabel 5. 4</b> Kesimpulan balok dan sloof .....	337
<b>Tabel 5. 5</b> Kesimpulan kolom.....	337
<b>Tabel 5. 6</b> Kesimpulan pondasi .....	337

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Peta percepatan spektrum respons 0,2 detik dengan redaman 5% .....	4
<b>Gambar 2. 2</b> Peta percepatan spektrum respons 1 detik dengan redaman 5% .....	4
<b>Gambar 2. 3</b> Gaya geser pada balok .....	5
<b>Gambar 2. 4</b> Gaya geser pada kolom .....	6
<b>Gambar 3. 1</b> Permodelan struktur bangunan.....	15
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Flow Chart</i> metodologi .....	20
<b>Gambar 3. 3</b> <i>Flow Chart</i> perhitungan beban gempa.....	22
<b>Gambar 3. 4</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan gording .....	23
<b>Gambar 3. 5</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan penggantung gording ..	24
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan ikatan angin.....	25
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan kuda-kuda .....	26
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan kolom kuda-kuda .....	27
<b>Gambar 3. 9</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan sambungan .....	28
<b>Gambar 3. 10</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan pelat.....	30
<b>Gambar 3. 11</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan tangga.....	32
<b>Gambar 3. 12</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan penulangan lentur balok .....	34
<b>Gambar 3. 13</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan penulangan geser balok .....	35
<b>Gambar 3. 14</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan penulangan torsii balok .....	36
<b>Gambar 3. 15</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan penulangan lentur kolom .....	38
<b>Gambar 3. 16</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan penulangan geser kolom .....	39
<b>Gambar 3. 17</b> <i>Flow Chart</i> perencanaan pondasi .....	41
<b>Gambar 4. 1</b> Denah pelat yang ditinjau.....	46
<b>Gambar 4. 2</b> Penampang balok T.....	47
<b>Gambar 4. 3</b> Penampang balok T.....	48

<b>Gambar 4. 4</b> Penampang balok T.....	50
<b>Gambar 4. 5</b> Penampang balok T.....	51
<b>Gambar 4. 6</b> Pengaruh angin pada dinding .....	57
<b>Gambar 4. 7</b> Pengaruh angin pada atap .....	58
<b>Gambar 4. 8</b> Nilai Ss menurut Peta Hazard 2017 untuk daerah Balikpapan.....	61
<b>Gambar 4. 9</b> Nilai S1 menurut Peta Hazard 2017 untuk daerah Balikpapan.....	62
<b>Gambar 4. 10</b> Ilustrasi berat bangunan per lantai .....	64
<b>Gambar 4. 11</b> Gambar atap 2 .....	75
<b>Gambar 4. 12</b> Gambar atap 1 .....	75
<b>Gambar 4. 13</b> Ukuran dan dimensi baja <i>Lip Channel</i> .....	76
<b>Gambar 4. 14</b> Pengaruh beban angin pada atap.....	78
<b>Gambar 4. 15</b> Pengaruh beban angin pada atap.....	79
<b>Gambar 4. 16</b> Luas pengaruh gaya angin.....	90
<b>Gambar 4. 17</b> Reaksi perletakan ikatan angin .....	91
<b>Gambar 4. 18</b> Ukuran dan dimensi baja WF.....	93
<b>Gambar 4. 19</b> Gaya yang terjadi pada kuda-kuda.....	94
<b>Gambar 4. 20</b> Beban mati yang terjadi pada kuda-kuda .....	95
<b>Gambar 4. 21</b> Beban hidup yang terjadi pada kuda-kuda .....	96
<b>Gambar 4. 22</b> Beban angin yang terjadi pada kuda-kuda .....	97
<b>Gambar 4. 23</b> Diagram gaya aksial pada kuda-kuda .....	98
<b>Gambar 4. 24</b> Diagram geser maksimum pada kuda-kuda .....	98
<b>Gambar 4. 25</b> Diagram momen maksimum pada kuda-kuda....	98
<b>Gambar 4. 26</b> Diagram aksial maksimum pada kuda-kuda .....	98
<b>Gambar 4. 27</b> Kolom baja yang ditinjau .....	105
<b>Gambar 4. 28</b> Ukuran dan dimensi baja WF .....	105
<b>Gambar 4. 29</b> Diagram geser maksimum pada kolom kuda-kuda .....	106
<b>Gambar 4. 30</b> Diagram momen maksimum pada kolom kuda-kuda .....	106
<b>Gambar 4. 31</b> Diagram aksial maksimum pada kolom kuda-kuda .....	106
<b>Gambar 4. 32</b> Sambungan kuda-kuda dengan kolom .....	112

<b>Gambar 4. 33</b> Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom .....	113
<b>Gambar 4. 34</b> Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom .....	113
<b>Gambar 4. 35</b> Konfigurasi baut pada sambungan .....	114
<b>Gambar 4. 36</b> Momen yang terjadi pada sambungan baut.....	115
<b>Gambar 4. 37</b> Panjang las pada sambungan.....	117
<b>Gambar 4. 38</b> Sambungan antar kuda-kuda .....	118
<b>Gambar 4. 39</b> Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kuda-kuda.....	118
<b>Gambar 4. 40</b> Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kuda-kuda.....	119
<b>Gambar 4. 41</b> Konfigurasi baut pada sambungan .....	120
<b>Gambar 4. 42</b> Momen yang terjadi pada sambungan baut.....	121
<b>Gambar 4. 43</b> Panjang las pada sambungan.....	122
<b>Gambar 4. 44</b> Sambungan antara kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah.....	124
<b>Gambar 4. 45</b> Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah .....	124
<b>Gambar 4. 46</b> Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah .....	125
<b>Gambar 4. 47</b> Konfigurasi baut pada sambungan .....	126
<b>Gambar 4. 48</b> Momen yang terjadi pada sambungan baut.....	127
<b>Gambar 4. 49</b> Panjang las pada sambungan.....	128
<b>Gambar 4. 50</b> Sambungan antara kuda-kuda melintang dengan kuda-kuda bawah.....	129
<b>Gambar 4. 51</b> Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda melintang dengan kuda-kuda bawah.....	130
<b>Gambar 4. 52</b> Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah .....	130
<b>Gambar 4. 53</b> Konfigurasi baut pada sambungan baut .....	131
<b>Gambar 4. 54</b> Momen yang terjadi akibat sambungan baut.....	132
<b>Gambar 4. 55</b> Panjang las pada sambungan.....	134
<b>Gambar 4. 56</b> Sambungan antara kuda-kuda dengan kantilever .....	135

<b>Gambar 4. 57</b> Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kantilever.....	135
<b>Gambar 4. 58</b> Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kantilever.....	136
<b>Gambar 4. 59</b> Konfigurasi baut pada sambungan baut .....	137
<b>Gambar 4. 60</b> Momen yang terjadi akibat sambungan baut ....	138
<b>Gambar 4. 61</b> Panjang las pada sambungan.....	139
<b>Gambar 4. 62</b> Rencana plat landas.....	141
<b>Gambar 4. 63</b> Diagram aksial tekan pada kuda-kuda .....	141
<b>Gambar 4. 64</b> Diagram geser yang terjadi pada kuda-kuda....	141
<b>Gambar 4. 65</b> Diagram momen yang terjadi pada kuda-kuda .	142
<b>Gambar 4. 66</b> Diagram aksial tarik yang terjadi pada kuda-kuda .....	142
<b>Gambar 4. 67</b> Eksentrisitas pada pelat landas.....	143
<b>Gambar 4. 68</b> Tahanan tumpu beton pada perhitungan sambungan pelat landas.....	144
<b>Gambar 4. 69</b> Denah plat lantai yang dihitung .....	148
<b>Gambar 4. 70</b> Denah tangga tipe 1 .....	159
<b>Gambar 4. 71</b> Perletakan tangga .....	161
<b>Gambar 4. 72</b> Asumsi arah gaya yang terjadi pada tangga.....	162
<b>Gambar 4. 73</b> Diagram torsi maksimum pada balok B1 .....	171
<b>Gambar 4. 74</b> Diagram momen maksimum daerah tumpuan kanan pada balok B1 .....	171
<b>Gambar 4. 75</b> Diagram momen maksimum daerah tumpuan kiri balok B1 .....	171
<b>Gambar 4. 76</b> Diagram momen maksimum daerah lapangan pada balok B1 .....	172
<b>Gambar 4. 77</b> Diagram Geser maksimum pada balok B1 .....	172
<b>Gambar 4. 78</b> Diagram torsi maksimum pada balok B2.....	193
<b>Gambar 4. 79</b> Diagram momen maksimum daerah tumpuan kanan pada balok B2 .....	194
<b>Gambar 4. 80</b> Diagram momen maksimum daerah tumpuan kiri balok B2 .....	194
<b>Gambar 4. 81</b> Diagram momen maksimum daerah lapangan pada balok B2 .....	194

<b>Gambar 4. 82</b> Diagram Geser maksimum pada balok B2.....	194
<b>Gambar 4. 83</b> Nomogram penentu faktor panjang efektif k rangka bergoyang .....	221
<b>Gambar 4. 84</b> Diagram interaksi kolom K1 arah X .....	223
<b>Gambar 4. 85</b> Diagram interaksi kolom K1 arah Y .....	229
<b>Gambar 4. 86</b> <i>Output pcaColumn</i> Kolom K1 .....	234
<b>Gambar 4. 87</b> Detail penampang kolom K1 .....	235
<b>Gambar 4. 88</b> Diagram interaksi kolom K1 output <i>pcaColumn</i> .....	235
<b>Gambar 4. 89</b> <i>Output control point pcaColumn</i> .....	237
<b>Gambar 4. 90</b> Nomogram penentu faktor panjang efektif k rangka bergoyang .....	247
<b>Gambar 4. 91</b> Diagram interaksi kolom K2 arah X .....	249
<b>Gambar 4. 92</b> Diagram interaksi kolom K2 arah Y .....	255
<b>Gambar 4. 93</b> <i>Output pcaColumn</i> Kolom K2 .....	260
<b>Gambar 4. 94</b> Detail penampang kolom K2 .....	260
<b>Gambar 4. 95</b> Diagram interaksi kolom K2 output <i>pcaColumn</i> .....	261
<b>Gambar 4. 96</b> <i>Output control point pcaColumn</i> .....	263
<b>Gambar 4. 97</b> Diagram torsi maksimum pada sloof (S1).....	269
<b>Gambar 4. 98</b> Diagram momen maksimum tumpuan kanan pada sloof (S1) .....	270
<b>Gambar 4. 99</b> Diagram momen maksimum tumpuan kiri pada sloof (S1) .....	270
<b>Gambar 4. 100</b> Diagram momen maksimum lapangan pada sloof (S1) .....	270
<b>Gambar 4. 101</b> Diagram geser maksimum sloof (S1).....	270
<b>Gambar 4. 102</b> <i>Output pcaColumn</i> sloof .....	291
<b>Gambar 4. 103</b> Diagram interaksi sloof output <i>pcaColumn</i> ....	291
<b>Gambar 4. 104</b> Dimensi poer P1 .....	294
<b>Gambar 4. 105</b> Pondasi grup tiang.....	296
<b>Gambar 4. 106</b> Bidang kritis geser satu arah akibat kolom .....	298
<b>Gambar 4. 107</b> Bidang kritis geser dua arah akibat kolom .....	300
<b>Gambar 4. 108</b> Bidang kritis geser dua arah akibat tiang pancang pada pondasi .....	300

<b>Gambar 4. 109</b> b1 dan b2 pada pile cap arah X .....	303
<b>Gambar 4. 110</b> b1 dan b2 pada pile cap arah Y .....	305
<b>Gambar 4. 111</b> Dimensi poer P2.....	310
<b>Gambar 4. 112</b> Pondasi grup tiang.....	312
<b>Gambar 4. 113</b> Bidang kritis geser satu arah akibat kolom .....	314
<b>Gambar 4. 114</b> Bidang kritis geser dua arah akibat kolom.....	315
<b>Gambar 4. 115</b> Bidang kritis geser dua arah akibat tiang pancang pada pondasi .....	316
<b>Gambar 4. 116</b> b1 dan b2 pada pile cap arah X .....	318
<b>Gambar 4. 117</b> b1 dan b2 pada pile cap arah Y .....	320
<b>Gambar 4. 118</b> Fabrikasi tulangan kolom.....	326
<b>Gambar 4. 119</b> Perakitan tulangan kolom.....	326
<b>Gambar 4. 120</b> Proses pemindahan tulangan kolom dari fabrikasi ke lokasi kolom .....	327
<b>Gambar 4. 121</b> Pemasangan tulangan saluran .....	327
<b>Gambar 4. 122</b> Beton decking pada kolom.....	328
<b>Gambar 4. 123</b> Fabrikasi bekisting kolom.....	328
<b>Gambar 4. 124</b> Pemasangan bekisting kolom.....	330
<b>Gambar 4. 125</b> Proses pengecoran kolom.....	332
<b>Gambar 4. 126</b> Kolom yang telah dicor.....	332
<b>Gambar 4. 127</b> Pelepasan bekisting kolom.....	333

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR NOTASI

- Acp = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton ( $\text{mm}^2$ ).  
Ag = Luas bruto penampang ( $\text{mm}^2$ ).  
Ap = Luas permukaan ujung ( $\text{mm}^2$ ).  
As' = Luas tulangan tekan ( $\text{mm}^2$ ).  
As = Luas selimut tiang ( $\text{m}^2$ ).  
As = luas tulangan tarik longitudinal non-prategang ( $\text{mm}^2$ ).  
Asc = Luas tulangan tarik utama dalam korbel atau brakit (*bracket*) ( $\text{mm}^2$ ).  
Av = Luas tulangan geser yang berspasii s ( $\text{mm}^2$ ).  
b = Lebar muka tekan komponen struktur (mm).  
bo = Keliling penampang kritis untuk geser pada slab dan pondasi telapak (mm).  
bw = Lebar badan (mm).  
Cs = koefisien respon gempa  
Cb = yang lebih kecil dari : (a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat dan (b) setengah spasi pusat batang tulangan atau kawat yang disalurkan.  
d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).  
d' = Jarak dari sekat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm).  
db = Diameter nominal batang tulangan, kawat  
di = Tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter.  
E = Pengaruh gempa atau momen dan gaya yang terkait.  
Fa = Koefisien situs periode 0,2 detik.  
Fi = Distribusi vertikal gaya gempa.  
Fv = Koefisien situs periode 1 detik.  
fc' = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa).  
fs = Tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa).  
fs' = Tegangan dalam tulangan tekan yang terkena beban terfaktor (MPa).

- fy = Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)  
 fyt = Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan fy (MPa).  
 h = Tebal atau tinggi total komponen struktur (mm).  
 hn = Ketinggian struktur bangunan gedung.  
 I = Momen inersia penampang terhadap sumbu pusat ( $\text{mm}^4$ )  
 Ic = Faktor keutamaan  
 Ig = Momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan ( $\text{mm}^4$ )  
 k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur.  
 ktr = Indeks tulangan transversal.  
 l = Panjang bentang balok atau slab satu arah (mm)  
 ld = Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau strand pratarik (mm)  
 ldc = Panjang penyaluran tekan batang tulangan ulir dan kawat ulir  
 ldh = Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulie dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis (panjang penanaman lurus antara penampang kritis dan awal kait [titik tangen] ditambah jari-jari dalam bengkokan dan satu diameter batang tulangan) (mm).  
 ln = Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan (mm).  
 lo = Panjang diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur dimana tulangan transversal khusus harus dosediakan (mm).  
 lu = Panjang tak tertumpu komponen struktur tekan (mm).  
 M1 = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, diambil positif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda (N.mm)

- M<sub>2</sub> = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan. Jika pembebanan terjadi di antara tumpuan, M<sub>2</sub> diambil sebagai momen terbesar yang terjadi dalam komponen struktur. Nilai M<sub>2</sub> selalu positif (N.mm).
- M<sub>n</sub> = Kekuatan lentur nominal pada penampang (N.mm)
- M<sub>nb</sub> = Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik (N.mm)
- M<sub>nc</sub> = Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang terendah (N.mm)
- M<sub>o</sub> = Momen statis terfaktor (N.mm)
- M<sub>u</sub> = Momen terfaktor pada penampang (N.mm)
- M<sub>tx</sub> = Momen tumpuan arah x.
- M<sub>ty</sub> = Momen tumpuan arah y.
- M<sub>lx</sub> = Momen lapangan arah x.
- M<sub>ly</sub> = Momen lapangan arah y.
- n = Jumlah benda.
- N = nilai SPT pada ujung tiang.
- N<sub>av</sub> = Rata-rata nilai SPT sepanjang tiang.
- $\bar{N}$  = Nilai Rata-rata berbobot hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah di atas dasar batuan dasar dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya.
- N<sub>i</sub> = Tahanan Penetrasi Standar 60 persen energy (N<sub>60</sub>) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi.
- N<sub>u</sub> = Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V<sub>u</sub> atau T<sub>u</sub>, diambil positif untuk tekan dan negatif untuk tarik (N).
- P<sub>c</sub> = Beban tekuk kritis (N).
- P<sub>cp</sub> = Keliling luar penampang beton (mm)
- P<sub>h</sub> = Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup luar (mm).
- P<sub>u</sub> = Gaya aksial terfaktor (N).
- Q<sub>p</sub> = Daya dukung ujung tiang.

- Q<sub>s</sub> = Daya dukung selimut tiang.  
 Q<sub>u</sub> = Daya dukung ultimate tiang (ton).  
 r = Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm)  
 R = Koefisien modifikasi respon.  
 SF = Angka keamanan.meter  
 S<sub>s</sub> = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5%.  
 S<sub>1</sub> = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5%.  
 S<sub>DS</sub> = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen.  
 S<sub>D1</sub> = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen.  
 S<sub>MS</sub> = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas.  
 S<sub>M1</sub> = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.  
 S = Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)  
 S<sub>o</sub> = Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang lo (mm).  
 T = Periode fundamental bangunan.  
 T<sub>n</sub> = Kekuatan momen torsi nominal (N.mm).  
 T<sub>u</sub> = Momen torsi terfaktor pada penampang (N.mm).  
 T<sub>a</sub> = Periode fundamental pendekatan.  
 T<sub>c</sub> = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.  
 V = Beban (gaya) geser dasar nominal static ekivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut  
 V<sub>c</sub> = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N).  
 V<sub>s</sub> = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N).

- $V_u$  = Gaya geser terfaktor pada penampang (N).  
 $W$  = Berat seismik efektif bangunan.  
 $x$  = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek.  
 $y$  = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang.  
 $\Omega_0$  = Faktor amplifikasi untuk perhitungan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal.  
 $\alpha$  = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok.  
 $\alpha_m$  = Nilai rata-rata  $\alpha$ .  
 $\beta$  = Rasio dimensi panjang terhadap pendek.  
 $\beta_1$  = Faktor yang menghubungkan tinggi balok tegangan tekan peregi ekivalen dengan tinggi sumbu netral.  
 $\lambda$  = Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan.  
 $\delta$  = Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen.  
 $\Psi_e$  = Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada pelapis tulangan.  
 $\Psi_s$  = Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan.  
 $\Psi_t$  = Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada lokasi tulangan.  
 $\rho$  = rasio  $A_s$  terhadap  $b_d$ .  
 $\varphi$  = Faktor reduksi kekuatan.



*“halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Bangunan gedung universitas Trunojoyo digunakan sebagai gedung kuliah bersama fakultas ekonomi dan bisnis. Bangunan ini merupakan bangunan struktur rangka tertutup. Struktur bangunannya menggunakan beton bertulang sedangkan struktur atapnya menggunakan rangka atap baja.

Gedung universitas Trunojoyo telah berdiri di kota Bangkalan, dalam perencanaan tugas akhir ini lokasi yang akan digunakan ialah kota Balikpapan. Data tanah yang digunakan ialah data SPT, dimana berdasarkan hasil tersebut Balikpapan termasuk dalam wilayah resiko kegempaan sedang dengan kategori desain seismik C, sehingga untuk perencanaan struktur gedung Universitas ini digunakan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).

#### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun beberapa masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana perencanaan struktur atas dan bawah bangunan gedung perkuliahan Universitas Trunojoyo dengan metode SRPMM ?
2. Bagaimana metode pelaksanaan kolom pada gedung perkuliahan Universitas Trunojoyo ?

#### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Tugas akhir ini tidak meninjau perhitungan struktur lift.
2. Perencanaan beban gempa dihitung menggunakan analisa beban statik ekivalen.

#### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Mampu merencanakan struktur gedung perkuliahan Universitas Trunojoyo dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Mampu menguraikan metode pelaksanaan kolom gedung perkuliahan Universitas Trunojoyo.

#### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat yang didapat dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui cara merencanakan struktur gedung perkuliahan Universitas Trunojoyo dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Mengetahui metode pelaksanaan kolom gedung perkuliahan Universitas Trunojoyo.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Struktur Gedung Universitas Trunojoyo**

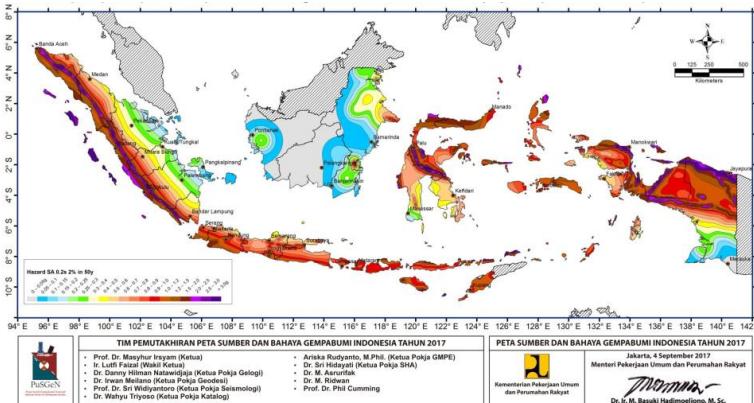
Perencanaan tugas akhir ini mengambil referensi dari gambar arsitektur maupun gambar struktur gedung universitas Trunojoyo Madura yang telah berdiri di kota Bangkalan. Gedung ini memiliki struktur rangka tertutup. Struktur bangunan menggunakan beton bertulang, acuan yang digunakan dalam perhitungan elemen-elemen struktur gedung ialah SNI 2847:2013 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Atap yang digunakan adalah atap baja rangka kaku. Perhitungan struktur atap mengacu pada SNI 1729:2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, dengan menggunakan metode desain faktor beban ketahanan (DFBK).

Pada elemen-elemen struktur gedung universitas Trunojo dilakukan penentuan dimensi (*preliminary design*) sesuai rumus yang terdapat pada SNI 2847:2013 tetapi juga dipertimbangkan efisiensinya pada bangunan. Pada elemen struktur kolom dan balok masing-masing terdapat 2 tipe yaitu K1, K2 serta B1, B2. Sedangkan untuk elemen struktur pelat terdapat 4 tipe plat yaitu plat A, B, C dan D. Plat A dan B merupakan pelat satu arah, sedangkan plat C dan D plat dua arah.

Lokasi pembangunan gedung dalam tugas akhir ini ialah kota Balikpapan. Dengan data tanah SPT yang terlampir, lokasi tersebut termasuk dalam wilayah resiko kegempaan sedang dengan kategori desain seismik C. Beban gempa dihitung mengacu pada SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung. Metode yang digunakan ialah metode statik ekivalen.

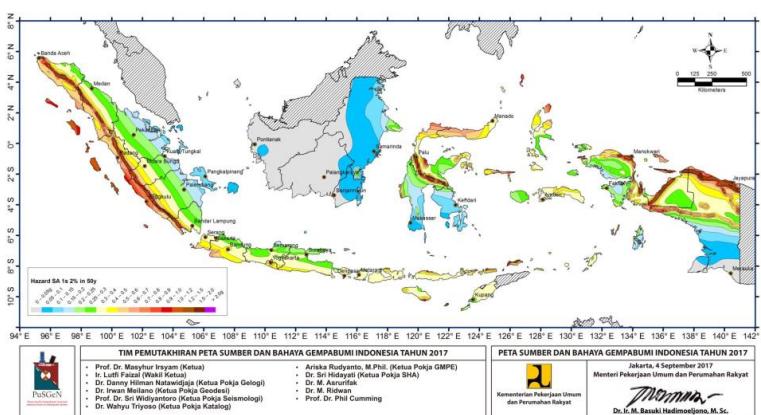
Dalam mendapatkan parameter percepatan respon spektral MCE perioda pendek dan perioda 1 detik digunakan peta sumber bahaya gempa dengan mempertimbangkan lokasi pembangunan gedung yaitu kota Balikpapan. Parameter tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan beban gempa. Beban gempa yang telah

dihitung dibagi sesuai dengan luasan as bangunan pada tiap lantai.



**Gambar 2. 1** Peta percepatan spektrum respons 0,2 detik dengan redaman 5%

(Sumber: *Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*)



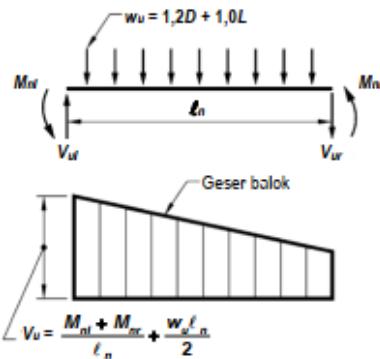
**Gambar 2. 2** Peta percepatan spektrum respons 1 detik dengan redaman 5%

(Sumber: *Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*)

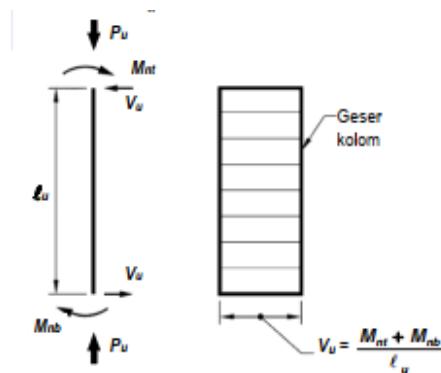
## 2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) merupakan salah satu pilihan dalam merencanakan sebuah struktur gedung tahan gempa. Penentuan penggunaan metode ini bergantung pada lokasi bangunan. Daerah yang berada di wilayah gempa dengan resiko kegempaan sedang yaitu kategori desain seismik (KDS) C sangat cocok menggunakan metode perhitungan ini. Untuk SRPMM koefisien modifikasi respons (R) adalah 5.

Prinsip dasar pada SRPMM ini ialah , keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur, oleh karena itu gaya geser pada balok dan kolom yang didapat dari hasil analisa struktur program SAP 2000 tidak serta merta langsung digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan, melainkan perlu adanya proses amplifikasi sesuai dengan yang telah ditentukan oleh SNI 2847:2013.



**Gambar 2. 3 Gaya geser pada balok**  
*(Sumber : Gambar S21.3.3, SNI 2847:2013)*



**Gambar 2.4 Gaya geser pada kolom**  
*(Sumber : Gambar S21.3.3, SNI 2847:2013)*

Dapat dilihat dari gambar diatas, untuk mendapatkan gaya geser pada kedua ujung balok maupun kolom digunakan momen dari kedua ujung balok. Gaya geser yang didapatkan akan semakin mengecil dari ujung ke ujung balok. Sedangkan untuk kolom, gaya geser yang dihasilkan akan sama sepanjang bentang kolom. Gaya geser tersebut digunakan untuk perhitungan tulangan geser, spasi pada tulangan geser balok maupun kolom dibedakan untuk daerah tumpuan dan daerah lapangan sesuai dengan syarat yang telah ditentukan.

Untuk prosedur perhitungan elemen-elemen struktur menggunakan metode SRPMM ini, digunakan peraturan SNI 2847:2013 guna mendapatkan tulangan yang sesuai.

### 2.3 Metode Pelaksanaan Kolom

Metode pelaksanaan kolom merupakan acuan di lapangan dalam merealisasikan gambar rencana. Tahapan pada metode pelaksanaan kolom ini ialah tahap persiapan, fabrikasi tulangan, fabrikasi bekisting, tahap pengecoran, pelepasan bekisting, dan perawatan beton.

Bahan-bahan yang digunakan dalam hal fabrikasi tulangan meliputi baja tulangan untuk kolom, baik untuk tulangan lentur maupun tulangan geser serta kawat yang digunakan sebagai pengikat antar tulangan. Pada fabrikasi bekisting digunakan multiplek dengan tebal 15mm, hollow yang berfungsi sebagai pengaku multiplek serta sabuk pengikat yang terdiri dari suri-suri 6/12. Untuk proses pengecoran tentunya menggunakan campuran beton yang memiliki nilai slum yang telah ditentukan.

Dalam proses pemasangan kolom dibutuhkan tenaga tersendiri saat proses fabrikasi tulangan maupun fabrikasi bekisting, minimal 2 orang pekerja. Saat pemasangan kolom pada as setidaknya terdapat 2-3orang pekerja yang bertugas untuk menyambungkan tulangan eksisting kolom dengan tulangan kolom diatasnya.

Alat-alat yang dibutuhkan meliputi *bar bending* dan *bar cutter* untuk proses fabrikasi tulangan. Dalam proses pemindahan kolom dari fabrikasi tulangan menuju lokasi pembangunan digunakan mobil *crane*. Untuk menentukan kelurusan kolom terhadap as digunakan alat bantu bandul pemberat yang disebut unting-unting pada keempat sisi kolom yang telah terpasang bekisting. Untuk penecekan horizontal dilakukan dengan menggunakan theodolit saat pembuatan marking kolom pada lokasi. Alat- alat yang digunakan selama pengecoran kolom antara lain *bucket cor* dan mesin *vibrator*.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

### **BAB III**

## **METODOLOGI**

Langkah-langkah dalam perencanaan struktur gedung Universitas Trunojoyo dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

#### **3.1 Pengumpulan Data**

Pengumpulan dan pencarian data untuk keperluan desain gedung meliputi :

##### **1. Data gambar**

Pengumpulan data gambar rencana diperoleh gambar struktur dan arsitektur. Dimana nantinya gambar rencana tersebut sebagai referensi dalam mendesain perencanaan dan acuan dalam menentukan dimensi dari komponen-komponen struktur gedung.

##### **2. Data teknis bangunan**

Data teknis pada perencanaan struktur gedung universitas trunojoyo adalah sebagai berikut :

###### **A. Data umum bangunan**

- Nama proyek : Gedung FEB  
                          Univ.Trunojoyo
- Alamat proyek : Jl. Raya Telang, Bangkalan
- Jumlah lantai : 4 lantai
- Struktur atap : Rangka atap baja
- Struktur bangunan : Beton bertulang
- Struktur pondasi : Tiang pancang
- Luas bangunan : 21,748 m<sup>2</sup>
- Tinggi bangunan :

###### **B. Data bahan**

- Mutu beton ( $f_c'$ ) :  
Struktur atas : 30 MPa  
Struktur bawah : 35 MPa
- Modulus elastisitas :  $4700\sqrt{f_c'}$
- Berat jenis beton : 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Mutu baja tul.geser : 240 MPa

- Mutu baja tul.lentur : 400 MPa
  - Berat jenis baja : 7850 kg/m<sup>3</sup>
3. Data tanah  
Data tanah untuk perencanaan sebagaimana terlampir. Data tanah tersebut meliputi hasil uji SPT (*Standart Penetration Test*) yang mana akan dipergunakan sebagai acuan untuk perencanaan beban gempa, struktur pondasi dan tiang pancang.
4. Peraturan dan Buku Penunjang yang digunakan  
Peraturan yang digunakan pada perencanaan struktur gedung universitas adalah sebagai berikut :
- a. SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
  - b. SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
  - c. SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung.
  - d. SNI 1729:2015 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung.
  - e. Peta *Hazard* Gempa Indonesia tahun 2017
  - f. Literatur dari beberapa sumber seperti buku penunjang, brosur, dan peraturan perencanaan lainnya.

### 3.2 Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berkaitan dengan perancangan dan peraturan-peraturan yang digunakan pada perencanaan struktur gedung, antara lain :

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
2. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726:2012)

3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).
4. Badan Standarisasi Nasional. 2015. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 1729:2015)
5. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan lanjutan struktur beton bertulang. Bandung ITB

### **3.3 Modifikasi dan Penentuan Kriteria**

#### **3.3.1 Modifikasi Desain Bangunan**

Pada gedung universitas ini akan dimodifikasi yaitu sebagai berikut :

**Tabel 3. 1** Perbandingan Kondisi Bangunan Eksisting dan Modifikasi

<b>Eksisting</b>	<b>Modifikasi Untuk Keperluan Tugas Akhir</b>
SRPMK	SRPMM
Lokasi terketak di Bangkalan, Madura	Lokasi perencanaan terletak di Balikpapan, Kalimantan Timur
Bangunan 4 lantai	Bangunan 4 lantai
Terdapat lift	Lift diganti dengan tangga
Jenis atap rangka baja	Jenis atap rangka baja
Total luas bangunan ± 4314m <sup>2</sup>	Total luas bangunan ± 4314m <sup>2</sup>
Tinggi bangunan =21,748 m	Tinggi bangunan = 21,748 m

#### **3.3.2 Penentuan Kriteria**

Modifikasi gedung FEB universitas Trunojoyo ini berdasarkan SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan

## Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung

### **3.4 Preliminary Design**

*Preliminary design* adalah perencanaan dimensi elemen-elemen struktur bangunan berdasarkan gambar arsitektural dan struktural bangunan tersebut. Komponen-komponen struktur antara lain :

#### **3.4.1 Balok**

- Mencari bentang balok rencana yang paling panjang
- Menghitung dimensi balok sesuai dengan SNI 2847:2013 tabel 9.5(a)

#### **3.4.2 Kolom**

- Menghitung inersia balok yang telah diketahui
- Membandingkan perbandingan inersia dan panjang antara balok dan kolom
- Menghitung dimensi kolom dari perbandingan inersia

#### **3.4.3 Pelat**

- Menentukan posisi pelat yang ditinjau
- Mengumpulkan data-data perencanaan meliputi :
  - a. Tipe pelat
  - b. Mutu beton
  - c. Modulus elastisitas beton
  - d. Tebal pelat rencana
  - e. Bentang sumbu panjang dan sumbu pendek
  - f. Dimensi balok sebelah kanan dan kiri pelat
  - g. Dimensi balok sebelah atas dan bawah pelat

#### **3.4.4 Tangga**

- Data perencanaan tangga
  - a. Tipe tangga
  - b. Panjang datar tangga
  - c. Tinggi tangga dan tinggi pelat bordes
  - d. Tebal rencana pelat tangga dan pelat bordes

- e. Lebar injakan dan tinggi tanjakan
- Perencanaan dimensi tangga antara lain :
  - a. Mengitung sudut kemiringan tangga
  - b. Menghitung jumlah injakan dan tanjakan
  - c. Menghitung tebal efektif pelat tangga

### 3.5 Analisa Pembebatan

Beban-beban yang bekerja pada struktur dihitung berdasarkan beban minimum yang tercantum dalam peraturan Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).

Analisa beban komponen struktur gedung dibagi menjadi :

#### 1. Beban Mati

Penentuan beban mati struktur bangunan sebagai berikut :

- a. Beban mati pada balok terdiri dari:
  - Berat sendiri balok
  - Beban mati pelat lantai
  - Beban dinding
  - Beban acian
- b. Beban mati pada pelat terdiri dari :
  - Berat sendiri pelat
  - Beban keramik
  - Beban spesi
  - Beban plafond dan penggantung plafond
  - Beban dinding
  - Beban instalasi
  - Beban perpipaan air bersih dan kotor
- c. Beban mati pada tangga terdiri dari :
  - Berat sendiri pelat tangga
  - Berat sendiri bordes
  - Beban keramik
  - Beban spesi
  - Beban anak tangga

**2. Beban Hidup**

Beban hidup pada struktur ditentukan dengan mengacu pada SNI 1727:2013.

**3. Bebab Gempa**

Beban gempa yang digunakan sesuai dengan SNI 1726:2012.

**4. Beban Angin**

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk sistem penahan beban angin utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut pasal 26 sampai pasal 31 pada SNI 1727:2013.

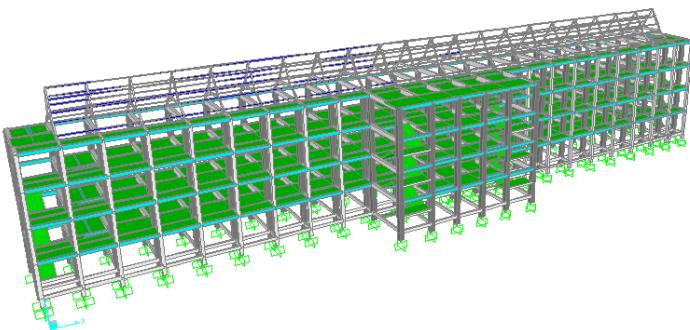
**5. Beban Hujan**

Beban hujan ditentukan mengacu pada SNI 1727:2013 pasal 8.3.

### **3.6 Permodelan Struktur**

Dalam permodelan struktur bangunan menggunakan program bantu SAP 2000 v.14. Struktur gedung universitas Trunojoyo dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi. Asumsi perletakan pada dasar banguan adalah perletakan jepit guna mendapatkan gaya yang bekerja dalam perhitungan struktur pondasi.

Beban mati dan hidup yang dimasukkan pada model struktur diasumsikan searah grafitasi. Untuk perencanaan terhadap gempa digunakan analisa pembebanan gempa statik ekivalen.



**Gambar 3. 1** Permodelan struktur bangunan

### 3.7 Analisa Gaya Dalam

Analisa gaya dalam dilakukan dengan alat bantu program *SAP 2000*. Struktur bangunan yang dianalisis adalah balok, kolom, tangga, atap baja dan pondasi. Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada kolom digunakan juga program bantu *pcaColumn*.

### 3.8 Perencanaan Struktur Atap Baja

Struktur atap direncanakan sesuai peraturan (SNI 1729:2015). Berikut ini adalah perhitungan-perhitungan dalam merencanakan struktur atap baja pada bangunan :

1. Perhitungan beban-beban pada atap, yaitu beban mati, beban hidup, dan beban angin.
2. Perhitungan momen yang terjadi
3. Kontrol kekuatan

### 3.9 Perhitungan Penulangan Struktur

Untuk perhitungan penulangan beton berdasarkan SNI 2847:2013 dengan memperhatikan standar penulangan dan menggunakan data-data yang didapatkan dari *output* program analisis struktur. Perhitungan penulangan dilakukan pada struktur atas dan struktur bawah. Penulangan struktur atas meliputi pelat, tangga, balok, kolom dan sloof. Sedangkan untuk struktur bawah

meliputi *poer* dan pondasi. Langkah perhitungannya secara garis besar sebagai berikut :

1. Dari *output* program analisis struktur diperoleh gaya geser, momen lentur, torsi dan gaya aksial.
2. Perhitungan kebutuhan tulangan
3. Kontrol perhitungan penulangan
4. Membuat tabel penulangan

### 3.10 Cek Syarat

1. Pelat
  - Kontrol jarak spasi tulangan
  - Kontrol jarak spasi tulangan susut
  - Kontrol panjang penyaluran
2. Balok
  - Kontrol  $M_n$  pasang  $\geq M_n$  perlu
  - Kontrol kapasitas penulangan lentur balok untuk desain SRPMM
  - Kontrol kapasitas penulangan geser balok untuk SRPMM
  - Kontrol kebutuhan tulangan torsi
3. Kolom
  - Kontrol  $M_n$  pasang  $\geq M_n$  perlu
  - Kontrol dimensi kolom
  - Kontrol penulangan klom untuk desain SRPMM
4. Atap baja rangka kaku  
Untuk mengecek persyaratan kekuatan desain mengacu pada peraturan struktur baja untuk bangunan gedung (SNI 1729:2015)
  - a. Gording
  - b. Penggantung gording
  - c. Ikatan angin
  - d. Kuda-kuda
  - e. Kolom baja
  - f. Sambungan

### 3.11 Gambar Perencanaan

Gambar desain rencana gedung universitas yang direncanakan meliputi :

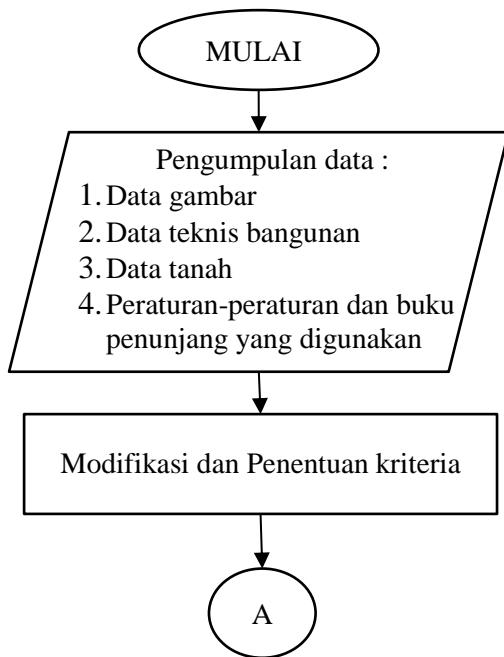
1. Gambar arsitektur
  - a. Gambar denah
  - b. Gambar tampak
2. Gambar struktur
  - a. Gambar potongan memanjang dan melintang
  - b. Gambar struktur
    - Atap baja
    - Pelat
    - Balok dan *sloof*
    - Kolom
    - Tangga
    - *Poer* dan pondasi
  - c. Gambar detail penulangan struktur
  - d. Gambar detail atap baja

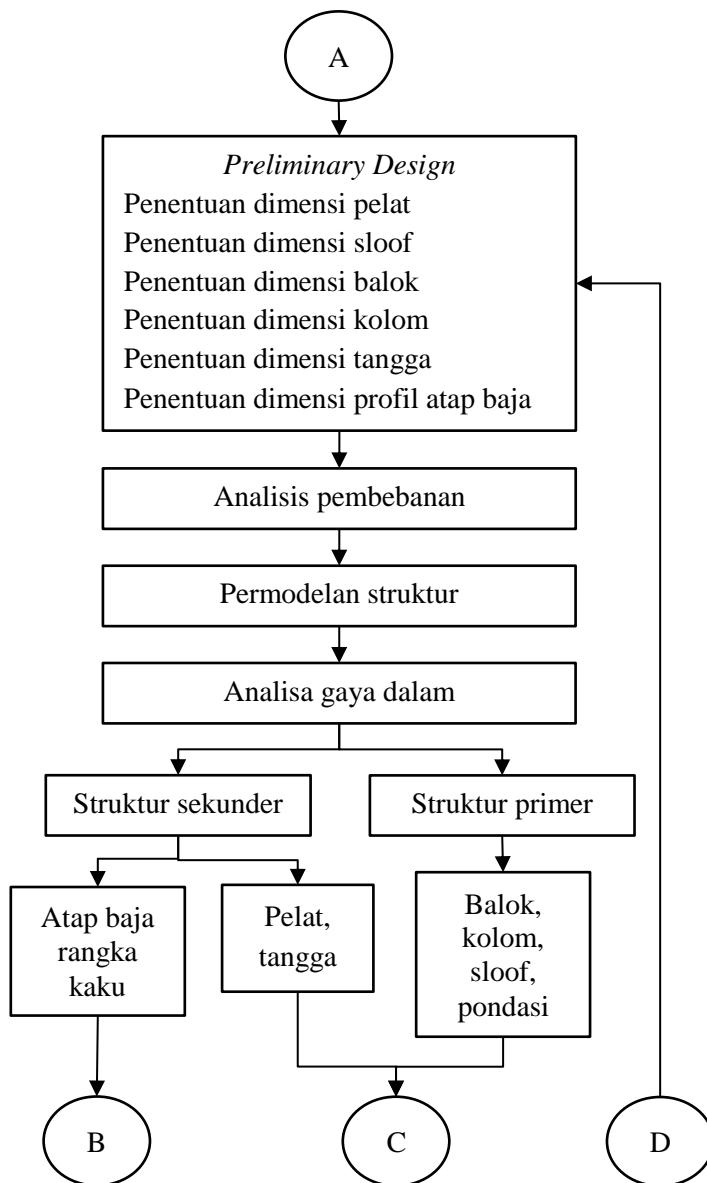
### 3.12 Metode Pelaksanaan

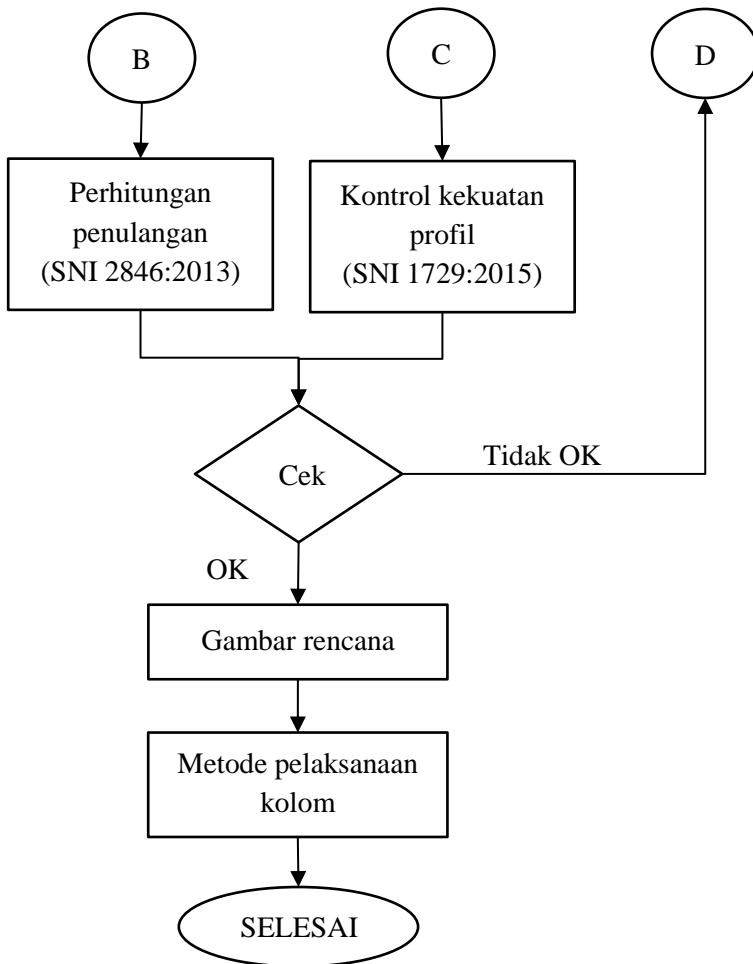
Metode pelaksanaan yang akan dibahas adalah metode pelaksanaan pekerjaan kolom beton bertulang dan teknik pengecoran ditempat. Kolom yang ditinjau adalah salah satu kolom dari keseluruhan kolom struktur yang akan ditentukan kemudian. Tahap pelaksanaan pada pekerjaan kolom yaitu :

- a. Pekerjaan persiapan
- b. Pekerjaan pembesian
- c. Pekerjaan pemasangan bekisting
- d. Pekerjaan pengecoran
- e. Pekerjaan perawatan beton
- f. Pekerjaan pembongkaran bekisting

### 3.13 Flow Chart Metodologi



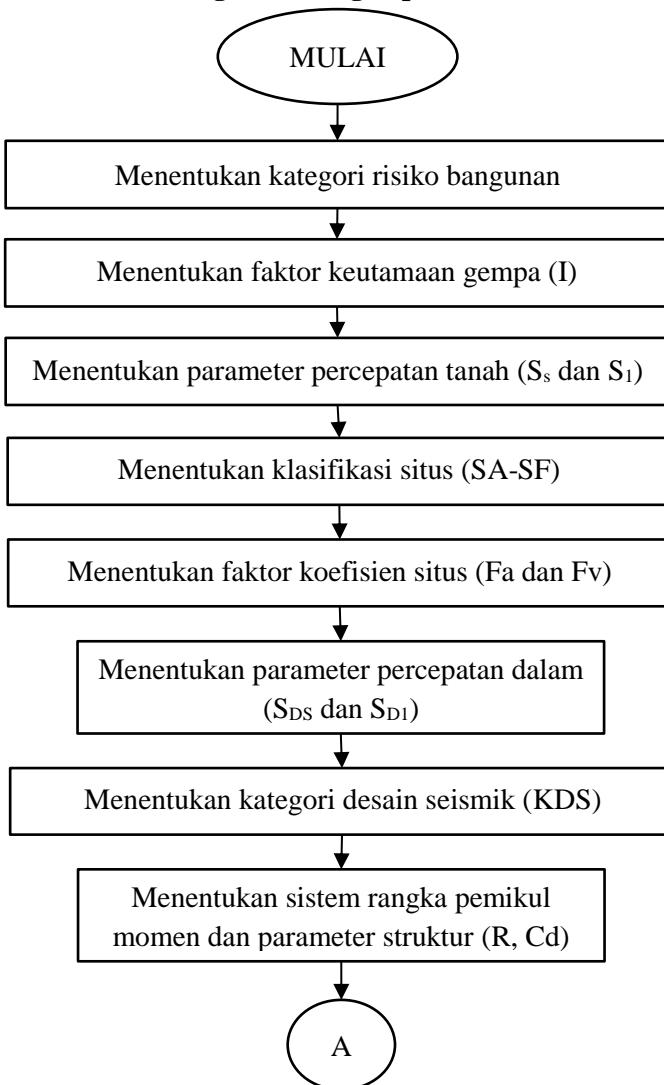


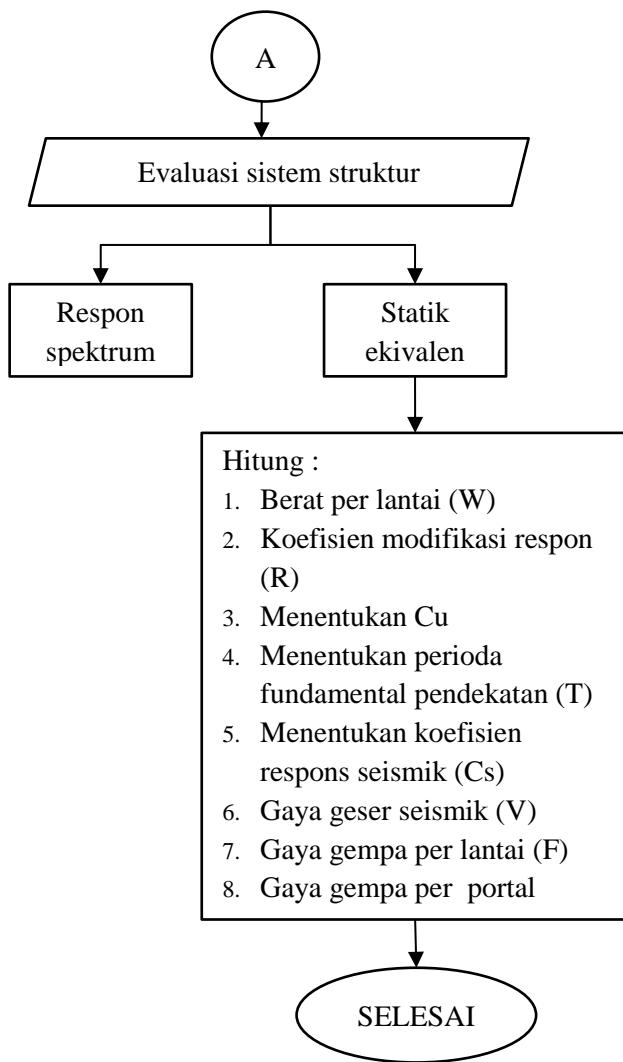


**Gambar 3. 2 Flow Chart metodologi**

### 3.14 Flow Chart Perhitungan

#### 3.15.1 Perhitungan beban gempa

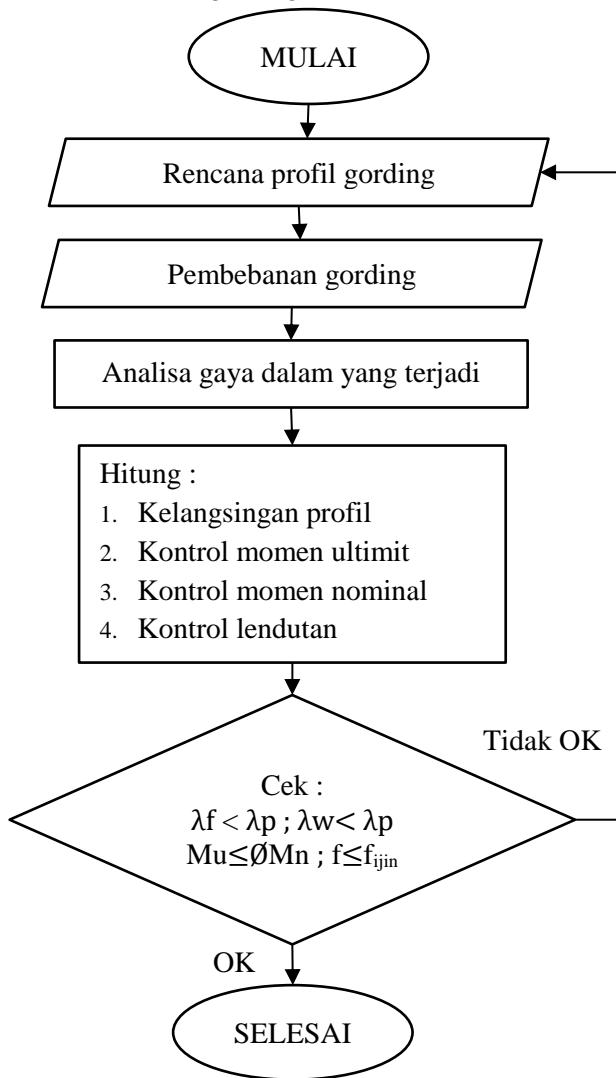




**Gambar 3. 3 Flow Chart** perhitungan beban gempa

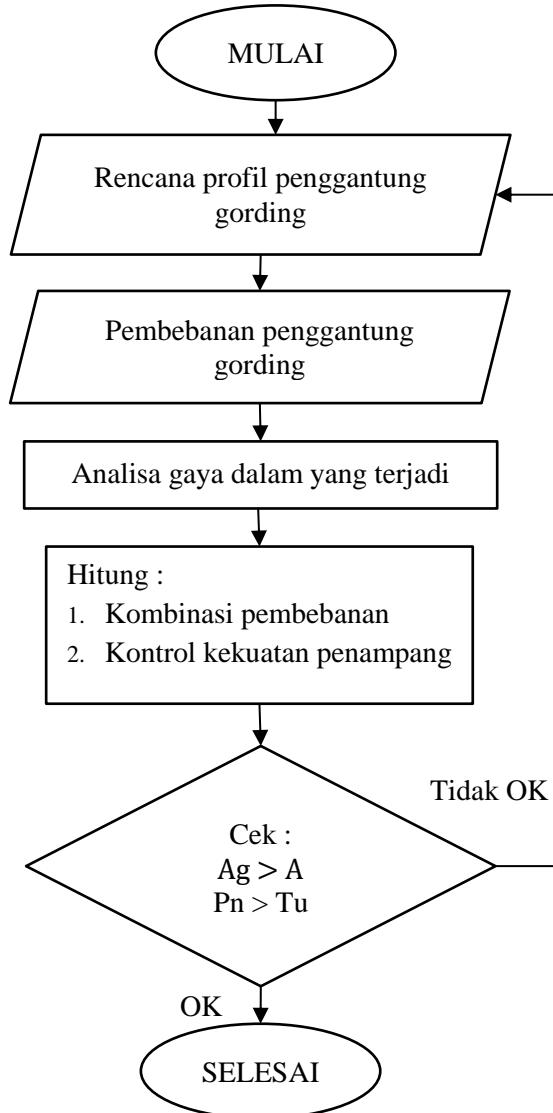
### 3.15.2 Perhitungan Atap Baja Rangka Kaku

#### a. Perencanaan gording



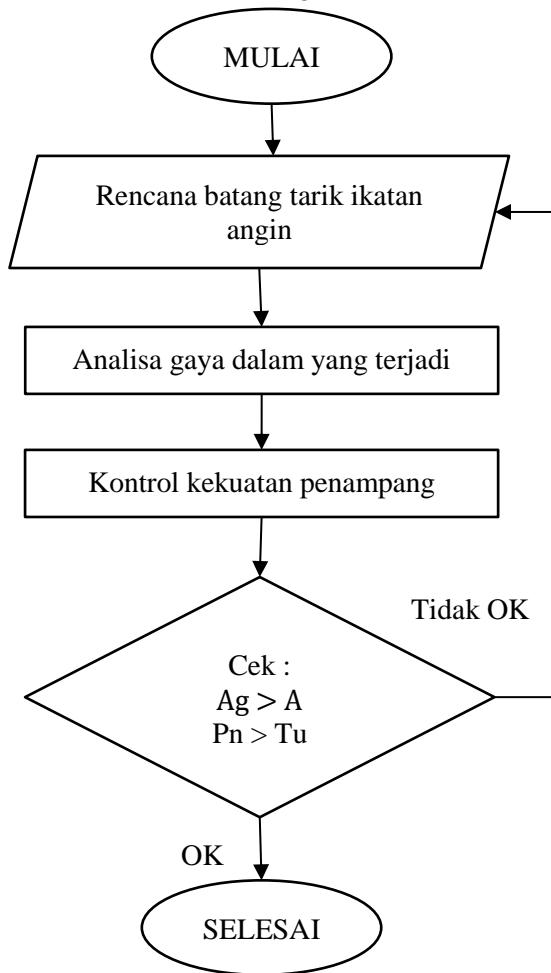
Gambar 3. 4 Flow Chart perencanaan gording

b. Perencanaan penggantung gording



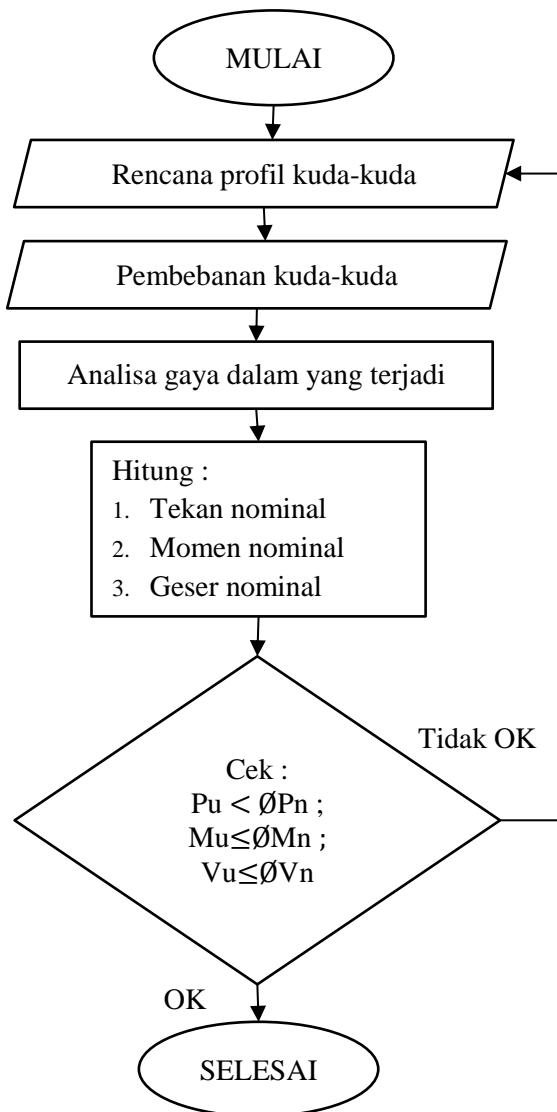
**Gambar 3. 5 Flow Chart perencanaan penggantung gording**

## c. Perencanaan ikatan angin

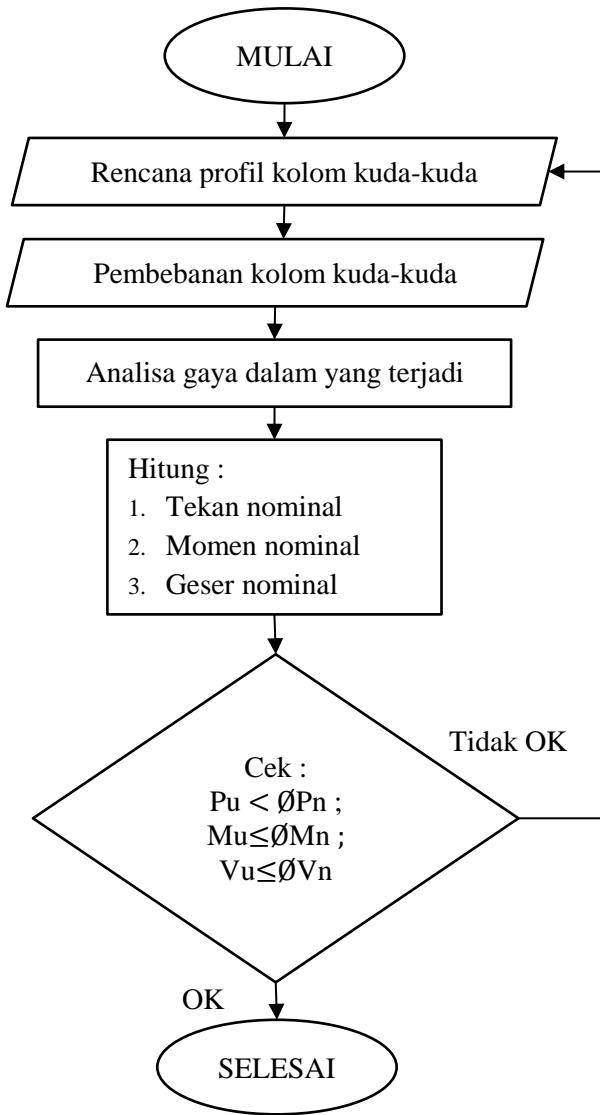


Gambar 3. 6 *Flow Chart* perencanaan ikatan angin

## d. Perencanaan kuda-kuda

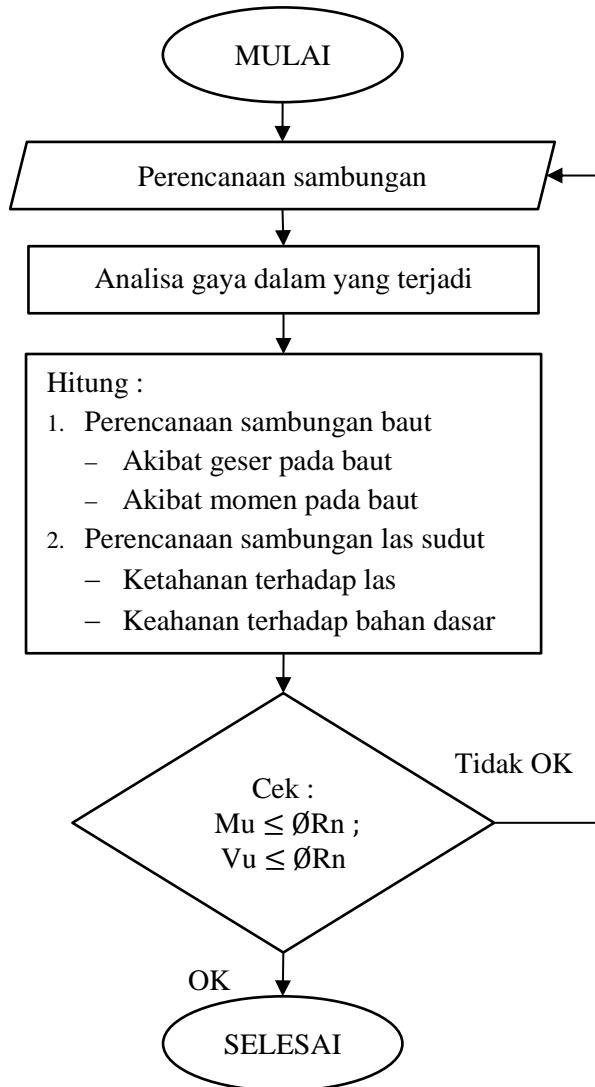
**Gambar 3.7 Flow Chart** perencanaan kuda-kuda

e. Perencanaan kolom kuda-kuda

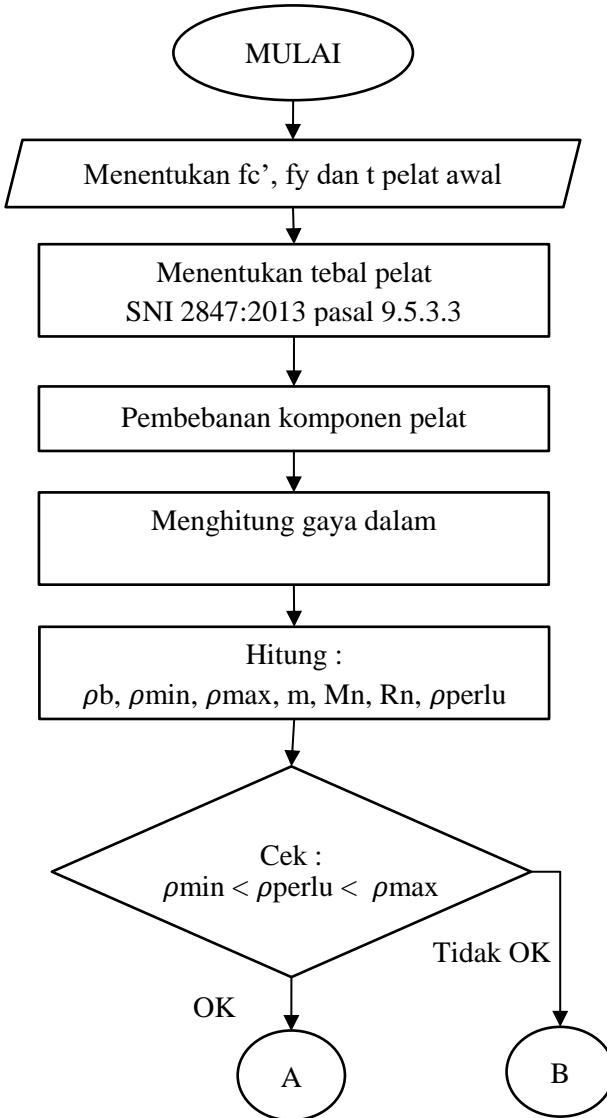


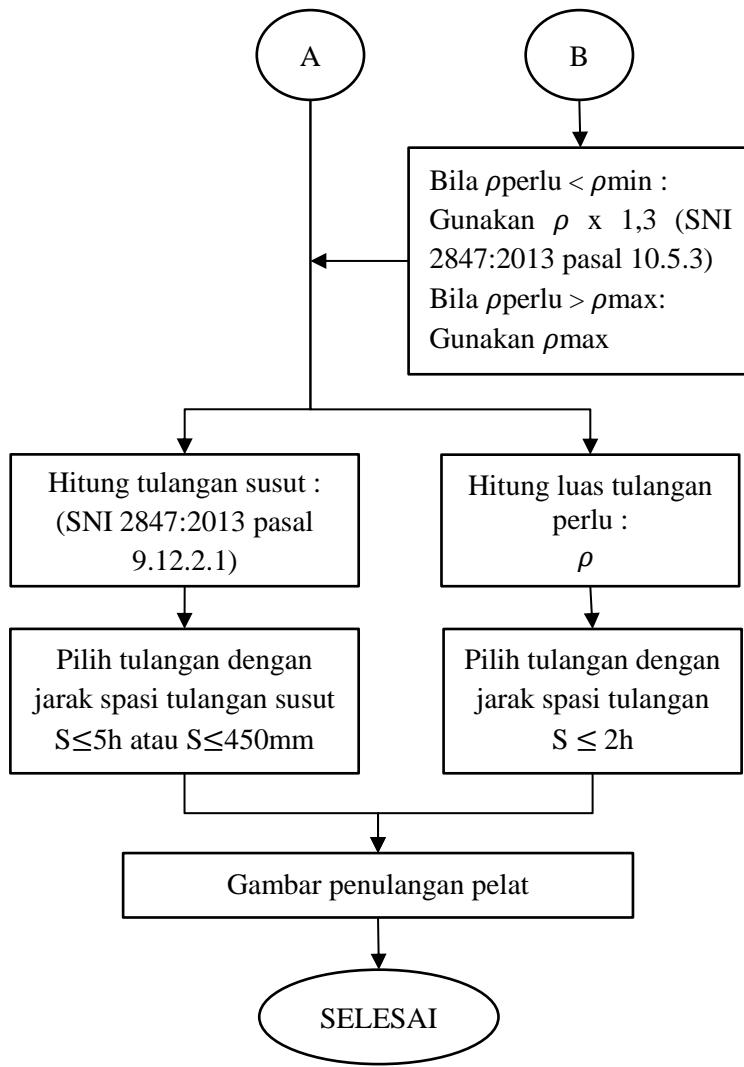
**Gambar 3. 8** Flow Chart perencanaan kolom kuda-kuda

## f. Perencanaan sambungan

**Gambar 3.9** Flow Chart perencanaan sambungan

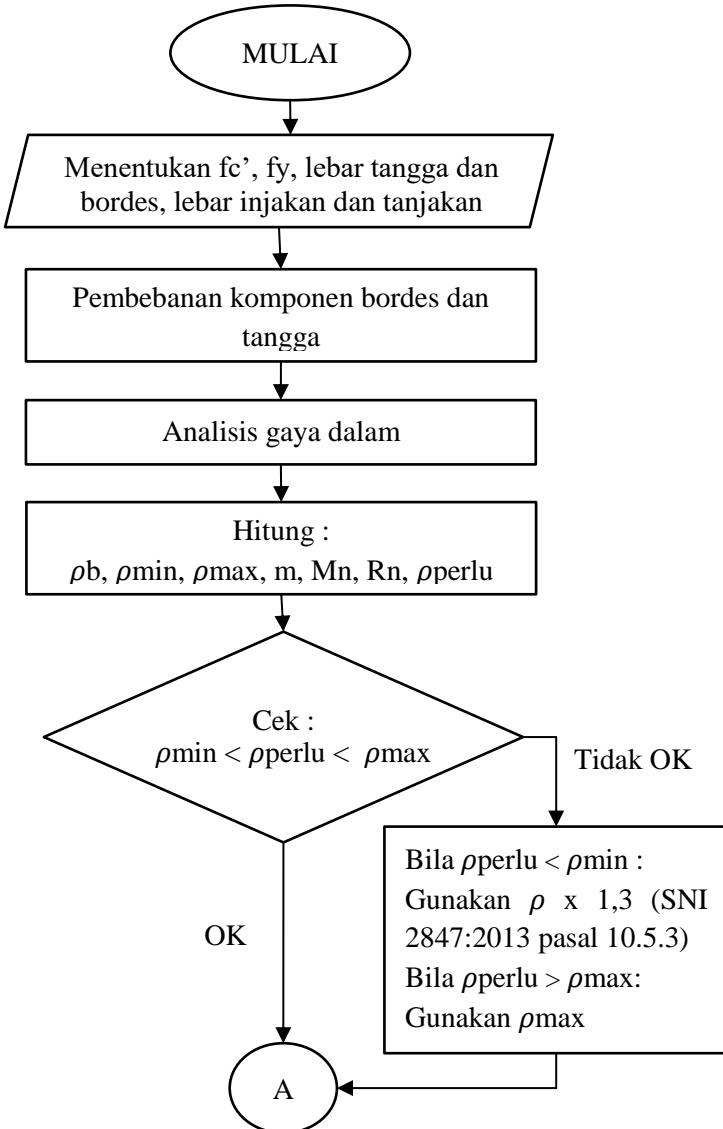
### 3.15.3 Perhitungan Pelat

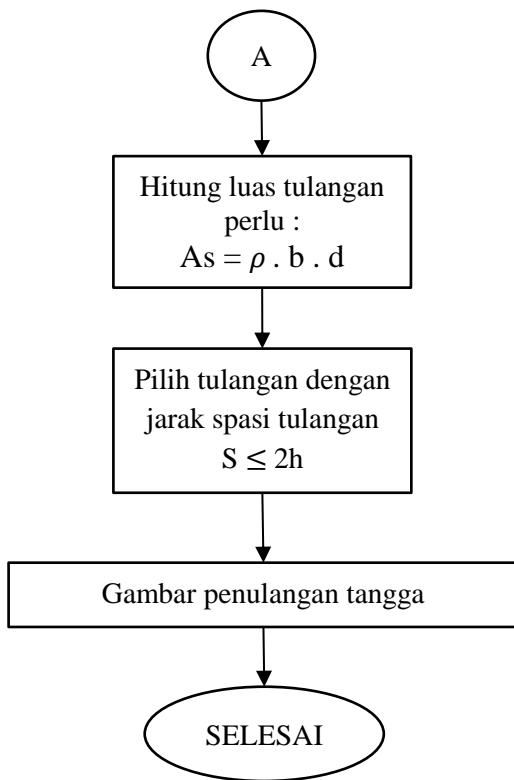




**Gambar 3. 10** *Flow Chart* perencanaan pelat

### 3.15.4 Perhitungan Tangga

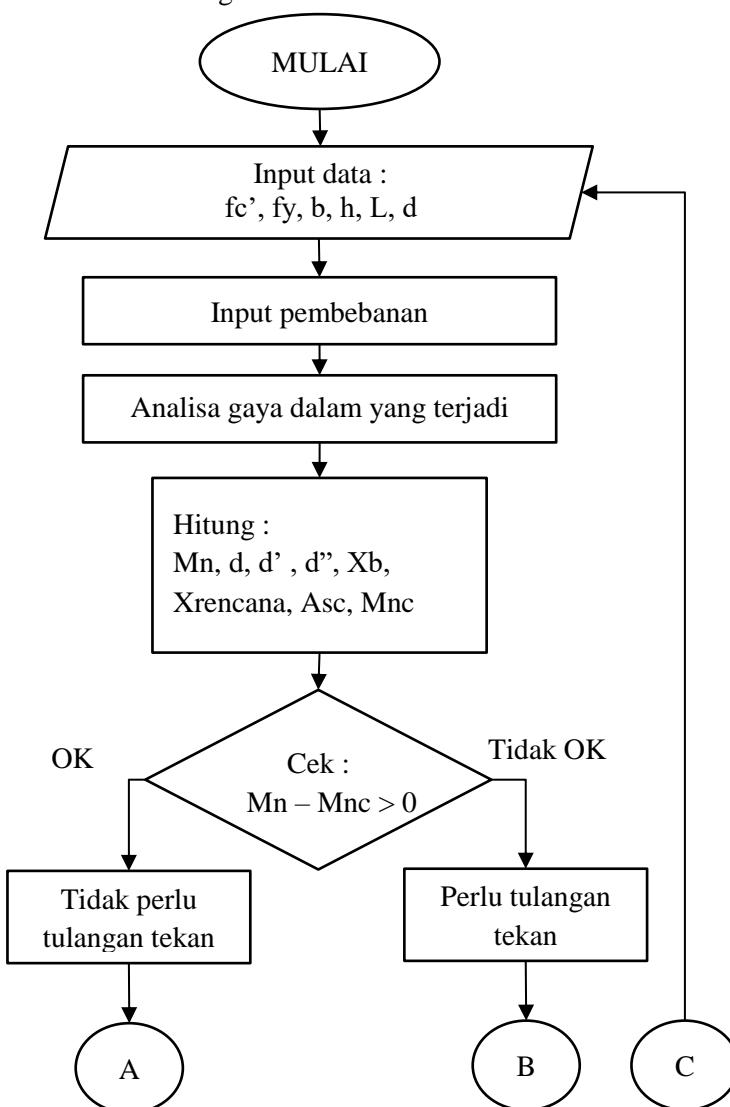


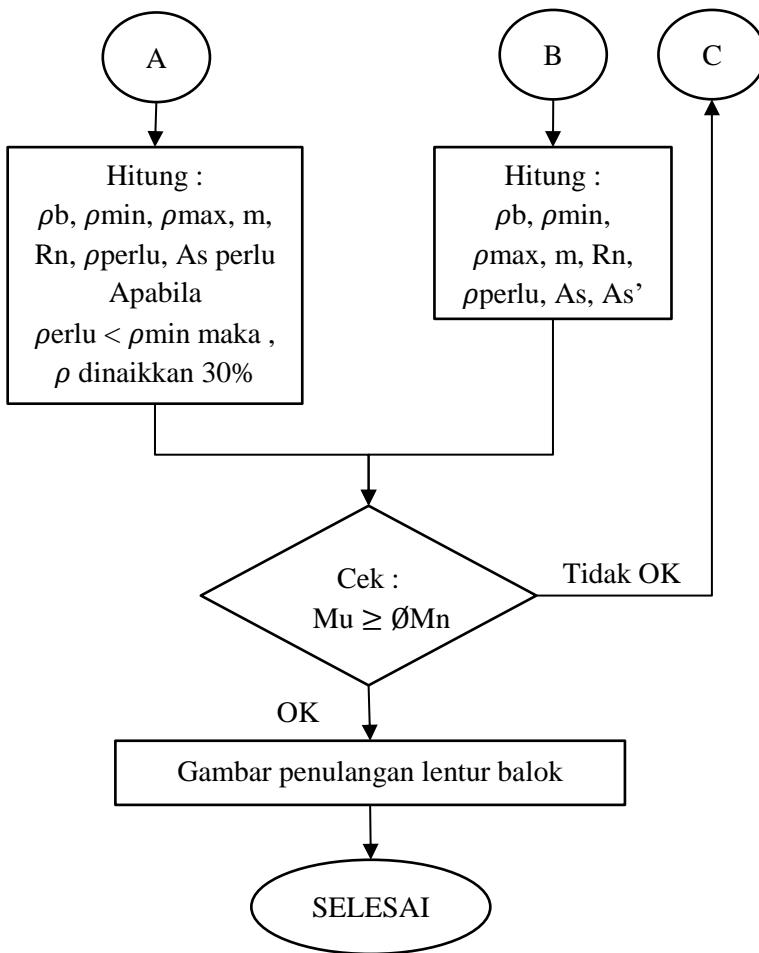


**Gambar 3. 11** *Flow Chart* perencanaan tangga

### 3.15.5 Perhitungan Balok

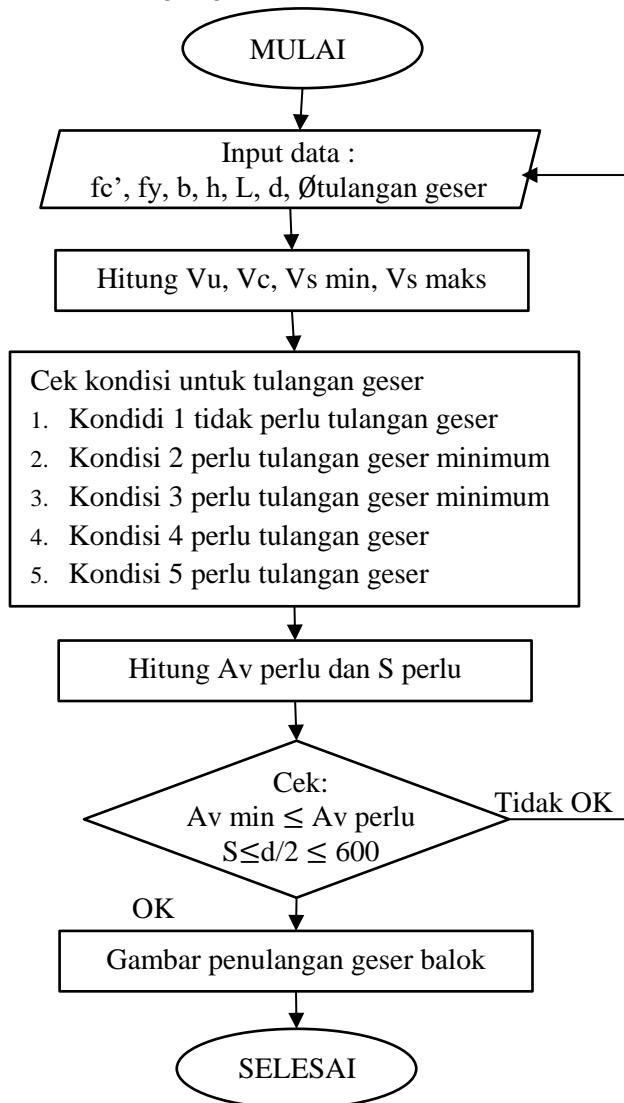
a. Penulangan lentur balok





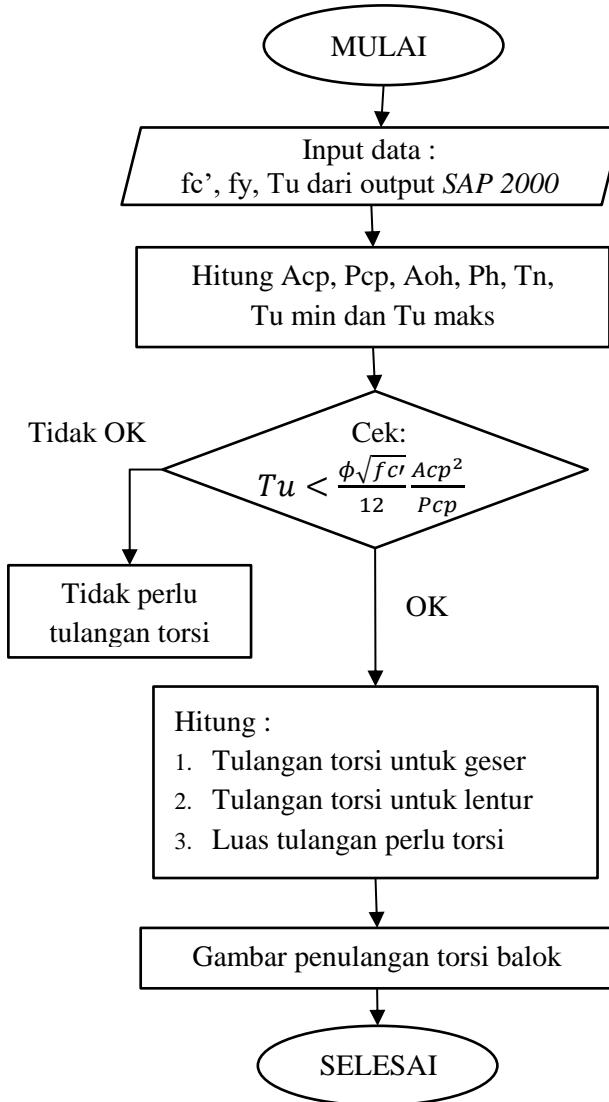
**Gambar 3. 12** Flow Chart perencanaan penulangan lentur balok

b. Penulangan geser balok



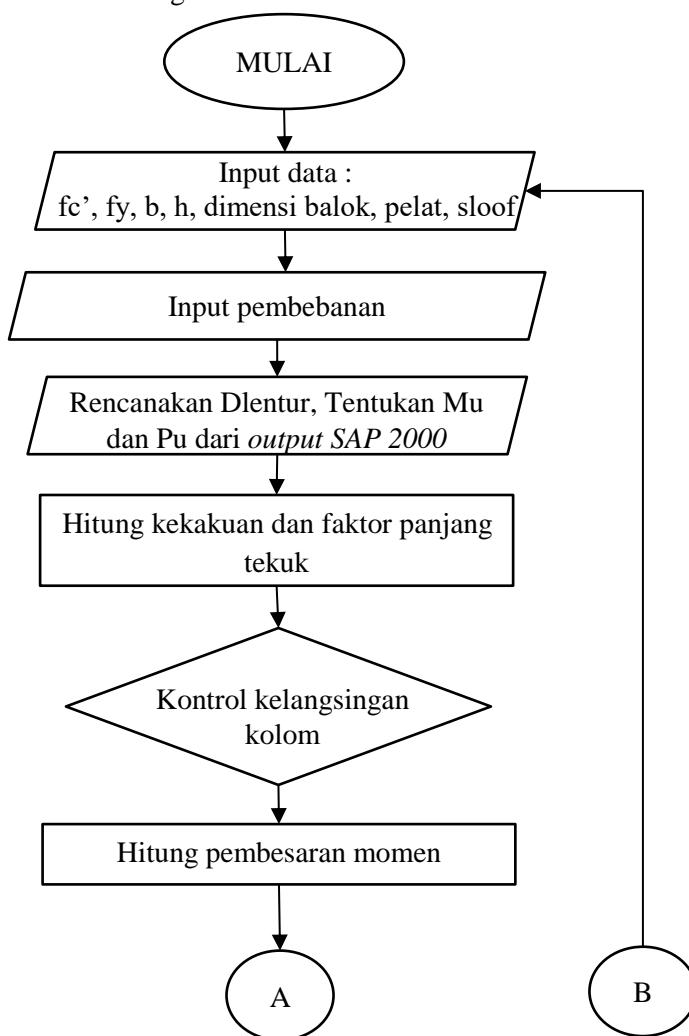
**Gambar 3.13** Flow Chart perencanaan penulangan geser balok

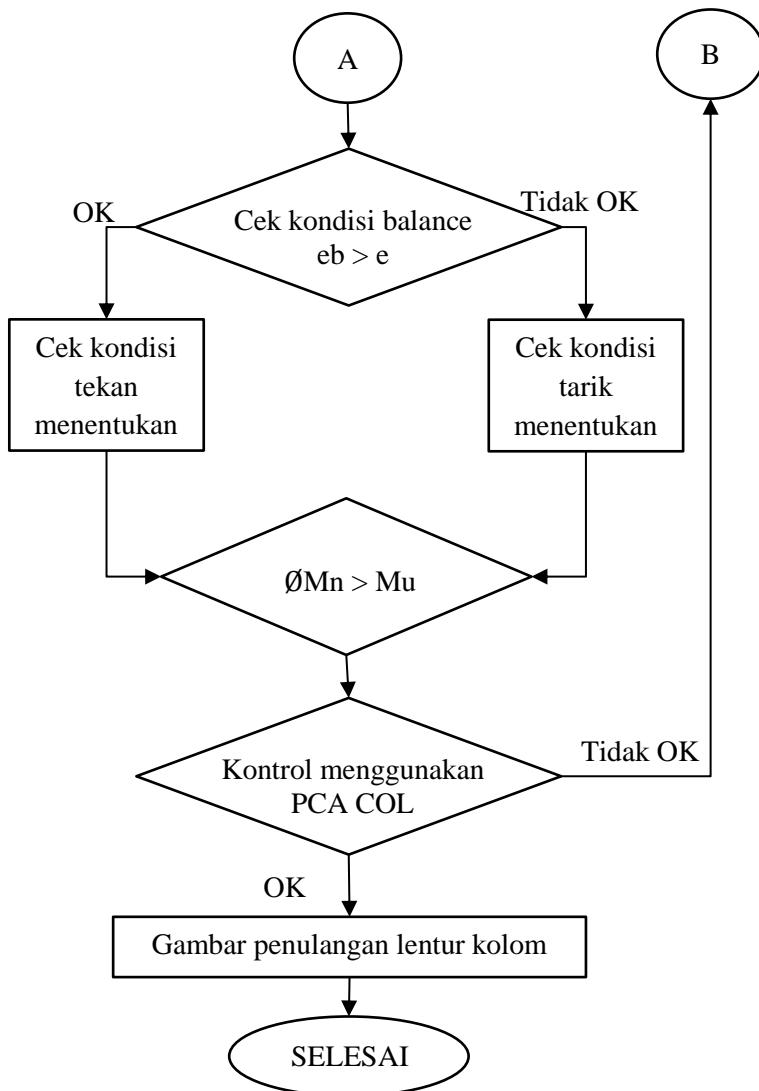
## c. Penulangan torsi balok

**Gambar 3. 14 Flow Chart** perencanaan penulangan torsi balok

### 3.15.6 Perhitungan Kolom

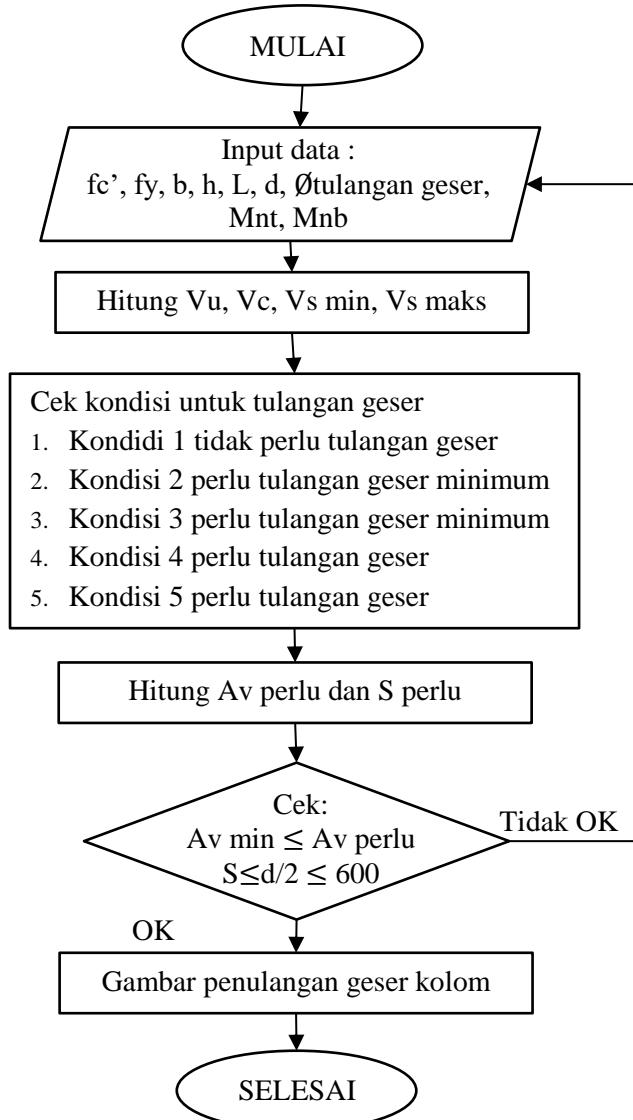
#### a. Penulangan lentur kolom





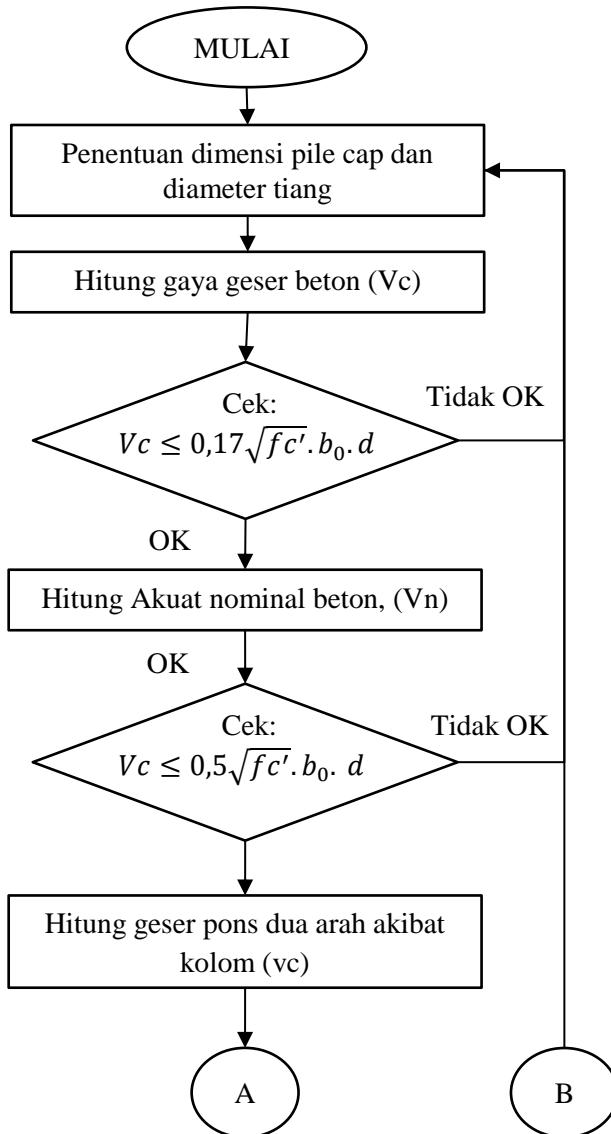
**Gambar 3. 15 Flow Chart** perencanaan penulangan lentur kolom

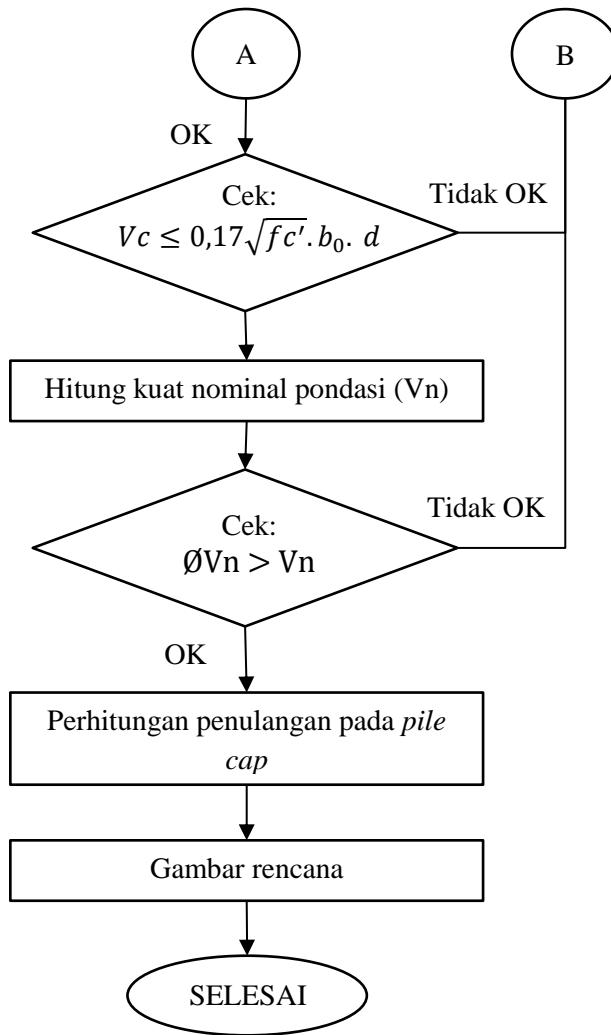
b. Penulangan geser kolom



Gambar 3. 16 Flow Chart perencanaan penulangan geser kolom

### 3.15.7 Perencanaan Pondasi





**Gambar 3. 17 Flow Chart perencanaan pondasi**

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Preliminary Design

##### 4.1.1 Preliminary Design balok

Data Perencanaan :

Tipe Balok = B1, B2

Bentang Balok = 700 cm untuk B1  
450 cm untuk B2

Mutu Beton = 30 MPa

Fy tulangan lentur = 400 MPa

Untuk nilai Fy selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + fy/700)$ . Sehingga untuk mutu baja 400 MPa nilai h min adalah :

a.  $h \text{ min} = \frac{L}{12} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right)$ , untuk balok induk

b.  $h \text{ min} = \frac{L}{21} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right)$ , untuk balok anak

Sedangkan untuk lebar (b) balok diestimasikan antara 1/2 sampai 1/3 dari tinggi (h) balok.

##### 1. Balok Induk B1

$$\begin{aligned} h \text{ min} &= \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right) \\ &= \frac{700 \text{ cm}}{16} \left( 0,4 + \frac{400 \text{ MPa}}{700} \right) \\ &= 42,5 \text{ cm} \\ &\approx 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b \text{ min} &= \frac{2}{3} \times h \\ &= \frac{2}{3} \times 60 \text{ cm} \\ &= 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk efisiensi, dimensi untuk balok induk B1 adalah 30 cm x 60 cm.

##### 2. Balok Anak B2

$$h \text{ min} = \frac{L}{21} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{450 \text{ cm}}{21} \left( 0,4 + \frac{400 \text{ MPa}}{700} \right) \\
 &= 20,8 \text{ cm} \\
 &\approx 40 \text{ cm} \\
 b_{\min} &= \frac{2}{3} \times h \\
 &= \frac{2}{3} \times 40 \text{ cm} \\
 &= 26,6 \text{ cm} \\
 &\approx 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Untuk efisiensi, dimensi untuk balok anak B2 adalah 25 cm x 40 cm.

### 3. Balok Bordes

$$\begin{aligned}
 h_{\min} &= \frac{L}{21} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \\
 &= \frac{450 \text{ cm}}{21} \left( 0,4 + \frac{400 \text{ MPa}}{700} \right) \\
 &= 20,8 \text{ cm} \\
 &\approx 25 \text{ cm} \\
 b_{\min} &= \frac{1}{3} \times h \\
 &= \frac{1}{3} \times 25 \text{ cm} \\
 &= 8,3 \text{ cm} \\
 &\approx 15 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi untuk balok bordes adalah 15 cm x 25 cm

#### 4.1.2 Preliminary Design kolom

##### 1. Kolom K1

Data Perencanaan :

Tinggi kolom	= 400 cm
Bentang balok	= 450 cm
Lebar balok	= 40 cm
Tinggi balok	= 60 cm
Mutu beton (fc')	= 30 MPa
Fy tulangan lentur	= 400 MPa
Momen inersia balok	= $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

$$= \frac{1}{12} \times 40 \times 60^3 \\ = 720000 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \\ I_{kolom} = \frac{I_{balok} \times L_{kolom}}{L_{balok}} \\ = \frac{720000 \text{ cm}^4 \times 400 \text{ cm}}{450 \text{ cm}} \\ = 640000 \text{ cm}^4$$

Direncanakan b = h (kolom persegi)

$$I_{kolom} = \frac{1}{12} \times h^4 \\ 640000 \text{ cm}^4 = \frac{1}{12} \times h^4 \\ h^4 = 7680000 \text{ cm}^4 \\ h = 52,64 \text{ cm} \\ b = h \approx 60 \text{ cm}$$

Untuk efisiensi, dimensi kolom K1 adalah 50 cm x 50 cm

## 2. Kolom K2

Data Perencanaan :

Tinggi kolom	= 400 cm
Bentang balok	= 450 cm
Lebar balok	= 30 cm
Tinggi balok	= 40 cm
Mutu beton (fc')	= 30 MPa
Fy tulangan lentur	= 400 MPa
Momen inersia balok	$= \frac{1}{12} \times b \times h^3$
	$= \frac{1}{12} \times 30 \times 40^3$
	$= 160000 \text{ cm}^4$

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \\ I_{kolom} = \frac{I_{balok} \times L_{kolom}}{L_{balok}} \\ = \frac{160000 \text{ cm}^4 \times 400 \text{ cm}}{450 \text{ cm}} \\ = 142222,2 \text{ cm}^4$$

Direncanakan  $b = h$  (kolom persegi)

$$I_{\text{kolom}} = \frac{1}{12} \times h^4$$

$$142222,2 \text{ cm}^4 = \frac{1}{12} \times h^4$$

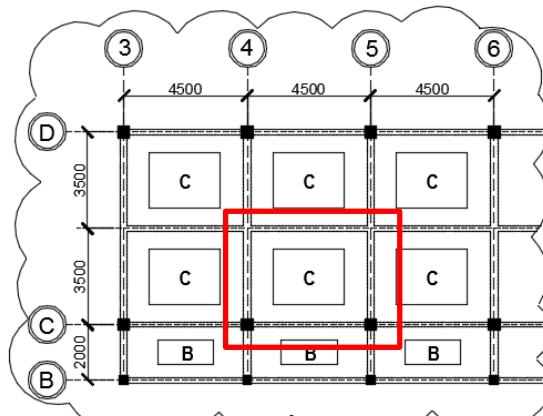
$$h^4 = 1706666,7 \text{ cm}^4$$

$$h = 36,14 \text{ cm}$$

$$b = h \approx 40 \text{ cm}$$

Untuk efisiensi, dimensi kolom K2 adalah 40 cm x 40 cm

#### 4.1.3 Preliminary Design pelat



Gambar 4. 1 Denah pelat yang ditinjau

##### a. Data Perencanaan

Pelat yang ditinjau	= Pelat as4-5/D'-C
Dimensi balok induk	= 40/60 cm
Dimensi balok anak	= 30/40 cm
Bentang sumbu panjang (Ly)	= 450
Bentang sumbu pendek (Lx)	= 350
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Fy tulangan lentur	= 400 MPa

b. Perhitungan tebal pelat

- Bentang bersih sumbu panjang (Ln)

$$\begin{aligned} L_n &= L_y - \frac{bw}{2} - \frac{bw}{2} \\ &= 450 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} \\ &= 410 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Bentang bersih sumbu pendek (Sn)

$$\begin{aligned} S_n &= L_x - \frac{bw}{2} - \frac{bw}{2} \\ &= 350 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2} \\ &= 320 \text{ cm} \end{aligned}$$

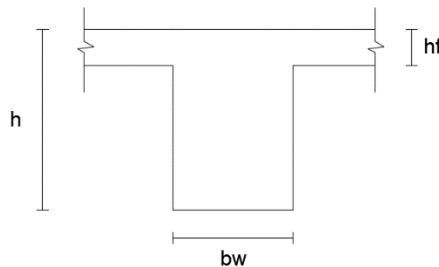
- Rasio ( $\beta$ )

$$\beta = \frac{l_n}{S_n}$$

$$\beta = \frac{410}{320}$$

$\beta = 1,28 < 2$ , pelat dua arah

- Tinjau balok As 4 Join D'-C



Gambar 4. 2Penampang balok T

Direncanakan tebal pelat ( $hf$ ) = 12 cm

Menentukan lebar efektif  $b_e$  balok penampang:

$$be_1 = bw + 8hf = 40 + (8 \times 12) = 136 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} be_2 &= bw + 2(h - hf) = 40 + 2(60 - 12) \\ &= 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil  $b_e$  yang terkecil yaitu  $b_e = 136 \text{ cm}$

Menentukan nilai k :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right) \left[4 - 6\left(\frac{hf}{h}\right) + 4\left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen inersia penampang T:

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 1,64 \times 40 \times 60^3$$

$$= 1180800 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{pelat}} = Ly \times \frac{hf^3}{12}$$

$$= 450 \times \frac{12^3}{12}$$

$$= 64800 \text{ cm}^4$$

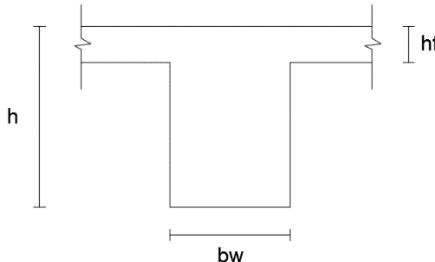
Maka rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha_1 = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}}$$

$$= \frac{1180800}{64800}$$

$$= 18,2$$

- Tinjau balok As 5 join D'-C



**Gambar 4. 3** Penampang balok T

Direncanakan tebal pelat ( $hf$ ) = 12 cm

Menentukan lebar efektif  $b_e$  balok penampang:

$$be_1 = bw + 8hf = 40 + (8 \times 12) = 136 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} be_2 &= bw + 2(h - hf) = 40 + 2(60 - 12) \\ &= 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diamambil  $be$  yang terkecil yaitu  $be = 136 \text{ cm}$

Menentukan nilai  $k$ :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{hf}{h}\right) + 4\left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right)\left(\frac{12}{60}\right)\left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right)\left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right)\left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen inersia penampang T:

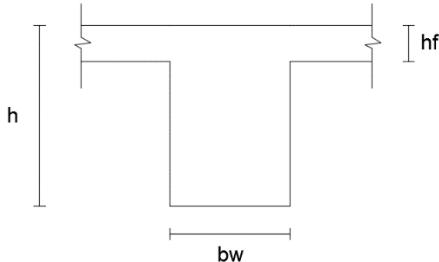
$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,64 \times 40 \times 60^3 \\ &= 1180800 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= Ly \times \frac{hf^3}{12} \\ &= 450 \times \frac{12^3}{12} \\ &= 64800 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Maka rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} \\ &= \frac{1180800}{64800} \\ &= 18,2 \end{aligned}$$

- Tinjau balok As D' join 4-5



**Gambar 4.4** Penampang balok T

Direncanakan tebal pelat ( $hf$ ) = 12 cm

Menentukan lebar efektif  $b_e$  balok penampang:

$$be_1 = bw + 8hf = 30 + (8 \times 12) = 126 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} be_2 &= bw + 2(h - hf) = 30 + 2(60 - 12) \\ &= 86 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diambil  $be$  yang terkecil yaitu  $be = 86 \text{ cm}$

Menentukan nilai  $k$ :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right) \left[4 - 6\left(\frac{hf}{h}\right) + 4\left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right) \left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,58$$

Momen inersia penampang T:

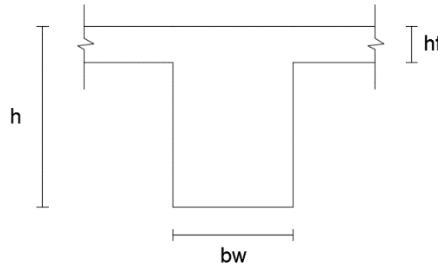
$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,58 \times 30 \times 40^3 \\ &= 252800 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= Ly \times \frac{hf^3}{12} \\ &= 450 \times \frac{12^3}{12} \\ &= 64800 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Maka rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\begin{aligned}\alpha_3 &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} \\ &= \frac{252800}{64800} \\ &= 3,9\end{aligned}$$

- Tinjau balok As C join 4-5



**Gambar 4. 5** Penampang balok T

Direncanakan tebal pelat ( $hf$ ) = 12 cm

Menentukan lebar efektif  $b_e$  balok penampang:

$$\begin{aligned}be_1 &= bw + 8hf = 30 + (8 \times 12) = 126 \text{ cm} \\ be_2 &= bw + 2(h - hf) = 30 + 2(60 - 12) \\ &= 86 \text{ cm}\end{aligned}$$

Diambil  $b_e$  yang terkecil yaitu  $b_e = 86 \text{ cm}$

Menentukan nilai  $k$  :

$$\begin{aligned}k &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{h}\right)\left[4 - 6\left(\frac{hf}{h}\right) + 4\left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{h}\right)} \\ k &= \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)\left[4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)} \\ k &= 1,58\end{aligned}$$

Momen inersia penampang T:

$$\begin{aligned}I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1,58 \times 30 \times 40^3 \\ &= 252800 \text{ cm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= Ly \times \frac{hf^3}{12} \\
 &= 450 \times \frac{12^3}{12} \\
 &= 64800 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Maka rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\begin{aligned}
 \alpha_3 &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} \\
 &= \frac{252800}{64800} \\
 &= 3,9
 \end{aligned}$$

- Rasio rata-rata ( $\alpha_m$ )

$$\begin{aligned}
 \alpha_m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} \\
 &= \frac{18,2 + 18,2 + 3,9 + 3,9}{4} \\
 \alpha_m &= 11,07
 \end{aligned}$$

- Tebal pelat (h)

Karena nilai  $\alpha_m \geq 2$  maka ketebalan pelat harus memenuhi :

$$h = \frac{Ln \times [0,8 + \frac{f_y}{1400}]}{36 + 9\beta}$$

$$h = \frac{410 \times [0,8 + \frac{400}{1400}]}{36 + (9 \times 1,3)}$$

$$h = 93,7 \text{ mm}$$

$$h \approx 120 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai pelat dengan tebal 12 cm

#### 4.1.4 Preliminary Design tangga

a. Data Perencanaan

Tipe tangga	= T1
Lebar injakan (i)	= 29 cm
Tinggi tanjakan (t)	= 18 cm
Tinggi tangga	= 400 cm
Tinggi bordes	= 216 cm
Panjang datar tangga	= 350 cm
$f_c'$	= 30 MPa
$f_y$	= 400 MPa

b. Perhitungan perencanaan

- Panjang miring tangga

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\text{tinggi bordes}^2 + \text{panjang tangga}^2} \\ &= \sqrt{(216 \text{ cm})^2 + p(350 \text{ cm})^2} \\ &= 411 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned} n_t &= \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi tanjakan}} \\ &= \frac{400 \text{ cm}}{18 \text{ cm}} \\ &= 22 \text{ tanjakan} \end{aligned}$$

- Jumlah injakan

$$\begin{aligned} n_i &= n_t - 1 \\ &= 22 - 1 \\ &= 21 \text{ injakan} \end{aligned}$$

- Sudut kemiringan

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{arc. tan}\left(\frac{t}{i}\right) \\ &= \text{arc. tan}\left(\frac{18 \text{ cm}}{29 \text{ cm}}\right) \\ &= 31,83^\circ \end{aligned}$$

- Syarat kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 31,83^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{memenuhi})$$

- Syarat kenyamanan tangga

$$60\text{cm} \leq (2t + i) \leq 65\text{cm}$$

$$60\text{cm} \leq 65 \text{ cm} \leq 65\text{cm}$$

- Tebal pelat minimum

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{L}{20} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \\ &= \frac{411 \text{ cm}}{20} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) \\ &= 15,3 \text{ cm} \\ &\approx 16 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Tebal ekivalen

$$T = \text{tinggi injakan} \times \cos\alpha$$

$$= 18 \text{ cm} \times \cos(31,8) = 15,2 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 t &= 0,5T \\
 &= 0,5 \times 15,2 \text{ cm} \\
 &= 7,6 \text{ cm} \\
 t_{\text{ekiv}} &= h_{\text{min}} + t \\
 &= 16 \text{ cm} + 7,6 \text{ cm} \\
 &= 23,6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

## 4.2 Perhitungan Pembebanan

### 4.2.1 Beban Mati

Beban mati (*dead load*) terdiri atas berat sendiri seluruh elemen struktur dan perlengkapan permanen pada gedung seperti dinding, lantai atap, plafond, penggantung plafond, serta *mechanical electric and plumbing*. Beban mati terdiri dari dua macam, yaitu :

1. Berat sendiri elemen struktur (*self weight, DL*)
 

Berat beton :  $2400 \text{ kg/m}^3$
2. Berat sendiri tambahan (*superimposed dead load, SDL*)
  - Berat dinding bata ringan :  $600 \text{ kg/m}^3$  (Brosur CITICON®)
  - Beban keramik :  $24 \text{ kg/m}^3$  (ASCE 7-2002 Tabel C3-1)
  - Beban spesi :  $21 \text{ kg/m}^3$  (PPIUG 1987)
  - Beban *mechanical and electric* :  $40 \text{ kg/m}^3$  (PPIUG 1987)
  - Beban *plumbing* :  $25 \text{ kg/m}^3$  (PPIUG 1987)
  - Beban plafond :  $8,6 \text{ kg/m}^3$  (Brosur KALSI Board)
  - Beban penggantung plafond :  $10 \text{ kg/m}^3$  (ASCE 7-2002 Tabel C3-1)
  - Beban aspal :  $14 \text{ kg/m}^3$  (PPIUG 1987)

### 4.2.2 Beban Hidup

Beban hidup terdiri dari beban yang diakibatkan oleh pemakaian gedung dan tidak termasuk beban mati, beban konstruksi atau beban akibat fenomena alam. Bergantung

pada fungsi ruang, maka beban hidup dapat dibedakan sesuai SNI 1727:2013 tabel 4.1 sebagai berikut :

- Beban hidup sekolah untuk ruang kelas :  $1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup sekolah untuk koridor lantai pertama :  $3,83 \text{ kN/m}^2 = 383 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup sekolah untuk koridor diatas lantai pertama :  $4,79 \text{ kN/m}^2 = 479 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup tangga dan bordes :  $4,79 \text{ kN/m}^2 = 479 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup atap datar :  $0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

#### **4.2.3 Beban Hujan**

Berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 8.3, beban hujan rencana adalah sebagai berikut :

$$R = 0,0098 \cdot (d_S + d_H)$$

Dimana :

$d_S$  = tinggi statis (direncanakan 10 mm)

$d_H$  = tinggi hidrolik (direncanakan 20mm)

maka :

$$\begin{aligned} R &= 0,0098 \cdot (10\text{mm} + 20\text{mm}) \\ &= 29,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

#### **4.2.4 Beban Angin**

Bangunan gedung dan struktur lain termasuk sistem penahan beban angin utama (SPBAU) harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI 1727:2013. Beban angin dinding maksimum dan minum yang terjadi akan didistribusikan pada kolom. Berikut tahapan perhitungan :

- Kecepatan angin dasar ( $V$ ) = 5 m/s (berdasarkan kecepatan angin terbesar selama periode tahun 2017-2019, sumber: [http://dataonline.bmkg.go.id/data\\_iklim](http://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim))
- Faktor arah angin ( $K_d$ ) = 0,85 (SNI 1727:2013 tabel 16.6-1)

- Kategori eksposur = B (SNI 1727:2013 pasal 26.7.3)
- Faktor topografi (Kzt) = 1,0 (SNI 1727:2013 pasal 26.8.2)
- Faktor efek angin (G) = 0,85 (SNI 1727:2013 pasal 26.9.1)
- Klasifikasi ketertutupan = Bangunan tertutup
- Koefisien eksposur tekanan velositas (Kz dan Kh)  
Tinggi bangunan, z = 16m  

$$z_g = 274,32 \text{ (SNI 1727:2013 tabel 26.9-1)}$$

$$\alpha = 9,5 \text{ (SNI 1727:2013 tabel 26.9-1)}$$

$$k_z = k_h = 2,01 \times \left(\frac{z}{z_g}\right)^{\frac{2}{\alpha}} = 2,01 \times \left(\frac{16m}{274,32}\right)^{\frac{2}{9,5}}$$

$$= 1,105$$
- Tekanan Velositas (qz dan qh)  

$$q_z = 0,613 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot k_d \cdot v^2$$

$$= 0,613 \times 1,105 \times 1,0 \times 0,85 \times 5^2$$

$$= 176,33 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot k_d \cdot v^2$$

$$= 0,613 \times 1,105 \times 1,0 \times 0,85 \times 5^2$$

$$= 176,33 \text{ N/m}^2$$
- Koefisien tekanan eksternal untuk dinding pada gedung  
 Panjang bangunan (L) = 100m  
 Lebar bangunan (B) = 16 m  

$$L/B = 6,25$$

$$C_p = 0,8 \text{ (untuk dinding pada angin datang berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)}$$

$$C_p = -0,7 \text{ (untuk dinding pada angin tepi berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)}$$

$$C_p = -0,2 \text{ (untuk dinding pada angin pergi berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)}$$
- Koefisien tekanan eksternal untuk atap baja dengan sudut 60°  
 Tinggi atap rata-rata (h) = 18,874 m  
 Panjang atap (L) = 92 m  

$$h/L = 0,21$$
 Sudut kemiringan = 60°

$C_p = 0,6$  (untuk angin datang berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)

$C_p = -0,6$  (untuk angin pergi berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)

- Koefisien tekanan eksternal untuk atap baja dengan sudut  $35^\circ$

Tinggi atap rata-rata ( $h$ ) = 17,08 m

Panjang atap ( $L$ ) = 92 m

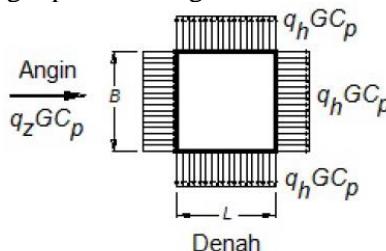
$h/L = 0,18$

Sudut kemiringan =  $60^\circ$

$C_p = 0,4$  (untuk angin datang berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)

$C_p = -0,6$  (untuk angin pergi berdasarkan SNI 1727:2013, gambar 27.4-1)

- Pengaruh angin pada dinding



**Gambar 4. 6** Pengaruh angin pada dinding

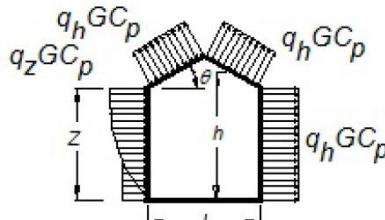
$$\begin{aligned} \text{Pada arah angin datang} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\ &= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times 0,8 \\ &= 119,91 \text{ N/m}^2 \\ &= 11,9 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada arah angin tepi} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\ &= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times (-0,7) \\ &= -104,9 \text{ N/m}^2 \\ &= -10,49 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada arah angin pergi} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\ &= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times (-0,2) \end{aligned}$$

$$= -29,9 \text{ N/m}^2 \\ = -2,99 \text{ kg/m}^2$$

- Pengaruh angin pada atap



Potongan

**Gambar 4. 7 Pengaruh angin pada atap  
Sudut 60°**

Pada arah angin datang       $= q_z \cdot G \cdot C_p$   
 $= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times 0,6$   
 $= 93,12 \text{ N/m}^2$   
 $= 9,3 \text{ kg/m}^2$

Pada arah angin pergi       $= q_z \cdot G \cdot C_p$   
 $= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times (-0,6)$   
 $= -93,12 \text{ N/m}^2$   
 $= -9,3 \text{ kg/m}^2$

**Sudut 35°**

Pada arah angin datang       $= q_z \cdot G \cdot C_p$   
 $= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times 0,4$   
 $= 60,78 \text{ N/m}^2$   
 $= 6,07 \text{ kg/m}^2$

Pada arah angin pergi       $= q_z \cdot G \cdot C_p$   
 $= 176,33 \text{ N/m}^2 \times 0,85 \times (-0,6)$   
 $= -93,12 \text{ N/m}^2$   
 $= -9,3 \text{ kg/m}^2$

**Tabel 4. 1 Rekapitulasi beban angin yang terjadi**

Lantai	Tinggi (z)	zg	$\alpha$	Kz dan Kh	qz/qh	qz.G.Cp	qh.G.Cp	qh.G.Cp
						Datang	Tepi	Pergi
	(m)	(m)				N/m <sup>2</sup>	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )
1	4	274.32	9.5	0.82	131.7	8.955	-7.8361	-2.2389
2	8	274.32	9.5	0.95	152.3	10.363	-9.0672	-2.5906
3	12	274.32	9.5	1.04	165.9	11.286	-9.8752	-2.8215
4	16	274.32	9.5	1.10	176.3	11.991	-10.492	-2.9977
Atap1	17.1	274.32	9.5	1.12	178.7	6.0789	-	-9.1184
Atap2	18.8	274.32	9.5	1.14	182.5	9.3112	-	-9.3112

Berdasarkan SNI 03-1727-2013 Pasal 27.1.5, beban angin desain minimum adalah = 0,77 kN/m<sup>2</sup> = 77 kg/m<sup>2</sup> untuk dinding bangunan dan 0,38 kN/m<sup>2</sup> = 38 kg/m<sup>2</sup> untuk luas atap bangunan gedung. Sehingga untuk pembebanan angin yang terjadi adalah:

**Tabel 4. 2 Rekapitulasi beban angin yang terjadi**

Lantai	Tinggi (z)	zg	$\alpha$	Kz dan Kh	qz/qh	qz.G.Cp	qh.G.Cp	qh.G.Cp
						Datang	Tepi	Pergi
	(m)	(m)				N/m <sup>2</sup>	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )
1	4	274.3	9.5	0.82	131.7	77	-77	-77
2	8	274.3	9.5	0.95	152.3	77	-77	-77
3	12	274.3	9.5	1.04	165.9	77	-77	-77
4	16	274.3	9.5	1.10	176.3	77	-77	-77
Atap 1	17.1	274.3	9.5	1.12	178.7	38	-	-38
Atap 2	18.8	274.3	9.5	1.14	182.5	38	-	-38

#### 4.2.5 Beban Gempa

Beban gempa pada permodelan struktur gedung ditinjau secara analisa dinamis 2 dimensi. Metode statik ekuivalen ditetapkan sesuai peta wilayah gempa daerah Balikpapan.

##### A. Menentukan Kategori Desain Seismik

###### 1. Menentukan Kategori Resiko Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 1, bangunan yang didesain sebagai fasilitas pendidikan termasuk kedalam kategori risiko IV.

###### 2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 2 dan kategori risiko yang didapat maka, ditentukan faktor keutamaan gempa yakni  $I_e = 1,50$ .

###### 3. Menentukan Kelas Situs

Hasil tes *Standart Penetration Test* (SPT) dengan kedalaman 20m pada tanah daerah Balikpapan :

**Tabel 4. 3** Hasil tes SPT Balikpapan, Kalimantan Timur

No	Kedalaman Tanah (m)	Deskripsi Tanah	Tebal Lapisan (di)	N	di/N
1	2	Clay	2,00	4	0,50
2	2,45	Silty Clay	0,45	5	0,09
3	3,45	Silty Clay	1,00	8	0,13
4	4,45	Silty Clay	1,00	9	0,11
5	5,45	Clay	1,00	12	0,08
6	6,45	Clay	1,00	14	0,07
7	7,45	Silty Clay	1,00	31	0,03
8	8,45	Silty Clay	1,00	33	0,03
9	9,45	Silty Clay	1,00	37	0,03
10	10,45	Silty Clay	1,00	40	0,03

11	11,45	Silty Clay	1,00	41	0,02
12	12,45	Silty Clay	1,00	45	0,02
13	13,45	Silty Clay	1,00	50	0,02
14	14,45	Clay	1,00	40	0,03
15	15,45	Clay	1,00	38	0,03
16	16,45	Clay	1,00	46	0,02
17	17,45	Clay	1,00	42	0,02
18	18,45	Clay	1,00	40	0,03
19	19,45	Clay	1,00	47	0,02
20	20,45	Clay	1,00	53	0,02
<b><math>\Sigma</math></b>			20,45	63,5	1,32

Keterangan :

di = tebal tiap lapisan

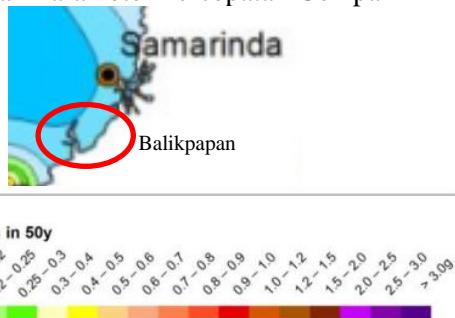
N = tahanan penetrasi standar

Maka nilai N-SPT rata-rata tanah :

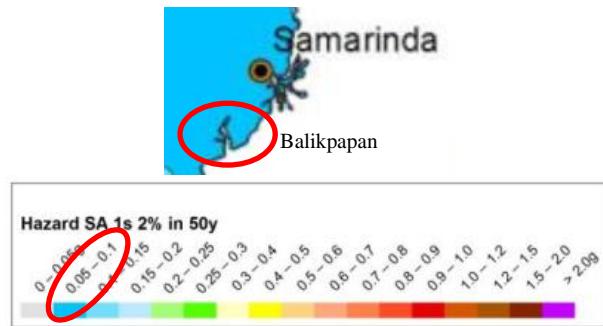
$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\sum di/Ni} = \frac{20,45}{1,32} = 15,44$$

Menurut SNI 1726:2012 Tabel 3, untuk nilai  $15 < N < 50$  maka termasuk kedalam situs SD (tanah sedang).

#### 4. Menentukan Parameter Percepatan Gempa



**Gambar 4. 8** Nilai Ss menurut Peta Hazard 2017  
untuk daerah Balikpapan



**Gambar 4. 9** Nilai S1 menurut Peta Hazard 2017 untuk daerah Balikpapan

Maka diambil nilai  $S_s = 0,15$  dan  $S_1 = 0,07$

5. Menentukan Koefisien Situs

Dengan nilai  $S_s = 0,15$  maka untuk kelas situs SD diperoleh nilai  $F_a = 1,6$

Dengan nilai  $S_1 = 0,07$  maka untuk kelas situs SD diperoleh nilai  $F_v = 2,4$

6. Menentukan Parameter Percepatan Desain Spektral

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,6 \times 0,15 = 0,24$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 2,4 \times 0,07 = 0,17$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,24 = 0,16$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,17 = 0,11$$

7. Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS)

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 6 untuk  $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$  dengan kategori risiko IV termasuk kedalam KDS C

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 7 untuk  $0,167 \leq S_{D1} < 0,33$  dengan kategori risiko IV termasuk kedalam KDS C

Jadi dapat disimpulkan bahwa pada lokasi gedung (Balikpapan) termasuk kedalam KDS C.

## B. Menentukan Gaya Lateral Ekuivalen

### 1. Menentukan Parameter Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 9, untuk sistem rangka pemikul momen menengah didapatkan :

Koefisien modifikasi respons ( $R$ ) = 5

Faktor kuat-lebih sistem ( $\Omega_0$ ) = 3

Faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) = 4,5

### 2. Menentukan koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ )

Dari perhitungan sebelumnya telah didapatkan nilai  $S_{D1} = 0,11$  maka dari tabel 14 SNI 1726:2012 dapat ditentukan nilai  $C_u$  menggunakan interpolasi linier sebagai berikut :

$$\frac{0,11-0,10}{0,15-0,10} = \frac{C_u-1,7}{1,6-1,7}$$

$$C_u = 1,68$$

### 3. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan

$$T_a = C_t \cdot h^n^x$$

Keterangan :

Koefisien  $C_t = 0,0466$  (rangka beton pemikul momen)

Koefisien  $x = 0,9$

(SNI 1726:2012 Tabel 15)

$h_n$  (tinggi bangunan) = 16 meter

Sehingga,

$$T_a = 0,0466 \times 16^{0,9} = 0,565 \text{ detik}$$

$T_c = 0,521$  detik (didapat dari program bantu SAP 2000)

$$C_u \cdot T_a = 1,68 \times 0,565$$

$$= 0,947 \text{ detik}$$

Cek :  $T_c < T_a$

Maka digunakan  $T = 0,565$  detik

4. Menghitung koefisien respon seismik ( $C_s$ )

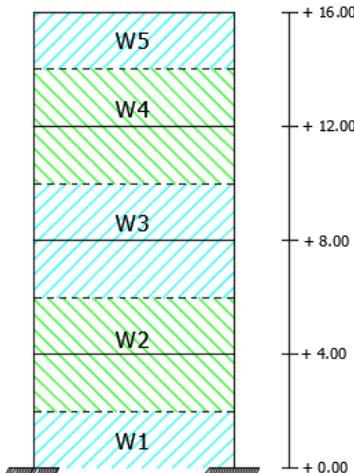
$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} = \frac{0,16}{(5/1,50)} = 0,0480$$

$$C_{s\max} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)} = \frac{0,11}{0,565 \times (5/1,50)} = 0,0595$$

$$\begin{aligned} C_{s\min} &= 0,0444 \times S_{DS} \times I_e \\ &= 0,0444 \times 0,16 \times 1,50 = 0,0107 \end{aligned}$$

Cek :  $C_{s\min} < C_s < C_{s\max}$  (memenuhi)

5. Menentukan Berat Per-lantai



**Gambar 4. 10** Ilustrasi berat bangunan per lantai

**Tabel 4. 4** Berat bangunan per-lantai

W	Jenis Beban	Komponen	Berat (kg)	Jumlah Berat (kg)
W1	Mati (D)	Balok B1 30/60	92880.00	705103.84
		Balok B2 25/40	161863.20	
		Kolom K1 50/50	72000.00	

	Kolom K2 30/30	10368.00	
	Tangga	15328.90	
Mati Tambahan (SD)	Keramik	251.28	
	Spesi	502.56	
	Dinding	129060.00	
Hidup (L)	Ruang kelas	111024.00	
	Koridor	97919.58	
	Tangga	13906.33	
W2	Balok B1 30/60	111456.00	1174124.78
	Balok B2 25/40	129490.56	
	Kolom K1 50/50	144000.00	
	Kolom K2 30/30	20736.00	
	Pelat Lantai	245581.78	
	Tangga	30657.79	
	Keramik	11.18	
	Spesi	16.15	
	Dinding	258120.00	
	Plafon + Pgt.	866.61	
	M/E	1863.68	
	Plumbing	1164.80	
W3	Ruang kelas	111024.00	1182453.51
	Koridor	78294.78	
	Tangga	40841.46	
	Balok B1 30/60	111456.00	
	Balok B2 25/40	129490.56	
	Kolom K1 50/50	144000.00	
	Kolom K2 30/30	20736.00	

		Pelat Lantai	245581.78	
		Tangga	41102.59	
Mati Tambahan (SD)	Hidup (L)	Keramik	11.18	
		Spesi	16.15	
		Dinding	258120.00	
		Plafon + Pgt.	866.61	
		M/E	1863.68	
		Plumbing	1164.80	
		Ruang kelas	111024.00	
W4	Mati (D)	Koridor	76178.70	
		Tangga	40841.46	
		Balok B1 30/60	111456.00	
		Balok B2 25/40	129490.56	
		Kolom K1 50/50	144000.00	
		Kolom K2 30/30	20736.00	
		Pelat Lantai	245581.78	
W5	Mati Tambahan (SD)	Tangga	15328.90	
		Keramik	11.18	1131860.76
		Spesi	16.15	
		Dinding	258120.00	
		Plafon + Pgt.	866.61	
		M/E	1863.68	
		Plumbing	1164.80	
	Hidup (L)	Ruang kelas	111024.00	
		Koridor	78294.78	
		Tangga	13906.33	
W5	Mati (D)	Balok B1 30/60	111456.00	632502.04
		Balok B2 25/40	129490.56	

Mati Tambahan (SD)	Kolom K1 50/50	72000.00	
	Kolom K2 30/30	10368.00	
	Pelat Atap	116064.00	
	Aspal	1.94	
	Spesi	145.74	
	Dinding	129060.00	
	Plafon + Pgt.	7495.80	
	M/E	7657.00	
	Plumbing	10075.00	
	Hidup (L)	Atap	38688.00
<b>W TOTAL</b>			<b>4826044.93</b>

6. Menentukan Beban Geser Desain Seismik (V)

$$\begin{aligned}
 V &= Cs \cdot Wt \\
 &= 0,048 \times 4826044,93 \text{ kg} \\
 &= 231650 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

7. Menghitung Gaya Dasar Seismik per-lantai (F)  
tiap lantai

Tinggi bangunan :

$$\begin{aligned}
 H_1 &= 0 \text{ m} \\
 H_2 &= 4 \text{ m} \\
 H_3 &= 8 \text{ m} \\
 H_4 &= 12 \text{ m} \\
 H_5 &= 16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4. 5** Perhitungan F per-lantai

Lantai	Wi (Ton)	hi <sup>k</sup>	Wi . hi <sup>k</sup>	$\frac{Wi \cdot hi^k}{\sum Wi \cdot hi^k}$	V (Ton)	Fi (Ton)
1	705.1	0.00	0.0	0.000	231.65	0

2	1174.1	4.18	4913.1	0.120		27.87
3	1182.5	8.56	10121.6	0.248		57.42
4	113.9	13.0	14725.8	0.361		83.54
5	632.5	17.5	11075.2	0.271		62.83
Total			40835.8	1.000		231.65

Contoh perhitungan :

$$F = Cvx \times V$$

Dimana :

$$Cvx = \frac{W_i \times h_i^k}{\sum W_i \times h_i^k}$$

Nilai k (eksponen yang terkait dengan perioda), lihat SNI 1726:2012 pasal 7.8.3.

Untuk :  $T \leq 0,5$ s maka  $k = 1$

$T \geq 2,5$  maka  $k = 2$

$0,5s < T < 2,5$  maka k ditentukan dengan interpolasi

Untuk  $T =$ , nilai k :

$$k = 1 + \left[ \left( \frac{0,57 - 0,5}{2,5 - 0,5} \right) \times (2 - 1) \right] = 1,03$$

#### 8. Menghitung Gaya Gempa Tiap As

Untuk mendapatkan gaya gempa pada tiap as maka nilai F pada tiap lantai harus dibagi dengan total luas dinding terluar tiap lantai, kemudian untuk mendapatkan gaya gempa searah sumbu x dan y untuk tiap as, nilai F dikali dengan luasan dinding yang dipengaruhi oleh as tersebut.

Untuk  $F_i$  searah sumbu x, nilai  $F_i/(16mx4m)$ , Sedangkan untuk sumbu y, nilai  $F_i/(100mx4m)$ .

**Tabel 4. 6 Gaya gempa tiap as searah sumbu x**

Lantai	As	A	Fi	Eqx (Kg)
		$m^2$	(kg/m $^2$ )	
1	A	28	0.00	0.00
	B	4		0.00
	C	18		0.00
	D	14		0.00
2	A	28	435.48	12193.50
	B	4		1741.93
	C	18		7838.68
	D	14		6096.75
3	A	28	897.15	25120.06
	B	4		3588.58
	C	18		16148.61
	D	14		12560.03
4	A	28	1305.24	36546.78
	B	4		5220.97
	C	18		23494.36
	D	14		18273.39
5	A	28	981.66	27486.60
	B	4		3926.66
	C	18		17669.95
	D	14		13743.30

**Tabel 4.7** Gaya gempa tiap ars searah sumbu y lantai 1

Lantai	As	A	Fi	Eqy (Kg)
		m <sup>2</sup>	(kg/m <sup>2</sup> )	
1	1	8	0	0
	2	16		0
	3	17		0
	4	18		0
	5	18		0
	6	18		0
	7	18		0
	8	18		0
	9	18		0
	10	18		0
	11	17		0
	12	16		0
	13	16		0
	14	17		0
	15	18		0
	16	18		0
	17	18		0
	18	18		0
	19	18		0
	20	18		0
	21	18		0
	22	17		0
	23	16		0
	24	8		0

**Tabel 4.8** Gaya gempa tiap ars searah sumbu y lantai 2

Lantai	As	A	Fi	Eqy (Kg)
		$m^2$	(Kg/ $m^2$ )	
2	1	8	69.68	557.42
	2	16		1114.83
	3	17		1184.51
	4	18		1254.19
	5	18		1254.19
	6	18		1254.19
	7	18		1254.19
	8	18		1254.19
	9	18		1254.19
	10	18		1254.19
	11	17		1184.51
	12	16		1114.83
	13	16		1114.83
	14	17		1184.51
	15	18		1254.19
	16	18		1254.19
	17	18		1254.19
	18	18		1254.19
	19	18		1254.19
	20	18		1254.19
	21	18		1254.19
	22	17		1184.51
	23	16		1114.83
	24	8		557.42

**Tabel 4.9** Gaya gempa tiap ars searah sumbu y lantai 3

Lantai	As	A	Fi	Eqy (Kg)
		m <sup>2</sup>	(Kg/m <sup>2</sup> )	
3	1	8	143.54	1148.35
	2	16		2296.69
	3	17		2440.23
	4	18		2583.78
	5	18		2583.78
	6	18		2583.78
	7	18		2583.78
	8	18		2583.78
	9	18		2583.78
	10	18		2583.78
	11	17		2440.23
	12	16		2296.69
	13	16		2296.69
	14	17		2440.23
	15	18		2583.78
	16	18		2583.78
	17	18		2583.78
	18	18		2583.78
	19	18		2583.78
	20	18		2583.78
	21	18		2583.78
	22	17		2440.23
	23	16		2296.69
	24	8		1148.35

**Tabel 4. 10** Gaya gempa tiap as searah sumbu y lantai 4

Lantai	As	A	Fi	Eqy (Kg)
		$m^2$	(Kg/ $m^2$ )	
4	1	8	208.84	1670.71
	2	16		3341.42
	3	17		3550.26
	4	18		3759.10
	5	18		3759.10
	6	18		3759.10
	7	18		3759.10
	8	18		3759.10
	9	18		3759.10
	10	18		3759.10
	11	17		3550.26
	12	16		3341.42
	13	16		3341.42
	14	17		3550.26
	15	18		3759.10
	16	18		3759.10
	17	18		3759.10
	18	18		3759.10
	19	18		3759.10
	20	18		3759.10
	21	18		3759.10
	22	17		3550.26
	23	16		3341.42
	24	8		1670.71

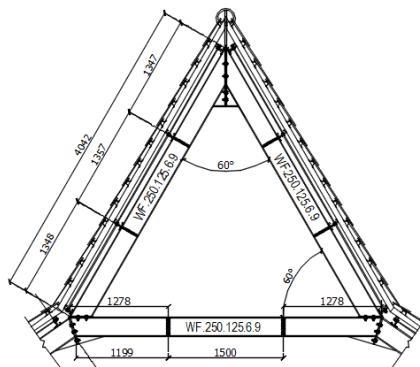
**Tabel 4. 11** Gaya gempa tiap ars searah sumbu y lantai 5

Lantai	As	A	Fi	Eqy (Kg)
		m <sup>2</sup>	(Kg/m <sup>2</sup> )	
5	1	8	157.07	1256.53
	2	16		2513.06
	3	17		2670.13
	4	18		2827.19
	5	18		2827.19
	6	18		2827.19
	7	18		2827.19
	8	18		2827.19
	9	18		2827.19
	10	18		2827.19
	11	17		2670.13
	12	16		2513.06
	13	16		2513.06
	14	17		2670.13
	15	18		2827.19
	16	18		2827.19
	17	18		2827.19
	18	18		2827.19
	19	18		2827.19
	20	18		2827.19
	21	18		2827.19
	22	17		2670.13
	23	16		2513.06
	24	8		1256.53

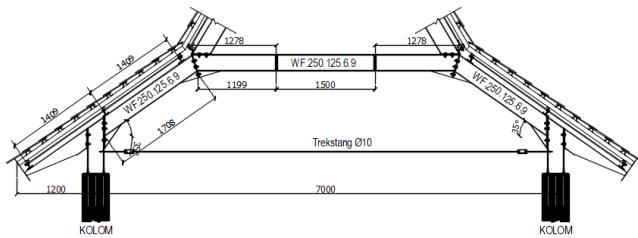
## 4.3 Perhitungan Struktur Sekunder

### 4.3.1 Perhitungan Struktur Atap

Struktur atap yang didesain meliputi gording, penggantung gording, ikatan angin, kuda-kud dan kolom baja yang mentransfer gaya dari atap baja ke kolom beton pada lantai dibawahnya



**Gambar 4. 11** Gambar atap 2



**Gambar 4. 12** Gambar atap 1

## 1. Perhitungan Gording

### A. Data Perencanaan

$$\text{Mutu Baja BJ} = \text{BJ 37}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

(SNI 1729:2002 Tabel 5.3)

$$\begin{aligned} F_u &= 370 \text{ Mpa} \\ (\text{SNI 1729:2002 Tabel 5.3}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jenis atap} &= \text{Genteng ROYAL®} \\ \text{Berat atap (q)} &= 5 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Jarak antar kuda-kuda (L)} &= 4,5 \text{ m} \end{aligned}$$

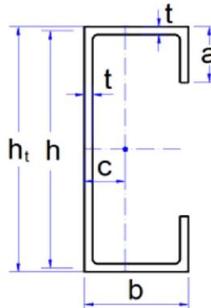
**Atap 1**

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar gording (b)} &= 1,4 \text{ m} \\ \text{Jumlah pengg. Gording} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Kemiringan atap} &= 35^\circ \end{aligned}$$

**Atap 2**

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar gording (b)} &= 1,35 \text{ m} \\ \text{Jumlah pengg. Gording} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Kemiringan atap} &= 60^\circ \end{aligned}$$

Digunakan Profil LC150.50.20.3,2

**Gambar 4. 13** Ukuran dan dimensi baja *Lip Channel*

Diketahui dari LC150.65.20.3,2 :

$$\begin{array}{lll} b = 65 \text{ mm} & I_x = 332 \text{ cm}^4 & \\ ht = 150 \text{ mm} & I_y = 54 \text{ cm}^4 & \\ h = 146,8 \text{ mm} & S_x = 44,2 \text{ cm}^3 & \\ t = 3,2 \text{ mm} & S_y = 12,2 \text{ cm}^3 & \\ a = 20 \text{ mm} & A = 9,57 \text{ cm}^2 & \\ c = 3,2 \text{ mm} & r_y = 2,37 \text{ cm} & \\ W = 7,51 \text{ kg/m} & r_x = 5,89 \text{ cm} & \\ J = 3265 \text{ mm}^4 & C_w = 2608 \text{ cm}^4 & \end{array}$$

## B. Perhitungan Beban

### a. Atap 1

- Beban Mati (qDL)

$$\text{Berat atap } (q \times b) = 1,41 \text{ m} \times 5 \text{ kg/m}^2 = 7,04 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat gording} = 7,5 \text{ kg/m} +$$

$$\underline{\underline{\text{qDL}}} = 14,55 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat lain-lain (10%qDL)} = 1,46 \text{ kg/m} +$$

$$\underline{\underline{\text{qDL total}}} = 16,01 \text{ kg/m}$$

$$\text{qDLX} = \text{qDL total} \times \cos \alpha$$

$$= 16,01 \text{ kg/m} \times \cos 35^\circ$$

$$= 13,11 \text{ kg/m}$$

$$\text{qDLY} = \text{qDL total} \times \sin \alpha$$

$$= 16,01 \text{ kg/m} \times \sin 35^\circ$$

$$= 9,18 \text{ kg/m}$$

- Beban Hidup (qLL)

Beban pekerja (terpusat)

$$\text{PLX} = 1,33 \text{ kN} \times \cos \alpha$$

$$= 1,33 \text{ kN} \times \cos 35^\circ$$

$$= 1,09 \text{ kN}$$

$$= 109 \text{ kg}$$

$$\text{PLY} = 1,33 \text{ kN} \times \sin \alpha$$

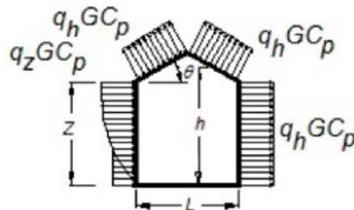
$$= 1,33 \text{ kN} \times \sin 35^\circ$$

$$= 0,76 \text{ kN}$$

$$= 76 \text{ kg}$$

- Beban Angin (qW)

Untuk beban angin, diambil dari Bab 4 pasal 4.2.4 beban angin, yang dimana didapatkan beban angin untuk atap adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 14** Pengaruh beban angin pada atap

$$\begin{aligned}
 \text{Pada arah angin datang} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\
 &= 60,8 \text{ N/m}^2 \\
 &= 6,08 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 6,08 \text{ kg/m}^2 < 38 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka angin datang} = 38 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pada arah angin pergi} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= 91 \text{ N/m}^2 \\
 &= 9,1 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 9,1 \text{ kg/m}^2 < 38 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka angin pergi} = 38 \text{ kg/m}^2$$

Maka dipakai beban angin terbesar yakni  $38 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}
 qW &= \text{Jarak gording} \times \text{beban angin} \\
 &= 1,4 \text{ m} \times 38 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 53,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qWX &= qW \cdot \cos \alpha \\
 &= 53,5 \text{ kg/m} \cdot \cos 35^\circ \\
 &= 43,85 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qWY &= qW \cdot \cos \alpha \\
 &= 53,5 \text{ kg/m} \cdot \sin 35^\circ \\
 &= 30,71 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

### b. Atap 2

- Beban Mati (qDL)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Berat atap (q} \times b) = 1,35\text{m} \times 5\text{kg/m}^2 &=& 6,76\text{kg/m} \\
 \text{Berat gording} &=& 7,5 \text{ kg/m} + \\
 \hline
 \text{qDL} &=& 14,27\text{kg/m} \\
 \text{Berat lain-lain (10\%qDL)} &=& 1,43\text{kg/m} + \\
 \hline
 \text{qDL total} &=& 15,70 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned} qDLX &= qDL \text{ total} \times \cos \alpha \\ &= 15,70 \text{ kg/m} \times \cos 60^\circ \\ &= 7,85 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qDLY &= qDL \text{ total} \times \sin \alpha \\ &= 15,70 \text{ kg/m} \times \sin 60^\circ \\ &= 13,59 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban Hidup (qLL)

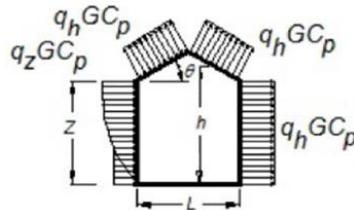
Beban pekerja (terpusat)

$$\begin{aligned} PLX &= 1,33 \text{ kN} \times \cos \alpha \\ &= 1,33 \text{ kN} \times \cos 60^\circ \\ &= 0,67 \text{ kN} \\ &= 67 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PLY &= 1,33 \text{ kN} \times \sin \alpha \\ &= 1,33 \text{ kN} \times \sin 60^\circ \\ &= 1,15 \text{ kN} \\ &= 115 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban Angin (qW)

Untuk beban angin, diambil dari Bab 4 pasal 4.2.4 beban angin, yang dimana didapatkan beban angin untuk atap adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 15** Pengaruh beban angin pada atap

$$\begin{aligned} \text{Pada arah angin datang} &= qz \cdot G \cdot Cp \\ &= 93,1 \text{ N/m}^2 \\ &= 9,31 \text{ kg/m}^2 \\ &= 9,31 \text{ kg/m}^2 < 38 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Maka angin datang

$$= 38 \text{ kg/m}^2$$

Pada arah angin pergi

$$\begin{aligned} &= qh \cdot G \cdot Cp \\ &= 93 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 9,3 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 9,3 \text{ kg/m}^2 < 38 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Maka angin pergi} &= 38 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Maka dipakai beban angin terbesar yakni } &38 \text{ kg/m}^2 \\
 q_W &= \text{Jarak gording } x \text{ beban angin} \\
 &= 1,35 \text{ m} \times 38 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 51,4 \text{ kg/m} \\
 q_{WX} &= q_W \cdot \cos \alpha \\
 &= 51,4 \text{ kg/m} \cdot \cos 60^\circ \\
 &= 25,69 \text{ kg/m} \\
 q_{WY} &= q_W \cdot \sin \alpha \\
 &= 51,4 \text{ kg/m} \cdot \sin 60^\circ \\
 &= 44,49 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

### C. Perhitungan Momen

Untuk momen yang terjadi pada arah y, terdapat perletakan pada daerah kuda-kuda dan titik yang diberi penggantung gording, namun untuk arah x hanya ada perletakan pada kuda-kuda.

#### a. Atap 1

- Momen akibat beban mati :

$$\begin{aligned}
 M_{DLX} &= 1/8 \cdot q_{DLX} \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 13,11 \text{ kg/m} \cdot (4,5\text{m})^2 \\
 &= 33,191 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{DLY} &= 1/8 \cdot q_{DLY} \cdot (L/2)^2 \\
 &= 1/8 \cdot 9,18 \text{ kg/m} \cdot (4,5\text{m}/2)^2 \\
 &= 2,58 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned}
 M_{LLX} &= 1/4 \cdot P_{LX} \cdot L \\
 &= 1/4 \cdot 108,95 \text{ kg} \cdot 4,5\text{m} \\
 &= 122,62 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{LLY} &= 1/4 \cdot P_{LX} \cdot (L/2) \\
 &= 1/4 \cdot 76 \text{ kg} \cdot (4,5\text{m}/2) \\
 &= 42,91 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban angin :

$$M_{Wx} = 1/8 \cdot q_{Wx} \cdot L^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 1/8 \cdot 43,85 \text{ kg/m} \cdot (4,5\text{m})^2 \\
 &= 111,0 \text{ kg.m} \\
 M_{WY} &= 1/8 \cdot qW_Y \cdot (L/2)^2 \\
 &= 1/8 \cdot 30,71 \text{ kg/m} \cdot (4,5\text{m}/2)^2 \\
 &= 19,43 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

### b. Atap 2

- Momen akibat beban mati :

$$\begin{aligned}
 M_{DLX} &= 1/8 \cdot qDL_X \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 7,85 \text{ kg/m} \cdot (4,5\text{m})^2 \\
 &= 19,87 \text{ kg.m} \\
 M_{DLY} &= 1/8 \cdot qDL_Y \cdot (L/2)^2 \\
 &= 1/8 \cdot 13,59 \text{ kg/m} \cdot (4,5\text{m}/2)^2 \\
 &= 8,60 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned}
 M_{LLX} &= 1/4 \cdot PL_X \cdot L \\
 &= 1/4 \cdot 67 \text{ kg} \cdot 4,5\text{m} \\
 &= 61,28 \text{ kg.m} \\
 M_{LLY} &= 1/4 \cdot PL_X \cdot (L/2) \\
 &= 1/4 \cdot 115 \text{ kg} \cdot (4,5\text{m}/2) \\
 &= 64,79 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban angin :

$$\begin{aligned}
 M_{Wx} &= 1/8 \cdot qW_x \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 25,69 \cdot (4,5\text{m})^2 \\
 &= 65,02 \text{ kg.m} \\
 M_{WY} &= 1/8 \cdot qW_x \cdot (L/2)^2 \\
 &= 1/8 \cdot 24,49 (4,5\text{m}/2)^2 \\
 &= 112,62 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

### D. Perhitungan Momen Ultimate

Untuk perhitungan beban ultimate yang terjadi pada gording, diambil momen terbesar dari Atap 1 atau Atap 2 dan dihitung sebagai berikut:

#### a. Atap 1

- $M_u = 1,4D$
- Arah X
- $$M_{ux} = 1,4x(33,19 \text{ kg.m})$$

$$= 46,47 \text{ kg.m}$$

Arah Y

$$\text{Muy} = 1,4x(2,58 \text{ kg.m})$$

$$= 3,61 \text{ kg.m}$$

- $\text{Mu} = 1,2D + 1,6L + 0,5W$

Arah X

$$\text{Mux} = 1,2(33,19 \text{ kg.m}) + 1,6(122,62 \text{ kg.m}) +$$

$$0,5(110 \text{ kg.m})$$

$$= 291,4 \text{ kg.m}$$

Arah Y

$$\text{Muy} = 1,2(2,58 \text{ kg.m}) + 1,6(42,91 \text{ kg.m}) +$$

$$0,5(19,43 \text{ kg.m})$$

$$= 81,5 \text{ kg.m}$$

### b. Atap 2

- $\text{Mu} = 1,4D$

Arah X

$$\text{Mux} = 1,4x(19,87 \text{ kg.m})$$

$$= 27,81 \text{ kg.m}$$

Arah Y

$$\text{Muy} = 1,4x(8,60 \text{ kg.m})$$

$$= 12,04 \text{ kg.m}$$

- $\text{Mu} = 1,2D + 1,6L + 0,5W$

Arah X

$$\text{Mux} = 1,2(19,87 \text{ kg.m}) + 1,6(61,28 \text{ kg.m}) +$$

$$0,5(65,02 \text{ kg.m})$$

$$= 154,4 \text{ kg.m}$$

Arah Y

$$\text{Muy} = 1,2(8,60 \text{ kg.m}) + 1,6(64,79 \text{ kg.m}) +$$

$$0,5(112,62 \text{ kg.m})$$

$$= 170,3 \text{ kg.m}$$

### E. Kontrol Momen Nominal

Diketahui momen maksimum

$$\text{Mux} = 291,4 \text{ kg.m}$$

$$\text{Muy} = 170,3 \text{ kg.m}$$

Digunakan material BJ 37

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

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

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1b, yakni sebagai berikut:

a. Untuk Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{tf} = \frac{50mm}{3,2mm} = 15,63$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1,0 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 28,87$$

Karena nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ , maka penampang ini memiliki sayap tidak kompak.

b. Untuk Badan

$$\lambda = \frac{hw}{tw} = \frac{150mm}{3,2mm} = 46,88$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 108,54$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 164,54$$

karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki badan kompak.

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika terdapat satu nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk penampang non-kompak. Untuk profil berbentuk kanal, maka untuk momen nominal profil dihitung berdasarkan SNI 1729:2015 Pasal F3, yakni sebagai berikut:

a. Menghitung momen nominal akibat peleahan

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

Untuk nilai  $Z_x$  adalah

$$Z_x = 44200 \text{ mm}^3$$

Maka:

$$\begin{aligned}M_n &= 240 \text{ MPa} \times 44200 \text{ mm}^3 \\&= 106080000 \text{ N.mm} \\&= 1060,8 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

- b. Menghitung momen nominal akibat tekuk torsional.

Diketahui, panjang antar pengaku  $L_b = 4500 \text{ mm}$

Menghitung nilai  $L_p$ :

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\&= 1,76 \times 27,1 \text{ mm} \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} \\&= 1376,86 \text{ mm} \\L_r &= 1,95 \times rts \times \frac{E}{0,7 \cdot f_y} \times \\&\quad \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h}\right)^3 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot f_y}{E}\right)^2}}\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}r_{ts}^2 &= \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{540000 \text{ mm}^4 \times (2,61 \times 10^9) \text{ mm}^6}}{44200 \text{ mm}^3} \\&= 849,4 \text{ mm}^2 \\r_{ts} &= \sqrt{849,4 \text{ mm}^2} \\&= 29,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menghitung koefisien  $c$ :

$$\begin{aligned}c &= \frac{h}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} = \frac{150 \text{ mm}}{2} \sqrt{\frac{540000 \text{ mm}^4}{2,608 \times 10^9 \text{ mm}^6}} \\&= 1,08\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}L_r &= 1,95 \times 29,1 \times \frac{200000}{0,7 \times 240} \times \\&\quad \sqrt{\frac{3265 \times 1,08}{44200 \cdot 150} + \sqrt{\left(\frac{3265 \times 1,08}{44200 \cdot 150}\right)^3 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times 240}{200000}\right)^2}} \\&= 3172,63 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena nilai  $L_b > L_r \rightarrow 4500 \text{ mm} > 3172,63 \text{ mm}$

Maka berdasarkan SNI 1729:2015 Pasal F2.2:

$$M_n = F_{cr} \cdot Sx \leq M_p$$

Dimana :

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{Lb}{rts}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J \cdot c}{Sx \cdot ho} \left(\frac{Lb}{rts}\right)^2}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC}$$

$$q_{tot} = qWx + qDLx$$

### Atap 1

$$\begin{aligned} q_{tot} &= 43,85 \text{ kg/m} + 13,1 \text{ kg/m} \\ &= 57 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### Atap 2

$$\begin{aligned} q_{tot} &= 7,85 \text{ kg/m} + 25,69 \text{ kg/m} \\ &= 33,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{tot} &= (q_{tot} \times L) + Phidup \\ &= (57 \text{ kg/m} \times 4,5 \text{ m}) + 108,85 \text{ kg} \\ &= 365 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_A = V_B = \frac{V_{total}}{2} = \frac{365 \text{ kg}}{2} = 183 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} MA &= \text{Momen } \frac{1}{4} L \\ &= [V_A \cdot (L/4)] - [\frac{1}{2} \cdot q_{tot} \cdot (L/4)^2] \\ &= [183 \text{ kg} \cdot 4,5 \text{ m}/4] - [\frac{1}{2} \cdot 57 \text{ kg/m} \cdot (4,5 \text{ m}/4)^2] \\ &= 169 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MB &= \text{Momen } \frac{1}{2} L \\ &= [V_A \cdot (L/2)] - [\frac{1}{2} \cdot q_{tot} \cdot (L/2)^2] \\ &= [183 \text{ kg} \cdot 4,5 \text{ m}/2] - [\frac{1}{2} \cdot 57 \text{ kg/m} \cdot (4,5 \text{ m}/2)^2] \\ &= 267 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MC &= \text{Momen } \frac{1}{4} L \\ &= [V_B \cdot (L/4)] - [\frac{1}{2} \cdot q_{tot} \cdot (L/4)^2] \\ &= [183 \text{ kg} \cdot 4,5 \text{ m}/4] - [\frac{1}{2} \cdot 57 \text{ kg/m} \cdot (4,5 \text{ m}/4)^2] \\ &= 169 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{max} = 267 \text{ kg.m}$$

Maka nilai Cb :

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC}$$

$$= \frac{12,5 \times 267 \text{ kg.m}}{[(2,5 \times 267) + (3.169) + (4.267) + (3.169)] \text{ kg.m}}$$

$$= 1,21$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{Lb}{rts}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J \cdot c}{Sx \cdot ho} \left(\frac{Lb}{rts}\right)^2} \\ &= \frac{1,21 \cdot \pi^2 \cdot 200000 \text{ MPa}}{\left(\frac{4500 \text{ mm}}{29,1 \text{ mm}}\right)^2} \times \\ &\quad \sqrt{1 + 0,078 \frac{3265 \text{ mm}^2 \times 1,02}{44200 \text{ mm}^3 \times 146,8 \text{ mm}} \left(\frac{4500 \text{ mm}}{29,1 \text{ mm}}\right)^2} \\ &= 142 \text{ MPa} \\ Mn &= F_{cr} \cdot Sx \\ &= 142 \text{ MPa} \times 44200 \text{ mm}^3 \\ &= 6292851,9 \text{ Nmm} \\ &= 629,28 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} Mn &\leq Mp \\ 629,28 \text{ kgm} &\leq 1060,8 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- c. Menghitung momen nominal akibat tekuk lokal sayap tekan

$$\begin{aligned} Mn &= Mp - \left[ (Mp - 0,7 \times fy \times Sx) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \\ &= (1,06 \times 10^7) \text{ Nmm} - \\ &\quad \left[ ((1,06 \times 10^7) \text{ Nmm} - 0,7 \times 240 \text{ MPa} \times \right. \\ &\quad \left. 44200 \text{ mm}^3) \times \left( \frac{20,3 - 11}{28,87 - 11} \right) \right] \\ &= 8946758,2 \text{ Nmm} \\ &= 894,68 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Untuk momen nominal, diambil yang paling kecil diantara Mn akibat pelelehan, Mn akibat tekuk torsional dan Mn akibat tekuk lokal sayap tekan, sehingga didapatkan nilai  $Mn = 629,28 \text{ kgm}$

Cek :

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 629,28 \text{ kgm} \geq 291,4 \text{ kgm}$$

$$566,4 \text{ kgm} \geq 291,4 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, untuk gording digunakan profil LC.150.65.20.3,2

## 2. Perhitungan Pengantug Gording

### A. Data Perencanaan

Untuk data-data yang diketahui adalah sebagai berikut:

Jumlah pengantung gording = 1 buah

Jarak pengantung gording (L) = 2,25 m

$f_y = 240 \text{ MPa} = 2400 \text{ kg/cm}^2$

$f_u = 370 \text{ MPa} = 3700 \text{ kg/cm}^2$

#### Atap 1

Jarak antar gording (b) = 1,40 m

Jumlah gording yang ditumpu (N) = 2 buah

Beban mati pada gording (arah Y) = 2,58 kg/m

Beban hidup pada gording (arah Y) = 76,28 kg

Beban angin pada gordig (arah Y) = 30,71 kg/m

#### Atap 2

Jarak antar gording (b) = 1,40 m

Jumlah gording yang ditumpu (N) = 3 buah

Beban mati pada gording (arah Y) = 13,59 kg/m

Beban hidup pada gording (arah Y) = 115,18 kg

Beban angin pada gordig (arah Y) = 44,49 kg/m

### B. Perhitungan Pembebanan

#### a. Atap 1

- Beban mati

$$R_{DLtot} = L \cdot q_{Dy} \cdot N$$

$$= 2,25 \text{ m} \times 2,58 \text{ kg/m} \times 2$$

$$= 11,61 \text{ kg}$$

- Beban hidup

$$R_{LLtot} = p_{LL} \cdot N$$

$$\begin{aligned}
 &= 76,28 \text{ kg/m} \times 2 \\
 &= 152,56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban angin

$$\begin{aligned}
 R_{WLtot} &= L \cdot q_{WL} \cdot N \\
 &= 2,25\text{m} \times 30,71\text{kg/m} \times 2 \\
 &= 138,19 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### b. Atap 2

- Beban mati

$$\begin{aligned}
 R_{DLtot} &= L \cdot q_{Dy} \cdot N \\
 &= 2,25\text{m} \times 13,59\text{kg/m} \times 3 \\
 &= 91,73 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned}
 R_{LLtot} &= p_{LL} \cdot N \\
 &= 115,18 \text{ kg/m} \times 3 \\
 &= 345,54 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban angin

$$\begin{aligned}
 R_{WLtot} &= L \cdot q_{WL} \cdot N \\
 &= 2,25\text{m} \times 44,49\text{kg/m} \times 3 \\
 &= 300,33 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### C. Kombinasi Pembebanan

Untuk kombinasi pembebanannya:

$$\begin{aligned}
 Tu &= 1,4D \\
 &= 1,4(91,73 \text{ kg}) \\
 &= 128,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Tu &= 1,2D+1,6L+0,5W \\
 &= 1,2(91,73\text{kg}) + 1,6(345,54\text{kg}) + 0,5(300,33) \\
 &= 813 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### D. Perencanaan Dimensi Penggantung Gording

Luas Penggantung gording (A)

$$Tu = 813 \text{ kg} = 8131,45 \text{ N}$$

$$A = \frac{Tu}{fy} = \frac{8131,45N}{240 \text{ MPa}} = 33,88 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai penggantung gording Ø10, dengan Ag yaitu:

$$A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 78,6 \text{ mm}^2$$

Cek :

$$A_g > A$$

$$78,6 \text{ mm}^2 > 33,88 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

### E. Kontrol Kekuatan Penampang

Gaya tarik ultimate (Tu) = 8131,45 N

Gaya tarik nominal (SNI 1729:2015 Pasal D2)

a. Untuk leleh tarik penampang bruto,  $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} P_n &= \phi \cdot f_y \cdot A_g \\ &= 0,9 \times 240 \text{ MPa} \times 78,6 \text{ mm}^2 \\ &= 16971,429 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$P_n > Tu$$

$$16971,429 \text{ N} > 8131,45 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Tinjauan untuk putus,  $\phi = 0,75$

$$P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

Dimana:

$$A_e = A_n \cdot U$$

$$U = 1,0 \text{ (SNI 03-1729-2015 Tabel D3.1)}$$

$$A_n = A_g = 78,6 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 78,6 \text{ mm}^2 \times 1,0$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_n &= 0,75 \times 370 \text{ MPa} \times 78,6 \text{ mm}^2 \\ &= 21803,57 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$P_n > Tu$$

$$21803,57 \text{ N} > 8131,45 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, untuk penggantung gording dipakai tulangan Ø10.

### 3. Perhitungan Ikatan Angin

#### A. Data Perencanaan

Untuk data-data yang diketahui adalah sebagai berikut:

$$\text{Pengaruh beban angin (W)} = 38 \text{ kg/m}^2$$

Pengaruh angin datang (C) = 0,8

### Atap 1

Jarak antar gording (b) = 1,41 m

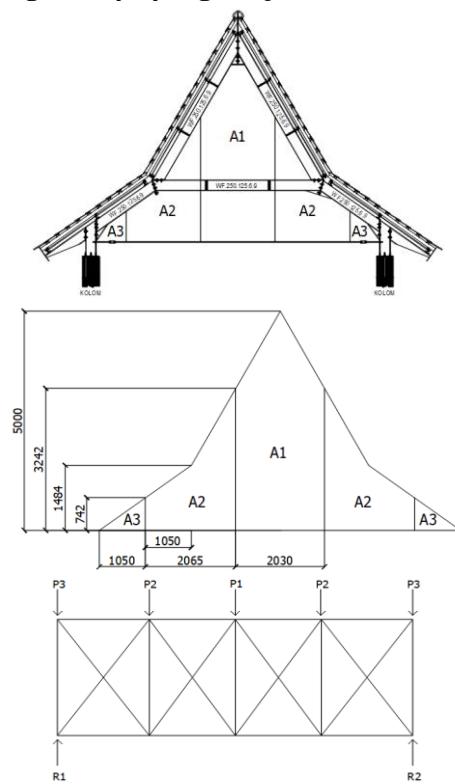
Sudut kemiringan =  $35^\circ$

### Atap 2

Jarak antar gording (b) = 1,35 m

Sudut kemiringan =  $60^\circ$

## B. Perhitungan Gaya yang Terjadi



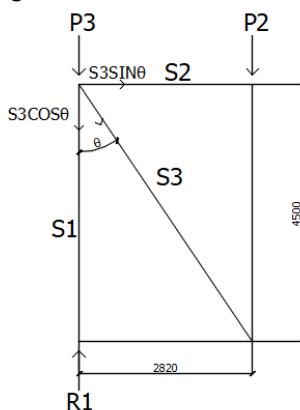
**Gambar 4. 16** Luas pengaruh gaya angin

a. Menghitung luas dinding

- $A1 = \frac{5m+3,24m}{2} \times 1,015m \times 2 = 8,36 \text{ m}^2$
- $A2 = \frac{1,48m+3,24m}{2} \times 1,015m = 2,4 \text{ m}^2$   
 $= \frac{1,48m+0,74m}{2} \times 1,050m = 1,17 \text{ m}^2 +$   
 $= 3,57 \text{ m}^2$
- $A3 = \frac{0,74m}{2} \times 1,050m = 0,28 \text{ m}^2$

b. Perhitungan gaya

- $P1 = A1 \cdot W \cdot C$   
 $= 8,36 \text{ m}^2 \times 38 \text{ kg/ m}^2 \times 0,8$   
 $= 254 \text{ kg}$
- $P2 = A2 \cdot W \cdot C$   
 $= 3,57 \text{ m}^2 \times 38 \text{ kg/ m}^2 \times 0,8$   
 $= 108 \text{ kg}$
- $P3 = A1 \cdot W \cdot C$   
 $= 0,28 \text{ m}^2 \times 38 \text{ kg/ m}^2 \times 0,8$   
 $= 8,46 \text{ kg}$
- $R1 = (0,5P1) + P2 + P3$   
 $= (0,5 \times 254 \text{ kg}) + 108 \text{ kg} + 8,46 \text{ kg}$   
 $= 244 \text{ kg}$



Gambar 4. 17 Reaksi perletakan ikatan angin

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{2,82m}{4,5} \right) = 32,07^\circ$$

Ditinjau dari titik simpul A

$$\Sigma V = 0$$

$$S3 \cos \theta = R1 + S1 + P3$$

Ditinjau dari titik simpul B

$$\Sigma V = 0$$

$$R1 - S1 = 0$$

$$S1 = 244 \text{ kg}$$

Sehingga:

$$S3 \cos \theta = R1 + S1 + P3$$

$$S3 = \frac{244 \text{ kg} + 244 \text{ kg} + 8,46 \text{ kg}}{\cos 32,07}$$

$$S3 = 585,87 \text{ kg} \text{ (Tarik)}$$

### C. Perencanaan Batang Tarik Ikatan Angin

Luas ikatan angin (A)

$$Tu = 585,87 \text{ kg} = 5858,7 \text{ N}$$

$$A = \frac{Tu}{f_y} = \frac{5858,7 \text{ N}}{240 \text{ MPa}} = 24,4 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai ikatan angin Ø16, dengan Ag yaitu:

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Cek :

$$Ag > A$$

$$201 \text{ mm}^2 > 24,4 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

### D. Kontrol Kekuatan Penampang

Gaya tarik ultimate (Tu) = 5858,7 N

Gaya tarik nominal (SNI 1729:2015 Pasal D2)

a. Untuk leleh tarik penampang bruto,  $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} Pn &= \phi \cdot f_y \cdot Ag \\ &= 0,9 \times 240 \text{ MPa} \times 201 \text{ mm}^2 \\ &= 43446,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$Pn > Tu$$

$$43446,8 \text{ N} > 5858,7 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Tinjauan untuk putus,  $\phi = 0,75$

$$P_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

Dimana:

$$A_e = A_n \cdot U$$

$$U = 1,0 \text{ (SNI 03-1729-2015 Tabel D3.1)}$$

$$A_n = A_g = 201 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 201 \text{ mm}^2 \times 1,0 = 201 \text{ mm}^2$$

Maka,

$$P_n = 0,75 \times 370 \text{ MPa} \times 201 \text{ mm}^2$$

$$= 55817,1 \text{ N}$$

Cek :

$$P_n > T_u$$

$$55817,1 \text{ N} > 8131,45 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

**Maka, untuk ikatan angin dipakai tulangan Ø16.**

#### 4. Perhitungan Kuda-kuda

##### A. Data Perencanaan

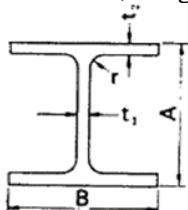
Diketahui:

$$\text{Jarak antar kuda-kuda} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Bentang kuda-kuda} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Berat penutup atap} = 5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat gording} = 7,51 \text{ kg/m}^2$$



**Gambar 4. 18** Ukuran dan dimensi baja WF

Diketahui dari WF250.125.6.9 :

$$W = 36,7 \text{ kg/m} \quad A_g = 37,66 \text{ cm}^2$$

$$A = 250 \text{ mm} \quad I_x = 4050 \text{ cm}^4$$

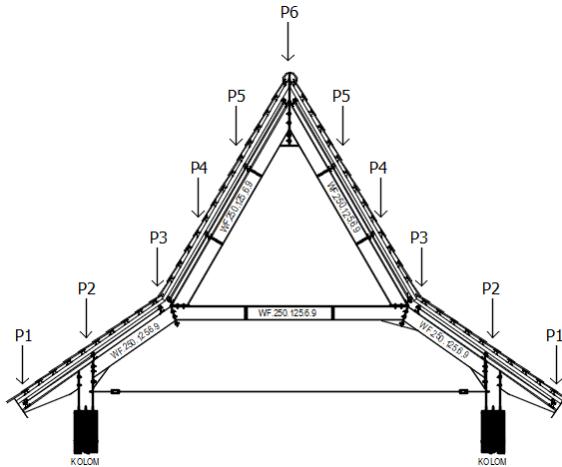
$$B = 125 \text{ mm} \quad I_y = 294 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 6 \text{ mm} \quad i_x = 10,4 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} t_f &= 9 \text{ mm} \\ S_x &= 324 \text{ cm}^3 \\ S_y &= 47 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_y &= 2,79 \text{ cm} \\ r &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Pembebaan



**Gambar 4. 19** Gaya yang terjadi pada kuda-kuda

### a. Beban mati

#### Atap 1

P1,P3 :

$$\begin{aligned} \text{Berat Penutup Atap} &: 5\text{kg/m}^2 \cdot 4,5\text{m} \cdot 0,7\text{m} = 15,84 \text{ kg} \\ \text{Berat Gording} &: 7,51 \text{ kg/m} \cdot 4,5\text{m} = 33,79 \text{ kg} + \end{aligned}$$

$$Q_d = 49,64 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat lain-lain (10%.Qd)} &= 4,96 \text{ kg} + \\ Q_{dt} &= 54,60 \text{ kg} \end{aligned}$$

P2 :

$$\begin{aligned} \text{Berat Penutup Atap} &: 5\text{kg/m}^2 \cdot 4,5\text{m} \cdot 1,4\text{m} = 31,69 \text{ kg} \\ \text{Berat Gording} &: 7,51 \text{ kg/m} \cdot 4,5\text{m} = 33,79 \text{ kg} + \end{aligned}$$

$$Q_d = 65,49 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat lain-lain (10%.Qd)} &= 6,54 \text{ kg} + \\ Q_{dt} &= 72,04 \text{ kg} \end{aligned}$$

## Atap 2

P4,P5,P6 :

$$\text{Berat Penutup Atap} : 5\text{kg/m}^2 \cdot 4,5\text{m} \cdot 1,35\text{m} = 30,42 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Gording} : 7,51 \text{ kg/m} \cdot 4,5\text{m} = 33,79 \text{ kg} + \\ Qd = 64,21 \text{ kg}$$

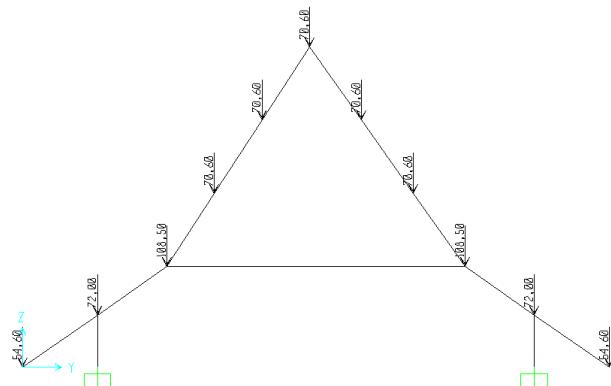
$$\text{Berat lain-lain} (10\% \cdot Qd) = 6,42 \text{ kg} + \\ Qdt = 70,63 \text{ kg}$$

P3 :

$$\text{Berat Penutup Atap} : 5\text{kg/m}^2 \cdot 4,5\text{m} \cdot 0,68\text{m} = 15,21 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Gording} : 7,51 \text{ kg/m} \cdot 4,5\text{m} = 33,79 \text{ kg} + \\ Qd = 49,00 \text{ kg}$$

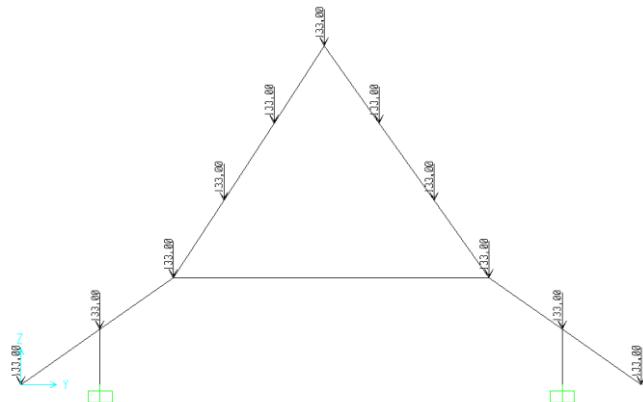
$$\text{Berat lain-lain} (10\% \cdot Qd) = 4,90 \text{ kg} + \\ Qdt = 53,90 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 20** Beban mati yang terjadi pada kuda-kuda

### b. Beban hidup

Untuk beban hidup yang ada, yakni beban hidup pekerja sebesar  $1,33 \text{ kN} = 133 \text{ kg}$



**Gambar 4. 21** Beban hidup yang terjadi pada kuda-kuda

### c. Beban angin

Beban angin yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban angin pada arah datang} = 38,0 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban angin pada arah pergi} = -38,0 \text{ kg/m}^2$$

#### Atap 1

P1,P3 :

$$\begin{aligned} \text{Angin datang} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 0,70\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 120,45\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin pergi} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 0,70\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 120,45\text{kg} \end{aligned}$$

P2 :

$$\begin{aligned} \text{Angin datang} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 1,41\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 240,90\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin pergi} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 1,41\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 240,90\text{kg} \end{aligned}$$

**Atap 2**

P4,P5,P6 :

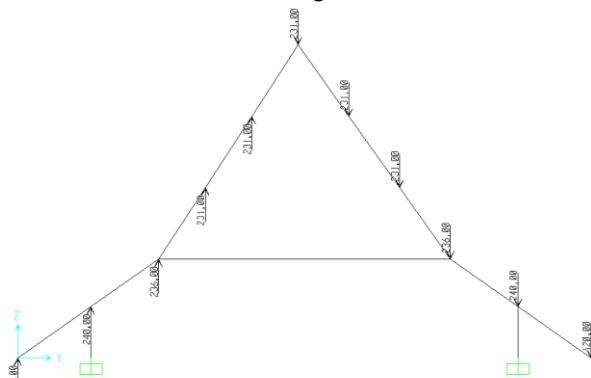
$$\begin{aligned}\text{Angin datang} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 1,35\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 231,19\text{kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Angin pergi} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 1,35\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 231,19\text{kg}\end{aligned}$$

P3 :

$$\begin{aligned}\text{Angin datang} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 0,68\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 115,59\text{kg}\end{aligned}$$

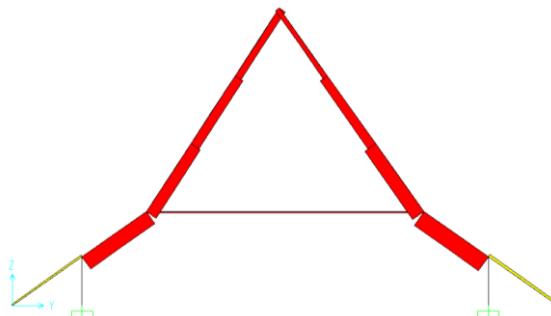
$$\begin{aligned}\text{Angin pergi} &= 38 \text{ kg/m}^2 \times 0,68\text{m} \times 4,5\text{m} \\ &= 115,59\text{kg}\end{aligned}$$



**Gambar 4. 22** Beban angin yang terjadi pada kuda-kuda

### C. Gaya yang Terjadi Pada Kuda-kuda

Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada kuda-kuda, digunakan SAP 2000 v.14 dengan (Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5W) sebagai berikut :



**Gambar 4. 23** Diagram gaya aksial pada kuda-kuda

#### Gaya geser maksimum

$$V_u = 903,66 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 24** Diagram geser maksimum pada kuda-kuda

#### Momen maksimum

$$M_u = 751,86 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 25** Diagram momen maksimum pada kuda-kuda

#### Gaya aksial maksimum

$$P_u = 1470,90 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 26** Diagram aksial maksimum pada kuda-kuda

## D. Perhitungan Tekan Nominal

Diketahui:

$$P_u = 1470,90 \text{ kg}$$

$$A_g = 37,7 \text{ cm}^2$$

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

Panjang antar pengaku lateral = jarak antar gording

$$= 1,4 \text{ m}$$

$$= 1408,77 \text{ mm}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015

Tabel B4.1a, yakni sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{125 \text{ mm}}{2 \times 9 \text{ mm}} = 6,94$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 16,2$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk elemen non-langsing. Sehingga untuk perhitungan tekan nominal mengikuti SNI 03-1729-2015 Pasal E3 (tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing).

a. Kearah sumbu X

- Hitung faktor kelngsingan

Faktor panjang efektif,  $k = 1,0$  (sendi-sendi)

$$k \cdot L = 1,0 \times 1408,7 \text{ mm} = 1408,7 \text{ mm}$$

$$\frac{k \cdot L}{r_x} = \frac{1408,7 \text{ mm}}{104 \text{ mm}} = 13,5 < 200$$

- Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

Untuk perhitungan nominal terfaktor batang tekan elemen non-langsing berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal E3:

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka nilai Fcr yang dipakai adalah :

$$Fcr = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y$$

Dimana:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k \cdot L}{r_x}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 200000 MPa}{(13,5)^2} \\ &= 10766,23 MPa \end{aligned}$$

Sehingga:

$$Fcr = \left[ 0,658^{\frac{240 MPa}{10766,23 MPa}} \right] \times 240 MPa$$

$$= 237,7 MPa$$

$$\begin{aligned} P_n &= Fcr \times A_g \\ &= 237,7 MPa \times 3770 mm^2 \\ &= 895446,12 N \\ &= 89544,6 kg \end{aligned}$$

### b. Kearah sumbu Y

- Hitung faktor kelngsingan

Faktor panjang efektif, k = 1,0 (sendi-sendi)

$$k \cdot L = 1,0 \times 1408,7 mm = 1408,7 mm$$

$$\frac{k \cdot L}{r_y} = \frac{1408,7 mm}{27,9 mm} = 50,5 < 200$$

- Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

Untuk perhitungan nominal terfaktor batang tekan elemen non-langsing berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal E3:

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000 MPa}{240 MPa}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{r_y} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka nilai Fcr yang dipakai adalah :

$$Fcr = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y$$

Dimana:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k \cdot L}{r_x}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 200000 MPa}{(50,5)^2} \\ &= 774,83 MPa \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} Fcr &= \left[ 0,658^{\frac{240 Mpa}{774,83 MPa}} \right] \times 240 MPa \\ &= 210,8 MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= Fcr \times A_g \\ &= 210,8 MPa \times 3770 mm^2 \\ &= 793940,0 N \\ &= 793940 kg \end{aligned}$$

Maka untuk kuat tekan nominal batang, diambil nilai yang paling kecil, sehingga didapatkan:

$$P_n = 79394,00 kg$$

$$\varnothing \cdot P_n = 0,9 \times 79394,00 kg = 71454,6 kg$$

Cek :

$$\varnothing \cdot P_n > P_u$$

$$71454,6 kg > 1470,9 kg \quad (\text{memenuhi})$$

## E. Perhitungan Momen Nominal

Diketahui momen maksimum

$$M_{max} = 751,86 kg \cdot m$$

$$F_u = 370 MPa$$

$$F_y = 240 Mpa$$

$$E = 200000 Mpa$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1b, yakni sebagai berikut:

a. Untuk Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{150 mm}{2 \times 9 mm} = 8,3$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1,0 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 28,87$$

Karena nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ , maka penampang ini memiliki sayap tidak kompak.

- b. Untuk Badan

$$\lambda = \frac{hw}{tw} = \frac{150mm}{3,2mm} = 46,88$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 108,54$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 164,54$$

karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki badan kompak.

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika terdapat satu nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk penampang non-kompak. Untuk profil berbentuk kanal, maka untuk momen nominal profil dihitung berdasarkan SNI 1729:2015 Pasal F3, yakni sebagai berikut:

- a. Menghitung momen nominal akibat peleahan

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

Untuk nilai  $Z_x$  adalah

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{tw(h-2tf)^2}{4} + (h-tf) \cdot tf \cdot bf \\ &= \frac{6mm(250mm-2.9mm)^2}{4} + \\ &\quad (250mm - 9mm) \times 9mm \times 6mm \\ &= 351861 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Maka:

$$M_n = 240\text{MPa} \times 351861\text{mm}^3$$

$$= 84446640 \text{ N.mm}$$

$$= 8444,66 \text{ kg.m}$$

- b. Menghitung momen nominal akibat tekuk torsional lateral.

Diketahui, panjang antar pengaku  $L_b = 1409\text{mm}$

Menghitung nilai  $L_p$ :

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 27,9\text{mm} \sqrt{\frac{200000\text{MPa}}{240\text{MPa}}} \\ &= 1417,5\text{ mm} \end{aligned}$$

Karena nilai  $L_b < L_p \rightarrow 1409\text{ mm} < 1417,5\text{mm}$ , maka berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F2.2.(a), untuk momen nominal akibat tekuk torsional dapat diabaikan.

- c. Menghitung momen nominal akibat tekuk lokal sayap tekan

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - \left[ (M_p - 0,7 \times f_y \times S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \\ &= (8,44 \times 10^7)\text{Nmm} - \\ &\quad \left[ ((8,44 \times 10^7)\text{Nmm} - 0,7 \times 240\text{MPa} \times \right. \\ &\quad \left. 324000\text{mm}^3) \times \left( \frac{8,3 - 10,97}{28,87 - 10,97} \right) \right] \\ &= 91196902,9\text{ Nmm} \\ &= 9119,69\text{ kgm} \end{aligned}$$

Untuk momen nominal, diambil yang paling kecil diantara  $M_n$  akibat peleahan,  $M_n$  akibat tekuk torsional lateral dan  $M_n$  akibat tekuk lokal sayap tekan, sehingga didapatkan nilai  $M_n = 8444,6\text{ kgm}$

Cek :

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 8444,6\text{ kgm} \geq 751,86\text{ kgm}$$

$$7600,14\text{ kgm} \geq 751,86\text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

## F. Perhitungan Geser Nominal

Diketahui Geser maksimum

$$V_{max} = 903,66\text{ kg}$$

Cek kebutuhan pengaku transversal:

Pengaku transversal tidak diperlukan bila

$$\frac{h}{tw} \leq 2,46 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\frac{250mm}{6mm} \leq 2,46 \sqrt{\frac{200000MPa}{240Mpa}}$$

$$41,7 \leq 71,01 \quad (\text{memenuhi})$$

maka komponen struktur tidak memerlukan pengaku transversal. Untuk komponen struktur dengan badan tidak diperkaku, maka perhitungan kekuatan geser berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal G2.1.(a):

$$\frac{h}{tw} = \frac{250mm}{6mm} = 41,7$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000MPa}{240Mpa}} = 64,66$$

Karena nilai  $\frac{h}{tw} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{fy}}$  maka didapatkan

$\phi = 1,0$  dan  $Cv = 1,0$

$$Aw = h \cdot tw = 250mm \times 6mm = 1500mm^2$$

Maka untuk kuat gesernya adalah:

$$Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \cdot Cv$$

$$Vn = 0,6 \times 240MPa \times 1500mm^2 \times 1,0$$

$$= 21600N$$

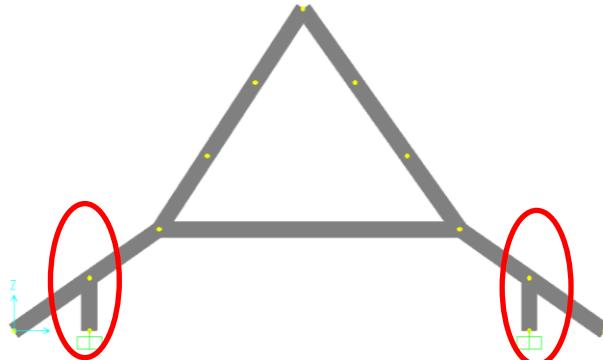
$$= 21600kg$$

Cek :

$$\phi \cdot Vn \geq Vu$$

$$21600 kg \geq 904 kg$$

## 5. Perhitungan Kolom Baja

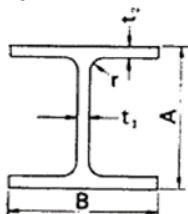


Gambar 4. 27 Kolom baja yang ditinjau

### A. Data Perencanaan

Diketahui :

Panjang kolom = 840mm



Gambar 4. 28 Ukuran dan dimensi baja WF

Diketahui dari WF250.125.6.9 :

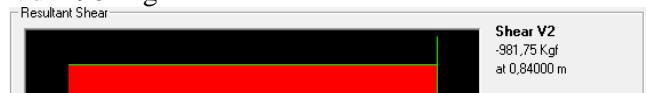
$W = 36,7 \text{ kg/m}$	$A_g = 37,66 \text{ cm}^2$
$A = 250 \text{ mm}$	$I_x = 4050 \text{ cm}^4$
$B = 125 \text{ mm}$	$I_y = 294 \text{ cm}^4$
$t_w = 6 \text{ mm}$	$i_x = 10,4 \text{ cm}$
$t_f = 9 \text{ mm}$	$i_y = 2,79 \text{ cm}$
$S_x = 324 \text{ cm}^3$	$r = 12 \text{ mm}$
$S_y = 47 \text{ cm}^3$	

## B. Gaya yang Terjadi Pada Kolom Kuda-kuda

Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada kolom kuda-kuda, digunakan SAP 2000 v.14 dengan (Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5W) sebagai berikut :

### Gaya geser maksimum

$$V_u = 982 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 29** Diagram geser maksimum pada kolom kuda-kuda

### Momen maksimum

$$M_u = 562,76 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 30** Diagram momen maksimum pada kolom kuda-kuda

### Gaya aksial maksimum

$$P_u = 1718,94 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 31** Diagram aksial maksimum pada kolom kuda-kuda

## C. Perhitungan Tekan Nominal

Diketahui:

$$\begin{aligned} P_u &= 1718,94 \text{ kg} \\ A_g &= 3766 \text{ mm}^2 \\ f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ \text{Panjang kolom} &= 840 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1a, yakni sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{b}{2tf} = \frac{125mm}{2 \times 9mm} = 6,94$$

$$\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 16,2$$

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika nilai  $\lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk elemen non-langsing. Sehingga untuk perhitungan tekan nominal mengikuti SNI 03-1729-2015 Pasal E3 (tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing).

a. Kearah sumbu X

- Hitung faktor kelongsingan

Faktor panjang efektif,  $k = 1,0$  (sendi-sendi)

$$k \cdot L = 1,0 \times 840mm = 840 mm$$

$$\frac{k \cdot L}{r_x} = \frac{840mm}{104mm} = 8,08 < 200$$

- Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

Untuk perhitungan nominal terfaktor batang tekan elemen non-langsing berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal E3:

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka nilai  $F_{cr}$  yang dipakai adalah :

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{f_y}{f_{re}} \right] \cdot f_y$$

Dimana:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{k \cdot L}{r_x} \right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 200000MPa}{(8,08)^2} \end{aligned}$$

$$= 30282,2 \text{ MPa}$$

Sehingga:

$$Fcr = \left[ 0,658^{\frac{240 \text{ MPa}}{30282,2 \text{ MPa}}} \right] \times 240 \text{ MPa}$$

$$= 239,2 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} P_n &= Fcr \times A_g \\ &= 239,2 \text{ MPa} \times 3770 \text{ mm}^2 \\ &= 900846,75 \text{ N} \\ &= 90084,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Kearah sumbu Y

- Hitung faktor kelngsingan

Faktor panjang efektif,  $k = 1,0$  (sendi-sendi)

$$k \cdot L = 1,0 \times 1408,7 \text{ mm} = 1408,7 \text{ mm}$$

$$\frac{k \cdot L}{r_y} = \frac{1408,7 \text{ mm}}{27,9 \text{ mm}} = 30,1 < 200$$

- Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

Untuk perhitungan nominal terfaktor batang tekan elemen non-langsing berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal E3:

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} = 135,97$$

Karena nilai  $\frac{k \cdot L}{r_y} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka nilai Fcr yang dipakai adalah :

$$Fcr = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y$$

Dimana:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{k \cdot L}{r_x} \right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 200000 \text{ MPa}}{(30,1)^2} \\ &= 2179,36 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left[ 0,658^{\frac{240\text{Mpa}}{2179,36\text{MPa}}} \right] \times 240\text{MPa} \\
 &= 229,18 \text{ MPa} \\
 P_n &= F_{cr} \times A_g \\
 &= 229,18 \text{ MPa} \times 3770\text{mm}^2 \\
 &= 863125,32 \text{ N} \\
 &= 86312,53 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka untuk kuat tekan nominal batang, diambil nilai yang paling kecil, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_n &= 86312,53 \text{ kg} \\
 \varnothing \cdot P_n &= 0,9 \times 79394,00 \text{ kg} = 77681,3 \text{ kg} \\
 \text{Cek :} \\
 \varnothing \cdot P_n &> P_u \\
 77681,3 \text{ kg} &> 1718,94 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

#### D. Perhitungan Momen Nominal

Diketahui momen maksimum

$$\begin{aligned}
 M_u &= 562,76 \text{ kg.m} \\
 F_u &= 370 \text{ MPa} \\
 F_y &= 240 \text{ Mpa} \\
 E &= 200000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel B4.1b, yakni sebagai berikut:

a. Untuk Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2 \times tf} = \frac{150\text{mm}}{2 \times 9\text{mm}} = 8,3$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000\text{MPa}}{240\text{MPa}}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1,0 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \times \sqrt{\frac{200000\text{MPa}}{240\text{MPa}}} = 28,87$$

Karena nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ , maka penampang ini memiliki sayap tidak kompak.

b. Untuk Badan

$$\lambda = \frac{hw}{tw} = \frac{250\text{mm}}{6\text{mm}} = 41,7$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 108,54$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \times \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} = 164,54$$

karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka penampang ini memiliki badan kompak.

Berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal B4.1, jika terdapat satu nilai  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$  maka penampang yang dipakai termasuk penampang non-kompak. Untuk profil berbentuk kanal, maka untuk momen nominal profil dihitung berdasarkan SNI 1729:2015 Pasal F3, yakni sebagai berikut:

- a. Menghitung momen nominal akibat peleahan

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

Untuk nilai  $Z_x$  adalah

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{tw(h-2tf)^2}{4} + (h-tf) \cdot tf \cdot bf \\ &= \frac{6mm(250mm-2\times9mm)^2}{4} + \\ &\quad (250mm - 9mm) \times 9mm \times 6mm \\ &= 351861 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} M_n &= 240\text{MPa} \times 351861\text{mm}^3 \\ &= 84446640 \text{ N.mm} \\ &= 8444,66 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- b. Menghitung momen nominal akibat tekuk torsional lateral.

Diketahui, panjang antar pengaku  $L_b = 1409\text{mm}$

Menghitung nilai  $L_p$ :

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 27,9\text{mm} \sqrt{\frac{200000MPa}{240MPa}} \\ &= 1417,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena nilai  $L_b < L_p \rightarrow 1409 \text{ mm} < 1417,5\text{mm}$ , maka berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal F2.2.(a), untuk momen nominal akibat tekuk torsional dapat diabaikan.

- c. Menghitung momen nominal akibat tekuk lokal sayap tekan

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - \left[ (M_p - 0,7 \times f_y \times S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \\ &= (8,44 \times 10^7) \text{ Nmm} - \\ &\quad \left[ ((8,44 \times 10^7) \text{ Nmm} - 0,7 \times 240 \text{ MPa} \times \right. \\ &\quad \left. 324000 \text{ mm}^3) \times \left( \frac{6,94 - 10,97}{28,87 - 10,97} \right) \right] \\ &= 91196902,9 \text{ Nmm} \\ &= 9119,69 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Untuk momen nominal, diambil yang paling kecil diantara  $M_n$  akibat peleahan,  $M_n$  akibat tekuk torsional dan  $M_n$  akibat tekuk lokal sayap tekan, sehingga didapatkan nilai  $M_n = 8444,6 \text{ kgm}$

Cek :

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 8444,6 \text{ kgm} \geq 562,76 \text{ kgm}$$

$$7600,19 \text{ kgm} \geq 562,76 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

## E. Perhitungan Geser nominal

Diketahui Geser maksimum

$$V_{max} = 981,75 \text{ kg}$$

Cek kebutuhan pengaku transversal:

Pengaku transversal tidak diperlukan bila

$$\begin{aligned} \frac{h}{t_w} &\leq 2,46 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \frac{250 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} &\leq 2,46 \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} \end{aligned}$$

$$41,7 \leq 71,01 \quad (\text{memenuhi})$$

maka komponen struktur tidak memerlukan pengaku transversal. Untuk komponen struktur dengan badan

tidak diperkakus, maka perhitungan kekuatan geser berdasarkan SNI 03-1729-2015 Pasal G2.1.(a):

$$\frac{h}{tw} = \frac{250mm}{6mm} = 41,7$$

$$2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000MPa}{240Mpa}} = 64,66$$

Karena nilai  $\frac{h}{tw} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$  maka didapatkan

$$\varnothing = 1,0 \text{ dan } Cv = 1,0$$

$$Aw = h \cdot tw = 250mm \times 6mm = 1500mm^2$$

Maka untuk kuat gesernya adalah:

$$Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \cdot Cv$$

$$Vn = 0,6 \times 240MPa \times 1500mm^2 \times 1,0$$

$$= 216000N$$

$$= 21600kg$$

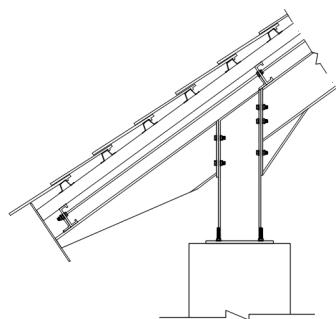
Cek :

$$\varnothing \cdot Vn \geq Vu$$

$$21600 kg \geq 982 kg$$

## 6. Perhitungan Sambungan

### A. Sambungan kuda-kuda dengan kolom



**Gambar 4. 32** Sambungan kuda-kuda dengan kolom

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom adalah sebagai berikut:

### Gaya geser maksimum

$$V_u = 904 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 33** Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom

### Momen maksimum

$$M_u = 752 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 34** Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kolom

#### 1. Perencanaan sambungan baut

Apabila direncanakan:

Tipe	= A32
	(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)
Fnt	= 620 Mpa
f <sub>nv</sub>	= 372 Mpa
Diameter baut, db	= 16 mm
Diameter lubang, do	= 18 mm
	(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)

Jumlah baut	= 6 buah
Mutu plat sambung	= BJ 41
F <sub>y</sub>	= 250 Mpa
F <sub>u</sub>	= 410 Mpa
Tebal plat sambung, tp	= 10 mm
Tinggi plat tambah	= 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729- 2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi

baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 24 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \times 16 \text{ mm} < S < 24 \times 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

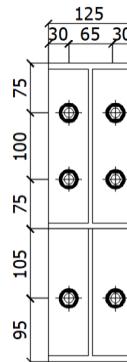
Sehingga diambil nilai  $S = 100 \text{ mm}$

Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan Pasal J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S_1 < 12 \cdot \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S_1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 30 \text{ mm}$



**Gambar 4. 35** Konfigurasi baut pada sambungan

a. Perhitungan akibat geser pada baut

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \text{ Mpa} \left( \frac{1}{4} \cdot \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 74825,14 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 45mm \cdot 10mm \cdot 410MPa \leq$$

$$2,4 \cdot 16mm \cdot 10mm \cdot 410MPa$$

$$R_n = 221400N \leq 157440N$$

Maka dipakai  $R_n$  terkecil

$$R_n = 74825,14 N$$

$$R_n = 7482,514 kg$$

Cek :

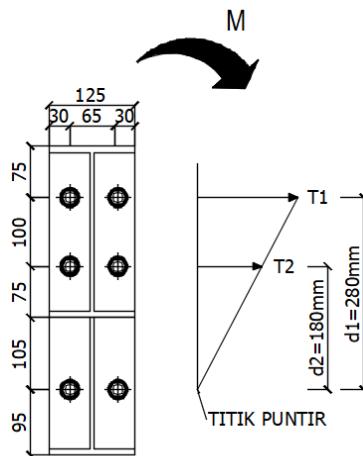
$$\emptyset R_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 7482,51kg \geq 904 kg$$

$$5612 kg \geq 904 kg \quad (\text{memenuhi})$$

- b. Perhitungan akibat momen

$$M_u = 751,9 kgm = 7518600 N.mm$$



**Gambar 4. 36** Momen yang terjadi pada sambungan baut

Menghitung gaya tarik akibat Momen (Tu)

$$\sum dn^2 = (280mm)^2 + (180mm)^2$$

$$\sum dn^2 = 110800 \text{ mm}^2$$

• Untuk T1

$$T1 = \frac{M.d_1}{\sum dn^2} = \frac{7518600 \text{ Nmm} \times 280 \text{ mm}}{110800 \text{ mm}^2} = 19000,07 \text{ N}$$

• Untuk T2

$$T2 = \frac{M.d_1}{\sum dn^2} = \frac{7518600 \text{ Nmm} \times 180 \text{ mm}}{110800 \text{ mm}^2} = 12214,33 \text{ N}$$

Dari perhitungan diatas T yang digunakan T yang terbesar yaitu :

$$Tu = 19000,07 \text{ N}$$

$$Tu = 1900,00 \text{ kg}$$

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut:

$$Rn = Fnt \cdot Ab$$

$$Rn = 620 \text{ Mpa} \left( \frac{1}{4} \cdot \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 124708,57 \text{ N}$$

$$Rn = 12470,85 \text{ kg}$$

Cek :

$$\emptyset Rn \geq Tu$$

$$0,75 \times 12470,85 \text{ kg} \geq 1900,00 \text{ MPa}$$

$$9353,14 \text{ kg} \geq 1900,00 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

## 2. Perencanaan sambungan las sudut

Apabila direncanakan:

$$\text{Tebal plat} \quad = 8 \text{ mm}$$

Sambungan las dengan:

$$\text{Mutu logam pengisi} \quad = \text{FE60xx}$$

$$\text{FEXX} = 4826,3 \text{ kg/cm}^2 \quad = 482,63 \text{ N/mm}^2$$

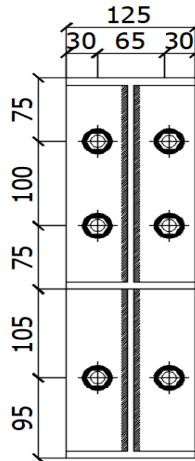
$$\text{tebal minimum las sudut} \quad = 5 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)

$$\text{tebal maksimum las sudut} \quad = 10 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)

$$\text{diambil tebal las pakai} \quad = 6 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 37** Panjang las pada sambungan

Menghitung panjang las (Lw)

$$\begin{aligned} Lw &= 2(250\text{mm} - 2 \times 9\text{mm}) + 2(200\text{mm} - 2 \times 9\text{ mm}) \\ &= 828 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$\begin{aligned} Awe &= Lw \cdot \text{tebal las} \\ &= 828 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 4968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinjauan ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las

$$\begin{aligned} \emptyset.Rn &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot Awe \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 482,63 \text{ N/mm}^2 \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 1078967,63 \text{ N} \end{aligned}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar

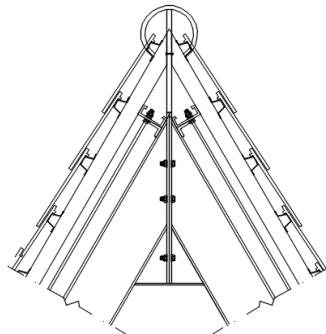
$$\begin{aligned} \emptyset.Rn &= 0,75 \times 0,6 \times f_u \times Awe \\ \emptyset.Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 410 \text{ Mpa} \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 916.596 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai nilai  $\emptyset.Rn$  terkecil yakni = 916596 N  
= 91659,6 kg

Cek :

$$\text{Ø.Rn} > V_u \\ 91.659,6 \text{ kg} > 904 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

### B. Sambungan Kuda-kuda dengan Kuda-kuda



**Gambar 4. 38** Sambungan antar kuda-kuda

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda dengan kuda-kuda adalah sebagai berikut:

#### Gaya geser maksimum

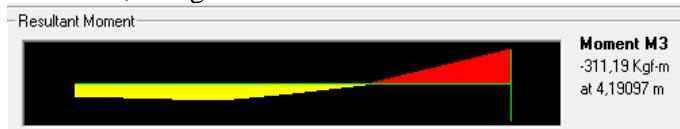
$$V_u = 237 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 39** Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kuda-kuda

#### Momen maksimum

$$M_u = 311,19 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 40** Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kuda-kuda

1. Perencanaan sambungan baut

Tipe = A325  
 (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)

fnt = 620 Mpa

fnv = 372 Mpa

Diameter baut, db = 16 mm

Diameter lubang, do = 18 mm

(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)

Jumlah baut = 6 buah

Mutu plat sambung = BJ 41

Fy = 250 Mpa

Fu = 410 Mpa

Tebal plat sambung, tp = 10 mm

Tinggi plat tambah = 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729- 2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 24 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \times 16 \text{ mm} < S < 24 \times 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

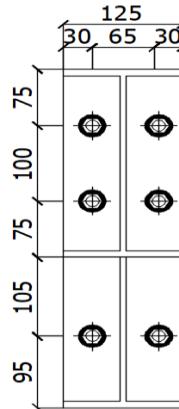
Sehingga diambil nilai S = 100 mm

Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan Pasal J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S_1 < 12 \times \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S_1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 30 \text{ mm}$



**Gambar 4. 41** Konfigurasi baut pada sambungan

a. Perhitungan akibat geser pada baut

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \text{ MPa} \left( \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 74825,14 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 45 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa} \leq \\ 2,4 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa}$$

$$R_n = 221400 \text{ N} \leq 157440 \text{ N}$$

Maka dipakai  $R_n$  terkecil

$$R_n = 74825,14 \text{ N}$$

$$R_n = 7482,514 \text{ kg}$$

Cek :

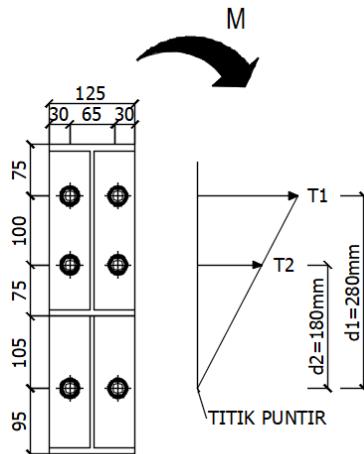
$$\emptyset R_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 7482,51 \text{ kg} \geq 237 \text{ kg}$$

$$5612 \text{ kg} \geq 237 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Perhitungan akibat momen

$$Mu = 311,19 \text{ kg.m} = 3111900 \text{ N.mm}$$



**Gambar 4. 42** Momen yang terjadi pada sambungan baut

Menghitung gaya tarik akibat Momen (Tu)

$$\sum dn^2 = (280\text{mm})^2 + (180\text{mm})^2$$

$$\sum dn^2 = 110800 \text{ mm}^2$$

- Untuk T1

$$T1 = \frac{M.d1}{\sum dn^2} = \frac{3111900\text{Nmm} \times 280\text{mm}}{110800\text{mm}^2} = 7864,00 \text{ N}$$

- Untuk T2

$$T2 = \frac{M.d1}{\sum dn^2} = \frac{3111900\text{Nmm} \times 180\text{mm}}{110800\text{mm}^2} = 5055,43 \text{ N}$$

Dari perhitungan diatas T yang digunakan T yang terbesar

$$Tu = 7864,00 \text{ N}$$

$$Tu = 786,4 \text{ kg}$$

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$R_n = 620 \text{ MPa} \left( \frac{1}{4} \cdot \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 124708,57 \text{ N}$$

$$R_n = 12470,85 \text{ kg}$$

$$\varnothing R_n \geq T_u$$

$$0,75 \times 12470,85 \text{ kg} \geq 786,4 \text{ kg}$$

$$9353,14 \text{ kg} \geq 786,4 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

## 2. Perencanaan sambungan las sudut

Apabila direncanakan:

$$\text{Tebal plat} \quad = 10 \text{ mm}$$

Sambungan las dengan:

$$\text{Mutu logam pengisi} \quad = \text{FE60xx}$$

$$\text{FEXX} = 4826,3 \text{ kg/cm}^2 \quad = 482,63 \text{ N/mm}^2$$

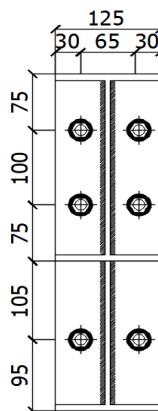
$$\text{tebal minimum las sudut} \quad = 5 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)

$$\text{tebal maksimum las sudut} \quad = 10 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)

$$\text{diambil tebal las pakai} \quad = 6 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 43** Panjang las pada sambungan

Menghitung panjang las (Lw)

$$\begin{aligned} Lw &= 2(250\text{mm} - 2 \times 9\text{mm}) + 2(200\text{mm} - 2 \times 9\text{ mm}) \\ &= 828 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$\begin{aligned} Awe &= Lw \cdot \text{tebal las} \\ &= 828 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 4968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinjauan ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las

$$\varnothing \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot Awe$$

$$\begin{aligned} \varnothing \cdot Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 482,63 \text{ N/mm}^2 \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 1078967,63 \text{ N} \end{aligned}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar

$$\varnothing \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot Awe$$

$$\begin{aligned} \varnothing \cdot Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 410 \text{ Mpa} \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 916.596 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai nilai  $\varnothing \cdot Rn$  terkecil yakni = 916596 N

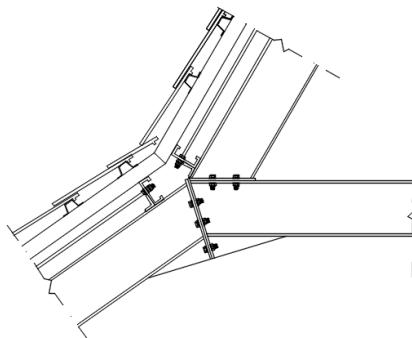
$$= 91659,6 \text{ kg}$$

Cek :

$$\varnothing \cdot Rn > V_u$$

$$91659,6 \text{ kg} > 904 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

### C. Sambungan Kuda-kuda atas dengan Kuda-kuda bawah



**Gambar 4. 44** Sambungan antara kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah adalah sebagai berikut:

#### Gaya geser maksimum

$$Vu = 204 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 45** Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah

#### Momen maksimum

$$Mu = 25,1 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 46** Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah

1. Perencanaan sambungan baut

Tipe = A325  
 (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)

fnt = 620 Mpa

fnv = 372 Mpa

Diameter baut, db = 16 mm

Diameter lubang, do = 18 mm

(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)

Jumlah baut = 4 buah

Mutu plat sambung = BJ 41

Fy = 250 Mpa

Fu = 410 Mpa

Tebal plat sambung, tp = 10 mm

Tinggi plat tambah = 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729- 2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 24 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \times 16 \text{ mm} < S < 24 \times 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

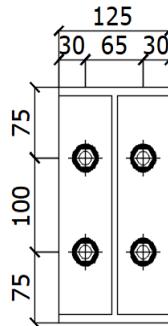
Sehingga diambil nilai S = 100 mm

Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan Pasal J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S_1 < 12 \times \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S_1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 30 \text{ mm}$



**Gambar 4. 47** Konfigurasi baut pada sambungan

a. Perhitungan akibat geser pada baut

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \text{ MPa} \left( \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 74825,14 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 45 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa} \leq 2,4 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa}$$

$$R_n = 221400 \text{ N} \leq 157440 \text{ N}$$

Maka dipakai  $R_n$  terkecil

$$R_n = 74825,14 \text{ N}$$

$$R_n = 7482,514 \text{ kg}$$

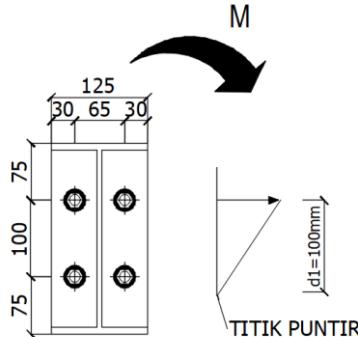
Cek :

$$\emptyset R_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 7482,51 \text{ kg} \geq 204 \text{ kg}$$

$$5612 \text{ kg} \geq 204 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

- b. Perhitungan akibat momen  
 $M_u = 25,06 \text{ kg.m} = 250600 \text{ N.mm}$



**Gambar 4.48** Momen yang terjadi pada sambungan baut

Menghitung gaya tarik akibat Momen (Tu)

$$\sum dn^2 = (100\text{mm})^2$$

$$\sum dn^2 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$Tu = \frac{M.d_1}{\sum dn^2} = \frac{250600Nmm \times 100\text{mm}}{10000\text{mm}^2} = 2506 \text{ N}$$

$$Tu = 250,6 \text{ kg}$$

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$R_n = 620 \text{ MPa} \left( \frac{1}{4} \cdot \pi (16\text{mm})^2 \right) = 124708,57 \text{ N}$$

$$R_n = 12470,85 \text{ kg}$$

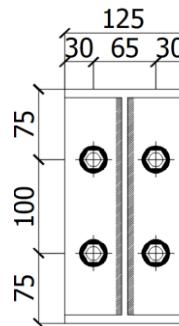
$$\emptyset R_n \geq Tu$$

$$0,75 \times 12470,85 \text{ kg} \geq 250,6 \text{ kg}$$

$$9353,14 \text{ kg} \geq 250,6 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

2. Perencanaan sambungan las sudut  
Apabila direncanakan:

Tebal plat = 10 mm  
 Sambungan las dengan:  
 Mutu logam pengisi = FE60xx  
 $F_{EXX} = 4826,3 \text{ kg/cm}^2 = 482,63 \text{ N/mm}^2$   
 tebal minimum las sudut = 5 mm  
 (SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)  
 tebal maksimum las sudut = 10 mm – 2 mm = 8 mm  
 (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)  
 diambil tebal las pakai = 6 mm



**Gambar 4. 49** Panjang las pada sambungan

Menghitung panjang las (Lw)  
 $Lw = 2(250\text{mm} - 2 \times 9\text{mm}) + 2(200\text{mm} - 2 \times 9 \text{ mm})$   
 = 828 mm

Menghitung luas efektif (Awe):

$$\begin{aligned} Awe &= Lw \cdot \text{tebal las} \\ &= 828 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 4968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinjauan ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las
 
$$\begin{aligned} \emptyset \cdot R_n &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot Awe \\ \emptyset \cdot R_n &= 0,75 \times 0,6 \times 482,63 \text{ N/mm}^2 \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 1078967,63 \text{ N} \end{aligned}$$
- Ketahanan terhadap bahan dasar
 
$$\emptyset \cdot R_n = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot Awe$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot R_n &= 0,75 \times 0,6 \times 410 \text{ Mpa} \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 916.596 \text{ N}\end{aligned}$$

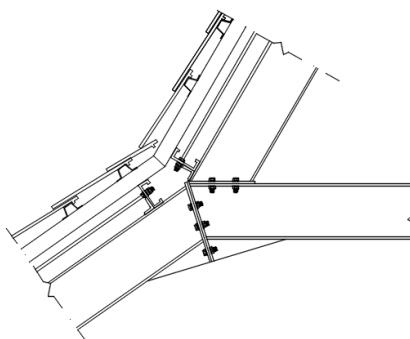
Sehingga dipakai nilai  $\phi \cdot R_n$  terkecil yakni = 916596 N  
= 91659,6 kg

Cek :

$$\phi \cdot R_n > V_u$$

$$91659,6 \text{ kg} > 204 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

#### D. Sambungan Kuda-kuda melintang dengan Kuda-kuda bawah



**Gambar 4. 50** Sambungan antara kuda-kuda melintang dengan kuda-kuda bawah

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda melintang dengan kuda-kuda bawah adalah sebagai berikut:

### Gaya geser maksimum

$$V_u = 132 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 51** Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda melintang dengan kuda-kuda bawah

### Momen maksimum

$$M_u = 170 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 52** Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda atas dengan kuda-kuda bawah

1. Perencanaan sambungan baut

Tipe = A325  
(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)

fnt = 620 Mpa

f nv = 372 Mpa

Diameter baut, db = 16 mm

Diameter lubang, do = 18 mm

(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)

Jumlah baut = 4 buah

Mutu plat sambung = BJ 41

Fy = 250 Mpa

Fu = 410 Mpa

Tebal plat sambung, tp = 10 mm

Tinggi plat tambah = 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729- 2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi

baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 24 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \times 16 \text{ mm} < S < 24 \times 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

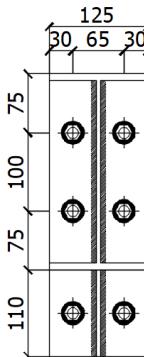
Sehingga diambil nilai  $S = 100 \text{ mm}$

Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan Pasal J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S_1 < 12 \times \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S_1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 30 \text{ mm}$



**Gambar 4. 53** Konfigurasi baut pada sambungan baut

a. Perhitungan akibat geser pada baut

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \text{ Mpa} \left( \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 74825,14 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 45mm \cdot 10mm \cdot 410MPa \leq$$

$$2,4 \cdot 16mm \cdot 10mm \cdot 410MPa$$

$$R_n = 221400N \leq 157440N$$

Maka dipakai  $R_n$  terkecil

$$R_n = 74825,14 N$$

$$R_n = 7482,514 kg$$

Cek :

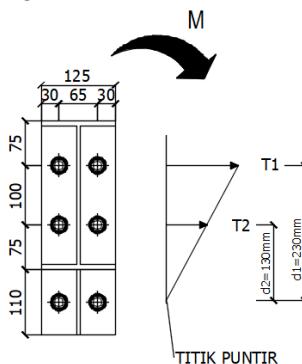
$$\emptyset R_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 7482,51kg \geq 132 kg$$

$$5612 kg \geq 132 kg \quad (\text{memenuhi})$$

- b. Perhitungan akibat momen

$$M_u = 170,02 kg.m = 1702300 N.mm$$



**Gambar 4. 54** Momen yang terjadi akibat sambungan baut

Menghitung gaya tarik akibat Momen (Tu)

$$\sum dn^2 = (230mm)^2 + (130mm)^2$$

$$\sum dn^2 = 69800 mm^2$$

- Untuk  $T_1$

$$T_1 = \frac{M \cdot d_1}{\sum dn^2} = \frac{1702300Nmm \times 280mm}{69800mm^2} = 6828,7 N$$

- Untuk T2

$$T2 = \frac{M.d1}{\sum dn^2} = \frac{1702300Nmm \times 180mm}{69800mm^2} = 3170,5 N$$

Dari perhitungan diatas T yang digunakan T yang terbesar

$$Tu = 6828,7 N$$

$$Tu = 682,8 kg$$

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut

$$Rn = Fnt \cdot Ab$$

$$Rn = 620 Mpa \left( \frac{1}{4} \cdot \pi (16mm)^2 \right) = 124708,57 N$$

$$Rn = 12470,85 kg$$

$$\varnothing Rn \geq Tu$$

$$0,75 \times 12470,85 kg \geq 682,8 kg$$

$$9353,14 kg \geq 682,8 kg \quad (\text{memenuhi})$$

## 2. Perencanaan sambungan las sudut

Apabila direncanakan:

$$\text{Tebal plat} \quad = 10 mm$$

Sambungan las dengan:

$$\text{Mutu logam pengisi} \quad = \text{FE60xx}$$

$$\text{FEXX} = 4826,3 \text{ kg/cm}^2 \quad = 482,63 \text{ N/mm}^2$$

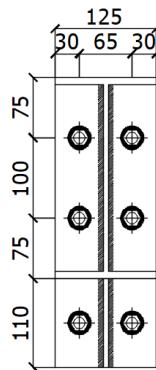
$$\text{tebal minimum las sudut} \quad = 5 mm$$

(SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)

$$\text{tebal maksimum las sudut} \quad = 10 mm - 2 mm = 8 mm$$

(SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)

$$\text{diambil tebal las pakai} \quad = 6 mm$$



**Gambar 4. 55** Panjang las pada sambungan

Menghitung panjang las (Lw)

$$\begin{aligned} Lw &= 2(250\text{mm} - 2 \times 9\text{mm}) + 2(200\text{mm} - 2 \times 9 \text{ mm}) \\ &= 828 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$\begin{aligned} Awe &= Lw \cdot \text{tebal las} \\ &= 828 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 4968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinjauan ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las

$$\emptyset.Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot Awe$$

$$\begin{aligned} \emptyset.Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 482,63 \text{ N/mm}^2 \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 1078967,63 \text{ N} \end{aligned}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar

$$\emptyset.Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot Awe$$

$$\begin{aligned} \emptyset.Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 410 \text{ Mpa} \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 916.596 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai nilai  $\emptyset.Rn$  terkecil yakni = 916596 N

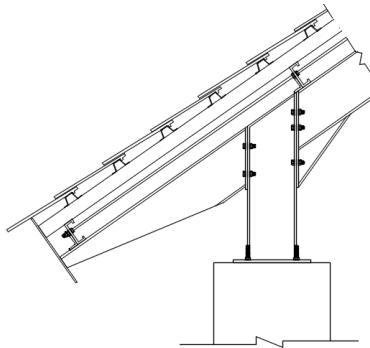
$$= 91659,6 \text{ kg}$$

Cek :

$$\emptyset.Rn > V_u$$

$$91659,6 \text{ kg} > 132 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

### E. Sambungan Kuda-kuda dengan kantilever

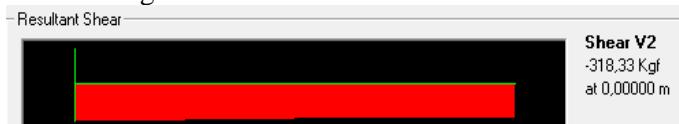


**Gambar 4. 56** Sambungan antara kuda-kuda dengan kantilever

Berdasarkan SAP 2000 v.14, didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada titik sambungan kuda-kuda dengan kantilever adalah sebagai berikut:

#### Gaya geser maksimum

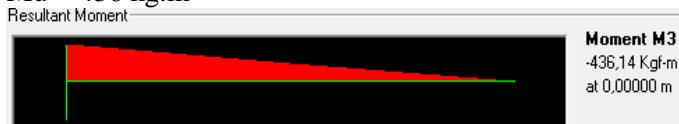
$$V_u = 318 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 57** Diagram geser maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kantilever

#### Momen maksimum

$$M_u = 436 \text{ kg.m}$$



**Gambar 4. 58** Diagram momen maksimum pada titik sambungan kuda-kuda dengan kantilever

1. Perencanaan sambungan baut

Tipe = A325  
 (SNI 03-1729-2015 Tabel J3.2)

fnt = 620 Mpa

fnv = 372 Mpa

Diameter baut, db = 16 mm

Diameter lubang, do = 18 mm

(SNI 03-1729-2015 Tabel J3.3.M)

Jumlah baut = 4 buah

Mutu plat sambung = BJ 41

Fy = 250 Mpa

Fu = 410 Mpa

Tebal plat sambung, tp = 10 mm

Tinggi plat tambah = 150 mm

Untuk jarak spasi baut dihitung berdasarkan SNI 03-1729- 2015 Pasal J3.3 dan J3.5 dimana jarak spasi baut tidak boleh kurang dari 2,67 db dan tidak boleh lebih dari 24 tp namun tidak boleh diambil melebihi 305mm, sehingga:

$$2,67 \times 16 \text{ mm} < S < 24 \times 8 \text{ mm}$$

$$42,7 \text{ mm} < S < 192 \text{ mm}$$

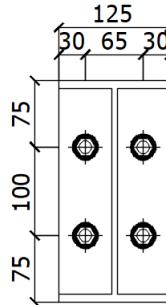
Sehingga diambil nilai S = 100 mm

Untuk jarak tepi dihitung berdasarkan SNI 03-1729-2015 Tabel J3.4M dan Pasal J3.5, dimana untuk baut ukuran 16 mm memiliki jarak tepi minimum yakni 22 mm dan untuk jarak maksimum diambil sebesar 12 tp namun tidak boleh diambil melebihi dari 150 mm, sehingga:

$$22 \text{ mm} < S1 < 12 \times \text{tp}$$

$$22 \text{ mm} < S1 < 96 \text{ mm}$$

Sehingga diambil nilai  $S_1 = 30 \text{ mm}$



**Gambar 4. 59** Konfigurasi baut pada sambungan baut

a. Perhitungan akibat geser pada baut

- Tinjauan terhadap geser baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.6)

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \text{ MPa} \left( \frac{1}{4} \pi (16 \text{ mm})^2 \right) = 74825,14 \text{ N}$$

- Tinjauan terhadap tumpu baut (SNI 03-1729-2015 Pasal J3.10.(a))

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 45 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa} \leq 2,4 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 410 \text{ MPa}$$

$$R_n = 221400 \text{ N} \leq 157440 \text{ N}$$

Maka dipakai  $R_n$  terkecil

$$R_n = 74825,14 \text{ N}$$

$$R_n = 7482,514 \text{ kg}$$

Cek :

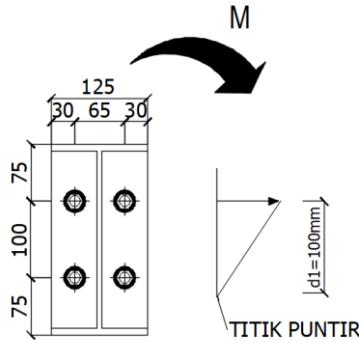
$$\emptyset R_n \geq V_u$$

$$0,75 \times 7482,514 \text{ kg} \geq 318 \text{ kg}$$

$$5612 \text{ kg} \geq 318 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Perhitungan akibat momen

$$M_u = 436,1 \text{ kg.m} = 436100 \text{ N.mm}$$



**Gambar 4. 60** Momen yang terjadi akibat sambungan baut

Menghitung gaya tarik akibat Momen (Tu)

$$\sum dn^2 = (100\text{mm})^2$$

$$\sum dn^2 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tu} = \frac{M \cdot d_1}{\sum dn^2} = \frac{436100 \text{ Nmm} \times 100\text{mm}}{10000 \text{ mm}^2} = 43614 \text{ N}$$

$$\text{Tu} = 4361,4 \text{ kg}$$

Selanjutnya, untuk kekuatan tarik baut dihitung sebagai berikut

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$R_n = 620 \text{ MPa} \left( \frac{1}{4} \cdot \pi (16\text{mm})^2 \right) = 124708,57 \text{ N}$$

$$R_n = 12470,85 \text{ kg}$$

$$\emptyset R_n \geq \text{Tu}$$

$$0,75 \times 12470,85 \text{ kg} \geq 4361,4 \text{ kg}$$

$$9353,14 \text{ kg} \geq 4361,4 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

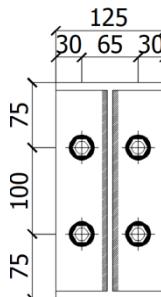
## 2. Perencanaan sambungan las sudut

Apabila direncanakan:

Tebal plat = 10 mm

Sambungan las dengan:

Mutu logam pengisi = FE60xx  
 FEXX = 4826,3 kg/cm<sup>2</sup> = 482,63 N/mm<sup>2</sup>  
 tebal minimum las sudut = 5 mm  
 (SNI 03-1729-2015 Tabel J2.4)  
 tebal maksimum las sudut = 10 mm – 2 mm = 8 mm  
 (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.2b)  
 diambil tebal las pakai = 6 mm



**Gambar 4. 61** Panjang las pada sambungan

Menghitung panjang las (Lw)

$$\begin{aligned} Lw &= 2(250\text{mm} - 2 \times 9\text{mm}) + 2(200\text{mm} - 2 \times 9\text{ mm}) \\ &= 828 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung luas efektif (Awe):

$$\begin{aligned} Awe &= Lw \cdot \text{tebal las} \\ &= 828 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 4968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinjauan ketahanan las (SNI 03-1729-2015 Pasal J2.4):

- Ketahanan terhadap las

$$\emptyset \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot FEXX \cdot Awe$$

$$\begin{aligned} \emptyset \cdot Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 482,63 \text{ N/mm}^2 \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 1078967,63 \text{ N} \end{aligned}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar

$$\emptyset \cdot Rn = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot Awe$$

$$\begin{aligned} \emptyset \cdot Rn &= 0,75 \times 0,6 \times 410 \text{ Mpa} \times 4968 \text{ mm}^2 \\ &= 916.596 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai nilai  $\emptyset \cdot R_n$  terkecil yakni = 916596 N  
 = 91659,6 kg

Cek :

$$\emptyset \cdot R_n > V_u$$

$$91659,6 \text{ kg} > 318 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})$$

## F. Sambungan Pelat Landas

- Data perencanaan :

Dimensi kolom beton:

$$I \quad = 600\text{mm}$$

$$J \quad = 600\text{mm}$$

$$f_{c'} \quad = 30 \text{ MPa}$$

Dimensi kolom baja:

Profil kolom Wf

$$ht \quad = 250 \text{ mm}$$

$$bf \quad = 150 \text{ mm}$$

$$tw \quad = 6 \text{ mm}$$

$$tf \quad = 9 \text{ mm}$$

Angkur baut:

$$\text{Tipe} \quad = \text{A-325}$$

$$F_{nt} \quad = 620 \text{ MPa}$$

$$F_{nv} \quad = 372 \text{ MPa}$$

$$d \quad = 16 \text{ mm}$$

$$n_c \quad = 2 \text{ buah}$$

$$n_t \quad = 2 \text{ buah}$$

$$f \quad = 150 \text{ mm}$$

$$L_a \quad = 300 \text{ mm}$$

Perencanaan pelat:

$$B \quad = 400 \text{ mm}$$

$$L \quad = 400 \text{ mm}$$

$$0,9ht \quad = 225 \text{ mm}$$

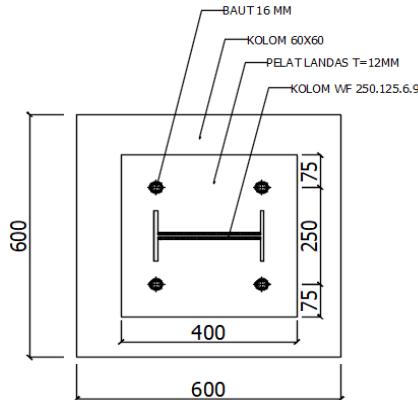
$$a \quad = 87,5 \text{ mm}$$

Mutu baja =

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

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

$$t_{\text{pelat}} = 12 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 62** Rencana plat landas

- Output SAP2000

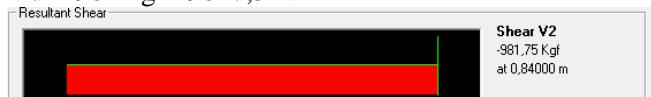
Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada kuda-kuda, digunakan SAP 2000 v.14, dengan (Kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5W) sebagai berikut:

$$P_u = 1719 \text{ kg} = 17189,4 \text{ N}$$



**Gambar 4. 63** Diagram aksial tekan pada kuda-kuda

$$V_u = 982 \text{ kg} = 9817,5 \text{ N}$$



**Gambar 4. 64** Diagram geser yang terjadi pada kuda-kuda

$$Mu = 563 \text{ kgm} = 5627600 \text{ Nmm}$$



**Gambar 4. 65** Diagram momen yang terjadi pada kuda-kuda

$$Nu = 223 \text{ kg}$$



**Gambar 4. 66** Diagram aksial tarik yang terjadi pada kuda-kuda

- Perhitungan

a. **Eksentrisitas beban**

$$\begin{aligned} e &= Mu/Pu \\ &= 5627600 \text{ Nmm} / 17189,4 \text{ N} \\ &= 327,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L/6 &= 400\text{mm}/6 \\ &= 66,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek :

$$e > L/6$$

$$327,4 \text{ mm} > 66,67 \text{ mm}$$

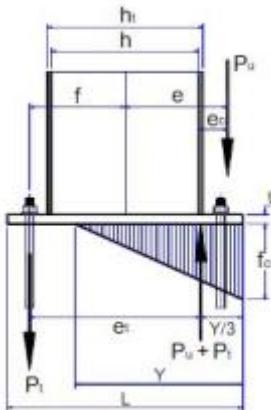
$$h = h_t - h_f = 250\text{mm} - 9\text{mm} = 241 \text{ mm}$$

$$e_t = f + (h/2) = 150\text{mm} + (9\text{mm}/2) = 270,5\text{mm}$$

$$e_c = f - (h/2) = 150\text{mm} - (9\text{mm}/2) = 29,5\text{mm}$$

Jumlah angkur baut total :

$$\begin{aligned} n &= n_t + n_c \\ &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 67** Eksentrisitas pada pelat landas

### b. Tahanan tumpu beton

Gaya tarik pada angkur baut

$$\begin{aligned} P_t &= P_u \cdot (e_c/e_i) \\ &= 17189,4 \text{ N} \cdot (29,5\text{mm}/270,5\text{mm}) \\ &= 1875 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tekan total pada tumpuan

$$\begin{aligned} P_{uc} &= P_u + P_t \\ &= 17189,4 \text{ N} + 1875 \text{ N} \\ &= 19064 \text{ N} \end{aligned}$$

Panjang bidang tegangan tekan beton

$$\begin{aligned} Y &= 3 \cdot (L-h)/2 \\ &= 3 \times (400\text{mm}-241\text{mm})/2 \\ &= 238,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas plat tumpuan baja

$$\begin{aligned} A_1 &= B \cdot L \\ &= 400\text{mm} \times 400\text{mm} \\ &= 160000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang kolom pedestal

$$\begin{aligned} A_2 &= I \cdot J \\ &= 600\text{mm} \times 600\text{mm} \end{aligned}$$

$$= 360000 \text{ mm}^2$$

Tegangan tumpu nominal

$$f_{cn} = 0,85 \times f_{c'} \times \sqrt{A_2/A_1} = 38,25 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,65$$

Tegangan tumpu beton yang diijinkan :

$$\phi f_{cn} = 0,65 \times 38,25 \text{ MPa}$$

$$= 24,8 \text{ MPa}$$

$$f_{cu} = 2 \cdot P_{uc} / (Y \cdot B)$$

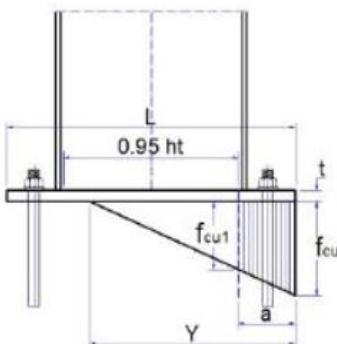
$$= 2 \times 19064 \text{ N} / (238,5 \text{ mm} \times 400\text{mm})$$

$$= 0,4 \text{ MPa}$$

Cek :

$$f_{cu} < \phi f_{cn}$$

0,4 MPa < 24,8 MPa **(memenuhi)**



**Gambar 4. 68** Tahanan tumpu beton pada perhitungan sambungan pelat landas

#### c. Kontrol dimensi pelat tumpuan

Lebar minimum pelat tumpuan yang diperlukan

$$B_p \min = P_{uc} / (0,5 \cdot \phi \cdot f_{cn} \cdot Y)$$

$$= 19604 \text{ N} / (0,5 \times 0,65 \times 38,25 \times 238,5)$$

$$= 6,43 \text{ mm}$$

$$B_p \text{ pakai} = 400 \text{ mm}$$

Cek :

$B_p \text{ min} < B_p \text{ pakai}$   
 $6,43 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$

Panjang bagian plat tumpuan jepit,

$$\begin{aligned} a &= (L - 0,95h_t)/2 \\ &= (400\text{mm} - 0,95 \times 250\text{mm})/2 \\ &= 81,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cul} &= (1 - a/Y) \cdot f_{cu} \\ &= (1 - 81,25 \text{ mm}/238,5\text{mm}) \times 0,4\text{MPa} \\ &= 0,26 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Modulus penampang plastis plat

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{4} \cdot B \cdot t^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 400\text{mm} \times (12\text{mm})^2 \\ &= 14400 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada plat akibat beban terfaktor

$$\begin{aligned} M_{up} &= \frac{1}{2} \cdot B \cdot f_{cul} \cdot a^2 + 1/3 \cdot B \cdot (f_{cu} - f_{cul}) \cdot a^2 \\ &= 467760,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur

$$\phi = 0,9$$

Tahanan momen nominal plat

$$\begin{aligned} M_n &= f_y \cdot Z \\ &= 240 \text{ Mpa} \times 14400 \text{ mm}^3 \\ &= 3456000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tahanan momen plat

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 3456000 \text{ Nmm} \\ &= 3110400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} M_{up} &< \phi M_n \\ 467760,8 \text{ Nmm} &< 3110400 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

#### d. Gaya tarik pada angkur baut

Gaya tarik pada angkur baut

$$\begin{aligned} R_u &= P_u/n_t \\ &= 1874,6 \text{ N}/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 937,3 \text{ N} \\
 \text{Fnt} &= 620 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0,75 \\
 \text{Ab} &= 0,25 \pi D^2 \\
 &= 0,25 \pi D^2 \\
 &= 201,14 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rn} &= \text{Fnt} \times \text{Ab} \\
 &= 620 \text{ MPa} \times 201,14 \text{ mm}^2 \\
 &= 124708,57 \text{ N} \\
 \phi Rn &= 0,75 \times 124708,57 \text{ N} \\
 &= 93531 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \text{Ru} &< \phi Rn \\
 937,3 \text{ N} &< 93531 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

#### e. Gaya geser pada angkur baut

Gaya geser pada angkur baut

$$\begin{aligned}
 \text{Ru} &= Vu/n \\
 &= 9817,5 \text{ N}/4 \\
 &= 2454,4 \text{ N} \\
 \text{Fnv} &= 372 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0,75 \\
 \text{Ab} &= 0,25 \pi D^2 \\
 &= 0,25 \pi D^2 \\
 &= 201,14 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rn} &= \text{Fnv} \times \text{Ab} \\
 &= 372 \text{ MPa} \times 201,14 \text{ mm}^2 \\
 &= 56119 \text{ N} \\
 \phi Rn &= 0,75 \times 56119 \text{ N} \\
 &= 42089 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \text{Ru} &< \phi Rn \\
 2454,4 \text{ N} &< 42089 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

#### f. Gaya tumpu pada angkur baut

Gaya geser pada angkur baut

$$\text{Ru} = 2454,4 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 F_{nv} &= 372 \text{ MPa} \\
 d &= 16 \text{ mm} \\
 t &= 12 \text{ mm} \\
 R_n &= 2,4 \times d \times t \times F_{nv} \\
 &= 2,4 \times 16\text{mm} \times 12\text{mm} \times 372\text{MPa} \\
 &= 171417,6 \text{ N} \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 171417,6 \text{ N} \\
 &= 128563,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 R_u &< \phi R_n \\
 2454,4 \text{ N} &< 128563,2 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

#### **g. Kontrol panjang angkur baut**

$$\begin{aligned}
 L_a &= 30 \text{ mm} \\
 T_u &= 2454,4 \text{ N} \\
 L_b &= T_u / (n \cdot 0,75 \cdot f_c' \cdot d_b) \\
 &= 2454,4 \text{ N} / (1 \times 7,5 \times 30\text{MPa} \times 16\text{mm}) \\
 &= 6,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 L_b &< L_a \\
 6,8 \text{ mm} &< 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \\
 \text{Srthingga perencanaan menggunakan angkur M16 x} \\
 &\text{30mm}
 \end{aligned}$$

#### **h. Perencanaan sambungan las pengisi**

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat} &= 5 \text{ mm} \\
 \text{Mutu logam pengisi} &= FE60xx \\
 F_{exx} &= 4826 \text{ kg/cm}^2 = 483\text{N/mm}^2 \\
 \text{Tebal minimum las} &= 3 \text{ mm} \\
 &\quad (\text{SNI 1729:2015 tabel J2.4}) \\
 \text{Tebal maksimum las} &= 3 \text{ mm} \\
 &\quad (\text{SNI 1729:2015 tabel J2.2b}) \\
 \text{Diambil las pakai} &= 3 \text{ mm} \\
 \text{Profil yang di las} &= WF 250.125.6.9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_w &= 2(h - 2tf) \\
 &= 2(250\text{mm} - 2 \times 9\text{mm}) \\
 &= 464 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas efektif :

$$\begin{aligned}
 A_{we} &= L_w \times \text{tebal efektif} \\
 &= 464 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \\
 &= 1392 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tinjau ketahanan las : (SNI 1729:2015 pasal J2.4)

- Ketahanan terhadap las
 
$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi 0,6 \cdot F_{exx} \cdot A_{we} \\
 &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 483\text{N/mm}^2 \cdot 1392\text{mm}^2 \\
 &= 302319,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Ketahanan terhadap bahan dasar :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi 0,6 \cdot F_u \cdot A_{we} \\
 &= 0,6 \cdot 410\text{N/mm}^2 \cdot 1392\text{mm}^2 \\
 &= 256824 \text{ N}
 \end{aligned}$$

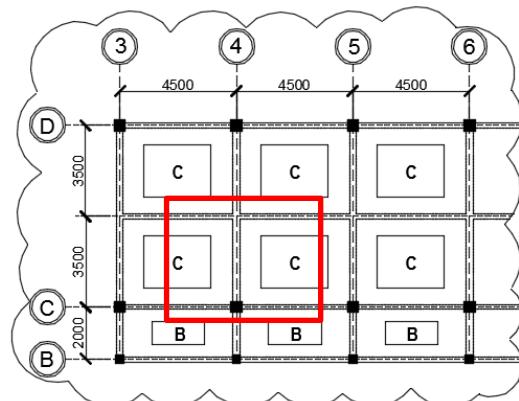
Sehingga dipakai nilai terkecil, yaitu :

$$\phi R_n = 256824 \text{ N}$$

$$\phi R_n > V_u$$

$$256824 \text{ N} < 981,7 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

#### 4.3.2 Perhitungan Struktur Pelat Lantai



**Gambar 4.69** Denah plat lantai yang dihitung

$$Ly = 4500 \text{ mm}$$

$$Lx = 3500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_n &= Ly - \frac{bw}{2} - \frac{bw}{2} \\ &= 450 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} \\ &= 410 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= L_x - \frac{bw}{2} - \frac{bw}{2} \\ &= 350 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2} \\ &= 320 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{410}{320} = 1,3 < 2, \text{ pelat dua arah}$$

Data Perencanaan :

Tipe = C

Fungsi = Ruang kelas

Fc' = 30 MPa

Fy = 400 MPa

ts = 30 mm

hf = 120 mm

$\emptyset$  = 0,9

$\beta_1 = 0,85 - (0,05 \times (fc' - 28) / 7)$

= 0,84

Perhitungan Pembebanan :

- Bebab Mati (qD)

Berat sendiri pelat =  $0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$   
 $= 288 \text{ kg/m}^2$

Keramik ( $t=1\text{cm}$ ) =  $1 \times 24 \text{ kg/m}^2$   
 $= 24 \text{ kg/m}^2$

Spesi ( $t=2\text{cm}$ ) =  $2 \times 21 \text{ kg/m}^2$   
 $= 42 \text{ kg/m}^2$

Plafon =  $8,6 \text{ kg/m}^2$

Penggantung plafon =  $10 \text{ kg/m}^2$

M/E =  $19 \text{ kg/m}^2$

Plumbing =  $25 \text{ kg/m}^2$

- qD total = 416,6 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Hidup (qL) Ruang kelas = 192 kg/m<sup>2</sup>
  - Beban Kombinasi  $1,2D + 1,6L = (1,2 \times 3416,6) + (1,6 \times 192)$   
 $= 807,1 \text{ kg/m}^2$

Perhitungan Momen :

$$\begin{aligned} M_{tx} &= +0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 807,1 \cdot 3,5^2 \cdot 69 \\ &= 570,2787 \text{ kgm} \\ M_{lx} &= +0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 807,1 \cdot 3,5^2 \cdot 31 \\ &= 256,2122 \text{ kgm} \\ M_{ty} &= +0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 807,1 \cdot 3,5^2 \cdot 57 \\ &= 471,0998 \text{ kgm} \\ M_{ly} &= +0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X \\ &= +0,001 \cdot 807,1 \cdot 3,5^2 \cdot 19 \\ &= 157,0333 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan Tulangan :

- Penulangan Lapangan Arah X  
Direncanakan D tul = 12 mm
- $$\begin{aligned} M_{lx} &= 256,2122 \text{ kgm} \\ &= 2562122 \text{ Nmm} \\ M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{2562122}{0,9} \\ &= 2846802 \text{ Nmm} \\ m &= \frac{fy}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dx &= h - ts - \left(\frac{d}{2}\right) \\
 &= 120 - 30 - \left(\frac{12}{2}\right) \\
 &= 84 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\
 &= \frac{2846802}{1000 \times 84^2} \\
 &= 0,4 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,7} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,7 \times 0,4}{400}} \right) \\
 &= 0,00102 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{fy} \times \left( \frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,03197 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,03197 \\
 &= 0,02397 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00102 < 0,02397$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 83,5 \\
 &= 294 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \\ = 240 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan S pakai = 200

$$\text{As pasang} = 0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai}) \\ = 0,25 \times \pi \times 12^2 \times (1000/200) \\ = 565,49 \text{ mm}^2$$

Cek :

As perlu < As pasang

$$294 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga digunakan D12 - 200

- Penulangan Tumpuan Arah X

Direncanakan D tul = 12 mm

$$M_{tx} = 570,2787 \text{ kgm} \\ = 5702787 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\varnothing} \\ = \frac{5702787}{0,9} \\ = 6336430 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ = \frac{400}{0,85 \times 30} \\ = 15,7$$

$$d_x = h - ts - \left(\frac{d}{2}\right) \\ = 120 - 30 - \left(\frac{12}{2}\right) \\ = 84 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} \\ = \frac{5702787}{1000 \times 84^2} \\ = 0,90 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{15,7} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,7 \times 0,90}{400}} \right) \\
 &= 0,00229 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,03197 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,03197 \\
 &= 0,02397 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,00229 < 0,02397
 \end{aligned}$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 83,5 \\
 &= 294 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \times h \\
 &= 2 \times 120 \\
 &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga direncanakan  $S$  pakai = 200

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &= 0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai}) \\
 &= 0,25 \times \pi \times 12^2 \times (1000/200) \\
 &= 565,49 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\
 294 \text{ mm}^2 &< 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan D12 - 200

- Penulangan Lapangan Arah Y

Direncanakan D tul = 12 mm

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 157,0333 \text{ kgm} \\ &= 1570333 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{1570333}{0,9} \\ &= 1744814 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= h - ts - d - \left(\frac{d}{2}\right) \\ &= 120 - 30 - 12 - \left(\frac{12}{2}\right) \\ &= 72 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d_x^2} \\ &= \frac{1744814}{1000 \times 72^2} \\ &= 0,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,7} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,7 \times 0,34}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,00085$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,03197 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,03197 \\ &= 0,02397 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

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

Cek :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00085 < 0,02397$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 72 \\ &= 252 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga direncanakan  $S$  pakai = 200

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times (b/\text{Spakai}) \\ &= 0,25 \times \pi \times 12^2 \times (1000/200) \\ &= 565,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

As perlu < As pasang

$$294 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga digunakan D12 - 200

- Penulangan Tumpuan Arah Y

Direncanakan D tul = 12 mm

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 471,0998 \text{ kgm} \\ &= 4710998 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mu}{\emptyset} \\ &= \frac{4710998}{0,9} \\ &= 5234442 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,7 \end{aligned}$$

$$dx = h - ts - d - \left(\frac{d}{2}\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 120 - 30 - 12 - \left(\frac{12}{2}\right) \\
 &= 72 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 R_n &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\
 &= \frac{5234442}{1000 \times 72^2} \\
 &= 1,01 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,7} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,7 \times 1,01}{400}} \right) \\
 &= 0,00258 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,03197 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,03197 \\
 &= 0,02397 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,00258 < 0,02397
 \end{aligned}$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho_{\min}$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 72 \\
 &= 252 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \times h \\
 &= 2 \times 120 \\
 &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga direncanakan S pakai = 200  
As pasang =  $0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai})$   
=  $0,25 \times \pi \times 12^2 \times (1000/200)$   
= 565,49 mm<sup>2</sup>

Cek :

As perlu < As pasang  
294 mm<sup>2</sup> < 565,49 mm<sup>2</sup> (**memenuhi**)  
Sehingga digunakan D12 - 200

- Penulangan Tulangan Susut

Direncanakan Ø tul = 10 mm

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.12 As susut perlu sebagai berikut :

As perlu =  $\rho$  susut x b x tebal pelat  
=  $0,0018 \times 1000 \times 120$   
= 216 mm<sup>2</sup>

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$S_{\max} = 2 \times h$   
=  $2 \times 120$   
= 240 mm

Sehingga direncanakan S pakai = 200

As pasang =  $0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai})$   
=  $0,25 \times \pi \times 10^2 \times (1000/200)$   
= 392,6 mm<sup>2</sup>

Cek :

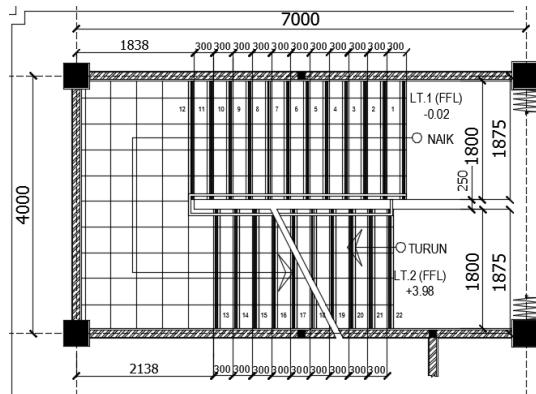
As perlu < As pasang  
294 mm<sup>2</sup> < 392,6 mm<sup>2</sup> (**memenuhi**)  
Sehingga digunakan Ø10 – 200

**Tabel 4. 12** Rekapitulasi kebutuhan tulangan pelat lantai

Tipe	Jenis	Tebal	Arah	Bentang	Tulangan
A	Satu Arah	12 cm	X	Tumpuan	-
				Lapangan	-
				Susut	Ø10 – 200
		12 cm	Y	Tumpuan	12D – 200
				Lapangan	12D – 200

				Susut	-
B	Satu Arah	12 cm	X	Tumpuan	-
				Lapangan	-
				Susut	Ø10 – 200
			Y	Tumpuan	12D – 200
				Lapangan	12D – 200
				Susut	-
C	Dua Arah	12 cm	X	Tumpuan	12D – 200
				Lapangan	12D – 200
				Susut	Ø10 – 200
			Y	Tumpuan	12D – 200
				Lapangan	12D – 200
				Susut	Ø10 – 200
D	Dua Arah	12 cm	X	Tumpuan	12D – 200
				Lapangan	12D – 200
				Susut	Ø10 – 200
			Y	Tumpuan	12D – 200
				Lapangan	12D – 200
				Susut	Ø10 – 200

### 4.3.3 Perhitungan Struktur Tangga



Gambar 4. 70 Denah tangga tipe 1

#### A. Data Perencanaan

Tipe tangga	= T1
Lebar injakan (i)	= 29 cm
Tinggi tanjakan (t)	= 18 cm
Tinggi tangga	= 400 cm
Lebar tangga	= 180 cm
Tinggi bordes	= 216 cm
Lebar bordes	= 160 cm
Panjang datar tangga	= 350 cm
Panjang miring tangga	= 411 cm
Sudut kemiringan tangga ( $\alpha$ )	= 31,8°
Tebal pelat bordes	= 16 cm
Tebal rata-rata tangga	= 236 cm
$f'_c$	= 30 MPa
$f_y$	= 400 MPa

#### B. Pembebaan

##### a. Beban tangga

##### Beban Mati

Berat sendiri = 567,5 kg/m

Berat keramik = 24 kg/m

$$\begin{aligned}
 \text{Berat spesi} &= 42 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat railing} &\equiv 50 \text{ kg/m} + \\
 Qd &= 683,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

**Beban Hidup**

Beban hidup ( $Ql$ ) = 479 kg/m

**Beban Kombinasi**

$$\begin{aligned}
 1,2Qd + 1,6 Ql &= (1,2 \times 683,5 \text{ kg/m}) + (1,6 \times 479 \text{ kg/m}) \\
 &= 1586,6 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- b. Beban bordes

**Beban Mati**

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri} &= 384 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat keramik} &= 24 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat spesi} &= 42 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat railing} &\equiv 50 \text{ kg/m} + \\
 Qd &= 500 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

**Beban Hidup**

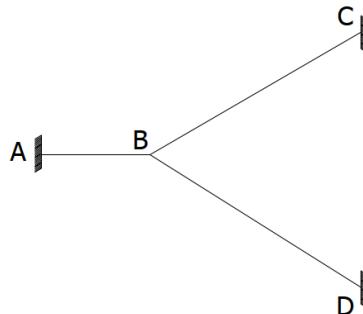
Beban hidup ( $Ql$ ) = 479 kg/m

**Beban Kombinasi**

$$\begin{aligned}
 1,2Qd + 1,6 Ql &= (1,2 \times 500 \text{ kg/m}) + (1,6 \times 479 \text{ kg/m}) \\
 &= 1366,4 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

**C. Perhitungan Momen**

Perhitungan momen pelat tangga menggunakan metode cross.



**Gambar 4. 71 Perletakan tangga**

- Faktor kekakuan

$$K_{AB} = K_{BA} = \frac{4EI}{L} = \frac{4}{1,6} = 2,5$$

$$K_{CB} = K_{BC} = K_{BD} = K_{DB} = \frac{4EI}{L} = \frac{4}{4,1} = 0,97$$

- Faktor distribusi

$$\mu_{BA} = \frac{2,5}{0,97+2,5+0,97} = 0,562$$

$$\mu_{BC} = \frac{0,97}{0,97+2,5+0,97} = 0,219$$

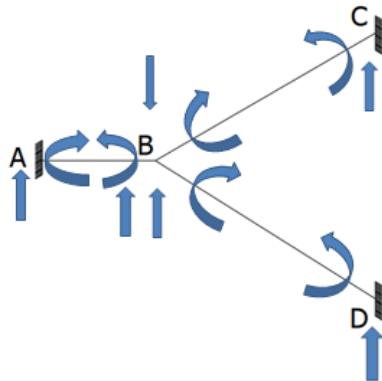
$$\mu_{BD} = \frac{0,97}{0,97+2,5+0,97} = 0,219$$

Kontrol faktor distribusi :

$$\mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BD} = 1,0$$

$$0,562 + 0,219 + 0,219 = 1,0 \quad (\text{memenuhi})$$

- Momen primer



**Gambar 4.72** Asumsi arah gaya yang terjadi pada tangga

$$M_{DB} = -\frac{q \times \cos\alpha \times L^2}{12} = -\frac{1586 \text{ kg/m} \times \cos 38,1 \times (4,1 \text{ m})^2}{12}$$

$$= -2047,5 \text{ kgm}$$

$$M_{BD} = +\frac{q \times \cos\alpha \times L^2}{12} = +\frac{1586 \text{ kg/m} \times \cos 38,1 \times (4,1 \text{ m})^2}{12}$$

$$= +2047,5 \text{ kgm}$$

$$M_{AB} = +\frac{q \times L^2}{12} = +\frac{1366,4 \text{ kg/m} \times (1,6 \text{ m})^2}{12}$$

$$= +2047,5 \text{ kgm}$$

$$M_{BA} = -\frac{q \times L^2}{12} = -\frac{1366,4 \text{ kg/m} \times (1,6 \text{ m})^2}{12}$$

$$= -2047,5 \text{ kgm}$$

$$M_{CB} = -\frac{q \times \cos\alpha \times L^2}{12} = -\frac{1586 \text{ kg/m} \times \cos 38,1 \times (4,1 \text{ m})^2}{12}$$

$$= -2047,5 \text{ kgm}$$

$$M_{BC} = +\frac{q \times \cos\alpha \times L^2}{12} = +\frac{1586 \text{ kg/m} \times \cos 38,1 \times (4,1 \text{ m})^2}{12}$$

$$= +2047,5 \text{ kgm}$$

- Momen akhir dengan metode cross

**Tabel 4. 13** Perhitungan momen dengan metode cross

Titik	A	B	C	D		
Batang	AB	BA	BD	BC	CB	DB
FD	-	-0.56	-0.22	-0.22	-	-
MF	291.5	-291.5	2047.5	2047.5	-2047.5	-2047.5
MD	0.00	-2139.1	-832.2	-832.2	0.00	0.00
MI	-1069.6	0.00	0.00	0.00	-416.1	-416.10
MD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Makhir	-778.1	-2430.6	1215.3	1215.3	-2463.6	-2463.6
Gambar Momen						

Kontrol momen akhir :

$$\Sigma M \text{ akhir} = 0$$

$$\begin{aligned}
 M_{BA} + M_{BC} + M_{BD} &= (-2047,5 \text{ kgm}) + 2047,5 \text{ kgm} + \\
 &\quad 2047,5 \text{ kgm} \\
 &= 0 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Mencari nilai V di tiap perletakan

### Bentang BA

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BA} = V_A(L) - qL(0,5L)$$

$$V_A(L) = M_{BA} + qL(0,5L)$$

$$V_A(1,6) = (-2430,6) + (1366,4 \times 1,6 \times 0,8)$$

$$V_A = -426,06 \text{ kg} = 426,06 \text{ kg (ke bawah)}$$

Maka,

$$\Sigma V = 0$$

$$V_B = qL + V_A$$

$$= (1366,4 \times 1,6) + (-426,06)$$

$$= 2612,3 \text{ kg (ke atas)}$$

**Bentang BD**

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BD} = -V_D(L) + q \cdot \cos\alpha \cdot L \cdot (0,5L)$$

$$V_D(L) = -M_{BD} + q \cdot \cos\alpha \cdot L \cdot (0,5L)$$

$$V_D(4,1) = -1215,3 + (1586,6 \times 0,8 \times 4,1 \times 2,05)$$

$$V_D = 2476,61 \text{ kg (ke atas)}$$

Maka,

$$\Sigma V = 0$$

$$V_B = q \cdot \cos\alpha \cdot L - V_D$$

$$= (1586,6 \times 0,8 \times 4,1) - 2476,6$$

$$= 3067,6 \text{ kg (ke atas)}$$

**Bentang BC**

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BC} = -V_C(L) + q \cdot \cos\alpha \cdot L \cdot (0,5L)$$

$$V_C(L) = -M_{BC} + q \cdot \cos\alpha \cdot L \cdot (0,5L)$$

$$V_C(4,1) = -1215,3 + (1586,6 \times 0,8 \times 4,1 \times 2,05)$$

$$V_C = 2476,61 \text{ kg (ke atas)}$$

Maka,

$$\Sigma V = 0$$

$$V_B = q \cdot \cos\alpha \cdot L - V_C$$

$$= (1586,6 \times 0,8 \times 4,1) - 2476,6$$

$$= 3067,6 \text{ kg (ke atas)}$$

Kontrol V :

$$\Sigma V = 0$$

$$-V_A + V_{BA} + V_{BC} + V_{BD} + V_D - (q_{AB} \cdot L) -$$

$$(q_{BC} \cdot \cos\alpha \cdot L) - (q_{CD} \cdot \cos\alpha \cdot L) = 0$$

**(memenuhi)**

- Momen maksimum

**Bentang BA**

$$D_{AB} = V_B = 2612,3 \text{ kg (ke atas)}$$

Lihat kanan potongan

$$D_{X1} = V_B - q(X1)$$

$$= 2612,3 - 1266,4(X1)$$

Jika:

$$X1 = 0m \quad D_A = 2612,2 \text{ kg}$$

$$X1 = 1,6m \quad D_B = 426,06 \text{ kg}$$

Momen maksimum terletak di  $D = 0$

$$D_X = V_B - q(X)$$

$$0 = 2612,3 - 1366,4(X)$$

$$X = 1,6 \text{ m dari A}$$

$$\text{Momen maks} = V_A(X) + q.X.(0,5X)$$

$$= (-2612,3x1,6) + (1366,4x1,6x0,8)$$

$$= -749,3 \text{ kgm}$$

### Bentang BC

$$D_{CB} = V_C = 3067,6 \text{ kg}$$

Lihat kanan potongan

$$D_{X2} = V_C - q.\cos\alpha.(X2)$$

$$= 3067,6 - 1348,02(X2)$$

Jika:

$$X2 = 0m \quad D_C = 3067,6 \text{ kg}$$

$$X2 = 4,1m \quad D_B = -2476,6 \text{ kg}$$

Momen maksimum terletak di  $D = 0$

$$D_X = V_C - q.\cos\alpha.(X)$$

$$0 = 3067,6 - 1348,0(X)$$

$$X = 2,28 \text{ m dari C}$$

$$\text{Momen maks} = -V_C(X) + q\cos\alpha.X.(0,5X)$$

$$= -3067,6(2,28) + (1348,0x2,28x1,1)$$

$$= -3490,4 \text{ kgm}$$

### Bentang BD

$$D_{DB} = V_D = 2476,6 \text{ kg}$$

Lihat kanan potongan

$$D_{X3} = V_D - q.\cos\alpha.(X3)$$

$$= 2476,6 - 1348,02(X3)$$

Jika:

$$X2 = 0m \quad D_C = 2476,6 \text{ kg}$$

$$X2 = 4,1m \quad D_B = -3067,6 \text{ kg}$$

Momen maksimum terletak di  $D = 0$

$$\begin{aligned}
 D_X &= V_D - q \cdot \cos\alpha \cdot (X) \\
 0 &= 2476,6 - 1348,0(X) \\
 X &= 1,84 \text{ dari } D \\
 \text{Momen maks} &= V_D(X) - q \cos\alpha \cdot X \cdot (0,5X) \\
 &= 2476,6 (1,8) + (1348,0 \times 1,8 \times 0,9) \\
 &= 227,0 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan metode cross didapat :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{maks bordes}} &= -749,35 \text{ kgm} \\
 M_{\text{maks tangga}} &= -3490,4 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

#### D. Perhitungan Tulangan Tangga

##### a. Perhitungan penulangan pelat tangga

$$L_n = 4,1 \text{ m}$$

$$S_n = 1,8 \text{ m}$$

$$\beta = L_n/S_n = 4,1/1,8 = 2,3 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

Direncanakan tulangan D12

##### Tulangan arah Y

$$M_u = 3490 \text{ kgm} = 34903799,5 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{34903799,5 \text{ Nmm}}{0,9} \\
 &= 38781999,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}^t} \\
 &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\
 &= 15,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}^t}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,032
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,032 \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

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

$$dx = h - ts - \left(\frac{d}{2}\right)$$

$$= 160 - 30 - \left(\frac{12}{2}\right)$$

$$= 124 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times dx^2}$$

$$= \frac{38781999,4 \text{ Nmm}}{1000 \times 123,5^2}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,7} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,7 \times 1,5}{400}} \right)$$

$$= 0,006$$

Cek :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0038 < 0,024 \quad (\text{memenuhi})$$

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

$$= 0,0038 \times 1000 \text{ mm} \times 124 \text{ mm}$$

$$= 479,6 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Sehingga direncanakan  $S$  pakai = 150

$$As_{\text{pasang}} = 0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai})$$

$$= 0,25 \times \pi \times 12^2 \times (1000/150)$$

$$= 753,6 \text{ mm}^2$$

Cek :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}}$$

$$479,6 \text{ mm}^2 < 753,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga digunakan D12 – 150

### Tulangan Susut

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000\text{mm} \times 123,5\text{mm} \\ &= 223 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{max}$

$$\begin{aligned} S_{max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga direncanakan  $S$  pakai = 150

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= 0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai}) \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times (1000/150) \\ &= 523,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} As_{perlu} &< As_{pasang} \\ 223 \text{ mm}^2 &< 523,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \\ \text{Sehingga digunakan } &\varnothing 10 - 150 \end{aligned}$$

### b. Perhitungan penulangan bordes

$$Ln = 4 \text{ m}$$

$$Sn = 1,6 \text{ m}$$

$$\beta = Ln/Sn = 4/1,6 = 2,5 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

Direncanakan tulangan D12

### Tulangan arah Y

$$Mu = 749,3 \text{ kgm} = 7493500,0 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{7493500 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 8326111,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \times fc'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\ &= 15,68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc'}{fy} \times \left( \frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,84 \times 30}{400} \times \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,032 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho b \\
 &= 0,75 \times 0,032 \\
 &= 0,024 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = 0,0035 \\
 dx &= h - ts - \left(\frac{d}{2}\right) \\
 &= 160 - 30 - \left(\frac{12}{2}\right) \\
 &= 124 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\
 &= \frac{83237170,1 \text{ Nmm}}{1000 \times 124^2} \\
 &= 0,5 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,7} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,7 \times 0,5}{400}} \right) \\
 &= 0,013
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,013 < 0,024 \quad (\text{tidak memenuhi}) \\
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 124 \text{ mm} \\
 &= 434,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \times h \\
 &= 2 \times 120 \\
 &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga direncanakan  $S$  pakai = 150

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &= 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times (b/\text{Spakai}) \\
 &= 0,25 \times \pi \times 12^2 \times (1000/150) \\
 &= 753,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek :

As perlu < As pasang  
 $434,0 \text{ mm}^2 < 753,6 \text{ mm}^2$  (memenuhi)  
 Sehingga digunakan D12 – 150

### Tulangan Susut

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000\text{mm} \times 123,5\text{mm} \\ &= 223 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :  $S \leq S_{\max}$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga direncanakan S pakai = 150

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times \pi \times \varnothing^2 \times (b/\text{Spakai}) \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times (1000/150) \\ &= 523,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

As perlu < As pasang  
 $223 \text{ mm}^2 < 523,3 \text{ mm}^2$  (memenuhi)  
 Sehingga digunakan  $\varnothing 10 - 150$

## 4.4 Perhitungan Struktur Primer

### 4.4.1 Perhitungan Struktur Balok

#### 1. Balok B1 (30/60 cm)

##### A. Data Perencanaan

Tipe balok	= B1
Bentang	= 7000 mm
b balok	= 300 mm
h balok	= 600 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ ):	
Tulangan lentur dan torsion	= 400 MPa
Tulangan geser	= 240 MPa
$\phi$ lentur	= 0.9

$\phi$ geser dan torsi	= 0.75
$\beta_1$	= 0.85
Tebal selimut beton	= 30 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	= 30 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 19 mm
Diameter tulangan geser( $\emptyset$ )	= 10 mm
Diameter tulangan torsi (D)	= 16 mm

### B. Output SAP 2000 untuk Balok

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP2000, maka didapatkan hasil gaya terbesar untuk balok (B1) dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP2000 :

#### Torsi Maksimum

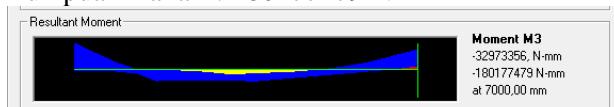
Tu : 28346944,67 Nmm



**Gambar 4. 73** Diagram torsi maksimum pada balok B1

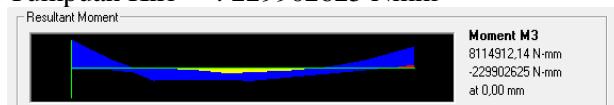
#### Momen Lentur Maksimum

Tumpuan Kanan : 180177479 Nmm



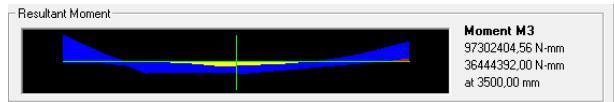
**Gambar 4. 74** Diagram momen maksimum daerah tumpuan kanan pada balok B1

Tumpuan Kiri : 229902625 Nmm



**Gambar 4. 75** Diagram momen maksimum daerah tumpuan kiri balok B1

Lapangan : 97302404,56 Nmm



**Gambar 4. 76** Diagram momen maksimum daerah lapangan pada balok B1

### Gaya Geser Maksimum

Gaya Geser : 196469,47 N



**Gambar 4. 77** Diagram Geser maksimum pada balok B1

### C. Dimensi Penampang dan tinggi efektif balok

- Dimensi penampang

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \cdot h_{balok} \\ &= 300\text{mm} \times 600\text{mm} \\ &= 180000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 + 600)\text{mm} \\ &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{deking} - \emptyset) \cdot (h_{balok} - 2t_{deking} - \emptyset) \\ &= (300 - 2.30 - 10)\text{mm} \times (600 - 2.30 - 10)\text{mm} \\ &= 121900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0.85A_{oh} \\ &= 0.85 \times 121900 \text{ mm}^2 \\ &= 103615 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 Ph &= 2[(b_{balok} - 2spasitulangansejajar - \emptyset) + (h_{balok} \\
 &\quad - 2 spasitulangansejajar - \emptyset)] \\
 &= 2 \times [(300 - 2.30 - 10) + (600 - 2.30 - 10)]\text{mm} \\
 &= 1520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 dx &= h_{balok} - t_{deking} - \emptyset_{tul.geser} - 1/2D_{tul.lentur} \\
 &= 600\text{mm} - 30\text{mm} - 10\text{mm} - (0.5 \times 19)\text{mm} \\
 &= 550,5 \text{ mm} \\
 d'' &= h - dx \\
 &= 600\text{mm} - 550,5\text{mm} \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### D. Penulangan Lentur Balok

- Garis Netral

Garis Netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 Xb &= \frac{600}{600+fy} \times dx \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 550.5 \\
 &= 330,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0.75Xb \\
 &= 0.75 \times 330,3\text{mm} \\
 &= 247,725 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral minimum

$$X_{min} = d'' = 49,5 \text{ mm}$$

Garis Netral rencana (asumsi)

$$X_{ren} = 100 \text{ mm}$$

- Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_{c'} \times b \times X_{ren}}{f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 30\text{Mpa} \times 300\text{mm} \times 100\text{mm}}{400\text{MPa}} \\
 &= 1625,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Momen Nominal tulangan lentur

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc \times fy \times \left( dx - \frac{\beta_1 \times X_{ren}}{2} \right) \\
 &= 1625,6 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \\
 &\quad \left( 550,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 100 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 330327000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Nilai  $\rho$  dan  $m$

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

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f_{cr} \times \beta_1}{fy} \left( \frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 0,85}{400 \text{ MPa}} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f_{cr}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15,686$$

#### - Daerah Tumpuan Kiri

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 229902625 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{229902625 \text{ Nmm}}{0,9} \\
 &= 255447361,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$Mn > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = Mn - M_{nc}$$

$$= 255447361,1 \text{ Nmm} - 330327000 \text{ Nmm}$$

$$= -74879638,9 < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

### a. Tulangan Lentur Tarik

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{255447361,1}{300 \times 550,5^2} = 2,8$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,8}{400}} \right) \\ &= 0,0075\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,0075 < 0,0243 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}&= 0,0075 \times 400\text{mm} \times 550,5\text{mm} \\ &= 1232,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D19

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{1232,2 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 4,35 \approx 5$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **5-D19**

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan tarik} \\ &= 5 \times 283,53 \text{ mm}^2 \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 1417,64 \text{ mm}^2 &\geq 1232,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned}S_{\max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\theta_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300\text{mm} - 2,30\text{mm} - 2,10\text{mm} - (5 \times 19\text{mm})}{5-1} \\ &= 31,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$31,25 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm}$  (**susun 1 lapis**)

**b. Tulangan Lentur Tekan**

$$\begin{aligned} As' &= 30\% \cdot As \text{ perlu} \\ &= 0,3 \times 1232,2 \text{ mm}^2 \\ &= 369,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= As'/ As \text{ lentur} \\ &= 369,6 \text{ mm}^2 / 283,53 \text{ mm}^2 \\ &= 1,3 \approx 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times As \text{ lentur} \\ &= 2 \times 283,52 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$As' \text{ pasang} \geq As' \\ 567,1 \text{ mm}^2 \geq 304,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\varnothing_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300 \text{ mm} - 2,30 \text{ mm} - 2,10 \text{ mm} - (2 \times 19 \text{ mm})}{2-1} \\ &= 182,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$182,0 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm}$  (**susun 1 lapis**)

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kiri adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 5-D19**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 2-D19**

**c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (-) \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (+) \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tump } (+) &\geq 1/3 M \text{ lentur tump } (-) \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 472,55 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

#### d. Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{fy}{fc' \times b} \\ &= \frac{(1417,64 - 567,1) \text{ mm}^2}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}} \\ &= 44,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a$$

$$= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ MPa} \times 44,47 \text{ mm}$$

$$= 340234,48 \text{ N}$$

$$Cs' = As' \times fs'$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$= 2268822,99 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Mn &= [Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right)] + [Cs' \times (d - d'')] \\ &= [340234,48 \text{ N} \times \left(550,5 \text{ mm} - \frac{44,47 \text{ mm}}{2}\right)] + \\ &\quad [2268822,99 \text{ N} \times (550,5 \text{ mm} - 49,5 \text{ mm})] \\ &= 293371420,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol : } \phi Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,9 \times 293371420,8 \text{ Nmm} > 229902625 \text{ Nmm}$$

$$264034278,7 \text{ Nmm} > 229902625 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

#### - Daerah Tumpuan Kanan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 180177479 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{180177479 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 200197198,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$Mn > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 200197198,9 \text{ Nmm} - 330327000 \text{ Nmm} \\
 &= -130129801,1 < 0
 \end{aligned}$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

#### a. Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{200197198,9}{300 \times 550,5^2} = 2,2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,2}{400}} \right) \\
 &= 0,0057
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\
 0,0035 < 0,0057 < 0,0243 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \times 300\text{mm} \times 550,5\text{mm} \\
 &= 952,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D19

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2 \\
 &= 283,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{952,2 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 3,36 \approx 5$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **5-D19**

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan tarik} \\
 &= 5 \times 283,53 \\
 &= 1417,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\
 1417,64 \text{ mm}^2 &\geq 770,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (5 \times 19mm)}{5-1} \\ &= 31,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$S_{max} \geq S_{sejajar}$

$31,25 \geq 30 \text{ mm}$  (susun 1 lapis)

### b. Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned} As' &= 30\% \cdot As \text{ perlu} \\ &= 0,3 \times 952,2 \text{ mm}^2 \\ &= 285,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= As' / As \text{ lentur} \\ &= 285,6 \text{ mm}^2 / 283,53\text{mm}^2 \\ &= 1,01 \approx 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times As \text{ lentur} \\ &= 2 \times 283,52 \text{ mm}^2 \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$As' \text{ pasang} \geq As'$

$567,1 \text{ mm}^2 \geq 285,6 \text{ mm}^2$  (memenuhi)

Kontrol jarak tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (2 \times 19mm)}{2-1} \\ &= 182,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$S_{max} \geq S_{sejajar}$

$182,0 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm}$  (susun 1 lapis)

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan adalah :

Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 5-D19

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 2-D19

### c. Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur Pada Balok

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (-) \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (+) \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{M lentur tump } (+) \geq 1/3 \text{ M lentur tump } (-)$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 472,55 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

#### d. Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{fy}{fc' \times b} \\ &= \frac{(1417,64 - 567,1) \text{ mm}^2}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}} \\ &= 44,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a$$

$$= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ MPa} \times 44,47 \text{ mm}$$

$$= 340234,48 \text{ N}$$

$$Cs' = As' \times fs'$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$= 2268822,99 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')] \\ &= \left[ 340234,48 \text{ N} \times \left( 550,5 \text{ mm} - \frac{44,47 \text{ mm}}{2} \right) \right] + \\ &\quad [2268822,99 \text{ N} \times (550,5 \text{ mm} - 49,5 \text{ mm})] \\ &= 293371420,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol : } \phi Mn \text{ pasang} > Mu$$

$$0,9 \times 293371420,8 \text{ Nmm} > 180177479 \text{ Nmm}$$

$$264034278,7 \text{ Nmm} > 180177479 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

#### - Daerah Lapangan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 97302405 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\&= \frac{97302405 \text{ Nmm}}{0,9} \\&= 108113782,8 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$M_n > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$\begin{aligned}&= 108113782,8 \text{ Nmm} - 330327000 \text{ Nmm} \\&= -222213217,2 < 0\end{aligned}$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

### a. Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{108113782,8}{300 \times 550,5^2} = 0,18 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,18}{400}} \right) \\ &= 0,0030\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0030 < 0,0243 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

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

$$\begin{aligned}&= 0,0035 \times 300 \text{mm} \times 550,5 \text{mm} \\&= 578,0 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D19

$$\text{Luas tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$\begin{aligned}&= \frac{1}{4} \pi (19 \text{ mm})^2 \\&= 283,53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{578,0 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 2,04 \approx 5$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **5-D19**

$$As \text{ pasang} = n \times As \text{ tulangan tarik}$$

$$= 5 \times 283,53$$

$$= 1417,64 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$As \text{ pasang} \geq As \text{ perlu}$$

$$1417,64 \text{ mm}^2 \geq 578,0 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (5 \times 19mm)}{5-1} \\ &= 31,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$$31,25 \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

### b. Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 30\% \cdot As \text{ perlu}$$

$$= 0,3 \times 578,0 \text{ mm}^2$$

$$= 173,4 \text{ mm}^2$$

$$n = As' / As \text{ lentur}$$

$$= 173,4 \text{ mm}^2 / 283,53 \text{ mm}^2$$

$$= 0,6 \approx 2$$

$$As' \text{ pasang} = n \times As \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 283,52 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$As' \text{ pasang} \geq As'$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 173,4 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (2 \times 19mm)}{2-1} \\ &= 182,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$182,0 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm}$  (**susun 1 lapis**)

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah lapangan adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 5-D19**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 2-D19**

**c. Cek Syarat SRPMM untuk Kekuatan Lentur pada Balok**

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (-) \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (+) \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tump } (+) \geq 1/3 M \text{ lentur tump } (-)$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 472,55 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

**d. Kontrol kemampuan penampang**

As pasang tulangan tarik (As) = 1417,64 mm<sup>2</sup>

As pasang tulangan tekan (As') = 567,1 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{fy}{fc' \times b} \\ &= \frac{(1417,64 - 567,1) \text{ mm}^2}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}} \\ &= 44,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a$$

$$= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ MPa} \times 44,47 \text{ mm}$$

$$= 340234,48 \text{ N}$$

$$Cs' = As' \times fs'$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$= 2268822,99 \text{ N}$$

$$Mn = \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')]$$

$$= \left[ 340234,48 \text{ N} \times \left( 550,5 \text{ mm} - \frac{44,47 \text{ mm}}{2} \right) \right] +$$

$$[2268822,99 \text{ N} \times (550,5 \text{ mm} - 49,5 \text{ mm})]$$

$$= 293371420,8 \text{ Nmm}$$

Kontrol :  $\phi Mn \text{ pasang} > Mu$

$$0,9 \times 293371420,8 \text{ Nmm} > 97302404,56 \text{ Nmm}$$

$$264034278,7 \text{ Nmm} > 97302404,56 \text{ Nmm} \\ (\text{memenuhi})$$

### E. Penulangan Geser Balok

Gaya terfaktor geser diperoleh dari SAP200, yaitu  
 $V_u = 196469,47 \text{ N}$

#### - Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri, hasil luasan tulangan adalah sebagai berikut :

As pasang tulangan tarik (As) 5-D19 = 1417,64 mm<sup>2</sup>

As pasang tulangan tekan (As') 2-D19= 567,1 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As' \times fy}{0.85 \times f_{cr} \times bw} = \frac{567,1 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa}}{0.85 \times 30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}} \\ = 17,79 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nl} &= As' \times fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \times \left( 550,5 \text{ mm} - \frac{17,79 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 73709076,55 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### - Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan, hasil luasan tulangan adalah sebagai berikut :

As pasang tulangan tarik (As) 5-D19 = 1417,64 mm<sup>2</sup>

As pasang tulangan tekan (As') 2-D19= 567,1 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f_{cr} \times bw} = \frac{1417,6 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa}}{0.85 \times 30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}} \\ = 24,24 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nr} &= As' \times fy \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \times \left( 550,5 \text{ mm} - \frac{24,24 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 183175933,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### - Gaya geser pada ujung perletakan

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{ln} + V_u \\ &= \frac{73709076,55 \text{ Nmm} + 183175933,4 \text{ Nmm}}{7000 \text{ mm} - [2 \times (0,5 \times 500 \text{ mm})]} + 196469,47 \text{ N} \\ &= 236607,75 \text{ N} \end{aligned}$$

- Syarat Kuat Tekan Beton

Nilai dari  $\sqrt{fc'}$  tidak boleh melebihi 8,3 MPa (SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

5,5 MPa < 8,3 MPa **(memenuhi)**

- Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 550,5 \text{ mm} \\ &= 153775,85 \text{ N} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 ;  $\lambda=1$  untuk beton normal)

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 1/3 \times bw \times d \\ &= 1/3 \times 300 \text{ mm} \times 550,5 \text{ mm} \\ &= 55050 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 1/4 \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 1/4 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 550,5 \text{ mm} \\ &= 603043 \text{ N} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.5)

$$\begin{aligned} V_s &= 1/3 \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 1/3 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 550,5 \text{ mm} \\ &= 301521 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah, yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
2. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok

- Perhitungan Penulangan Geser Balok Tumpuan

$$V_{u1} = 236607,75 \text{ N}$$

$$\phi_{geser} = 0,75$$

Cek Kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{u1} &\leq 0,5\phi V_c \\ 236607,75 \text{ N} &\leq 57665,9 \text{ N} \end{aligned}$$

**(tidak memenuhi)**

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} 0,5\phi V_c &\leq V_{u1} \leq \phi V_c \\ 57665,9 \text{ N} &\leq 236607,75 \text{ N} \leq 115331,8 \text{ N} \end{aligned}$$

**(tidak memenuhi)**

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\phi V_c \leq V_{u1} \leq \phi(V_c + V_{smin})$$

$$115331,8 \text{ N} \leq 236607,75 \text{ N} \leq 341472,8 \text{ N}$$

**(memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser balok tumpuan menggunakan persyaratan kondisi geser 3.

V<sub>s</sub> perlu = V<sub>s</sub> min = 55050 N

Cek :

$$V_s < 0,66\sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

$$55050 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 550,5 \text{ mm}$$

$$55050 \text{ N} < 597012,1 \text{ N} \quad \text{(memenuhi)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_kaki \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

$$S_{max} \leq d/2 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)}$$

$$\begin{aligned} S_{max} &= d/2 = 550,5 \text{ mm}/2 \\ &= 275,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan spasi tulangan 120mm

$$\begin{aligned} A_{v \min} &= \frac{b_w}{3} \times \frac{s}{f_y} \\ &= \frac{300 \text{ mm}}{3} \times \frac{120 \text{ mm}}{240} \\ &= 50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

Av pakai > Av min

$157,08 \text{ mm}^2 > 50 \text{ mm}^2$  (memenuhi)

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.2)

1. Spakai  $< d/4$

$$120 \text{ mm} < 550,5 \text{ mm}/4$$

$$120 \text{ mm} < 138 \text{ mm}$$

2. Spakai  $< 8 D_{\text{lentur}}$

$$120 \text{ mm} < 8 \times 19 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$$

3. Spakai  $< 24 D_{\text{geser}}$

$$120 \text{ mm} < 24 \times 10$$

$$120 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

4. Spakai  $< 300 \text{ mm}$

$$120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Maka menggunakan jarak terkecil yaitu 120mm

**Sehingga untuk tulangan geser pada wilayah 1 dan 3 daerah tumpuan dipasang  $2\varnothing 10-120 \text{ mm}$**

- Perhitungan Penulangan Geser Balok Lapangan

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{V_{u_2}}{(0,5 \times ln) - (2 \times h)} = \frac{V_{u_1}}{0,5 \times ln}$$

$$V_{u_2} = \frac{V_{u_1} \times [(0,5 \times ln) - (2 \times h)]}{0,5 \times ln}$$

$$= \frac{236607,75 \text{ N} \times [(0,5 \times 6400 \text{ mm}) - (2 \times 600 \text{ mm})]}{0,5 \times 6400 \text{ mm}}$$

$$= 147879,8 \text{ N}$$

$\phi_{\text{geser}} = 0,75$

Cek Kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_{u_2} \leq 0,5 \phi V_c$$

$$147879,8 \text{ N} \leq 57665,9 \text{ N}$$

**(tidak memenuhi)**

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5\phi V_c \leq V_{u2} \leq \phi V_c$$

$$57665,9 \text{ N} \leq 147879,8 \text{ N} \leq 115331,9 \text{ N}$$

**(memenuhi)**

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\phi V_c \leq V_{u1} \leq \phi(V_c + V_{smin})$$

$$115331,9 \text{ N} \leq 147879,8 \text{ N} \leq 341472,8 \text{ N}$$

**(memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser balok tumpuan menggunakan persyaratan kondisi geser 3.

$V_s$  perlu =  $V_s$  min = 55050 N

Cek :

$$V_s < 0,66\sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

$$55050 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 550,5 \text{ mm}$$

$$55050 \text{ N} < 597012,1 \text{ N} \quad \text{(memenuhi)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_kaki \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

$$S_{max} \leq d/2 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)}$$

$$\begin{aligned} S_{max} &= d/2 = 550,5 \text{ mm}/2 \\ &= 275,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan spasi tulangan 200mm

$$\begin{aligned} A_{v \min} &= \frac{b_w}{3} \times \frac{s}{f_y} \\ &= \frac{300 \text{ mm}}{3} \times \frac{200 \text{ mm}}{240} \\ &= 83,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$A_v$  pakai >  $A_{v \min}$

$$157,08 \text{ mm}^2 > 83,3 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.3)

a. Spakai  $< d/2$

$$200 \text{ mm} < 550,5 \text{ mm}/2$$

$$200 \text{ mm} < 275 \text{ mm}$$

Maka menggunakan jarak terkecil yaitu 200mm

**Sehingga untuk tulangan geser pada wilayah 2 daerah lapangan dipasang 2Ø10-200mm**

#### F. Penulangan Torsi Balok

$$Tu = 28346944,7 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Tn &= \frac{Tu}{\phi} \\ &= \frac{28346944,7 \text{ Nmm}}{0,75} \\ &= 37795926,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \left( \frac{(180000 \text{ mm}^2)^2}{1800 \text{ mm}} \right) \\ &= 6137231,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \left( \frac{(180000 \text{ mm}^2)^2}{1800 \text{ mm}} \right) \\ &= 24401039,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh momen torsi:

$$Tu > Tu_{\min}$$

$$28346944,7 \text{ Nmm} > 6137231,3 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka perlu dihitung kebutuhan tulangan torsi

#### a. Tulangan Torsi Untuk Lentur

Direncanakan tulangan lentur tambahan yang diperlukan untuk menahan torsi :

$$Al = \frac{At}{s} \times Ph \times \left( \frac{Fyt}{fy} \right) \times \cot^2 \theta$$

Maka :

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fytx \times (\cot 45)^2} \\ &= \frac{37795926,2 \text{ Nmm}}{2 \times 103615 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times (\cot 45)^2} \end{aligned}$$

$$= 0,54 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan torsi untuk lentur adalah :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{At}{s} \times Ph \times \left( \frac{Fyt}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta \\ A_l &= 0,54 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \right) \times \cot^2 45 \\ &= 1155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### b. Tulangan Torsi Untuk Lentur Minimum

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &\geq \frac{0,175 \times Bw}{Fyt} \\ 0,54 &\geq \frac{0,175 \times 300}{400} \\ 0,54 &> 0,13 \end{aligned}$$

#### c. Cek nilai A1 minimum

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \sqrt{fc' Acp}}{f_y} - \left( \frac{At}{s} \right) Ph \frac{fyt}{f_y} \\ &= \left( \frac{0,42 \sqrt{30} \text{ MPa} \cdot 180000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} \right) - \\ &\quad \left( 0,54 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \right) \\ &= 216,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :  $A_l > A_l \text{ minimum}$

$$1155 \text{ mm}^2 > 216,03 \text{ mm}^2$$

Sehingga  $A_l$  perlu =  $1155 \text{ mm}^2$

#### d. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi

Luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\begin{aligned} \frac{A_l}{4} &= \frac{1155 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 289 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Penyebaran tulangan torsi :

Pada sisi atas, dibebankan pada tulangan tarik

Pada sisi bawah dibebankan pada tulangan tekan

Pada sisi samping mendapat tambahan sebesar :

$$A_s \text{ perlu} = \frac{1}{2} \times 1155 \text{ mm}^2$$

$$= 578 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan torsi 4D16

$$\text{As pasang} = n \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \pi (16\text{mm})^2$$

$$= 804,6 \text{ mm}^2$$

Cek :

As pasang  $\geq$  As perlu

$$804,6 \text{ mm}^2 \geq 578 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

**Maka dipasang tulangan torsi 4D16**

## G. Perhitungan Panjang Penyaluran Balok

- Penyaluran dalam kondisi tarik

$$\lambda_d = \frac{f_y \times \psi t \times \psi e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times db$$

$$\psi t = 1$$

$$\psi e = 1$$

maka,

$$\begin{aligned} \lambda_d &= \frac{400 \text{ MPa} \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa}} \times 19 \text{ mm} \\ &= 660,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda_d \\ &= \frac{1015,5 \text{ mm}^2}{1417,64 \text{ mm}^2} \times 660,7 \text{ mm} \\ &= 443,7 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.1 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 300\text{mm}$

$$500\text{mm} \geq 300\text{mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 500 mm

Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times \psi e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times db \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{30} \text{ MPa}} \times 19 \text{ mm} \\ &= 333 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} \text{ reduksi} &= \frac{As \text{ perlu tumpuan}}{As \text{ pasang tumpuan}} \times \lambda dh \\ &= \frac{1015,5 \text{ mm}^2}{1417,64 \text{ mm}^2} \times 333\text{mm} \\ &= 181 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 150\text{mm}$

$250\text{mm} \geq 150\text{mm}$  **(memenuhi)**

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik adalah 250 mm

Panjang kait dalam kondisi tarik :

$$12db = 12 \times 19 \text{ mm} = 228 \text{ mm}$$

- Penyaluran dalam kondisi tekan

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= \frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times db \\ &= \frac{0,24 \times 400\text{MPa}}{1 \times \sqrt{30\text{MPa}}} \times 19\text{mm} \\ &= 333 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= 0,034 \times fy \times db \\ &= 0,034 \times 400\text{MPa} \times 19\text{mm} \\ &= 258,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diambil yang terbesar yaitu  $\lambda_{dc} = 333 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} \text{ reduksi} &= \frac{As \text{ perlu tumpuan}}{As \text{ pasang tumpuan}} \times \lambda dc \\ &= \frac{304,6 \text{ mm}^2}{567,1 \text{ mm}^2} \times 333\text{mm} \\ &= 118 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 250 \text{ mm}$

$250\text{mm} \geq 200\text{mm}$  **(memenuhi)**

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan adalah 250 mm

Panjang kait dalam kondisi tekan :

$$\begin{aligned}4\text{db} + 4\text{db} &= 8\text{db} \\&= 8 \times 19 \text{ mm} = 152 \text{ mm}\end{aligned}$$

## 2. Balok B2 (25/40 cm)

### A. Data Perencanaan

Tipe balok	= B2
Frame	= 448
Bentang	= 4000 mm
b balok	= 250 mm
h balok	= 400 mm
Mutu beton (fc')	= 30 MPa
Mutu baja tulangan (fy):	
Tulangan lentur dan torsi	= 400 MPa
Tulangan geser	= 240 MPa
φ lentur	= 0.9
φ geser dan torsi	= 0.75
β₁	= 0.85
Tebal selimut beton	= 30 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	= 30 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 19 mm
Diameter tulangan geser(Ø)	= 10 mm
Diameter tulangan torsi (D)	= 16 mm

### B. Output SAP 2000 untuk Balok

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP2000, maka didapatkan hasil gaya terbesar untuk balok (B1) dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP2000 :

#### Torsi Maksimum

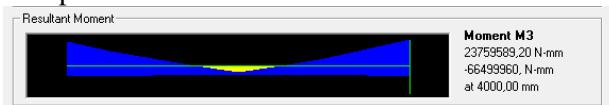
Tu : 8040745 Nmm



**Gambar 4. 78** Diagram torsi maksimum pada balok B2

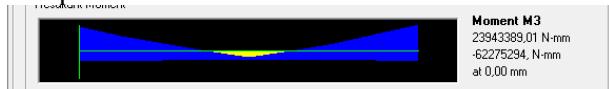
### Momen Lentur Maksimum

Tumpuan Kanan : 66499960 Nmm



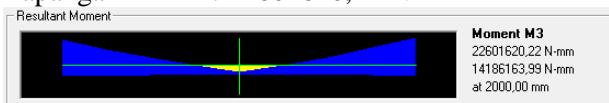
**Gambar 4. 79** Diagram momen maksimum daerah tumpuan kanan pada balok B2

Tumpuan Kiri : 62275294 Nmm



**Gambar 4. 80** Diagram momen maksimum daerah tumpuan kiri balok B2

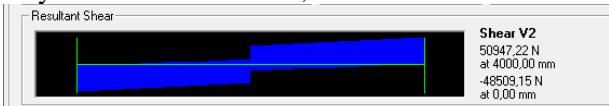
Lapangan : 22601620,22 Nmm



**Gambar 4. 81** Diagram momen maksimum daerah lapangan pada balok B2

### Gaya Geser Maksimum

Gaya Geser : 50947,2 N



**Gambar 4. 82** Diagram Geser maksimum pada balok B2

### C. Dimensi Penampang dan tinggi efektif balok

- Dimensi penampang

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \cdot h_{balok}$$

$$\begin{aligned}
 &= 250\text{mm} \times 400\text{mm} \\
 &= 100000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Parameter luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (250 + 400)\text{mm} \\
 &= 1300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{deking} - \emptyset) \cdot (h_{balok} - 2t_{deking} - \emptyset) \\
 &= (250 - 2.30 - 10)\text{mm} \times (400 - 2.30 - 10)\text{mm} \\
 &= 59400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0.85A_{oh} \\
 &= 0.85 \times 59400 \text{ mm}^2 \\
 &= 50490 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2[(b_{balok} - 2spasitulangansejajar - \emptyset) + (h_{balok} - 2spasitulangansejajar - \emptyset)] \\
 &= 2 \times [(250 - 2.30 - 10) + (400 - 2.30 - 10)]\text{mm} \\
 &= 1020 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 dx &= h_{balok} - t_{deking} - \emptyset_{tul.geser} - 1/2D_{tul.lentur} \\
 &= 400\text{mm} - 30\text{mm} - 10\text{mm} - (0.5 \times 19)\text{mm} \\
 &= 350,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= h - dx \\
 &= 400\text{mm} - 350,5\text{mm} \\
 &= 49,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

## D. Penulangan Lentur Balok

- Garis Netral

Garis Netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{600+fy} \times dx \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 350.5 \\
 &= 210,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis Netral maksimum

$$X_{max} = 0.75X_b$$

$$= 0,75 \times 210,3\text{mm}$$

$$= 157,725 \text{ mm}$$

Garis Netral minimum

$$X_{\min} = d'' = 49,5 \text{ mm}$$

Garis Netral rencana (asumsi)

$$X_{ren} = 100 \text{ mm}$$

- Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{cr} \times b \times X_{ren}}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30\text{MPa} \times 250\text{mm} \times 100\text{mm}}{400\text{MPa}}$$

$$= 1354,7 \text{ mm}^2$$

- Momen Nominal tulangan lentur

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( dx - \frac{\beta_1 \times X_{ren}}{2} \right)$$

$$= 1354,7 \text{ mm}^2 \times 400\text{MPa} \times$$

$$\left( 350,5\text{mm} - \frac{0,85 \times 100\text{mm}}{2} \right)$$

$$= 166897500 \text{ Nmm}$$

- Nilai  $\rho$  dan  $m$

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_{cr} \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600+f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30\text{MPa} \times 0,85}{400\text{MPa}} \left( \frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{cr}} = \frac{400\text{MPa}}{0,85 \times 30\text{MPa}} = 15,686$$

### - Daerah Tumpuan Kiri

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 62275294 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{62275294 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$= 69194771,11 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$M_n > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 69194771,11 \text{ Nmm} - 166897500 \text{ Nmm}$$

$$= -97102728,9 < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

### a. Tulangan Lentur Tarik

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{69194771,11}{250 \times 350,5^2} = 2,25$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,25}{400}} \right)$$

$$= 0,0059$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0059 < 0,0243 \text{ (memenuhi)}$$

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho = 0,0059$

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

$$= 0,0059 \times 300\text{mm} \times 350,5\text{mm}$$

$$= 517,5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D19

$$\text{Luas tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{517,5 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 1,83 \approx 3$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **3-D19**

As pasang =  $n \times$  As tulangan tarik

$$= 3 \times 283,53 \text{ mm}^2$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

As pasang  $\geq$  As perlu

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 517,5 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{250\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (3 \times 19\text{mm})}{3-1} \\ &= 56,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$$56,50 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

### b. Tulangan Lentur Tekan

As' = 30% . As perlu

$$= 0,3 \times 517,5 \text{ mm}^2$$

$$= 155,2 \text{ mm}^2$$

n = As'/ As lentur

$$= 155,2 \text{ mm}^2 / 283,53\text{mm}^2$$

$$= 0,5 \approx 2$$

As' pasang = n x As lentur

$$= 2 \times 283,52 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

As' pasang  $\geq$  As'

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 155,2 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol jarak tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{250\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (2 \times 19\text{mm})}{2-1} \\ &= 132,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$$132,0 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kiri adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 3-D19**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 2-D19**

**c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (-) \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (+) \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tump } (+) &\geq 1/3 M \text{ lentur tump } (-) \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 850,59 \text{ mm}^2 \\ 567,1 \text{ mm}^2 &\geq 283,53 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

**d. Kontrol kemampuan penampang**

$$As \text{ pasang tulangan tarik (As)} = 850,5 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pasang tulangan tekan (As')} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{fy}{fc' \times b} \\ &= \frac{(850,5 - 567,1) \text{ mm}^2}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm}} \\ &= 17,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a \\ &= 0,85 \times 250 \text{ mm} \times 30 \text{ MPa} \times 17,79 \text{ mm} \\ &= 113411,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \times fs' \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\ &= 2268822,99 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')] \\ &= \left[ 113411,5 \text{ N} \times \left( 350,5 \text{ mm} - \frac{17,79 \text{ mm}}{2} \right) \right] + \\ &\quad [2268822,99 \text{ N} \times (350,5 \text{ mm} - 49,5 \text{ mm})] \\ &= 107015651,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :  $\phi Mn \text{ pasang} > Mu$

$$0,9 \times 107015651,4 \text{ Nmm} > 62275294 \text{ Nmm}$$

$$96314086,23 \text{ Nmm} > 62275294 \text{ Nmm}$$

**(memenuhi)**

### - Daerah Tumpuan Kanan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 66499960 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{66499960 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 73888844,44 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$Mn > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 73888844,44 \text{ Nmm} - 166897500 \text{ Nmm}$$

$$= -93008655,6 < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

#### a. Tulangan Lentur Tarik

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{73888844,44}{250 \times 350,5^2} = 2,4$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,4}{400}} \right) \\ &= 0,0063 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0063 < 0,0243 \quad (\text{memenuhi})$$

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

$$= 0,0063 \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm}$$

$$= 554,6 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D19

$$\text{Luas tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi \times (19 \text{ mm})^2$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{554,6 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 1,96 \approx 3$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **3-D19**

As pasang = n x As tulangan tarik

$$= 3 \times 283,53 \text{ mm}^2$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

As pasang  $\geq$  As perlu

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 554,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\theta_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{250\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (3 \times 19\text{mm})}{3-1} \\ &= 56,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$$56,50 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

### b. Tulangan Lentur Tekan

As' = 30%.As perlu

$$= 0,3 \times 554,6 \text{ mm}^2$$

$$= 166 \text{ mm}^2$$

n = As'/ As lentur

$$= 166\text{mm}^2 / 283,53\text{mm}^2$$

$$= 0,60 \approx 2$$

As' pasang = n x As lentur

$$= 2 \times 283,52 \text{ mm}^2$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

As' pasang  $\geq$  As'

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 114,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - 2t_{deking} - 2\theta_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$= \frac{250\text{mm} - 2,30\text{mm} - 2,10\text{mm} - (2 \times 19\text{mm})}{2-1}$$

$$= 132,0 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$132,0 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 3-D19**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 2-D19**

**c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} (-) \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'_{\text{pasang}} &= n \times \text{luasan } \varnothing_{\text{lentur}} (+) \\ &= 567,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tump}} (+) \geq 1/3 M_{\text{lentur tump}} (-)$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 850,59 \text{ mm}^2$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

**d. Kontrol kemampuan penampang**

$$As_{\text{pasang tulangan tarik}} (As) = 850,5 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pasang tulangan tekan}} (As') = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{f_y}{fc' \times b} \\ &= \frac{(850,5 - 567,1) \text{ mm}^2}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm}} \\ &= 17,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a$$

$$= 0,85 \times 300 \text{ mm} \times 30 \text{ MPa} \times 17,79 \text{ mm}$$

$$= 113411,5 \text{ N}$$

$$Cs' = As' \times fs'$$

$$= 567,1 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}$$

$$= 2268822,99 \text{ N}$$

$$M_n = \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')]$$

$$\begin{aligned}
 &= \left[ 113411,5 N \times \left( 350,5mm - \frac{17,79mm}{2} \right) \right] + \\
 &\quad [2268822,99 N \times (350,5mm - 49,5mm)] \\
 &= 107015651,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :  $\phi M_n$  pasang >  $M_u$

$$0,9 \times 107015651,4 \text{ Nmm} > 66499960 \text{ Nmm}$$

$$96314086,2 \text{ Nmm} > 66499960 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

### - Daerah Lapangan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$M_u = 22601620 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{22601620 \text{ Nmm}}{0,9} \\
 &= 25112911,36 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$$M_n > 0, \text{ maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_n \leq 0, \text{ maka tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 25112911,36 \text{ Nmm} - 166897500 \text{ Nmm}$$

$$= -141784588,6 \text{ Nmm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

#### a. Tulangan Lentur Tarik

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{25112911,36}{250 \times 350,5^2} = 0,81$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,81}{400}} \right) \\
 &= 0,0020
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$0,0035 < 0,0020 < 0,0243$  (**tidak memenuhi**)

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

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

$$\begin{aligned} &= 0,0035 \times 250\text{mm} \times 350,5\text{mm} \\ &= 306,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D19

Luas tulangan lentur =  $\frac{1}{4} \pi D^2$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} \pi \times (19\text{mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{306,7 \text{ mm}^2}{283,53 \text{ mm}^2} = 1,08 \approx 3$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **3-D19**

As pasang =  $n \times$  As tulangan tarik

$$\begin{aligned} &= 3 \times 283,53 \text{ mm}^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

As pasang  $\geq$  As perlu

$$850,59 \text{ mm}^2 \geq 306,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\varnothing_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{250\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (3 \times 19\text{mm})}{3-1} \\ &= 56,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$S_{max} \geq$  Ssejajar

$56,50 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm}$  (**susun 1 lapis**)

### b. Tulangan Lentur Tekan

As' = 30% . As perlu

$$= 0,3 \times 306,7 \text{ mm}^2$$

$$= 92 \text{ mm}^2$$

n = As' / As lentur

$$= 92\text{mm}^2 / 283,53\text{mm}^2$$

$$= 0,3 \approx 2$$

As' pasang = n x As lentur

$$= 2 \times 283,52 \text{ mm}^2 \\ = 567,1 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$\text{As' pasang} \geq \text{As}' \\ 567,1 \text{ mm}^2 \geq 92 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ = \frac{250\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (2 \times 19\text{mm})}{2-1} \\ = 132,0 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar}$$

$$132,0 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah lapangan adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 3-D19**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 2-D19**

**c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

(SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1)

$$\text{As pasang} = n \times \text{luasan } \emptyset_{lentur} (-) \\ = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' pasang} = n \times \text{luasan } \emptyset_{lentur} (+) \\ = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$M_{lentur\ tump\ (+)} \geq 1/3 M_{lentur\ tump\ (-)}$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 850,59 \text{ mm}^2$$

$$567,1 \text{ mm}^2 \geq 283,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

**d. Kontrol kemampuan penampang**

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} = 850,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{fy}{fc' \times b} \\ = \frac{(850,5 - 567,1)\text{mm}^2}{0,85} \times \frac{400MPa}{30MPa \times 250mm} \\ = 17,79 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \times 300\text{mm} \times 30\text{Mpa} \times 17,79\text{mm} \\
 &= 113411,5 \text{ N} \\
 \text{Cs'} &= \text{As}' \times f_s' \\
 &= 567,1 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 2268822,99 \text{ N} \\
 \text{Mn} &= \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')] \\
 &= \left[ 113411,5 \text{ N} \times \left( 350,5\text{mm} - \frac{17,79\text{mm}}{2} \right) \right] + \\
 &\quad [2268822,99 \text{ N} \times (350,5\text{mm} - 49,5\text{mm})] \\
 &= 107015651,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :  $\phi \text{ Mn}$  pasang >  $\text{Mu}$

$$0,9 \times 107015651,4 \text{ Nmm} > 22601620,2 \text{ Nmm}$$

$$96314086,2 \text{ Nmm} > 22601620,2 \text{ Nmm}$$

**(memenuhi)**

## E. Penulangan Geser Balok

Gaya terfaktor geser diperoleh dari SAP200, yaitu

$$V_u = 50947,2 \text{ N}$$

### - Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri, hasil luasan tulangan adalah sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} 3-\text{D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} 2-\text{D19} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\text{As}' \times f_y}{0,85 \times f_{cr} \times b_w} = \frac{567,1 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm}} \\
 &= 21,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mnl} &= \text{As}' \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 567,1 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \times \left( 350,5 \text{ mm} - \frac{21,3 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 46248206,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

### - Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan, hasil luasan tulangan adalah sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} 3-\text{D19} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} 2-\text{D19} = 567,1 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f_{c'} \times bw} = \frac{850,59 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa}}{0.85 \times 30 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm}} \\ = 22,84 \text{ mm}$$

$$\text{Mnr} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ = 850,6 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \times \left(350,5 \text{ mm} - \frac{22,84 \text{ mm}}{2}\right) \\ = 69219997,05 \text{ Nmm}$$

- Gaya geser pada ujung perletakan

$$Vu_1 = \frac{\frac{Mnl + Mnr}{ln}}{4000 \text{ mm} - [2 \times (0,5 \times 500 \text{ mm})]} + 50947,2 \text{ N} \\ = 80544,5 \text{ N}$$

- Syarat Kuat Tekan Beton

Nilai dari  $\sqrt{f'_c}$  tidak boleh melebihi 8,3 MPa (SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \\ 5,5 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

- Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d \\ = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm} \\ = 81590,1 \text{ N}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 ;  $\lambda=1$  untuk beton normal)

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_s \text{ min} = 1/3 \times bw \times d \\ = 1/3 \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm} \\ = 29208,3 \text{ N}$$

$$V_s \text{ max} = 1/4 \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d \\ = 1/4 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm} \\ = 319961 \text{ N}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.5)

$$V_s = 1/3 \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d \\ = 1/3 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm} \\ = 159981 \text{ N}$$

- Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah, yaitu :

3. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.
4. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok

- Perhitungan Penulangan Geser Balok Tumpuan

$$V_{u1} = 80554,5 \text{ N}$$

$$\phi_{geser} = 0,75$$

Cek Kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$V_{u1} \leq 0,5\phi V_c$$

$$80554,5 \text{ N} \leq 30596,3 \text{ N}$$

**(tidak memenuhi)**

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$0,5\phi V_c \leq V_{u1} \leq \phi V_c$$

$$30596,3 \text{ N} \leq 80554,5 \text{ N} \leq 61192,5 \text{ N}$$

**(tidak memenuhi)**

3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum

$$\phi V_c \leq V_{u1} \leq \phi(V_c + V_{smin})$$

$$61192,5 \text{ N} \leq 80554,5 \text{ N} \leq 83098,8 \text{ N}$$

**(memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser balok tumpuan menggunakan persyaratan kondisi geser 3.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 29208,3 \text{ N}$$

Cek :

$$V_s < 0,66\sqrt{f_c' \cdot b_w \cdot d}$$

$$29208,3 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm}$$

$$29208,3 \text{ N} < 316761,6 \text{ N} \quad \text{(memenuhi)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_kaki$$

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

Syarat spasi tulangan :

$S_{\max} \leq d/2$  (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)

$$\begin{aligned} S_{\max} &= d/2 = 350,5 \text{ mm}/2 \\ &= 175,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan spasi tulangan 85 mm

$$\begin{aligned} A_v \min &= \frac{bw}{3} \times \frac{s}{f_y} \\ &= \frac{250 \text{ mm}}{3} \times \frac{85 \text{ mm}}{240} \\ &= 29,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$A_v$  pakai >  $A_v$  min

$$157,08 \text{ mm}^2 > 29,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.2)

1. Spakai <  $d/4$   
85 mm < 350,5 mm/4  
85 mm < 87,6 mm
2. Spakai < 8 Dlentur  
85 mm < 8 x 19 mm  
85 mm < 152 mm
3. Spakai < 24 Dgeser  
85 mm < 24 x 10  
85 mm < 240 mm
4. Spakai < 300 mm  
85 mm < 300 mm

Maka menggunakan jarak terkecil yaitu 85 mm

**Sehingga untuk tulangan geser pada wilayah 1 dan 3 daerah tumpuan dipasang 2Ø10-85mm**

- Perhitungan Penulangan Geser Balok Lapangan Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{(0,5 \times ln) - (2 \times h)} = \frac{Vu_1}{0,5 \times ln}$$

$$\begin{aligned}
 Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times [(0,5 \times ln) - (2 \times h)]}{0,5 \times ln} \\
 &= \frac{80554,5 \text{ N} \times [(0,5 \times 3900 \text{ mm}) - (2 \times 400 \text{ mm})]}{0,5 \times 3900 \text{ mm}} \\
 &= 47506,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$\phi_{geser} = 0,75$

Cek Kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned}
 Vu_2 &\leq 0,5\phi Vc \\
 47506,5 \text{ N} &\leq 30596,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**(tidak memenuhi)**

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 0,5\phi Vc &\leq Vu_2 \leq \phi Vc \\
 30596,3 \text{ N} &\leq 47506,5 \text{ N} \leq 61192,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

**(memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser balok tumpuan menggunakan persyaratan kondisi geser 2.

Vs perlu = Vs min = 29208,3 N

Cek :

$$Vs < 0,66\sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

$$29208,3 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 250 \text{ mm} \times 350,5 \text{ mm}$$

$$29208,3 \text{ N} < 316761,6 \text{ N} \quad \text{(memenuhi)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 Av &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_kaki \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

$S_{max} \leq d/2$  (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= d/2 = 550,5 \text{ mm}/2 \\
 &= 275,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan spasi tulangan 150mm

$$Av_{min} = \frac{b_w}{3} \times \frac{S}{f_y}$$

$$= \frac{250\text{mm}}{3} \times \frac{150\text{mm}}{240} \\ = 52,1 \text{ mm}^2$$

Cek :

Av pakai > Av min

$$157,08 \text{ mm}^2 > 52,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.3)

a. Spakai  $< d/2$

$$150 \text{ mm} < 350,5 \text{ mm}/2$$

$$150 \text{ mm} < 175 \text{ mm}$$

Maka menggunakan jarak terkecil yaitu 150mm

**Sehingga untuk tulangan geser pada wilayah 2 daerah lapangan dipasang 2Ø10-150mm**

## F. Penulangan Torsi Balok

$$Tu = 8040744,6 \text{ Nmm}$$

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} \\ = \frac{8040744,6 \text{ Nmm}}{0,75} \\ = 10720992,7 \text{ Nmm}$$

$$Tu_{\min} = \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ = 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \left( \frac{(100000 \text{ mm}^2)^2}{1300 \text{ mm}} \right) \\ = 2622748,4 \text{ Nmm}$$

$$Tu_{\max} = \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ = 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \left( \frac{(100000 \text{ mm}^2)^2}{1300 \text{ mm}} \right) \\ = 10427794,8 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh momen torsi:

Tu > Tu min

$$8040744,6 \text{ Nmm} > 2622748,4 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka perlu dihitung kebutuhan tulangan torsi

### a. Tulangan Torsi Untuk Lentur

Direncanakan tulangan lentur tambahan yang diperlukan untuk menahan torsi :

$$A1 = \frac{At}{s} \times Ph \times \left(\frac{Fyt}{fy}\right) \times \cot^2\theta$$

Maka :

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fytx \times (\cot 45)^2} \\ &= \frac{10720992,7 \text{ Nmm}}{2 \times 50490 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times (\cot 45)^2} \\ &= 0,235 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan torsi untuk lentur adalah :

$$A1 = \frac{At}{s} \times Ph \times \left(\frac{Fyt}{fy}\right) \times \cot^2\theta$$

$$\begin{aligned} A1 &= 0,235 \text{ mm} \times 1020 \text{ mm} \times \left(\frac{400 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}\right) \times \cot^2 45 \\ &= 338,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### b. Tulangan Torsi Untuk Lentur Minimum

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &\geq \frac{0,175 \times Bw}{Fyt} \\ 0,235 &\geq \frac{0,175 \times 250}{400} \\ 0,235 &> 0,109 \end{aligned}$$

### c. Cek nilai A1 minimum

$$\begin{aligned} A1 \min &= \frac{0,42 \sqrt{fc' Acp}}{fy} - \left(\frac{At}{s}\right) Ph \frac{fyt}{fy} \\ &= \left(\frac{0,42 \sqrt{30} \text{ MPa} \cdot 100000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}}\right) - \\ &\quad \left(0,235 \text{ mm} \times 1020 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}\right) \\ &= 463,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena :  $A1 < A1 \text{ minimum}$

$$338,4 \text{ mm}^2 < 463,5 \text{ mm}^2$$

Maka A1 yang digunakan adalah A1 minimum

Sehingga  $A1 \text{ perlu} = 463,5 \text{ mm}^2$

### d. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi

Luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\begin{aligned} \frac{A1}{4} &= \frac{463,5 \text{ mm}^2}{4} \\ &= 116 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Penyebaran tulangan torsi :

Pada sisi atas, dibebankan pada tulangan tarik

Pada sisi bawah dibebankan pada tulangan tekan

Pada sisi samping mendapat tambahan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{1}{2} \times 463,5 \text{ mm}^2 \\ &= 231,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan torsi 2D16

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi (16\text{mm})^2 \\ &= 402,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

As pasang  $\geq$  As perlu

$$402,3 \text{ mm}^2 \geq 231,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

**Maka dipasang tulangan torsi 2D16**

## G. Perhitungan Panjang Penyaluran Balok

- Penyaluran dalam kondisi tarik

$$\lambda_d = \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times db$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

maka,

$$\begin{aligned} \lambda_d &= \frac{400 \text{ MPa} \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ MPa}}} \times 19 \text{ mm} \\ &= 661 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda_d \\ &= \frac{306,7 \text{ mm}^2}{850,59 \text{ mm}^2} \times 661 \text{ mm} \\ &= 431 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.1 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 300 \text{ mm}$

$$500 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 500 mm.

### Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times db \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{30 \text{ MPa}}} \times 19 \text{ mm} \\ &= 333 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} \text{ reduksi} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda dh \\ &= \frac{306,7 \text{ mm}^2}{850,59 \text{ mm}^2} \times 333 \text{ mm} \\ &= 217 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 150 \text{ mm}$

$250 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm}$  **(memenuhi)**

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik adalah 250 mm.

Panjang kait dalam kondisi tarik :

$$12db = 12 \times 19 \text{ mm} = 228 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

- Penyaluran dalam kondisi tekan

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times db \\ &= \frac{0,24 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{30 \text{ MPa}}} \times 19 \text{ mm} \\ &= 333 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= 0,034 \times f_y \times db \\ &= 0,034 \times 400 \text{ MPa} \times 19 \text{ mm} \\ &= 258,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diambil yang terbesar yaitu  $\lambda_{dc} = 333 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} \text{ reduksi} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda dc \\ &= \frac{155,2 \text{ mm}^2}{567,1 \text{ mm}^2} \times 333 \text{ mm} \\ &= 97,7 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 200$  mm

$250\text{mm} \geq 200\text{mm}$  (**memenuhi**)

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan adalah 250 mm

Panjang kait dalam kondisi tekan :

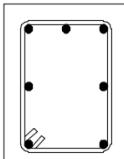
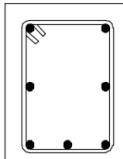
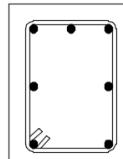
$$\begin{aligned} 4\text{db} + 4\text{db} &= 8\text{db} \\ &= 8 \times 19 \text{ mm} \\ &= 152 \text{ mm} \end{aligned}$$

### 3. Rekapitulasi penulangan balok

**Tabel 4. 14** Rekapitulasi penulangan balok induk (B1)

Tipe Wilayah	Balok Induk (B1)		
	Tump. Kiri	Lapangan	Tump. Kanan
Sketsa			
Dimensi	(300 x 600) mm		
Tul. Atas	5D19	2D19	5D19
Tul. Torsi	4D16	4D16	4D16
Tul.Bawah	2D19	5D19	2D19
Sengkang	2Ø10-120	2Ø10-200	2Ø10-120

**Tabel 4. 15** Rekapitulasi penulangan balok anak (B2)

Tipe Wilayah	Balok Anak (B2)		
	Tump. Kiri	Lapangan	Tump. Kanan
Sketsa			
Dimensi	(250 x 400) mm		
Tul. Atas	3D19	2D19	3D19
Tul. Torsi	2D16	2D16	2D16
Tul.Bawah	2D19	3D19	2D19
Sengkang	2Ø10-85	2Ø10-150	2Ø10-85

#### 4.4.2 Perhitungan Struktur Kolom

Perhitungan tulangan lentur kolom ditinjau berdasarkan gaya aksial dan momen terbesar, hal ini berdasar pada SNI 2847:2013 pasal 8.10.1. Berikut ini data perencanaan kolom berdasar hasil output diagram gaya dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

##### 1. Kolom K1 (50/50)cm

###### A. Data Perencanaan

$$\text{Tipe kolom} = \text{K1}$$

$$\text{Dimensi kolom} :$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (fc')} = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton (Ec)} = 4700\sqrt{f_c'}$$

$$\text{Modulus eastisitas baja (Es)} = 200000 \text{ MPa}$$

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

$f_y$ tulangan geser	= 240 MPa
D lentur	= 19 mm
$\emptyset$ geser	= 10 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.7.1)

Jarak spasi tulangan sejajar	= 40 mm
------------------------------	---------

(SNI 2847:2013 pasal 7.6.3)

$$\beta_1 = 0,85 - \left( 0,05 \left( \frac{f_{c'} - 28}{7} \right) \right) \\ = 0,84$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.(3))

Reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ )	= 0,65
---	--------

(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.(2))

Reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ )	= 0,75
--	--------

(SNI 2847:2013 pasal 9 .3.2.(3))

## B. Output SAP 2000

Gaya aksial berdasarkan output SAP 2000 untuk kolom

$$PDL = 91920,15 \text{ kg} = 919201,5 \text{ N}$$



$$PU (1,2D + 1,6L) = 119064,47 \text{ kg} = 1190644,7 \text{ N}$$



Momen pada penampang kolom ditinjau dari dua arah, yaitu momen arah X dan arah Y

Momen akibat pengaruh gempa :

$M_{1s}$  = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.

$M_{2s}$  = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.

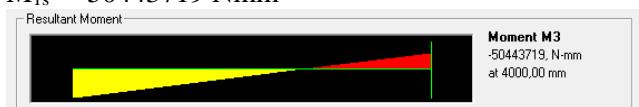
Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M_{1ns}$  = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping.

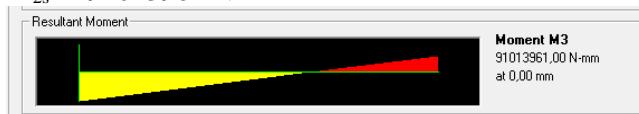
$M_{2ns}$  = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping.

a. Momen Arah X

$$M_{1s} = 50443719 \text{ Nmm}$$



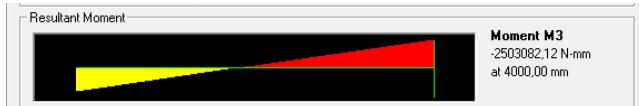
$$M_{2s} = 91013961 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 2005091,35 \text{ Nmm}$$

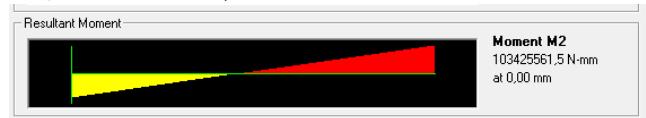


$$M_{2ns} = 2503082,12 \text{ Nmm}$$



b. Momen Arah Y

$$M_{1s} = 103425561,5 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 127947507 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 24811039,29 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 55846709 \text{ Nmm}$$



### C. Penulangan Lentur Kolom

#### a. Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.3.2, gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebih dari  $(Ag \times fc')/10$ . Bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5. (ketentuan kolom untuk SRPMM).

$$P_u > \frac{Ag \times fc'}{10}$$

$$1190644,7 \text{ N} > \frac{(50\text{cm} \times 50\text{cm}) \times 30\text{MPa}}{10}$$

$$1190644,7 \text{ N} > 7500 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

### b. Menghitung faktor kekakuan kolom

- Rasio beban aksial

$$\begin{aligned}\beta d &= \frac{P_{DL} \times 1,2}{P_U} \\ &= \frac{919201,5 \text{ N} \times 1,2}{1190644,7 \text{ N}} \\ &= 0,9\end{aligned}$$

- Panjang tekuk kolom

Kolom K1 500/500mm

$$\begin{aligned}Ig \text{ kolom} &= 0,7 \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 0,7 \cdot 1/12 \cdot 500 \cdot 500^3 \\ &= 3,64 \times 10^9 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}EI \text{ kolom} &= \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times Ig}{1+0,9} \\ &= 1,94 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

Balok 300/600 mm

$$\begin{aligned}Ig \text{ balok} &= 0,35 \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 0,35 \cdot 1/12 \cdot 300 \cdot 600^3 \\ &= 1,89 \times 10^9 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}EI \text{ balok} &= \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times Ig}{1+0,9} \\ &= 1,01 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

Balok 250/400 mm

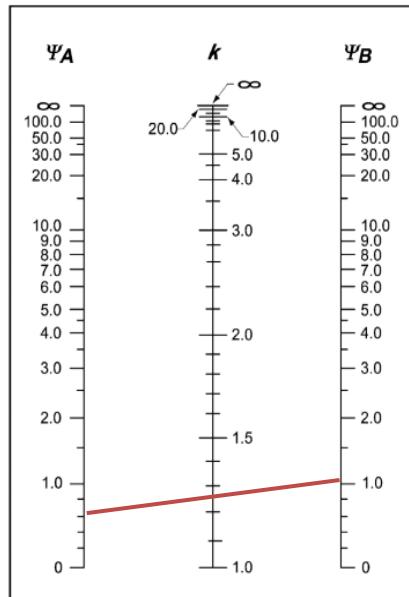
$$\begin{aligned}Ig \text{ balok} &= 0,35 \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ &= 0,35 \cdot 1/12 \cdot 250 \cdot 400^3 \\ &= 4,67 \times 10^8 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}EI \text{ balok} &= \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \times Ig}{1+0,9} \\ &= 2,49 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

Kekakuan kolom atas

$$\psi A = \frac{\sum \left( \frac{EI}{L} \right) \text{kolom-kolom}}{\sum \left( \frac{EI}{L} \right) \text{balok-balok}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum^{(EI/L)}_{kolom atas}}{\sum^{(EI/L)}_{B_1} + \sum^{(EI/L)}_{B_1} + \sum^{(EI/L)}_{B_2} + \sum^{(EI/L)}_{B_2}} \\
 &= \frac{1,9 \times 10^{13}}{\left[ 2 \times \left( \frac{1,01 \times 10^{13}}{7} \right) \right] + \left[ 2 \times \left( \frac{2,49 \times 10^{12}}{4,5} \right) \right]} N/mm^2 \\
 &= 0,64 \\
 \psi_B &= 1,00 \quad (\text{tertumpu pondasi})
 \end{aligned}$$



**Gambar 4. 83** Nomogram penentu faktor panjang efektif  $k$  rangka bergoyang

Dari grafik nomogram diatas, didapatkan faktor panjang efektif  $k = 1,25$ .

Kontrol kelangsungan kolom :  
 $r = 0,3 \times h$

$$\begin{aligned}
 &= 0,3 \times 500\text{mm} \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 \lambda &= \frac{k \times Lu}{r} \\
 &= \frac{1,25 \times 4000\text{mm}}{150\text{mm}} \\
 &= 33,3 \geq 22 \quad (\text{kolom langsing})
 \end{aligned}$$

### c. Peninjauan kolom akibat arah X

- Menghitung faktor pembesaran momen

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k Lu)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 1,94 \times 10^{13} N/mm^2}{(1,25 \times 4000\text{mm})^2} \\
 &= 7,69 \times 10^6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma P_c &= n \times P_c \\
 &= 60 \times (7,69 \times 10^6) \text{ N} \\
 &= 4,61 \times 10^8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma P_u &= n \times P_u \\
 &= 60 \times (1,19 \times 10^6) \text{ N} \\
 &= 7,14 \times 10^7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_s &= \frac{1}{1 - \left( \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c} \right)} \geq 1 \\
 &= \frac{1}{1 - \left( \frac{7,14 \times 10^7 \text{ N}}{0,75 \times (4,6 \times 10^8) \text{ N}} \right)} \geq 1 \\
 &= 1,25 \geq 1
 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai  $\delta_s = 1,25$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen arah X :

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_{1ns} + (\delta_s \times M_{1s}) \\
 &= 2005091,3 \text{ Nmm} + (1,25 \times 50443719 \text{ Nmm}) \\
 &= 65550693,9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= M_{2ns} + (\delta_s \times M_{2s}) \\
 &= 2503082,1 \text{ Nmm} + (1,25 \times 91013961 \text{ Nmm}) \\
 &= 117156345,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu 117156345,4 Nmm

- Penentuan  $\rho$  perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi. Keterangan yang dibutuhkan dalam diagram interaksi adalah sebagai berikut :

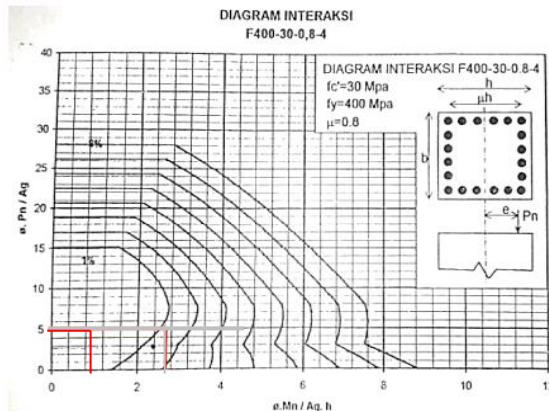
$$\begin{aligned}\mu h &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 500\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - \\ &\quad 22\text{mm} \\ &= 381\text{ mm} \\ \mu &= \mu h / h \\ &= 381\text{mm}/500\text{mm} \\ &= 0,7\end{aligned}$$

Sumbu vertikal :

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \times h} = \frac{1190644,7 \text{ N}}{500\text{mm} \times 500\text{mm}} \\ &= 4,7 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Sumbu horizontal :

$$\begin{aligned}\frac{\phi M_n}{A_g \times h} &= \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{117156345,4 \text{ Nmm}}{500\text{mm} \times (500\text{mm})^2} \\ &= 0,9 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$



**Gambar 4. 84** Diagram interaksi kolom K1 arah X

Maka digunakan  $\rho$  minimum = 1,0 % = 0,01  
*(SNI 2847:2013 pasal 10.9.1)*

- Perhitungan tulangan lentur kolom

Luas tulangan perlu minimum

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times h \\ &= 0,01 \times 500\text{mm} \times 500\text{mm} \\ &= 2500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan diameter tulangan lentur D19

$$\begin{aligned} \text{As} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2 \\ &= 283,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} \\ &= \frac{2500\text{mm}^2}{283,6\text{mm}^2} \\ &= 8,8 \\ &\approx 12 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 12D19

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2 \times 12 \\ &= 3403,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Prosentase tulangan pasang

$$1\% \leq \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% \leq 8\%$$

$$1\% \leq \frac{3403,7 \text{ mm}^2}{500\text{mm} \times 500\text{mm}} \times 100\% \leq 8\%$$

$$1\% \leq 1,4\% \leq 8\%$$

**(memenuhi)**

- Cek kondisi *balance*

$$\begin{aligned} d &= h_{kolom} - t_{decking} - \varnothing_{geser} - (0,5\varnothing_{lentur}) \\ &= 500\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - (0,5 \times 19\text{mm}) \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= t_{decking} + \varnothing_{geser} + (0,5\varnothing_{lentur}) \\ &= 40\text{mm} + 10\text{mm} + (0,5 \times 19\text{mm}) \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= d - (0,5 \times h_{kolom}) \\ &= 440,5 - (0,5 \times 500\text{mm}) \end{aligned}$$

	= 190,5 mm
Xb	= $\frac{600}{600+fy} \times d$
	= $\frac{600}{600+400} \times 440,5 \text{ mm}$
	= 264 mm
ab	= 0,85 x Xb
	= 0,85 x 264mm
	= 225 mm
Cs'	= As' (fy - 0,85fc')
	= 3403,7 mm <sup>2</sup> x (400 - 0,85x30)MPa
	= 1274691 N
T	= As' x fy
	= 3403,7 mm <sup>2</sup> x 400MPa
	= 1361485,7 N
Cc'	= 0,85 x β1 x fc' x b x Xb
	= 0,85 x 0,84 x 30MPax 500mmx 264mm
	= 2816210,9 N
Pb	= Cc' + Cs' - T
	= 2816210,9N + 1274691N - 1361485,7N
	= 2729416,1 N
Mb	= Pb x eb
	= Cc' $\left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs'(d - d'' - d') + T.d''$
	= 2816210N x (264 - 190,5 - $\frac{225}{2}$ )mm +
	1274691N x ( 264 - 190,5 - 59,5)mm +
	(1361485,7N x 190,5 mm)
	= 889906458,2 Nmm
eb	= $Mb/P_b$
	= $889906458,2 \text{ Nmm} / 2729416,1 \text{ N}$
	= 326 mm
Mn	= $Mu/\emptyset$
	= $117156345,4 \text{ Nmm} / 0,65$
	= 180240531,4 Nmm

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_u / \phi \\
 &= 1190644,7 \text{ N} / 0,65 \\
 &= 1831761 \text{ N} \\
 e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\
 &= 180240531,4 \text{ Nmm} / 1831761 \text{ N} \\
 &= 98,4 \text{ mm} \\
 e_{\text{min}} &= 15,24 + (0,03 \times h) \\
 &= 15,24 + (0,03 \times 500\text{mm}) \\
 &= 30,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi :

$$e_{\text{min}} < e_{\text{perlu}} < e_b \rightarrow \text{tekan menentukan}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} < e_{\text{perlu}} > e_b \rightarrow \text{tarik menentukan} \\
 30,24 \text{ mm} < 98,4 \text{ mm} < 326 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

- Kontrol kondisi tekan menentukan

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
 &= 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa} \times 500\text{mm} \times X \text{ mm} \\
 &= 10655,36X \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$a = 0,54d$$

$$0,85X = 0,54 \times 440,5 \text{ mm}$$

$$X = 279,8 \text{ mm}$$

Maka nilai  $C_c'$  adalah:

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 10655,36 \text{ N/mm} \times X \\
 &= 10655,36 \text{ N/mm} \times 279,8 \text{ mm} \\
 &= 2981870,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$T = A_s' \times f_s$$

$$= A_s' \times \left( \frac{d}{X} - 1 \right) \times b$$

$$= 3403,7 \text{ mm}^2 \times \left( \frac{440,5}{279,8} - 1 \right) \times 500 \text{ mm}$$

$$= 976992 \text{ N}$$

Syarat tekan menentukan :

$$\epsilon_s < \epsilon_y ; f_s < f_y$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{440,5mm}{279,8mm} - 1\right) \times 0,003 \\ &= 0,0017\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= f_y/E_s \\ &= 400MPa/200000MPa \\ &= 0,0020\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times b \\ &= \left(\frac{440,5mm}{279,8mm} - 1\right) \times 500 \\ &= 287,4\end{aligned}$$

Cek :

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,0017 < 0,0020 \quad (\text{memenuhi})$$

$$f_s < f_y$$

$$287,4 < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned}P &= Cc' + Cs' - T \\ &= 2981870,4N + 1274691N - 976992 N \\ &= 3279569,3 N\end{aligned}$$

Cek :

$$P > P_b$$

$$3279569,3N > 2729416,1N \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned}M_{n\text{pasang}} &= Cc'\left(d - d'' - \frac{ab}{2}\right) + Cs'(d - d'' - d') + T.d \\ &= 2981870,4N \times (440,5 - 190,5 - \frac{225}{2})mm + \\ &\quad 1709004N \times (440,5 - 190,5 - 59,5)mm + \\ &\quad (976992N \times 190,5mm) \\ &= 819764462 Nmm\end{aligned}$$

Cek :

$$M_{n\text{pasang}} > M_n$$

$$819764462 Nmm > 180240531,4 Nmm$$

$$(\text{memenuhi})$$

#### d. Peninjauan kolom akibat arah Y

- Menghitung faktor pembesaran momen

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k Lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 1,94 \times 10^{13} N/mm^2}{(1,25 \times 4000 mm)^2} \\ &= 7,69 \times 10^6 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 60 \times (7,69 \times 10^6) N \\ &= 4,61 \times 10^8 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 60 \times (1,19 \times 10^6) N \\ &= 7,14 \times 10^7 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \left( \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c} \right)} \geq 1 \\ &= \frac{1}{1 - \left( \frac{7,14 \times 10^7 N}{0,75 \times (4,6 \times 10^8) N} \right)} \geq 1 \\ &= 1,25 \geq 1 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai  $\delta_s = 1,25$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen arah X :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1s} + (\delta_s \times M_{1s}) \\ &= 24811039,3 Nmm + (1,25 \times 103425561,5 Nmm) \\ &= 155099601,7 Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2s} + (\delta_s \times M_{2s}) \\ &= 55846709 Nmm + (1,25 \times 127947507 Nmm) \\ &= 217026368,1 Nmm \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu 217026368,1 Nmm

- Penentuan  $\rho$  perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi. Keterangan yang dibutuhkan dalam diagram interaksi adalah sebagai berikut :

$$\mu h = h - (2x\text{decking}) - (2x\text{geser}) - \emptyset \text{lentur}$$

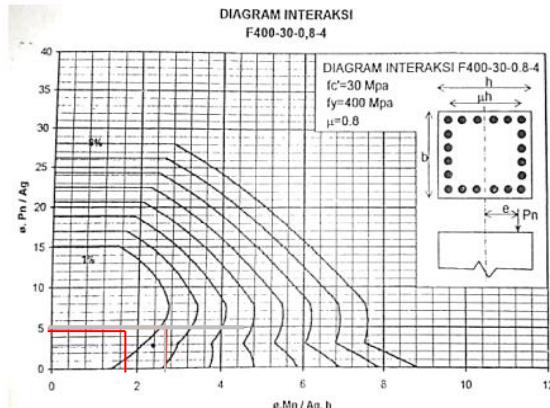
$$\begin{aligned}
 &= 500\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - \\
 &\quad 22\text{mm} \\
 &= 381 \text{ mm} \\
 \mu &= \mu h / h \\
 &= 381\text{mm}/500\text{mm} \\
 &= 0,7
 \end{aligned}$$

Sumbu vertikal :

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi P_n}{Ag} &= \frac{Pu}{b \times h} = \frac{1190644,7 \text{ N}}{500\text{mm} \times 500\text{mm}} \\
 &= 4,7 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal :

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi M_n}{Ag \times h} &= \frac{Mu}{b \times h^2} = \frac{217026368,1 \text{ Nmm}}{500\text{mm} \times (500\text{mm})^2} \\
 &= 1,7
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 85 Diagram interaksi kolom K1 arah Y

Maka digunakan  $\rho$  minimum = 1,0 % = 0,01  
(SNI 2847:2013 pasal 10.9.1)

- Perhitungan tulangan lentur kolom

Luas tulangan perlu minimum

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times h \\
 &= 0,01 \times 500\text{mm} \times 500\text{mm} \\
 &= 2500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan diameter tulangan lentur D19

$$\begin{aligned}
 As &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2 \\
 &= 283,6 \text{ mm}^2 \\
 n \text{ tulangan} &= \frac{As \text{ perlu}}{As} \\
 &= \frac{2500\text{mm}^2}{283,6\text{mm}^2} \\
 &= 8,8 \\
 &\approx 12
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 12D19

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19\text{mm})^2 \times 12 \\
 &= 3403,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Prosentase tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 1\% &\leq \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\% \leq 8\% \\
 1\% &\leq \frac{3403,7 \text{ mm}^2}{500\text{mm} \times 500\text{mm}} \times 100\% \leq 8\% \\
 1\% &\leq 1,4\% \leq 8\%
 \end{aligned}$$

**(memenuhi)**

- Cek kondisi *balance*

$$\begin{aligned}
 d &= h_{kolom} - t_{decking} - \emptyset_{geser} - (0,5\emptyset_{lentur}) \\
 &= 500\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - (0,5 \times 19\text{mm}) \\
 &= 440,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= t_{decking} + \emptyset_{geser} + (0,5\emptyset_{lentur}) \\
 &= 40\text{mm} + 10\text{mm} + (0,5 \times 19\text{mm}) \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= d - (0,5 \times h_{kolom}) \\
 &= 440,5 - (0,5 \times 500\text{mm}) \\
 &= 190,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Xb &= \frac{600}{600+fy} \times d \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 440,5 \text{ mm} \\
 &= 264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= 0,85 \times Xb \\
 &= 0,85 \times 264\text{mm}
 \end{aligned}$$

	= 225 mm
Cs'	= As' (fy - 0,85fc')
	= 3403,7 mm <sup>2</sup> x (400 - 0,85x30)MPa
	= 1274691 N
T	= As' x fy
	= 3403,7 mm <sup>2</sup> x 400MPa
	= 1361485,7 N
Cc'	= 0,85 x β1 x fc' x b x Xb
	= 0,85 x 0,84 x 30MPax 500mmx 264mm
	= 2816210,9 N
Pb	= Cc' + Cs' - T
	= 2816210,9N+ 1274691N - 1361485,7N
	= 2729416,1 N
Mb	= Pb x eb
	= Cc' $\left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs'(d - d'' - d') + T.d''$
	= 2816210N x (264 - 190,5 - $\frac{225}{2}$ )mm +
	1274691N x ( 264 - 190,5 - 59,5)mm +
	(1361485,7N x 190,5 mm)
	= 889906458,2 Nmm
eb	= $\frac{Mb}{Pb}$
	= $\frac{889906458,2 \text{ Nmm}}{2729416,1\text{N}}$
	= 326 mm
Mn	= $\frac{Mu}{\emptyset}$
	= $\frac{217026368,1 \text{ Nmm}}{0,65}$
	= 333886720,2 Nmm
Pn	= $\frac{Pu}{\emptyset}$
	= $\frac{1190644,7 \text{ N}}{0,65}$
	= 1831761 N
e perlu	= $\frac{Mn}{Pn}$
	= $\frac{333886720,2 \text{ Nmm}}{1831761 \text{ N}}$
	= 182,3 mm

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= 15,24 + (0,03 \times h) \\
 &= 15,24 + (0,03 \times 500\text{mm}) \\
 &= 30,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \rightarrow \text{tekan menentukan}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \rightarrow \text{tarik menentukan}$$

$$30,24 \text{ mm} < 182,3 \text{ mm} < 326 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

- Kontrol kondisi tekan menentukan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
 &= 0,85 \times 0,84 \times 30\text{MPa} \times 500\text{mm} \times X\text{mm} \\
 &= 10655,36X \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$a = 0,54d$$

$$0,85X = 0,54 \times 440,5\text{mm}$$

$$X = 279,8 \text{ mm}$$

Maka nilai Cc' adalah:

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 10655,36\text{N/mm} \times X \\
 &= 10655,36\text{N/mm} \times 279,8 \text{ mm} \\
 &= 2981870,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$T = As' \times fs$$

$$= As' \times \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times b$$

$$= 3403,7\text{mm}^2 \times \left(\frac{440,5}{279,8} - 1\right) \times 500\text{mm}$$

$$= 976992 \text{ N}$$

Syarat tekan menentukan :

$$\epsilon_s < \epsilon_y ; f_s < f_y$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times 0,003$$

$$= \left(\frac{440,5\text{mm}}{279,8\text{mm}} - 1\right) \times 0,003$$

$$= 0,0017$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s$$

$$= 400\text{MPa}/200000\text{MPa}$$

$$= 0,0020$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \times b \\
 &= \left( \frac{440,5 \text{ mm}}{279,8 \text{ mm}} - 1 \right) \times 500 \\
 &= 287,4
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,0017 < 0,0020 \quad (\text{memenuhi})$$

$$f_s < f_y$$

$$287,4 < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned}
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2981870,4N + 1274691N - 976992 N \\
 &= 3279569,3 N
 \end{aligned}$$

Cek :

$$P > Pb$$

$$3279569,3N > 2729416,1N \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned}
 M_{n\text{pasang}} &= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T.d'' \\
 &= 2981870,4N \times (440,5 - 190,5 - \frac{225}{2}) \text{ mm} + \\
 &\quad 1709004N \times (440,5 - 190,5 - 59,5) \text{ mm} + \\
 &\quad (976992N \times 190,5 \text{ mm}) \\
 &= 819764462 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$M_{n\text{pasang}} > M_n$$

$$819764462 \text{ Nmm} > 333886720,2 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Dari peninjauan lentur sumbu X dan sumbu Y maka tulangan kolom yang digunakan pada perencanaan penulangan kolom K1 dipasang tulangan 12D19

**e. Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi**

Syarat :

$S_{max} \geq S_{sejajar} \rightarrow$  susun 1 lapis

$S_{max} \leq S_{sejajar} \rightarrow$  perbesar penampang kolom

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2t_{selimut}) - (2\phi_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{500mm - (2 \times 40mm) - (2 \times 10mm) - (12 \times 19mm)}{4-1} \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek :

$S_{max} \geq S_{sejajar}$

$60 \geq 40$  (memenuhi)

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis

**f. Cek dengan program *pcaColumn***

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis *pcaColumn*, sehingga diperoleh grafik sebagai berikut :

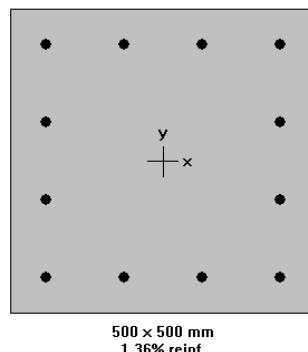
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual)						
No.	P <sub>u</sub> kN	M <sub>ux</sub> kNm	M <sub>uy</sub> kNm	f <sub>Mnx</sub> kNm	f <sub>Mny</sub> kNm	f <sub>Mn</sub> /M <sub>u</sub>
1	1190.6	117.2	217.0	163.4	302.5	1.394

**Gambar 4. 86 Output *pcaColumn* Kolom K1**

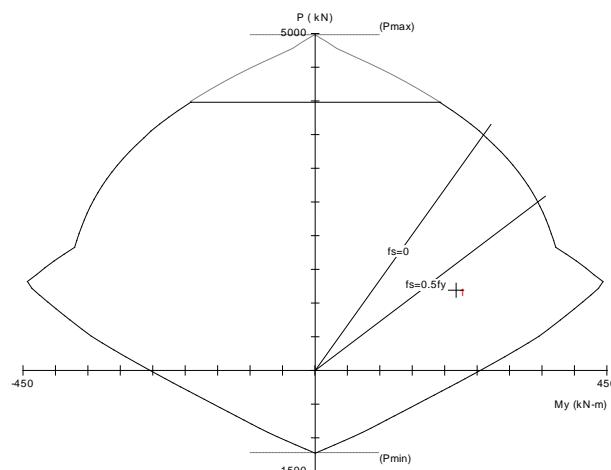
Berdasarkan output dari *pcaColumn* :

$M_{ux} = 117,2 \text{ kNm} < M_{nx} = 163,4 \text{ kNm}$

$M_{uy} = 217,0 \text{ kNm} < M_{ny} = 302,5 \text{ kNm}$



**Gambar 4. 87** Detail penampang kolom K1



**Gambar 4. 88** Diagram interaksi kolom K1 output *pcaColumn*

Jadi, kolom dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.

## D. Penulangan Geser Kolom

Data perencanaan :

Dimensi kolom	:
b	= 500 mm
h	= 500 mm
Tinggi kolom	= 4000 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
$f_y$ tulangan lentur	= 400 MPa
$f_y$ tulangan geser	= 240 MPa
D lentur	= 19 mm
$\emptyset$ geser	= 10 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.7.1)

Jarak spasi tulangan sejajar = 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.6.3)

$$\beta_1 = 0,85 - \left( 0,05 \left( \frac{f_c' - 28}{7} \right) \right) = 0,84$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.(3))

Reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ ) = 0,65

(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.(2))

Reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ ) = 0,75

(SNI 2847:2013 pasal 9 .3.2.(3))

Berdasarkan hasil output SAP2000. Diperoleh hasil gaya pada kolom sebagai berikut :

$$P_u = 1190644,7 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton ( $f_c'$ ) :

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.1.2 nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh memenuhi 8,3 MPa.

$$\sqrt{f_c'} \leq 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} \leq 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,5 \text{ MPa} \leq 8,3 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

Kekuatan geser pada kolom :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \lambda \times \sqrt{f c'} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \left( 1 + \frac{1190644,7 \text{ N}}{14 \times 500\text{mm} \times 500\text{mm}} \right) \times 1 \times \\
 &\quad \sqrt{30 \text{ MPa}} \times 500\text{mm} \times 440,5\text{mm} \\
 &= 274846,3 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,75 \times 274846,3 \text{ N} \\
 &= 206134,8 \text{ N} \\
 0,5 \phi V_c &= 0,5 \times 206134,8 \text{ N} \\
 &= 103067,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcaColumn sebagai berikut:

Control Points:

Bending about	Axial Load P kN	X-Moment kN-m	Y-Moment kN-m	N.A. depth mm
X @ Pure compression	4973,3	0	0	1323
@ Max compression	3978,7	192	0	502
@ $f_s = 0,0$	3491,6	259	0	441
@ $f_s = 0,5 \times f_y$	2499,7	343	0	331
@ Balanced point	1821,4	371	0	265
③ Tension Control	1295,5	445	0	165
④ Pure bending	0,0	254	0	75
⑤ Pure tension	-1226,9	0	-0	0
Y @ Pure compression	4973,3	0	0	1323
@ Max compression	3978,7	0	192	502
@ $f_s = 0,0$	3491,6	0	259	441
@ $f_s = 0,5 \times f_y$	2499,7	0	343	331
@ Balanced point	1821,4	0	371	265
③ Tension Control	1295,5	0	445	165
④ Pure bending	0,0	0	254	75
⑤ Pure tension	-1226,9	0	-0	0

Gambar 4.89 Output control point pcaColumn

$$\begin{aligned}
 M_{nt} &= 445 \text{ kNm} = 445000000 \text{ Nmm} \\
 M_{nb} &= 445 \text{ kNm} = 445000000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \\
 &= \frac{445000000 \text{ Nmm} + 445000000 \text{ Nmm}}{\left( 4000 - \frac{600}{2} - \frac{600}{2} \right) \text{mm}} \\
 &= 261764,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vs_{\min} &= 0,33 \times b \times d \\
 &= 0,33 \times 500mm \times 440,5mm \\
 &= 72682,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vs_{\max} &= 0,33 \times \sqrt{fc'} \times b \times d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{30} MPa \times 500mm \times 440,5mm \\
 &= 398098,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2Vs_{\max} &= 2 \times 398098,4 \text{ N} \\
 &= 796196,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser :

Kondisi 1

$V_u < 0,5 \phi V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$261764,7 \text{ N} < 103067,4 \text{ N}$

**(tidak memenuhi)**

Kondisi 2

$0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$103067,4 \text{ N} < 261764,7 \text{ N} < 206134,8 \text{ N}$

**(tidak memenuhi)**

Kondisi 3

$\phi V_c < V_u < \phi(V_c + Vs_{\min}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$206134,8 \text{ N} < 261764,7 \text{ N} < 260646,6 \text{ N}$

**(tidak memenuhi)**

Kondisi 4

$\phi(V_c + Vs_{\min}) < V_u < \phi(V_c + Vs_{\max}) \rightarrow$  perlu tulangan geser

$260646,6 \text{ N} < 261764,7 \text{ N} < 504708,6 \text{ N}$

**(memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser kolom diambil berdasarkan kondisi geser 4.

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} \\ &= \frac{261764,7 \text{ N} - 206134,8 \text{ N}}{0,75} \\ &= 74173,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$V_s < 0,66 \sqrt{f_c' \cdot b_w \cdot d}$$

$$74173,3 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 600 \text{ mm} \times 539 \text{ mm}$$

$$74173,3 \text{ N} < 796196,8 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

- Tumpuan

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$s = 150 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n kaki$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= \frac{Av \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times 440,5 \text{ mm}}{74173,3 \text{ N}} \\ &= 373,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)

$$S_{max} \leq d/2$$

$$373,3 \text{ mm} \leq d/2$$

$$373,3 \text{ mm} \leq 440,5 \text{ mm}/2$$

$$373,3 \text{ mm} \leq 220,2 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasi tulangan 100mm

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser kolom

(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.2)

1. Spakai < 8 Dlentur

$$100 \text{ mm} < 8 \times 19 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$$

2. Spakai < 24 Dgeser

$$100 \text{ mm} < 24 \times 10$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

3. Spakai < 0,5b

$$100 \text{ mm} < 0,5 \times 500\text{mm}$$

$$100 \text{ mm} < 250 \text{ mm}$$

4. Spakai < 300mm

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Diambil jarak terkecil yaitu 100mm

Maka, dipakai So sebesar  $2\varnothing 10-100$  mm untuk daerah tumpuan.

- Lapangan

$$\varnothing = 10 \text{ mm}$$

$$s = 120 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \\ &= 150,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times 440,5 \text{ mm}}{74173,3 \text{ N}} \\ &= 373,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)

$$S_{\text{max}} \leq d/2$$

$$373,3 \text{ mm} \leq d/2$$

$$373,3 \text{ mm} \leq 440,5 \text{ mm}/2$$

$$373,3 \text{ mm} \leq 220,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasi tulangan 200mm

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada kolom berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.10.5.2.

- Spakai < 16D

$200\text{mm} < 304 \text{ mm}$       (**memenuhi**)  
 - Spakai  $< 48 \times \varnothing_{\text{geser}}$   
 $200\text{mm} < 480 \text{ mm}$       (**memenuhi**)  
 - Spakai  $<$  dimensi terkecil penampang kolom  
 $200\text{mm} < 500 \text{ mm}$       (**memenuhi**)  
 Maka, dipakai So sebesar  $2\varnothing 10-200$  mm untuk daerah lapangan.

- Panjang Lo tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- Seperenam bentang bersih kolom

$$\begin{aligned} \text{Lo} &> \frac{1}{6} \times \left( 4000\text{mm} - \frac{600\text{mm}}{2} - \frac{600\text{mm}}{2} \right) \\ &> 566,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dimensi penampang maksimum kolom

$$\text{Lo} > 500 \text{ mm}$$

- Lo  $> 450 \text{ mm}$

Maka dipakai Lo sebesar 1000 mm.

Sehingga dipasang sengkang sebesar  $2\varnothing 10-100$  sejarak 1000 mm dari muka hubungan balok-kolom. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari pada  $0,5 \times \text{So} = 0,5 \times 100 \text{ mm} = 50\text{mm}$  dari muka hubungan balok-kolom.

#### E. Sambungan Lewatan tulangan Vertikal

Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,017 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300mm dan 48db.

$$0,017 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,017 \times 400 \times 19 \geq 300 \text{ mm}$$

$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$48 \text{ db} = 48 \times 19 = 912 \text{ mm} \approx 1000\text{mm}$$

Diambil yang terbesar, maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 1000 mm.

## F. Panjang Penyaluran Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, panjang penyaluran pada kondisi tekan :

$$\begin{aligned} Idc &= [0,24 \times F_y / (\lambda \sqrt{f_{c'}})] db \\ &= [0,24 \times 400 \text{ MPa} / (1 \sqrt{30 \text{ MPa}})] 19 \text{ mm} \\ &= 333,1 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Idc &= 0,043 \text{ mm}^2/\text{N} \times f_y \times db \\ &= 0,043 \text{ mm}^2/\text{N} \times 400 \text{ MPa} \times 19 \text{ mm} \\ &= 326,8 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar,  $Idc = 333,1 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$  untuk kondisi tekan

## 2. Kolom K2 (30/30)cm

### A. Data Perencanaan

Tipe kolom	= K2
Dimensi kolom	:
b	= 300 mm
h	= 300 mm
Tinggi kolom	= 4000 mm
Mutu beton ( $f_{c'}$ )	= 30 MPa
Modulus elastisitas beton ( $E_c$ )	= $4700\sqrt{f_{c'}}$
Modulus eastisitas baja ( $E_s$ )	= 200000 MPa
$f_y$ tulangan lentur	= 400 MPa
$f_y$ tulangan geser	= 240 MPa
D lentur	= 16 mm
$\emptyset$ geser	= 10 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.7.1)

Jarak spasi tulangan sejajar = 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.6.3)

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - \left( 0,05 \left( \frac{f_{c'} - 28}{7} \right) \right) \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.(3))

Reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ ) = 0,65

(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.(2))

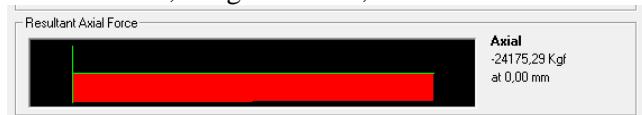
Reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ ) = 0,75

(SNI 2847:2013 pasal 9 .3.2.(3))

### B. Output SAP 2000

Gaya aksial berdasarkan *output SAP 2000* untuk kolumn

$$PDL = 24175,29 \text{ kg} = 241752,9 \text{ N}$$



$$PU (1,2D + 1,6L) = 28357,39 \text{ kg} = 283573,9 \text{ N}$$



Momen pada penampang kolom ditinjau dari dua arah, yaitu momen arah X dan arah Y

Momen akibat pengaruh gempa :

$M_{1s}$  = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm.

$M_{2s}$  = Momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm.

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

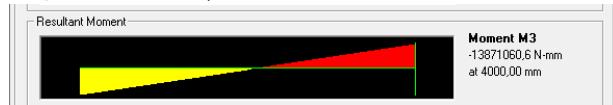
$M_{1ns}$  = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping.

$M_{2ns}$  = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan

akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping.

c. Momen Arah X

$$M_{1s} = 13871060,6 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 15312738,53 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 246804,89 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 332543,03 \text{ Nmm}$$

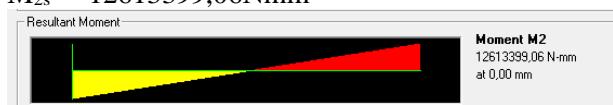


d. Momen Arah Y

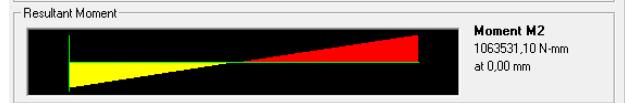
$$M_{1s} = 12509364,1 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 12613399,06 \text{ Nmm}$$



$$M_{1ns} = 1063531,1 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 1198579,52 \text{ Nmm}$$



### C. Penulangan Lentur Kolom

#### a. Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.3.2, gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebih dari  $(Ag \times fc')/10$ . Bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5. (ketentuan kolom untuk SRPMM).

$$P_u > \frac{Ag \times fc'}{10}$$

$$283573,9 \text{ N} > \frac{(30\text{cm} \times 30\text{cm}) \times 30 \text{ MPa}}{10}$$

$$283573,9 \text{ N} > 2700 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

#### b. Menghitung faktor kekakuan kolom

- Rasio beban aksial

$$\beta d = \frac{P_{DL} \times 1,2}{P_u}$$

$$= \frac{241752,9 \text{ N} \times 1,2}{283573,9 \text{ N}}$$

$$= 1,02$$

- Panjang tekuk kolom

Kolom K1 300/300mm

$$Ig \text{ kolom} = 0,7 \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3$$

$$= 0,7 \cdot 1/12 \cdot 300 \cdot 300^3$$

$$= 4,7 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$EI \text{ kolom} = \frac{0,4 E c Ig}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25742,96 \times Ig}{1+1,02} \\ = 2,4 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Balok 300/600 mm

$$\text{Ig balok} = 0,35 \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ = 0,35 \cdot 1/12 \cdot 300 \cdot 600^3 \\ = 1,89 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\text{EI balok} = \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta d} \\ = \frac{0,4 \times 25742,96 \times Ig}{1+1,02} \\ = 9,62 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

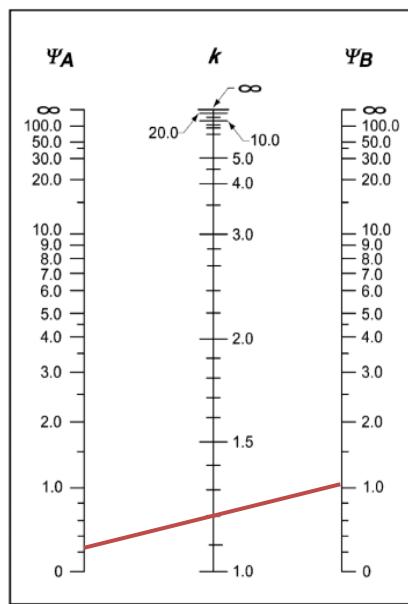
Balok 250/400 mm

$$\text{Ig balok} = 0,35 \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3 \\ = 0,35 \cdot 1/12 \cdot 250 \cdot 400^3 \\ = 4,67 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\text{EI balok} = \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta d} \\ = \frac{0,4 \times 25742,96 \times Ig}{1+1,02} \\ = 2,37 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Kekakuan kolom atas

$$\begin{aligned} \psi A &= \frac{\sum \left( \frac{EI}{L} \right) \text{kolom-kolom}}{\sum \left( \frac{EI}{L} \right) \text{balok-balok}} \\ &= \frac{\sum \left( \frac{EI}{L} \right)_{\text{kolom atas}}}{\sum \left( \frac{EI}{L} \right)_{B_1} + \sum \left( \frac{EI}{L} \right)_{B_1} + \sum \left( \frac{EI}{L} \right)_{B_2}} \\ &= \frac{2,4 \times 10^{12} / 4 \text{ N/mm}^2}{\left[ 2 \times \left( 9,62 \times 10^{12} / 2 \right) \right] + \left[ \left( 2,37 \times 10^{12} / 4,5 \right) \right] \text{N/mm}^2} \\ &= 0,20 \\ \psi B &= 1,00 \quad (\text{tertumpu pondasi}) \end{aligned}$$



**Gambar 4. 90** Nomogram penentu faktor panjang efektif  $k$  rangka bergoyang

Dari grafik nomogram diatas, didapatkan faktor panjang efektif  $k = 1,20$ .

Kontrol kelangsungan kolom :

$$\begin{aligned}
 r &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 300\text{mm} \\
 &= 90 \text{ mm} \\
 \lambda &= \frac{k \times Lu}{r} \\
 &= \frac{1,20 \times 4000\text{mm}}{90\text{mm}} \\
 &= 53,7 \geq 22 \quad (\text{kolom langsing})
 \end{aligned}$$

### c. Peninjauan kolom akibat arah X

- Menghitung faktor pembesaran momen

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k Lu)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 2,4 \times 10^{12} N/mm^2}{(1,20 \times 4000 mm)^2} \\
 &= 1,01 \times 10^6 N \\
 \Sigma P_c &= n \times P_c \\
 &= 18 \times (1,01 \times 10^6) N \\
 &= 1,82 \times 10^7 N \\
 \Sigma P_u &= n \times P_u \\
 &= 18 \times (2,83 \times 10^5) N \\
 &= 5,10 \times 10^6 N \\
 \delta_s &= \frac{1}{1 - \left( \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c} \right)} \geq 1 \\
 &= \frac{1}{1 - \left( \frac{5,10 \times 10^6 N}{0,75 \times (1,82 \times 10^7) N} \right)} \geq 1 \\
 &= 1,6 \geq 1
 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai  $\delta_s = 1,6$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen arah X :

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_{1ns} + (\delta_s \times M_{1s}) \\
 &= 246804,9 Nmm + (1,6 \times 13871060,6 Nmm) \\
 &= 22364219,5 Nmm \\
 M_2 &= M_{2ns} + (\delta_s \times M_{2s}) \\
 &= 332543,0 Nmm + (1,6 \times 15312738,5 Nmm) \\
 &= 24748713,9 Nmm
 \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu 24748713,9 Nmm

- Penentuan  $\rho$  perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi. Keterangan yang dibutuhkan dalam diagram interaksi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \mu h &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - \emptyset \text{lentur} \\
 &= 300 \text{mm} - (2 \times 40 \text{mm}) - (2 \times 10 \text{mm}) - \\
 &\quad 16 \text{mm} \\
 &= 184 \text{ mm} \\
 \mu &= \mu h / h
 \end{aligned}$$

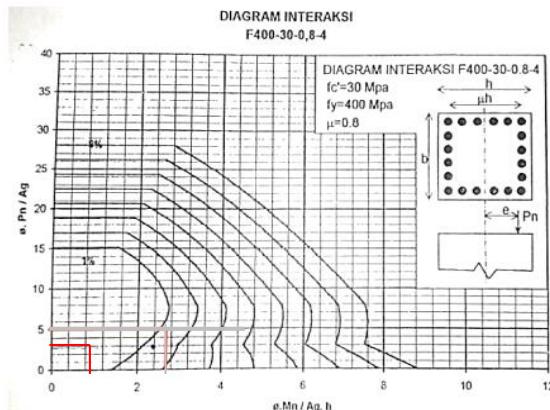
$$= 184\text{mm}/300\text{mm} \\ = 0,6$$

Sumbu vertical :

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = \frac{28357,9 \text{ N}}{300\text{mm} \times 300\text{mm}} \\ = 3,15 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu horizontal :

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{283573,9 \text{ Nmm}}{300\text{mm} \times (300\text{mm})^2} \\ = 0,9 \text{ N/mm}^2$$



**Gambar 4. 91** Diagram interaksi kolom K2 arah X

Maka digunakan  $\rho$  minimum = 1,0 % = 0,01  
(SNI 2847:2013 pasal 10.9.1)

- Perhitungan tulangan lentur kolom

Luas tulangan perlu minimum

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times h \\ &= 0,01 \times 300\text{mm} \times 300\text{mm} \\ &= 900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan diameter tulangan lentur D16

$$\begin{aligned} \text{As} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2 \\ &= 201,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tulangan}} &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As} \\
 &= \frac{900mm^2}{201,1 mm^2} \\
 &= 4,4 \\
 &\approx 8
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 8D16

$$\begin{aligned}
 As_{\text{pasang}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (16mm)^2 \times 8 \\
 &= 1609,14 mm^2
 \end{aligned}$$

- Prosentase tulangan pasang

$$\begin{aligned}
 1\% &\leq \frac{As_{\text{pasang}}}{b \times h} \times 100\% \leq 8\% \\
 1\% &\leq \frac{1609,14 mm^2}{300mm \times 300mm} \times 100\% \leq 8\% \\
 1\% &\leq 1,8\% \leq 8\%
 \end{aligned}$$

**(memenuhi)**

- Cek kondisi *balance*

$$\begin{aligned}
 d &= h_{\text{kolom}} - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}} - (0,5\emptyset_{\text{lentur}}) \\
 &= 300mm - 40mm - 10mm - (0,5 \times 16mm) \\
 &= 242 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= t_{\text{decking}} + \emptyset_{\text{geser}} + (0,5\emptyset_{\text{lentur}}) \\
 &= 40mm + 10mm + (0,5 \times 16mm) \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= d - (0,5 \times h_{\text{kolom}}) \\
 &= 242 - (0,5 \times 300mm) \\
 &= 92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Xb &= \frac{600}{600+fy} \times d \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 242 \text{ mm} \\
 &= 145 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= 0,85 \times Xb \\
 &= 0,85 \times 145 \text{ mm} \\
 &= 123 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' (fy - 0,85fc') \\
 &= 1609,14mm^2 \times (400 - 0,85 \times 30) \text{ MPa} \\
 &= 602624 \text{ N}
 \end{aligned}$$

T	= As' x fy = 1609,14 mm <sup>2</sup> x 400MPa = 643657,2 N
Cc'	= 0,85 x β1 x fc' x b x Xb = 0,85 x 0,84 x 30MPax 300mmx 145mm = 928294,7 N
Pb	= Cc' + Cs' - T = 928294,7 N + 602624N - 643657,2 N = 887261,5 N
Mb	= Pb x eb = Cc' $\left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d''$ = 928294,7N x (242 - 92 - $\frac{123}{2}$ )mm + 602624 N x (242 - 92 - 58)mm + (643657,2 N x 92 mm) = 196617005,5 Nmm
eb	= $\frac{Mb}{Pb}$ = $4196617005,5 \text{ Nmm} / 887261,5 \text{ N}$ = 221,6 mm
Mn	= $\frac{Mu}{\varnothing}$ = $24748713,9 \text{ Nmm} / 0,65$ = 38074944,5 Nmm
Pn	= $\frac{Pu}{\varnothing}$ = $283573,9 \text{ N} / 0,65$ = 436267,5N
e perlu	= $\frac{Mn}{Pn}$ = $38074944,5 \text{ Nmm} / 436267,5 \text{ N}$ = 87,3 mm
e min	= 15,24 + (0,03 x h) = 15,24 + (0,03 x 300mm) = 24,24 mm

Cek kondisi :

$$\epsilon_{\min} < \epsilon_{\text{perlu}} < \epsilon_b \rightarrow \text{tekan menentukan}$$

$$\epsilon_{\min} < \epsilon_{\text{perlu}} > \epsilon_b \rightarrow \text{tarik menentukan}$$

$$24,24 \text{ mm} < 87,3 \text{ mm} < 221,6 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

- Kontrol kondisi tekan menentukan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\ &= 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times X \text{ mm} \\ &= 6393,2 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$a = 0,54d$$

$$0,85X = 0,54 \times 242 \text{ mm}$$

$$X = 153,7 \text{ mm}$$

Maka nilai Cc' adalah:

$$\begin{aligned} Cc' &= 6393,2 \text{ N/mm} \times X \\ &= 6393,2 \text{ N/mm} \times 153,7 \text{ mm} \\ &= 982900 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s' \times f_s \\ &= A_s' \times \left( \frac{d}{X} - 1 \right) \times b \\ &= 1609,14 \text{ mm}^2 \times \left( \frac{242}{153,7} - 1 \right) \times 300 \text{ mm} \\ &= 277130,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat tekan menentukan :

$$\epsilon_s < \epsilon_y ; f_s < f_y$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \left( \frac{d}{X} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= \left( \frac{242 \text{ mm}}{153,7 \text{ mm}} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= f_y/E_s \\ &= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\ &= 0,0020 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \left( \frac{d}{X} - 1 \right) \times b \\ &= \left( \frac{242 \text{ mm}}{153,7 \text{ mm}} - 1 \right) \times 300 = 172,2 \end{aligned}$$

Cek :

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,0017 < 0,0020 \quad (\text{memenuhi})$$

$$f_s < f_y$$

$$172,2 < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 982900 \text{ N} + 602624 \text{ N} - 277130,2 \text{ N}$$

$$= 1308394,1 \text{ N}$$

Cek :

$$P > P_b$$

$$1308394,1 \text{ N} > 887261,5 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned} M_{n\text{pasang}} &= C_c' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T.d' \\ &= 982900 \text{ N} \times (242 - 92 - \frac{123}{2}) \text{ mm} + \\ &\quad 602624 \text{ N} \times (242 - 92 - 58) \text{ mm} + \\ &\quad (277130,2 \text{ N} \times 92 \text{ mm}) \\ &= 164149720,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek :

$$M_{n\text{pasang}} > M_n$$

$$164149720,8 \text{ Nmm} > 38074944,5 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

#### d. Peninjauan kolom akibat arah Y

- Menghitung faktor pembesaran momen

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k Lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 2,4 \times 10^{12} \text{ N/mm}^2}{(1,20 \times 4000 \text{ mm})^2} \\ &= 1,01 \times 10^6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 18 \times (1,01 \times 10^6) \text{ N} \\ &= 1,82 \times 10^7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 18 \times (2,83 \times 10^5) \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5,10 \times 10^6 \text{ N} \\
 \delta s &= \frac{1}{1 - \left( \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c} \right)} \geq 1 \\
 &= \frac{1}{1 - \left( \frac{5,10 \times 10^6 \text{ N}}{0,75 \times (1,82 \times 10^7) \text{ N}} \right)} \geq 1 \\
 &= 1,6 \geq 1
 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai  $\delta s = 1,6$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen arah X :

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_{1ns} + (\delta s \times M_{1s}) \\
 &= 1063531,1 \text{ Nmm} + (1,6 \times 12509364,1 \text{ Nmm}) \\
 &= 21009719,8 \text{ Nmm} \\
 M_2 &= M_{2ns} + (\delta s \times M_{2s}) \\
 &= 1198579,5 \text{ Nmm} + (1,6 \times 12613399 \text{ Nmm}) \\
 &= 21310652 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu 2131065 Nmm

- Penentuan  $\rho$  perlu dari diagram interaksi

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi. Keterangan yang dibutuhkan dalam diagram interaksi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \mu h &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\
 &= 300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - \\
 &\quad 16 \text{ mm} \\
 &= 184 \text{ mm} \\
 \mu &= \mu h / h \\
 &= 184 \text{ mm} / 300 \text{ mm} \\
 &= 0,6
 \end{aligned}$$

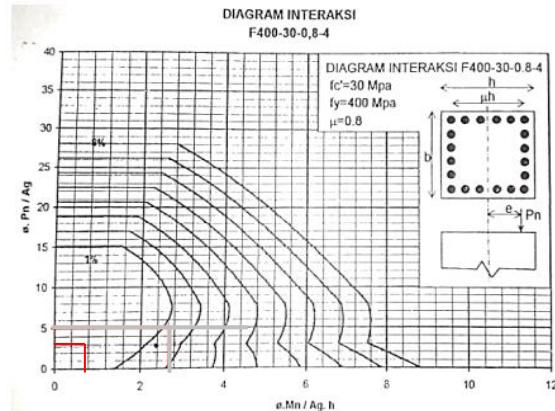
Sumbu vertikal :

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \times h} = \frac{28357,9 \text{ N}}{300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}} \\
 &= 3,15 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal :

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = \frac{2131065 \text{ Nmm}}{300 \text{ mm} \times (300 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,8 \text{ N/mm}^2$$



**Gambar 4. 92** Diagram interaksi kolom K2 arah Y

Maka digunakan  $\rho$  minimum = 1,0 % = 0,01  
(SNI 2847:2013 pasal 10.9.1)

- Perhitungan tulangan lentur kolom

Luas tulangan perlu minimum

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= \rho \times b \times h \\ &= 0,01 \times 300\text{mm} \times 300\text{mm} \\ &= 900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan diameter tulangan lentur D16

$$\begin{aligned} As &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2 \\ &= 201,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{As \text{ perlu}}{As} \\ &= \frac{900\text{mm}^2}{201,1 \text{ mm}^2} \\ &= 4,4 \\ &\approx 8 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 8D16

$$As \text{ pasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2 \times 8 \\ = 1609,14 \text{ mm}^2$$

- Prosentase tulangan pasang

$$1\% \leq \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\% \leq 8\%$$

$$1\% \leq \frac{1609,14 \text{ mm}^2}{300\text{mm} \times 300\text{mm}} \times 100\% \leq 8\%$$

$$1\% \leq 1,8\% \leq 8\%$$

**(memenuhi)**

- Cek kondisi *balance*

$$\begin{aligned} d &= h_{kolom} - t_{decking} - \emptyset_{geser} - (0,5\emptyset_{lentur}) \\ &= 300\text{mm} - 40\text{mm} - 10\text{mm} - (0,5 \times 16\text{mm}) \\ &= 242 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= t_{decking} + \emptyset_{geser} + (0,5\emptyset_{lentur}) \\ &= 40\text{mm} + 10\text{mm} + (0,5 \times 16\text{mm}) \\ &= 58\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= d - (0,5 \times h_{kolom}) \\ &= 242 - (0,5 \times 300\text{mm}) \\ &= 92 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600+fy} \times d \\ &= \frac{600}{600+400} \times 242 \text{ mm} \\ &= 145 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \times X_b \\ &= 0,85 \times 145\text{mm} \\ &= 123 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0,85f_c') \\ &= 1609,14\text{mm}^2 \times (400 - 0,85 \times 30)\text{MPa} \\ &= 602624 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s' \times f_y \\ &= 1609,14 \text{ mm}^2 \times 400\text{MPa} \\ &= 643657,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\ &= 0,85 \times 0,84 \times 30\text{MPa} \times 300\text{mm} \times 145\text{mm} \\ &= 928294,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$\begin{aligned}
 &= 928294,7 \text{ N} + 602624\text{N} - 643657,2 \text{ N} \\
 &= 887261,5 \text{ N} \\
 \text{Mb} &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 928294,7\text{N} \times (242 - 92 - \frac{123}{2})\text{mm} + \\
 &\quad 602624 \text{ N} \times (242 - 92 - 58)\text{mm} + \\
 &\quad (643657,2 \text{ N} \times 92 \text{ mm}) \\
 &= 196617005,5 \text{ Nmm} \\
 \text{eb} &= \frac{Mb}{Pb} \\
 &= \frac{4196617005,5 \text{ Nmm}}{887261,5 \text{ N}} \\
 &= 221,6 \text{ mm} \\
 \text{Mn} &= \frac{Mu}{\varnothing} \\
 &= \frac{2131065 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 32785618,5 \text{ Nmm} \\
 \text{Pn} &= \frac{Pu}{\varnothing} \\
 &= \frac{283573,9 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 436267,5\text{N} \\
 e \text{ perlu} &= \frac{Mn}{Pn} \\
 &= \frac{32785618,5 \text{ Nmm}}{436267,5 \text{ N}} \\
 &= 75,2 \text{ mm} \\
 e \text{ min} &= 15,24 + (0,03 \times h) \\
 &= 15,24 + (0,03 \times 300\text{mm}) \\
 &= 24,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \rightarrow$  tekan menentukan

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \rightarrow$  tarik menentukan

$27,24 \text{ mm} < 75,2 \text{ mm} < 221,6 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

- Kontrol kondisi tekan menentukan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
 &= 0,85 \times 0,84 \times 30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times X \text{ mm} \\
 &= 6393,2 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$\begin{aligned}
 a &= 0,54d \\
 0,85X &= 0,54 \times 242 \text{ mm} \\
 X &= 153,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka nilai Cc' adalah:

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 6393,2 \text{ N/mm} \times X \\
 &= 6393,2 \text{ N/mm} \times 153,7 \text{ mm} \\
 &= 982900 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As' \times fs \\
 &= As' \times \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times b \\
 &= 1609,14 \text{ mm}^2 \times \left(\frac{242}{153,7} - 1\right) \times 300 \text{ mm} \\
 &= 277130,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat tekan menentukan :

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s < \epsilon_y ; fs < f_y \\
 \epsilon_s &= \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{242 \text{ mm}}{153,7 \text{ mm}} - 1\right) \times 0,003 \\
 &= 0,0017
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= f_y/E_s \\
 &= 400 \text{ MPa}/200000 \text{ MPa} \\
 &= 0,0020 \\
 fs &= \left(\frac{d}{X} - 1\right) \times b \\
 &= \left(\frac{242 \text{ mm}}{153,7 \text{ mm}} - 1\right) \times 300 \\
 &= 172,2
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &< \epsilon_y \\
 0,0017 &< 0,0020 \quad (\text{memenuhi}) \\
 fs &< f_y \\
 172,2 &< 400 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 982900 \text{ N} + 602624 \text{ N} - 277130,2 \text{ N} \\
 &= 1308394,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 P &> Pb \\
 1308394,1 \text{ N} &> 887261,5 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{pasang}} &= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T.d'' \\
 &= 982900 \text{ N} \times (242 - 92 - \frac{123}{2}) \text{ mm} + \\
 &\quad 602624 \text{ N} \times (242 - 92 - 58) \text{ mm} + \\
 &\quad (277130,2 \text{ N} \times 92 \text{ mm}) \\
 &= 164149720,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{pasang}} &> Mn \\
 164149720,8 \text{ Nmm} &> 32785618,5 \text{ Nmm} \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

#### e. Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &= \frac{b - (2t_{\text{selimut}}) - (2\emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 &= \frac{300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (12 \times 16 \text{ mm})}{3-1} \\
 &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$200 \geq 40 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis

#### f. Cek dengan program *pcaColumn*

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik sebagai berikut :

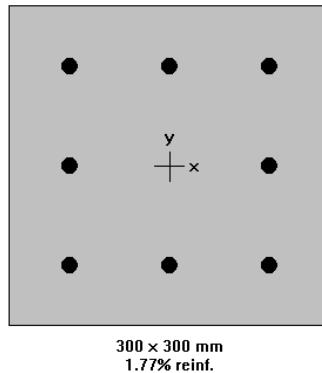
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual)						
No.	P <sub>u</sub> kN	M <sub>ux</sub> kNm	M <sub>uy</sub> kNm	f <sub>Mnx</sub> kNm	f <sub>Mny</sub> kNm	f <sub>Mn</sub> /M <sub>u</sub>
1	283.6	24.7	21.3	50.3	43.4	2.036

**Gambar 4. 93 Output pcaColumn Kolom K2**

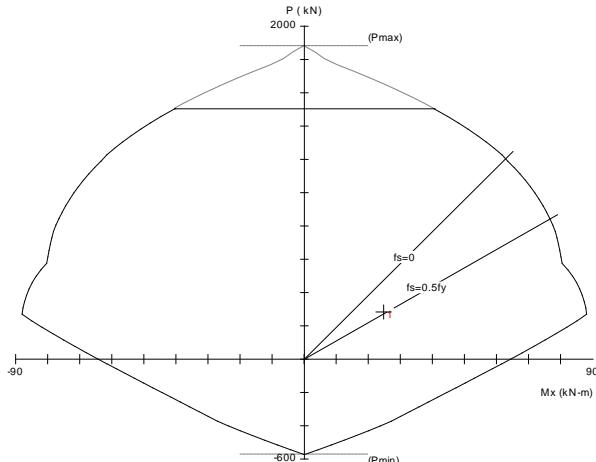
Berdasarkan output dari *pcaColumn* :

$$M_{ux} = 24,7 \text{ kNm} < M_{nx} = 50,3 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 21,3 \text{ kNm} < M_{ny} = 43,4 \text{ kNm}$$



**Gambar 4. 94 Detail penampang kolom K2**



**Gambar 4. 95** Diagram interaksi kolom K2 output *pcaColumn*

Jadi, kolom dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.

#### D. Penulangan Geser Kolom

Data perencanaan :

Dimensi kolom :

b	= 300 mm
h	= 300 mm
Tinggi kolom	= 4000 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
$f_y$ tulangan lentur	= 400 MPa
$f_y$ tulangan geser	= 240 MPa
D lentur	= 16 mm
$\emptyset$ geser	= 10 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.7.1)

Jarak spasi tulangan sejajar = 40 mm

(SNI 2847:2013 pasal 7.6.3)

$$\beta_1 = 0,85 - \left( 0,05 \left( \frac{fc' - 28}{7} \right) \right)$$

$$= 0,84$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.(3))

Reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ ) = 0,65

(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.(2))

Reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ ) = 0,75

(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.(3))

Berdasarkan hasil output SAP2000. Diperoleh hasil gaya pada kolom sebagai berikut :

$$P_u = 283573,9 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton ( $fc'$ ) :

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.1.2 nilai  $\sqrt{fc'}$  yang digunakan tidak boleh memenuhi 8,3 MPa.

$$\sqrt{fc'} \leq 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} \leq 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,5 \text{ MPa} \leq 8,3 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

Kekuatan geser pada kolom :

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \lambda \times \sqrt{fc'} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \left( 1 + \frac{283573,9 \text{ N}}{14.400 \text{ mm}.400 \text{ mm}} \right) \times 1 \times$$

$$\sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 242 \text{ mm}$$

$$= 82813,9 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 82813,9 \text{ N}$$

$$= 62110,4 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 62110,4 \text{ N}$$

$$= 31055,2 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcaColumn sebagai berikut:

Control Points:					
Bending about	Axial Load P kN	X-Moment kN-m	Y-Moment kN-m	N.A. depth mm	
X @ Pure compression	1879.3	-0	-0	728	
@ Max compression	1503.4	40	0	302	
@ $f_s = 0.0$	1202.0	63	0	243	
@ $f_s = 0.5 \cdot f_y$	841.3	77	0	182	
@ Balanced point	573.4	80	0	146	
@ Tension Control	271.9	88	0	91	
@ Pure bending	-0.0	64	0	61	
@ Pure tension	-573.1	-0	-0	0	
Y @ Pure compression	1879.3	-0	0	728	
@ Max compression	1503.4	0	40	302	
@ $f_s = 0.0$	1202.0	0	63	243	
@ $f_s = 0.5 \cdot f_y$	841.3	0	77	182	
@ Balanced point	573.4	0	80	146	
@ Tension Control	271.9	0	88	91	
@ Pure bending	-0.0	0	64	61	
@ Pure tension	-573.1	-0	-0	0	

Gambar 4. 96 Output control point pcaColumn

$$\begin{aligned} M_{nt} &= 88 \text{ kNm} = 88000000 \text{ Nmm} \\ M_{nb} &= 88 \text{ kNm} = 88000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \\ &= \frac{88000000 \text{ Nmm} + 88000000 \text{ Nmm}}{(4000 - \frac{600}{2} - \frac{600}{2}) \text{ mm}} \\ &= 50285,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 300 \text{ mm} \times 242 \text{ mm} \\ &= 31944 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 242 \text{ mm} \\ &= 31944 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 V_{s \max} &= 2 \times 31944 \text{ N} \\ &= 349928 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi perencanaan geser :

Kondisi 1

$V_u < 0,5 \phi V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum

50285,7 N < 31055,2 N

(tidak memenuhi)

Kondisi 2

$\phi V_c < V_u < \phi V_c \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$31055,2 \text{ N} < 50285,7 \text{ N} < 62110,4 \text{ N}$

**(memenuhi)**

Kondisi 3

$\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_{s \text{ min}}) \rightarrow$  Tulangan geser minimum

$62110,4 \text{ N} < 50285,7 \text{ N} < 86068,4 \text{ N}$

**(tidak memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser kolom diambil berdasarkan kondisi geser 2.

$$\begin{aligned} V_s &\text{ perlu} = V_{s \text{ min}} \\ &= 31944 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$V_s < 0,66\sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

$$31944 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 242 \text{ mm}$$

$31944 \text{ N} < 349928 \text{ N}$  **(memenuhi)**

- Tumpuan

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n kaki \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= \frac{A_V \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times 242 \text{ mm}}{31944 \text{ N}} \\ &= 285,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)

$$S_{max} \leq d/2$$

$$285,7 \text{ mm} \leq d/2$$

$$285,7 \text{ mm} \leq 242\text{mm}/2$$

$$285,7 \text{ mm} > 121\text{mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka digunakan spasi tulangan 100mm

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser kolom  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.2)

1. Spakai < 8 Dlentur

$$100 \text{ mm} < 8 \times 16\text{mm}$$

$$100 \text{ mm} < 128 \text{ mm}$$

2. Spakai < 24 Dgeser

$$100 \text{ mm} < 24 \times 10$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

3. Spakai < 0,5b

$$100 \text{ mm} < 0,5 \times 300\text{mm}$$

$$100 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

4. Spakai < 300mm

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Diambil jarak terkecil yaitu 100mm

Maka, dipakai So sebesar  $2\varnothing 10-100$  mm untuk daerah tumpuan.

#### • Lapangan

$$\varnothing = 10 \text{ mm}$$

$$s = 150 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$A_v = 0,25 \times \pi \times D^2 \times n$$

$$= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,14 \text{ mm}^2$$

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times 242 \text{ mm}}{31944 \text{ N}}$$

$$= 285,7 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan :  
 (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)

$$S_{\max} \leq d/2$$

$$285,7 \text{ mm} \leq d/2$$

$$285,7 \text{ mm} \leq 242 \text{ mm}/2$$

$$285,7 \text{ mm} > 121 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka digunakan spasi tulangan 200mm

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada kolom berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.10.5.2.

- Spakai < 16D

$$200 \text{ mm} < 256 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Spakai <  $48 \times \varnothing_{\text{geser}}$

$$200 \text{ mm} < 480 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Spakai < dimensi terkecil penampang kolom

$$200 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, dipakai So sebesar  $2\varnothing 10-200$  mm untuk daerah lapangan.

- Panjang Lo tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- Seperenam bentang bersih kolom

$$\begin{aligned} Lo &> \frac{1}{6} \times \left( 4000 - \frac{600}{2} - \frac{600}{2} \right) \\ &> 566,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dimensi penampang maksimum kolom

$$Lo > 300 \text{ mm}$$

$$- Lo > 450 \text{ mm}$$

Maka dipakai Lo sebesar 1000 mm.

Sehingga dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 10-100$  sejarak 1000 mm dari muka hubungan balok-kolom. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari pada  $0,5 \times So = 0,5 \times 100 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok-kolom.

### E. Sambungan Lewatan tulangan Vertikal

Panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,017 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300mm dan 48db

$$0,017 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,017 \times 400 \times 16 \geq 300 \text{ mm}$$

$$454,4 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$48 \text{ db} = 48 \times 16 = 768 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

Diambil yang terbesar, maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 1000 mm.

### F. Panjang Penyaluran Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 paal 12.3.2, panjang penyaluran pada kondisi tekan :

$$\begin{aligned} l_{dc} &= [0,24 \times F_y / (\lambda \cdot \sqrt{f_{c'}})] d_b \\ &= [0,24 \times 400 \text{ MPa} / (1 \cdot \sqrt{30 \text{ MPa}})] 16 \text{ mm} \\ &= 280,4 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_{dc} = 0,043 \text{ mm}^2/N \times f_y \times d_b$$

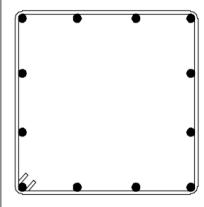
$$= 0,043 \text{ mm}^2/N \times 400 \text{ MPa} \times 16 \text{ mm}$$

$$= 275,2 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

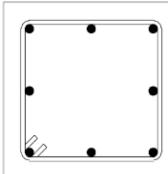
Diambil nilai yang terbesar,  $l_{dc} = 280,4 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$  untuk kondisi tekan

### 3. Rekapitulasi penulangan kolom

**Tabel 4. 16** Rekapitulasi penulangan kolom K1

Tipe kolom K1	
	
Dimensi	(500 x 500) mm
Tul. Utama	12D19
Sengkang	2Ø10-150 (tumpuan) 2Ø10-200 (lapangan)

**Tabel 4. 17** Rekapitulasi penulangan kolom K2

Tipe kolom K2	
	
Dimensi	(300 x 300) mm
Tul. Utama	8D16
Sengkang	2Ø10-100 (tumpuan) 2Ø10-200 (lapangan)

### 4.4.3 Perhitungan Struktur Sloof

#### A. Data Perencanaan

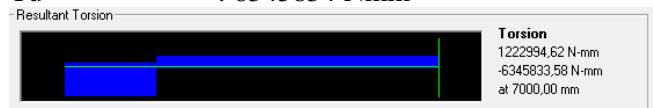
Tipe sloof	= S1
Bentang	= 7000 mm
b sloof	= 300 mm
h sloof	= 600 mm
Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ ):	
Tulangan lentur dan torsi	= 400 MPa
Tulangan geser	= 240 MPa
$\phi$ lentur	= 0.9
$\phi$ geser dan torsi	= 0.75
$\beta_1$	= 0.85
Tebal selimut beton	= 30 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	= 30 mm
Diameter tulangan lentur (D)	= 22 mm
Diameter tulangan geser( $\emptyset$ )	= 10 mm
Diameter tulangan torsi (D)	= 22 mm

#### B. Output SAP 2000 untuk Sloof

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP2000, maka didapatkan hasil gaya terbesar untuk sloof (S1) dan berikut adalah hasil output analisa dari program SAP2000 :

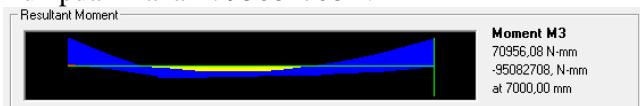
#### Torsi Maksimum

Tu : 6345834 Nmm



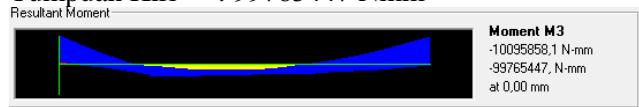
**Gambar 4. 97** Diagram torsi maksimum pada sloof (S1)

**Momen Lentur Maksimum**  
**Tumpuan Kanan : 95082708 Nmm**



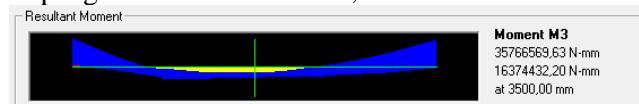
**Gambar 4. 98** Diagram momen maksimum tumpuan kanan pada sloof (S1)

**Tumpuan Kiri : 99765447 Nmm**



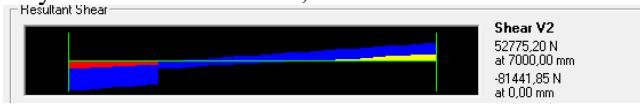
**Gambar 4. 99** Diagram momen maksimum tumpuan kiri pada sloof (S1)

**Lapangan : 35766569,63 Nmm**



**Gambar 4. 100** Diagram momen maksimum lapangan pada sloof (S1)

**Gaya Geser Maksimum**  
**Gaya Geser : 81441,9 N**



**Gambar 4. 101** Diagram geser maksimum sloof (S1)

**C. Dimensi Penampang dan tinggi efektif sloof**

- Dimensi penampang

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{sloof} \cdot h_{sloof} \\ &= 300\text{mm} \times 600\text{mm} \end{aligned}$$

$$= 180000 \text{ mm}^2$$

Parameter luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (b_{sloof} + h_{sloof}) \\ &= 2 \times (350\text{mm} + 600\text{mm}) \\ &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasu As tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{sloof} - 2t_{deking} - \emptyset) \cdot (h_{sloof} - 2t_{deking} - \emptyset) \\ &= (300 - 2.30 - 10)\text{mm} \times (600 - 2.30 - 10)\text{mm} \\ &= 121900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0.85A_{oh} \\ &= 0.85 \times 121900\text{mm}^2 \\ &= 103651 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned} Ph &= 2[(b_{sloof} - 2\text{spasitulangansejajar} - \emptyset) + (h_{sloof} \\ &\quad - 2 \text{ spasitulangansejajar} - \emptyset)] \\ &= 2 \times [(300 - 2.30 - 10) + (600 - 2.30 - 10)]\text{mm} \\ &= 1520 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tinggi efektif

$$\begin{aligned} dx &= h_{sloof} - t_{deking} - \emptyset_{tul.geser} - 1/2D_{tul.lentur} \\ &= 600\text{mm} - 30\text{mm} - 10\text{mm} - (0.5 \times 22\text{mm}) \\ &= 549 \text{ mm} \\ d'' &= h - dx \\ &= 600 - 549\text{mm} \\ &= 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

## D. Penulangan Lentur Sloof

- Garis Netral

Garis Netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{600}{600+fy} \times dx \\ &= \frac{600}{600+400} \times 549\text{mm} \\ &= 329,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0.75X_b \\ &= 0.75 \times 329,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 247,05 \text{ mm}$$

Garis Netral minimum

$$X_{\min} = d'' = 51 \text{ mm}$$

Garis Netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{ren}} = 80 \text{ mm}$$

- Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_{cr} \times b \times X_{\text{ren}}}{f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}}{400 \text{ MPa}} \\ &= 1517,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen Nominal tulangan lentur

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( dx - \frac{\beta_1 \times X_{\text{ren}}}{2} \right) \\ &= 1517,2 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \left( 549 \text{ mm} - \frac{0.85 \times 80 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 312553500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Nilai  $\rho$  dan m

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

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f_{cr} \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 0,85}{400 \text{ MPa}} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0243$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{cr}} = \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} = 15.686$$

#### - Daerah Tumpuan Kiri

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$M_u = 99765447 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{99765447 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 110850496,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$M_n > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_n \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 110850496,7 \text{ Nmm} - 312553500 \text{ Nmm}$$

$$= -201703004 \text{ Nmm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

### a. Tulangan Lentur Tarik

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{110850496,7}{350 \times 549^2} = 1,05$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{31,37 \times 1,05}{400}} \right)$$

$$= 0,0026$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$0,0035 < 0,0026 < 0,0243$  (**tidak memenuhi**)

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

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

$$= 0,0035 \times 300\text{mm} \times 549\text{mm}$$

$$= 672,5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D22

$$\text{Luas tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (22\text{mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{672,5 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 1,77 \approx 4$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **4-D22**

$$As \text{ pasang} = n \times As \text{ tulangan tarik}$$

$$= 4 \times 201,06$$

$$= 1520,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$\text{As pasang} \geq \text{As perlu}$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 \geq 672,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$= \frac{300\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (3 \times 22\text{mm})}{4-1}$$

$$= 60,67 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq \text{Ssejajar}$$

$$60,67 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

### b. Tulangan Lentur Tekan

$$\text{As}' = \text{As perlu}$$

$$= 672,5 \text{ mm}^2$$

$$n = \text{As}' / \text{As lentur}$$

$$= 672,5 \text{ mm}^2 / 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 1,8 \approx 4$$

$$\text{As}' \text{ pasang} = n \times \text{As lentur}$$

$$= 4 \times 380,13$$

$$= 1520,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan

$$\text{As}' \text{ pasang} \geq \text{As}'$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 \geq 672,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$S_{max} = \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1}$$

$$= \frac{300\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (3 \times 22\text{mm})}{3-1}$$

$$= 60,67 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{max} \geq \text{Ssejajar}$$

$$60,67 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kiri adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 4-D22**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 4-D22**

**c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (-) \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As' \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \varnothing \text{lentur } (+) \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tump } (+) &\geq 1/3 M \text{ lentur tump } (-) \\ 1520,5 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 1520,5 \text{ mm}^2 \\ 1520,5 \text{ mm}^2 &\geq 506,8 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

**d. Kontrol kemampuan penampang**

$$As \text{ pasang tulangan tarik (As)} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pasang tulangan tekan (As')} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{fy}{fc' \times b} \\ &= \frac{(1520,5 \text{ mm}^2 - 1520,5 \text{ mm}^2)}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a \\ &= 0,85 \times 300 \times 30 \text{ MPa} \times 0 \text{ mm} \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \times fs' \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\ &= 608212,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')] \\ &= \left[ 0 \text{ N} \times \left( 549 \text{ mm} - \frac{0 \text{ mm}}{2} \right) \right] + \\ &\quad [608212,3 \text{ N} \times (549 \text{ mm} - 51 \text{ mm})] \\ &= 302889744,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :  $\phi Mn$  pasang > Mu

$$0,9 \times 302889744,2 \text{ Nmm} > 99765447 \text{ Nmm}$$

$$272600769,8 \text{ Nmm} > 99765447 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

**- Daerah Tumpuan Kanan**

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 95082708 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{95082708 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 105647453,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$Mn > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$\begin{aligned} &= 105647453,3 \text{ Nmm} - 312553500 \text{ Nmm} \\ &= -206906046,7 \text{ Nmm} < 0 \end{aligned}$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

### a. Tulangan Lentur Tarik

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{105647453,3}{300 \times 549^2} = 1,0$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{31,37 \times 1,0}{400}} \right) \\ &= 0,0025 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$0,0035 < 0,0025 < 0,0243$  (**tidak memenuhi**)

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

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

$$\begin{aligned} &= 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm} \\ &= 672,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D22

$$\text{Luas tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{As\ perlu}{Luas\ tulangan} = \frac{672,5\ mm^2}{380,13mm^2} = 1,77 \approx 4$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **4-D22**

$$\begin{aligned} As\ pasang &= n \times As\ tulangan\ tarik \\ &= 4 \times 201,06 \\ &= 1520,5\ mm^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} As\ pasang &\geq As\ perlu \\ 1520,5\ mm^2 &\geq 672,5\ mm^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\varnothing_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (3 \times 22mm)}{4-1} \\ &= 60,67\ mm \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{max} &\geq \text{Ssejajar} \\ 60,67\ mm &\geq 30\ mm \quad (\text{susun 1 lapis}) \end{aligned}$$

## b. Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned} As' &= As\ perlu \\ &= 672,5\ mm^2 \\ n &= As'/ Aslentur \\ &= 672,5\ mm^2 / 380,13\ mm^2 \\ &= 1,8 \approx 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As'\ pasang &= n \times Aslentur \\ &= 4 \times 380,13 \\ &= 1520,5\ mm^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} As'\ pasang &\geq As' \\ 1520,5\ mm^2 &\geq 672,5\ mm^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\varnothing_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (3 \times 22mm)}{4-1} \\ &= 60,67\ mm \end{aligned}$$

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$60,67 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis})$$

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 4-D22**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 4-D22**

**c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} (-) \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \times \text{luasan } \emptyset_{\text{lentur}} (+) \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tump}} (+) \geq 1/3 M_{\text{lentur tump}} (-)$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 \geq 506,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

**d. Kontrol kemampuan penampang**

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{f_y}{fc' \times b} \\ &= \frac{(1520,5 \text{ mm}^2 - 1520,5 \text{ mm}^2)}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a \\ &= 0,85 \times 300 \times 30 \text{ MPa} \times 0 \text{ mm} \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \times fs' \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\ &= 608212,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')] \\ &= \left[ 0 \text{ N} \times \left( 549 \text{ mm} - \frac{0 \text{ mm}}{2} \right) \right] + \\ &\quad [608212,3 \text{ N} \times (549 \text{ mm} - 51 \text{ mm})] \\ &= 302889744,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :  $\phi Mn_{\text{pasang}} > Mu$

$$0,9 \times 302889744,2 \text{ Nmm} > 95082708 \text{ Nmm}$$

272600769,8 Nmm > 95082708 Nmm

(memenuhi)

### - Daerah Lapangan

Perhitungan tulangan lentur tumpuan pada balok menggunakan momen terbesar yang didapat dari SAP2000

$$Mu = 35766570 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{35766570 \text{ Nmm}}{0,9} \\ &= 39740632,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap, syarat :

$Mn > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$Mn \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 39740632,9 \text{ Nmm} - 312553500 \text{ Nmm}$$

$$= -272812867,1 \text{ Nmm} < 0$$

Maka tidak perlu tulangan lentur rangkap, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan penulangan lentur tunggal.

#### a. Tulangan Lentur Tarik

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{39740632,9}{300 \times 549^2} = 0,38$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{31,37 \times 0,38}{400}} \right) \\ &= 0,0009 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0009 < 0,0243 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka,  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

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

$$= 0,0035 \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm}$$

$$= 672,5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan lentur D22

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22\text{mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan}} = \frac{672,5 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 1,77 \approx 4$$

Sehingga dipasang tulangan tarik **4-D22**

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As tulangan tarik} \\ &= 4 \times 201,06 \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 1520,5 \text{ mm}^2 &\geq 672,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\theta_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\ &= \frac{300\text{mm} - 2.30\text{mm} - 2.10\text{mm} - (3 \times 22\text{mm})}{4-1} \\ &= 60,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{max} &\geq \text{Ssejajar} \\ 60,67 \text{ mm} &\geq 30 \text{ mm} \quad (\text{susun 1 lapis}) \end{aligned}$$

### b. Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned} \text{As}' &= \text{As perlu} \\ &= 672,5 \text{ mm}^2 \\ n &= \text{As}' / \text{As lentur} \\ &= 672,5 \text{ mm}^2 / 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 1,8 \approx 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &= n \times \text{As lentur} \\ &= 4 \times 380,13 \\ &= 1520,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} \text{As}' \text{ pasang} &\geq \text{As}' \\ 1520,5 \text{ mm}^2 &\geq 672,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= \frac{b - 2t_{deking} - 2\emptyset_{geser} - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\
 &= \frac{300mm - 2.30mm - 2.10mm - (3 \times 22mm)}{4-1} \\
 &= 60,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$S_{max} \geq S_{sejajar}$

$60,67 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm}$  (**susun 1 lapis**)

Jadi, dipakai tulangan lentur pada balok untuk daerah lapangan adalah :

**Tulangan lentur tarik susun 1 lapis = 4-D22**

**Tulangan lentur tekan susun 1 lapis = 4-D22**

c. Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \emptyset_{lentur} (-) \\
 &= 1520,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As' \text{ pasang} &= n \times \text{luasan } \emptyset_{lentur} (+) \\
 &= 1520,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{lentur\ tump\ (+)} \geq 1/3 M_{lentur\ tump\ (-)}$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$1520,5 \text{ mm}^2 \geq 506,8 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

d. Kontrol kemampuan penampang

$$As \text{ pasang tulangan tarik (As)} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pasang tulangan tekan (As')} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(As - As')}{0,85} \times \frac{f_y}{fc' \times b} \\
 &= \frac{(1520,5 \text{ mm}^2 - 1520,5 \text{ mm}^2)}{0,85} \times \frac{400 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\
 &= 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot b \cdot fc' \cdot a \\
 &= 0,85 \times 300 \times 30 \text{ MPa} \times 0 \text{ mm} \\
 &= 0 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' \times fs' \\
 &= 1520,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 608212,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \left[ Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + [Cs' \times (d - d'')]$$

$$\begin{aligned}
 &= \left[ 0 \text{ N} \times \left( 549 \text{ mm} - \frac{0 \text{ mm}}{2} \right) \right] + \\
 &\quad [608212,3 \text{ N} \times (549 \text{ mm} - 51 \text{ mm})] \\
 &= 302889744,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :  $\phi M_n$  pasang >  $M_u$

$$0,9 \times 302889744,2 \text{ Nmm} > 35766569,6 \text{ Nmm}$$

$$272600769,8 \text{ Nmm} > 35766569,6 \text{ Nmm}$$

**(memenuhi)**

#### E. Penulangan Geser Sloof

Gaya terfaktor geser diperoleh dari SAP200, yaitu

$$V_u = 81441,85 \text{ N}$$

##### - Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri, hasil luasan tulangan adalah sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} = 1520,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As' \times f_y}{0.85 \times f_{cr} \times bw} = \frac{1520,5 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa}}{0.85 \times 30 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}} \\
 &= 40,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nl} &= As' \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1520,5 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \times \left( 549 \text{ mm} - \frac{40,8 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 192884527,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

##### - Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan, hasil luasan tulangan adalah sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik (As)} = 603,18 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan (As')} = 603,18 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times f_y}{0.85 \times f_{cr} \times bw} = \frac{1520,5 \times 240}{0.85 \times 30 \times 300} \\
 &= 40,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nr} &= As \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1520,5 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \times \left( 549 \text{ mm} - \frac{40,8 \text{ mm}}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 192884527,3 \text{ Nmm}$$

Gaya geser pada ujung perletakan

$$\begin{aligned} Vu_1 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{ln} + Vu \\ &= \frac{192884527,3 \text{ Nmm} + 192884527,3 \text{ Nmm}}{4500 \text{ mm} - [2 \times (0,5 \times 500 \text{ mm})]} + 81441,8 \\ &= 180356,9 \text{ N} \end{aligned}$$

- Syarat Kuat Tekan Beton

Nilai dari  $\sqrt{fc'}$  tidak boleh melebihi 8,3 MPa (SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\sqrt{30} \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa}$$

$$5,5 \text{ MPa} < 8,3 \text{ MPa} \quad (\text{memenuhi})$$

- Kuat Geser Beton

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm} \\ &= 178916,3 \text{ N} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 ;  $\lambda=1$  untuk beton normal)

- Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} Vs_{\min} &= 1/3 \times bw \times d \\ &= 1/3 \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm} \\ &= 64050 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vs_{\max} &= 2/3 \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 2/3 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm} \\ &= 701633 \text{ N} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.5)

$$\begin{aligned} Vs &= 1/3 \times \sqrt{fc'} \times bw \times d \\ &= 1/3 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm} \\ &= 350816 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah pada daerah geser balok dibagi menjadi 3 wilayah, yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom tengah bentang.

2. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke tengah bentang balok
- Perhitungan Penulangan Geser Balok Tumpuan
- $$V_{u1} = 180356,9 \text{ N}$$
- $$\phi_{geser} = 0,75$$
- Cek Kondisi :
1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser
- $$V_{u1} \leq 0,5\phi V_c$$
- $$180356,9 \text{ N} \leq 67093,6 \text{ N}$$
- (tidak memenuhi)**
2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum
- $$0,5\phi V_c \leq V_{u1} \leq \phi V_c$$
- $$67093,6 \text{ N} \leq 180356,9 \text{ N} \leq 134187,2 \text{ N}$$
- (tidak memenuhi)**
3. Kondisi Geser 3 → Tulangan geser minimum
- $$\phi V_c \leq V_{u1} \leq \phi(V_c + V_{smin})$$
- $$134187,2 \text{ N} \leq 180356,9 \text{ N} \leq 182224,7 \text{ N}$$
- (memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser balok tumpuan menggunakan persyaratan kondisi geser 3.

$V_s$  perlu =  $V_s$  min = 64050 N

Cek :

$$V_s < 0,66\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$64050 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm}$$

$$64050 \text{ N} < 595385,3 \text{ N} \quad \text{(memenuhi)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_kaki \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

$$S_{max} \leq d/2 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)}$$

$$S_{max} = d/2 = 549 \text{ mm}/2 = 274,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasi tulangan 120mm

$$\begin{aligned} \text{Av min} &= \frac{\frac{bw}{3}}{\frac{fy}{3}} \times \frac{s}{fy} \\ &= \frac{300\text{mm}}{3} \times \frac{120\text{mm}}{240} \\ &= 50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

Av pakai > Av min

$$157,08 \text{ mm}^2 > 50 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.2)

1. Spakai < d/4

$$120 \text{ mm} < 549\text{mm}/4$$

$$120 \text{ mm} < 137 \text{ mm}$$

2. Spakai < 8 Dlentur

$$120 \text{ mm} < 8 \times 22\text{mm}$$

$$120 \text{ mm} < 176 \text{ mm}$$

3. Spakai < 24 Dgeser

$$120 \text{ mm} < 24 \times 10$$

$$120 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

4. Spakai < 300mm

$$120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Maka menggunakan jarak terkecil yaitu 85mm

**Sehingga untuk tulangan geser pada wilayah 1 dan 3 daerah tumpuan dipasang 2Ø10-120mm**

- Perhitungan Penulangan Geser Balok Lapangan

Gaya geser pada wilayah 2 daerah lapangan diperoleh dengan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Vu_2}{(0,5 \times ln) - (2 \times h)} &= \frac{Vu_1}{0,5 \times ln} \\ Vu_2 &= \frac{Vu_1 \times [(0,5 \times ln) - (2 \times h)]}{0,5 \times ln} \\ &= \frac{180356,9 \text{ N} \times [(0,5 \times 3900\text{mm}) - (2 \times 600\text{mm})]}{0,5 \times 3900\text{mm}} \\ &= 69368,07 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi_{geser} = 0,75$$

Cek Kondisi :

1. Kondisi Geser 1 → Tidak memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{u2} &\leq 0,5\phi V_c \\ 69368,07 \text{ N} &\leq 67093,6 \text{ N} \end{aligned}$$

**(tidak memenuhi)**

2. Kondisi Geser 2 → Tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} 0,5\phi V_c &\leq V_{u2} \leq \phi V_c \\ 67093,6 \text{ N} &\leq 69368,07 \text{ N} \leq 134187,2 \text{ N} \end{aligned}$$

**(memenuhi)**

Maka, perhitungan penulangan geser balok tumpuan menggunakan persyaratan kondisi geser 2.

V<sub>s</sub> perlu = V<sub>s</sub> min = 64050 N

Cek :

$$V_s < 0,66\sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

$$64050 \text{ N} < 0,66 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \times 300 \text{ mm} \times 549 \text{ mm}$$

$$64050 \text{ N} < 595385,3 \text{ N} \quad \text{(memenuhi)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_kaki \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi tulangan :

$$S_{max} \leq d/2 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)}$$

$$\begin{aligned} S_{max} &= d/2 = 549 \text{ mm}/2 \\ &= 274,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan spasi tulangan 200mm

$$\begin{aligned} A_{v \min} &= \frac{b_w}{3} \times \frac{s}{f_y} \\ &= \frac{300 \text{ mm}}{3} \times \frac{200 \text{ mm}}{240} \\ &= 83,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

A<sub>v</sub> pakai > A<sub>v</sub> min

$$157,08 \text{ mm}^2 > 83,3 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.3)

a. Spakai  $< d/2$

$$200 \text{ mm} < 549\text{mm}/2$$

$$200 \text{ mm} < 274,5 \text{ mm}$$

Maka menggunakan jarak terkecil yaitu 150mm

**Sehingga untuk tulangan geser pada wilayah 2 daerah lapangan dipasang 2Ø10-200mm**

#### F. Penulangan Torsi Sloof

$$Tu = 6345833,58 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Tn &= \frac{Tu}{\phi} \\ &= \frac{6345833,58 \text{ Nmm}}{0,75} \\ &= 8461111,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \left( \frac{(180000 \text{ mm}^2)^2}{1800 \text{ mm}} \right) \\ &= 7913798,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{fc'} \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \text{ MPa} \left( \frac{(180000 \text{ mm}^2)^2}{1800 \text{ mm}} \right) \\ &= 31464498,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh momen torsi:

$$Tu > Tu_{\min}$$

$$6345833,58 \text{ Nmm} > 7913798,2 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Maka perlu dihitung kebutuhan tulangan torsi

#### a. Tulangan Torsi Untuk Lentur

Direncanakan tulangan lentur tambahan yang diperlukan untuk menahan torsi :

$$Al = \frac{At}{s} \times Ph \times \left( \frac{Fyt}{fy} \right) \times \cot^2 \theta$$

Maka :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times Ao \times Fytx \times (\cot 45)^2}$$

$$= \frac{8461111,4 \text{ Nmm}}{2 \times 103651 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times (\cot 45)^2}$$

$$= 0,10 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan torsi untuk lentur adalah :

$$\text{Al} = \frac{At}{s} \times Ph \times \left( \frac{Fyt}{f_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

$$\text{Al} = 0,75 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \right) \times \cot^2 45$$

$$= 169,8 \text{ mm}^2$$

### b. Tulangan Torsi Untuk Lentur Minimum

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times Bw}{Fyt}$$

$$0,10 \geq \frac{0,175 \times 300}{400}$$

$$0,10 < 0,13$$

### c. Cek nilai A1 minimum

$$\text{Al min} = \frac{\frac{0,42\sqrt{fc'}Acp}{f_y} - \left( \frac{At}{s} \right) Ph \frac{fyt}{f_y}}{}$$

$$= \left( \frac{0,42\sqrt{30} \text{ MPa} \cdot 180000 \text{ mm}^2}{400 \text{ MPa}} \right) -$$

$$\left( 0,75 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \right)$$

$$= 959,6 \text{ mm}^2$$

Cek : Al > Al minimum

$$169,8 \text{ mm}^2 < 959,6 \text{ mm}^2$$

Sehingga Al perlu = 959,6 mm<sup>2</sup>

### d. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi

Luasan tulangan torsi untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{Al}{4} = \frac{1155 \text{ mm}^2}{4}$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

Penyebaran tulangan torsi :

Pada sisi atas, dibebankan pada tulangan tarik

Pada sisi bawah dibebankan pada tulangan tekan

Pada sisi samping mendapat tambahan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{1}{2} \times 959,6 \text{ mm}^2 \\ &= 480 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan torsi 2D22

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi (22\text{mm})^2 \\ &= 761 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 761 \text{ mm}^2 &\geq 480 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \\ \text{Maka dipasang tulangan torsi 2D22} \end{aligned}$$

### G. Perhitungan Panjang Penyaluran Sloof

- Penyaluran dalam kondisi tarik

$$\lambda_d = \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_{ct}}} \times db$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

maka,

$$\begin{aligned} \lambda_d &= \frac{400 \text{ MPa} \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ MPa}}} \times 22 \text{ mm} \\ &= 765 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda_d \\ &= \frac{1520,5 \text{ mm}^2}{1520,5 \text{ mm}^2} \times 765 \text{ mm} \\ &= 451 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.1 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 300 \text{ mm}$

$$500 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik adalah 500 mm.

Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{ct}}} \times db \\ &= \frac{0,24 \times 1 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{30 \text{ MPa}}} \times 22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 386 \text{ mm} \\
 \lambda_{dh} \text{ reduksi} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda dh \\
 &= \frac{1520,5 \text{ mm}^2}{1520,5 \text{ mm}^2} \times 386 \text{ mm} \\
 &= 227 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 150\text{mm}$

$250\text{mm} \geq 150\text{mm}$  **(memenuhi)**

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik adalah 200 mm.

Panjang kait dalam kondisi tarik :

$$12db = 12 \times 22 \text{ mm} = 264 \text{ mm}$$

- Penyaluran dalam kondisi tekan

$$\begin{aligned}
 \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times db \\
 &= \frac{0,24 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{30} \text{ MPa}} \times 22 \text{ mm} \\
 &= 386 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{dc} &= 0,034 \times fy \times db \\
 &= 0,034 \times 400 \text{ MPa} \times 22 \text{ mm} \\
 &= 299,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diambil yang terbesar yaitu  $\lambda_{dc} = 386 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{dh} \text{ reduksi} &= \frac{\text{As perlu tumpuan}}{\text{As pasang tumpuan}} \times \lambda dc \\
 &= \frac{1520,5 \text{ mm}^2}{1520,5 \text{ mm}^2} \times 386 \text{ mm} \\
 &= 227 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3 panjang penyaluran harus memenuhi  $\lambda_d \geq 200 \text{ mm}$

$250\text{mm} \geq 200\text{mm}$  **(memenuhi)**

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan adalah 250 mm

Panjang kait dalam kondisi tekan :

$$\begin{aligned} 4\text{db} + 4\text{db} &= 8\text{db} \\ &= 8 \times 22 \text{ mm} \\ &= 176 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### H. Cek dengan program *pcaColumn*

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis *pcaColumn*, sehingga diperoleh grafik sebagai berikut :

No.	$P_u$ kN	$M_{uy}$ kN-m	$fM_{ny}$ kN-m	$fM_n/M_u$
1	-111.7	118.8	127.8	1.076

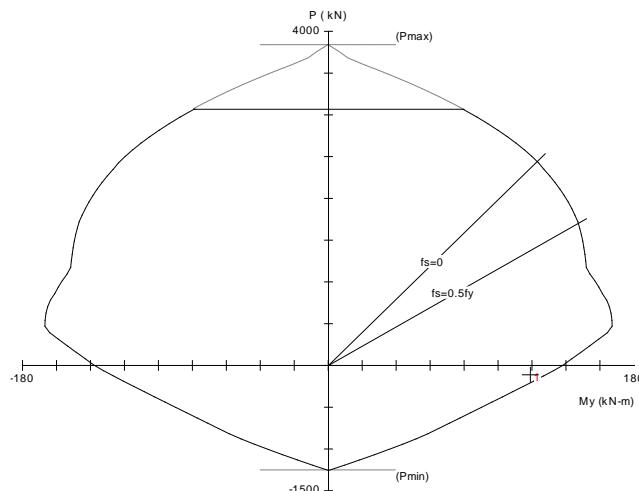
No.	$P_u$ kN	$M_{ux}$ kN-m	$fM_{nx}$ kN-m	$fM_n/M_u$
1	-111.7	86.6	287.0	3.313

Gambar 4. 102 Output *pcaColumn* sloof

Berdasarkan output dari *pcaColumn* :

$$M_{ux} = 86,6 \text{ kNm} < M_{nx} = 287 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 118,8 \text{ kNm} < M_{ny} = 127,8 \text{ kNm}$$



Gambar 4. 103 Diagram interaksi sloof output *pcaColumn*

Jadi, sloof dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.

## I. Rekapitulasi Penulangan Sloof

**Tabel 4.18** Rekapitulasi penulangan sloof (S1)

Tipe Wilayah	Sloof (S1)		
	Tump. Kiri	Lapangan	Tump. Kanan
Sketsa			
Dimensi	(300 x 600) mm		
Tul. Atas	4D22	4D22	4D22
Tul. Torsi	2D22	2D22	2D22
Tul.Bawah	4D22	4D22	4D22
Sengkang	2Ø10-120	2Ø10-200	2Ø10-120

## 4.5 Perhitungan Struktur Bawah

### 4.5.1 Perhitungan Struktur Pondasi

#### 1. Pondasi Tipe 1

##### A. Data Perencanaan

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

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

$$\text{Kedalaman rencana} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Diameter tiang} = 0,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tiang (Ap)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (0,2 \text{ m})^2 \\ &= 0,03 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas selimut (As)} &= \pi \times (0,2 \text{ m})^2 \times P_{tiang} \\ &= 4,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Safety factor} = 3$$

Untuk tiang pancang yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Diameter	= 200 mm
Beton decking	= 75 mm
Luas penampang	= 765,76 cm <sup>2</sup>
Inersia penampang	= 106488,95 cm <sup>4</sup>
P ijin bahan	= 49 ton

### B. Daya Dukung Tanah

$$\begin{aligned}
 N &= 31 \\
 \bar{N} &= 15,4 \\
 Qu &= Q_p + Q_s \\
 &= (40 \cdot N \cdot A_p) + \left( \frac{\bar{N} \cdot A_s}{5} \right) \\
 &= (40 \cdot 31 \cdot 0,03) + \left( \frac{15,4 \times 4,4}{5} \right) \\
 &= 52,5 \text{ ton} \\
 Q_{ijin} &= \frac{Qu}{SF} \\
 &= \frac{52,5 \text{ ton}}{3} \\
 &= 17,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Didapatkan daya dukung tanah untuk tiang pancang dengan kedalaman 7m dan diameter tiang pancang 0,2 m adalah : P ijin tanah = 17,5 ton

Karena nilai P ijin bahan lebih besar dari P ijin tanah (17,5 ton > 49 ton), maka yang digunakan untuk perhitungan adalah nilai yang terkecil, yaitu Qijin = 17,5 ton

### C. Perencanaan Pilecap dengan 4 Tiang Pancang

- Perencanaan dimensi *Pile Cap*
- Perhitungan jarak tiang pancang (S)

$$S > 2,5D$$

$$S > 2,5 \times 200$$

$$S > 500 \text{ mm}$$

$$\text{Maka dipakai } S = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Perhitungan jarak poer ke tepi (S')}$$

$$S > 1,5D$$

$$S > 1,5 \times 200$$

$$S > 300$$

Maka dipakai  $S' = 400$  mm

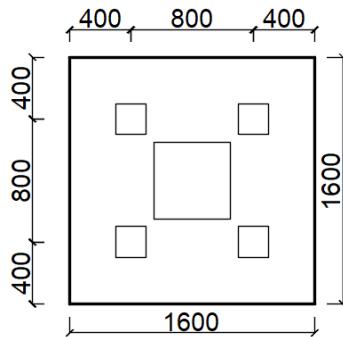
Sehingga direncanakan dimensi *pile cap* :

$$b = 1,6 \text{ m}$$

$$h = 1,6 \text{ m}$$

$$A = 2,56 \text{ m}^2$$

$$t = 0,60 \text{ m}$$



**Gambar 4. 104** Dimensi poer P1

- Gaya yang terjadi pada pondasi

Diperoleh gaya maksimum dari program bantu SAP2000 yang terjadi pada pondasi adalah sebagai berikut :

1. Akibat beban 1D+1L

$$P = 82,0 \text{ ton}$$

$$M_x = 0,152 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 2,582 \text{ ton.m}$$

$$V_x = 1,03 \text{ ton}$$

$$V_y = 0,066 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_x = M_x + (V_y \cdot d)$$

$$= 0,152 \text{ ton.m} + (0,066 \text{ ton} \times 0,60 \text{ m})$$

$$= 0,191 \text{ ton.m}$$

$$\Sigma M_y = M_y + (V_x \cdot d)$$

$$= 2,582 \text{ ton.m} + (1,03 \text{ ton} \times 0,60\text{m}) \\ = 3,2 \text{ ton.m}$$

2. Akibat beban arah X (1D+1L+1Ex)

$$P = 94,09 \text{ ton}$$

$$M_x = 6,77 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 3,66 \text{ ton.m}$$

$$V_x = 1,42 \text{ ton}$$

$$V_y = 3,06 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_x = M_x + (V_y \cdot d)$$

$$= 6,77 \text{ ton.m} + (3,06 \text{ ton} \times 0,60\text{m})$$

$$= 8,61 \text{ ton.m}$$

$$\Sigma M_y = M_y + (V_x \cdot d)$$

$$= 3,66 \text{ ton.m} + (1,42 \text{ ton} \times 0,60\text{m})$$

$$= 4,52 \text{ ton.m}$$

3. Akibat beban arah Y (1D+1L+1Ey)

$$P = 84,18 \text{ ton}$$

$$M_x = 0,401 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 9,226 \text{ ton.m}$$

$$V_x = 4,25 \text{ ton}$$

$$V_y = 0,19 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_x = M_x + (V_y \cdot d)$$

$$= 0,401 \text{ ton.m} + (0,19 \text{ ton} \times 0,60\text{m})$$

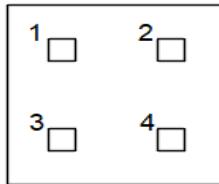
$$= 0,51 \text{ ton.m}$$

$$\Sigma M_y = M_y + (V_x \cdot d)$$

$$= 9,226 \text{ ton.m} + (4,25 \text{ ton} \times 0,60\text{m})$$

$$= 11,77 \text{ ton.m}$$

- Perhitungan daya dukung tiang pancang



**Gambar 4. 105** Pondasi grup tiang

Berdasarkan “Analisa dan Desain Pondasi-Jilid 2 (Joseph E Bowles)”, perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi ( $\eta$ ) adalah sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \left[ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right] \times \theta$$

Dimana :

$n$  = banyaknya tiang dalam kolom = 2 buah

$m$  = banyaknya tiang dalam baris = 2 buah

$D$  = diameter tiang pancang = 0,2 m

$S$  = jarak antar sumbu as tiang pancang = 0,8 m

Sehingga :

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} \left( \frac{D}{S} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{0,2}{0,8} \right) \\ &= 0,32\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= 1 - \left[ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right] \times \theta \\ &= 1 - \left[ \frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{90 \times 2 \times 2} \right] \times 0,32 \\ &= 0,81\end{aligned}$$

Daya dukung total tiang grup :

$$\begin{aligned}\text{Qijin total} &= n \text{ tiang} \times \text{Qijin} \times \eta \\ &= 4 \times 17,5 \text{ ton} \times 0,81 \\ &= 56,6 \text{ ton}\end{aligned}$$

Daya dukung untuk satu buah tiang grup

$$\begin{aligned} \text{Qijin} &= n \text{ tiang} \times \text{Qijin} \times \eta \\ &= 1 \times 17,5 \text{ ton} \times 0,81 \\ &= 14,1 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Perhitungan daya dukung tiang dalam grup

**Tabel 4.19** Perhitungan jarak tiang  
pancang dari titik pusat

No	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>
1	0,4	0,16	0,4	0,16
2	0,4	0,16	0,4	0,16
3	0,4	0,16	0,4	0,16
4	0,4	0,16	0,4	0,16
<b><math>\Sigma</math></b>	1,6	0,64	1,6	0,64

1. Kontrol beban terhadap beban ijin tiang

$$\text{Qijin} = 178,8 \text{ ton}$$

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{Mx \times y_{max}}{\sum y^2} \pm \frac{My \times x_{max}}{\sum x^2}$$

a. Perhitungan akibat beban tetap

$$\begin{aligned} P1 &= \frac{82,02 \text{ ton}}{4} - \frac{0,19 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} - \frac{3,2 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 18,4 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= \frac{82,02 \text{ ton}}{4} + \frac{0,19 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} - \frac{3,2 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 18,6 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P3 &= \frac{82,02 \text{ ton}}{4} - \frac{0,19 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} + \frac{3,2 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 22,4 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P4 &= \frac{82,02 \text{ ton}}{4} + \frac{0,19 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} + \frac{3,2 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 22,6 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

b. Perhitungan akibat beban sementara arah X

$$\begin{aligned} P1 &= \frac{94,09 \text{ ton}}{4} - \frac{8,6 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} - \frac{4,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 15,3 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= \frac{94,09 \text{ ton}}{4} + \frac{8,6 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} - \frac{4,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 26,1 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P3 &= \frac{94,09 \text{ ton}}{4} - \frac{8,6 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} + \frac{4,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 20,9 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P4 &= \frac{94,09 \text{ ton}}{4} + \frac{8,6 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} + \frac{4,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 31,7 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

c. Perhitungan akibat beban sementara arah Y

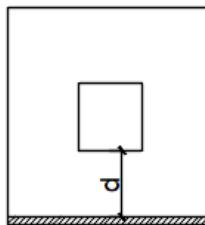
$$\begin{aligned} P1 &= \frac{84,2 \text{ ton}}{4} - \frac{0,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} - \frac{11,7 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 13,4 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= \frac{84,2 \text{ ton}}{4} + \frac{0,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} - \frac{11,7 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 14,0 \text{ ton} < 56,5 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P3 &= \frac{84,2 \text{ ton}}{4} - \frac{0,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} + \frac{11,7 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 28,1 \text{ ton} < 56,6 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P4 &= \frac{84,2 \text{ ton}}{4} + \frac{0,5 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} + \frac{11,7 \text{ ton.m} \times 0,4m}{0,64m^2} \\ &= 28,7 \text{ ton} < 56,5 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

2. Kontrol perhitungan geser satu arah pada pile cap akibat kolom dimensi 0,50m x 0,50m



**Gambar 4. 106** Bidang kritis geser satu arah akibat kolom

Digunakan :

$$D_{poer} = 22 \text{ mm}$$

$$D_{pilecap} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= t_{poer} - D_{poer} - D_{pilecap}/2 \\ &= 600\text{mm} - 22\text{mm} - (22\text{mm}/2) \\ &= 492 \text{ mm} \end{aligned}$$

Didapatkan dari program bantu SAP 2000, beban terpusat terbesar kolom akibat beban terfaktor (1D+1L+1Ey) :

$$P_u = 94,1 \text{ ton}$$

$$Q_u = P_u/A$$

$$= 94,1 \text{ ton}/2,56 \text{ m}^2$$

$$= 36,7 \text{ ton/m}^2$$

$$= 0,37 \text{ N/mm}^2$$

Gaya geser yang terjadi pada *pile cap* :

$$V_u = Q_u \times b \times L'$$

Dimana,

$$L' = (0,5 \cdot b_{\text{pile cap}}) - (0,5 \cdot b_{\text{kolom}}) - d$$

$$= (0,5 \times 1600\text{mm}) - (0,5 \times 500\text{mm}) - 492\text{mm}$$

$$= 58 \text{ mm}$$

$$V_u = Q_u \times b \times L'$$

$$= 0,37\text{N/mm}^2 \times 1600\text{mm} \times 58\text{mm}$$

$$= 34110,2 \text{ N}$$

Gaya geser beton :

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times L'$$

$$= 0,17 \times \sqrt{35}\text{MPa} \times 1600\text{mm} \times 58\text{mm}$$

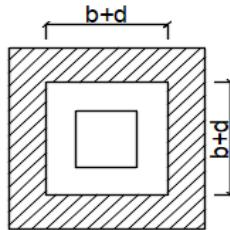
$$= 93332,1 \text{ N}$$

Cek gaya geser :

$$V_c > V_u$$

$$93332,1 \text{ N} > 34110,2 \text{ N} \text{ (**memenuhi**)}$$

3. Kontrol perhitungan geser dua arah pada *pile cap* akibat kolom

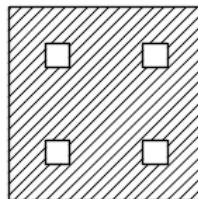


**Gambar 4. 107** Bidang kritis geser dua arah akibat kolom

$$\begin{aligned} At &= (A_{poer}) - [(b_{kolom}+d) \times (h_{kolom}+d)] \\ &= (2560000 \text{ mm}^2) - \\ &\quad [(500+492) \times (500+492)]\text{mm} \\ &= 1575936 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vu &= Qu \times At \\ &= 0,37\text{N/mm}^2 \times 1575936 \text{ mm}^2 \\ &= 579261,7 \text{ N} \end{aligned}$$

4. Kontrol perhitungan geser dua arah pada *pile cap* akibat tiang pancang



**Gambar 4. 108** Bidang kritis geser dua arah akibat tiang pancang pada pondasi

$$Pu = 94,1 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} Qu &= Pu/A \\ &= 94,1\text{ton} / 2,56\text{m}^2 \\ &= 36,76 \text{ ton/m}^2 \\ &= 0,3676 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$At = A_{poer} - (n \times A_{tiang})$$

$$\begin{aligned}
 &= 2560000 \text{ mm}^2 - (4 \times (\pi \times (200\text{mm})^2)) \\
 &= 2308571,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= Q_u \times A_t \\
 &= 0,3676\text{N/mm}^2 \times 2308571,4 \text{ mm}^2 \\
 &= 848554,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai Vu yang dipakai adalah yang terbesar diantara Vu akibat kolom dan Vu akibat tiang pancang.

$$V_u = 848554,2 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1 (a), (b), dan (c), untuk perencanaan plat atau pondasi telapak dua arah, nilai VC harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai Vc terkecil :

$$a. V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

Dimana :

$$\beta = 1 \text{ (rasio terhadap } h \text{ kolom)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 2(h_{\text{kolom}} + b_{\text{kolom}}) + 4d \\
 &= 2(500\text{mm} + 500\text{mm}) + (4 \times 492\text{mm}) \\
 &= 3968 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa} \times \\
 &\quad 3968 \text{ mm} \times 492 \text{ mm} \\
 &= 5890348,15 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$b. V_c = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa} \times 3968 \text{ mm} \times \\
 &\quad 492 \text{ mm} \\
 &= 11274278,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$c. V_c = 0,083 \times \left(\frac{A_s \times d}{b_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

Dimana :

As = 40 (untuk kolom tengah)

Maka :

$$\begin{aligned}
 Vc &= 0,083 \times \left( \frac{A_s \times d}{b_0} \right) \times \lambda \times \sqrt{fc'} \times b_0 \times d \\
 &= 0,083 \times \left( \frac{40 \times 492 \text{ mm}}{3968 \text{ mm}} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa} \times \\
 &\quad 3968 \text{ mm} \times 492 \text{ mm} \\
 &= 6671722,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai  $V_c$  terkecil diantara 3 persamaan diatas, sehingga nilai  $V_c$  yang digunakan adalah  $V_c = 5890348,1 \text{ N}$

Cek gaya geser dua arah :

$$V_c > V_u$$

$$5890348,1 \text{ N} > 34110,2 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perencanaan tulangan lentur poer

$$b \text{ poer} = 1600 \text{ mm}$$

$$h \text{ poer} = 1600 \text{ mm}$$

$$t = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Decking} = 75 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$dx = t - \text{decking} - (0,5D)$$

$$= 600 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - (0,5 \times 22 \text{ mm})$$

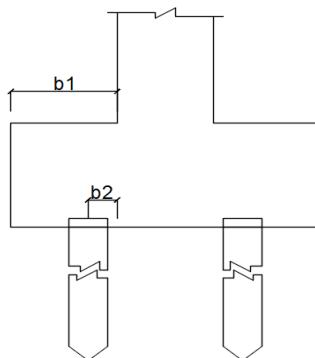
$$= 514 \text{ mm}$$

$$dy = dx - D$$

$$= 514 \text{ mm} - 22 \text{ mm}$$

$$= 492 \text{ mm}$$

a. Penulangan arah X



**Gambar 4. 109**  $b_1$  dan  $b_2$  pada pile cap arah X

$$b_1 = 0,55 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,15 \text{ m}$$

$q_u$  = berat pile cap pada daerah yang ditinjau

$$= 0,6\text{m} \times 1,6\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3$$

$$= 2304 \text{ kg/m}$$

$$q_{tanah} = 2560 \text{ kg/m}$$

$$q_{total} = 4864 \text{ kg/m}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah :

$$P_u = 31,7285 \text{ ton} = 31728,5 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi adalah :

$$M_u = -M_q + M_p$$

$$= -(0,5 \cdot q_{tot.} b l^2) + (P_u \times b_2)$$

$$= -(0,5 \times 4864\text{kg/m} \times (0,55\text{m})^2) +$$

$$(31728,5 \text{ kg} \times 0,15\text{m})$$

$$= 4023,595 \text{ kgm}$$

$$= 4023595 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4023595 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$= 5029493,7 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \times f_{c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 35 \text{ MPa}} \\ &= 13,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\ &= \frac{5029493,7 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (514 \text{ mm})^2} \\ &= 0,09 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,09 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ MPa}}} \right) \\ &= 0,000048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} \rho &> \rho_{\min} \\ 0,00004 &< 0,0035 \end{aligned}$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 514 \text{ mm} \\ &= 1799 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

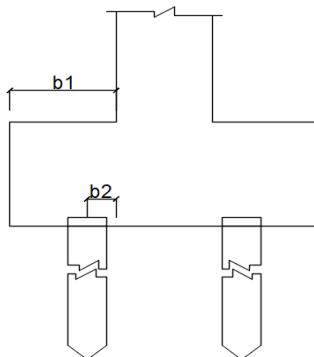
Direncanakan dipasang tulangan lentur D22-150

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\ &= 2535,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 2535,24 \text{ mm}^2 &> 2149 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \\ \text{Sehingga dipasang tulangan lentur D22-150} \end{aligned}$$

b. Penulangan arah Y



**Gambar 4. 110** b1 dan b2 pada pile cap arah Y

$$b_1 = 0,55 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,15 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat pile cap pada daerah yang ditinjau} \\ &= 0,6 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2304 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q_{tanah} = 2560 \text{ kg/m}$$

$$q_{total} = 4864 \text{ kg/m}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah :

$$P_u = 28,7278 \text{ ton} = 28737,8 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= -M_q + M_p \\ &= -(0,5 \cdot q_{tot} \cdot b_1^2) + (P_u \times b_2) \\ &= -(0,5 \times 4864 \text{ kg/m} \times (0,55 \text{ m})^2) + \\ &\quad (28737,8 \text{ kg} \times 0,15 \text{ m}) \\ &= 3573,5012 \text{ kgm} \\ &= 3573501,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\emptyset} \\ &= \frac{3573501,2 \text{ Nmm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$= 4466876,5 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0,85 \times f_{c'} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 35 \text{ MPa}} \\ &= 13,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mn}{b \times dy^2} \\ &= \frac{4466876,5 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (492 \text{ mm})^2} \\ &= 0,02 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,02 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ MPa}}} \right) \\ &= 0,000046 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

Cek :

$$\rho > \rho_{\min}$$

$$0,00004 < 0,0035$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times dy \\ &= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 492 \text{ mm} \\ &= 1722 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan dipasang tulangan lentur D22-150

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\ &= 2535,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

As pasang > As perlu

$$2535,24 \text{ mm}^2 > 1722 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan lentur **D22-150**

## D. Perhitungan Transfer Beban ke Pondasi

$$\begin{aligned} A1 &= \text{Luas kolom} \\ &= 500\text{mm} \times 500\text{mm} \\ &= 250000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 &= \text{Luas poer} \\ &= 1600\text{mm} \times 1600\text{mm} \\ &= 2560000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- a. Kuat tumpu pada dasar kolom, N1

$$\begin{aligned} Pu &= 94,0971 \text{ ton} = 940971 \text{ N} \\ N1 &= \emptyset \times 0,85 \times fc' \times A1 \\ &= 0,65 \times 0,85 \times 35\text{MPa} \times 250000 \text{ mm}^2 \\ &= 4834375 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$N1 > Pu$$

$$4834375 \text{ N} > 940971 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

- b. Kuat tumpu pada sisi atas pondasi, N2

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{A2}{A1}} &= \sqrt{\frac{2560000\text{mm}^2}{250000\text{mm}^2}} \\ &= 3,2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 15.8.21 nilai

$$\sqrt{\frac{A2}{A1}} \text{ tidak perlu diambil lebih dari } 2.$$

Maka :

$$\begin{aligned} N2 &= 2 \times N1 \\ &= 2 \times 4834375 \text{ N} \\ &= 9668750 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$N2 > Pu$$

$$9668750 \text{ N} > 940971 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

Dengan demikian tulangan tambahan berupa stek untuk menyalurkan beban kolom ke pondasi, dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 15..2.1 menyaraskan tulangan minimum sebesar 0,005 kali luas bruto komponen struktur yang ditumpu (kolom).

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 0,005 \times b_{\text{kolom}} \times h_{\text{kolom}} \\ &= 0,005 \times 500\text{mm} \times 500\text{mm} \\ &= 1250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan dipasang tulangan 12D-13

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 13\text{mm}^2 \times 12 \\ &= 1593 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1593 \text{ mm}^2 &> 1250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan tambahan **12D13**.

#### E. Panjang Penyaluran Tulangan Pasak

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, untuk panjang penyaluran tulangan tekan diambil dari yang terbesar diantara :

$$\begin{aligned} ldc_1 &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times db \\ &= \frac{0,24 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{35 \text{ MPa}}} \times 13\text{mm} \\ &= 211 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ldc_2 &= 0,043 \times db \times f_y \\ &= 0,043 \times 13\text{mm} \times 400 \\ &= 224 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil nilai ldc terbesar, sehingga

$$\begin{aligned} Ldc &= 224 \text{ mm} \\ &\approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.2, untuk panjang penyaluran tulangan tarik :

$$\begin{aligned} ld &= \left( \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times db \right) \\ &= \left( \frac{400 \text{ MPa} \times 1,0 \times 1,0}{1,7 \times 1 \times \sqrt{35 \text{ MPa}}} \times 13\text{mm} \right) \\ &= 418,5 \text{ mm} \\ &\approx 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

## 2. Pondasi Tipe 2

### A. Data Perencanaan

fc'	= 35 MPa
fy	= 400 MPa
Kedalaman rencana	= 7 m
Diameter tiang	= 0,2 m
Luas tiang (Ap)	= $\frac{1}{4} \times \pi \times (0,2 \text{ m})^2$ = 0,03 m <sup>2</sup>
Luas selimut (As)	= $\pi \times (0,2 \text{ m})^2 \times P_{tiang}$ = 4,4 m <sup>2</sup>

$$\text{Safety factor} = 3$$

Untuk tiang pancang yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Diameter	= 200 mm
Beton decking	= 75 mm
Luas penampang	= 765,76 cm <sup>2</sup>
Inersia penampang	= 106488,95 cm <sup>4</sup>
P ijin bahan	= 49 ton

### B. Daya Dukung Tanah

$$\begin{aligned}
 N &= 31 \\
 \bar{N} &= 15,4 \\
 Qu &= Q_p + Q_s \\
 &= (40 \cdot N \cdot Ap) + \left( \frac{\bar{N} \cdot As}{5} \right) \\
 &= (40 \cdot 31 \cdot 0,03) + \left( \frac{15,4 \times 4,4}{5} \right) \\
 &= 52,5 \text{ ton} \\
 Q_{ijin} &= \frac{Qu}{SF} \\
 &= \frac{52,5 \text{ ton}}{3} \\
 &= 17,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Didapatkan daya dukung tanah untuk tiang pancang dengan kedalaman 7m dan diameter tiang pancang 0,2 m adalah : P ijin tanah = 17,5 ton

Karena nilai P ijin bahan lebih besar dari P ijin tanah ( $17,5 \text{ ton} > 49 \text{ ton}$ ), maka yang digunakan untuk perhitungan adalah nilai yang terkecil, yaitu  $Q_{ijin} = 17,5 \text{ ton}$

### C. Perencanaan Pilecap dengan 2 Tiang Pancang

- Perencanaan dimensi *Pile Cap*

Perhitungan jarak tiang pancang (S)

$$S > 2,5D$$

$$S > 2,5 \times 200$$

$$S > 500 \text{ mm}$$

$$\text{Maka dipakai } S = 600 \text{ mm}$$

Perhitungan jarak poer ke tepi (S')

$$S > 1,5D$$

$$S > 1,5 \times 200$$

$$S > 300$$

$$\text{Maka dipakai } S' = 400 \text{ mm}$$

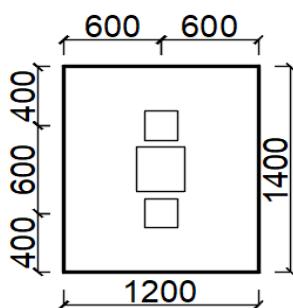
Sehingga direncanakan dimensi *pile cap* :

$$b = 1,40 \text{ m}$$

$$h = 1,20 \text{ m}$$

$$A = 1,68 \text{ m}^2$$

$$t = 0,50 \text{ m}$$



**Gambar 4. 111** Dimensi poer P2

- Gaya yang terjadi pada pondasi

Diperoleh gaya maksimum dari program bantu SAP2000 yang terjadi pada pondasi adalah sebagai berikut :

1. Akibat beban 1D+1L

$$P = 23,33 \text{ ton}$$

$$M_x = 0,027 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 0,175 \text{ ton.m}$$

$$V_x = 0,064 \text{ ton}$$

$$V_y = 0,012 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_x = M_x + (V_y \cdot d)$$

$$= 0,027 \text{ ton.m} + (0,012 \text{ ton} \times 0,50 \text{ m})$$

$$= 0,03 \text{ ton.m}$$

$$\Sigma M_y = M_y + (V_x \cdot d)$$

$$= 0,175 \text{ ton.m} + (0,064 \text{ ton} \times 0,50 \text{ m})$$

$$= 0,21 \text{ ton.m}$$

2. Akibat beban arah X (1D+1L+1Ex)

$$P = 24,49 \text{ ton}$$

$$M_x = 2,77 \text{ ton.m}$$

$$M_y = 0,5 \text{ ton.m}$$

$$V_x = 0,226 \text{ ton}$$

$$V_y = 1,321 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_x = M_x + (V_y \cdot d)$$

$$= 2,77 \text{ ton.m} + (0,5 \text{ ton} \times 0,50 \text{ m})$$

$$= 3,43 \text{ ton.m}$$

$$\Sigma M_y = M_y + (V_x \cdot d)$$

$$= 0,5 \text{ ton.m} + (0,226 \text{ ton} \times 0,50 \text{ m})$$

$$= 0,61 \text{ ton.m}$$

3. Akibat beban arah Y (1D+1L+1Ey)

$$P = 22,64 \text{ ton}$$

$$M_x = 0,085 \text{ ton.m}$$

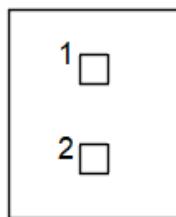
$$M_y = 2,086 \text{ ton.m}$$

$$V_x = 1,01 \text{ ton}$$

$$V_y = 0,04 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_x &= M_x + (V_y \cdot d) \\
 &= 0,085 \text{ ton.m} + (0,04 \text{ ton} \times 0,50\text{m}) \\
 &= 0,10 \text{ ton.m} \\
 \Sigma M_y &= M_y + (V_x \cdot d) \\
 &= 2,086 \text{ ton.m} + (1,01 \text{ ton} \times 0,50\text{m}) \\
 &= 2,59 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan daya dukung tiang pancang



**Gambar 4. 112** Pondasi grup tiang

Berdasarkan “Analisa dan Desain Pondasi-Jilid 2 (Joseph E Bowles)”, perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi ( $\eta$ ) adalah sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \left[ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right] \times \theta$$

Dimana :

$$n = \text{banyaknya tiang dalam kolom} \quad = 2 \text{ buah}$$

$$m = \text{banyaknya tiang dalam baris} \quad = 1 \text{ buah}$$

$$D = \text{diameter tiang pancang} \quad = 0,2 \text{ m}$$

$$S = \text{jarak antar sumbu as tiang pancang} \quad = 0,6 \text{ m}$$

Sehingga :

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{D}{S} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left( \frac{0,2}{0,6} \right)$$

$$= 0,35$$

$$\eta = 1 - \left[ \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right] \times \theta$$

$$= 1 - \left[ \frac{(2-1) \times 1 + (1-1) \times 2}{90 \times 1 \times 2} \right] \times 0,35 \\ = 0,9$$

Daya dukung total tiang grup :

$$\begin{aligned} \text{Qijin total} &= n \text{ tiang} \times \text{Qijin} \times \eta \\ &= 2 \times 17,5 \text{ ton} \times 0,9 \\ &= 31,4 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung untuk satu buah tiang grup

$$\begin{aligned} \text{Qijin} &= n \text{ tiang} \times \text{Qijin} \times \eta \\ &= 1 \times 17,5 \text{ ton} \times 0,9 \\ &= 15,7 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Perhitungan daya dukung tiang dalam grup

**Tabel 4.20** Perhitungan jarak tiang  
panjang dari titik pusat

No	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>
1	0	0	0,3	0,09
2	0	0	0,3	0,09
<b><math>\Sigma</math></b>	0	0	0,6	0,18

1. Kontrol beban terhadap beban ijin tiang

Qijin = 31,4 ton

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{Mx \times y_{max}}{\sum y^2} \pm \frac{My \times x_{max}}{\sum x^2}$$

a. Perhitungan akibat beban tetap

$$P_1 = \frac{23,3 \text{ ton}}{2} - \frac{0,03 \text{ ton.m} \times 0,3m}{0,18m^2} - 0$$

$$= 11,6 \text{ ton} < 31,4 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi})$$

$$P_2 = \frac{23,3 \text{ ton}}{2} + \frac{0,03 \text{ ton.m} \times 0,3m}{0,18m^2} - 0$$

$$= 11,7 \text{ ton} < 31,4 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi})$$

b. Perhitungan akibat beban sementara arah X

$$P_1 = \frac{24,5 \text{ ton}}{2} - \frac{3,4 \text{ ton.m} \times 0,3m}{0,18m^2} - 0$$

$$= 6,5 \text{ ton} < 31,4 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi})$$

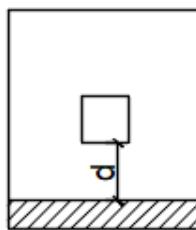
$$\begin{aligned} P2 &= \frac{24,5 \text{ ton}}{2} + \frac{3,4 \text{ ton.m} \times 0,3m}{0,18m^2} - 0 \\ &= 17,9 \text{ ton} < 31,4 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

c. Perhitungan akibat beban sementara arah Y

$$\begin{aligned} P1 &= \frac{22,6 \text{ ton}}{2} - \frac{0,10 \text{ ton.m} \times 0,3m}{0,18m^2} - 0 \\ &= 11,1 \text{ ton} < 31,4 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= \frac{22,6 \text{ ton}}{2} + \frac{0,10 \text{ ton.m} \times 0,3m}{0,18m^2} - 0 \\ &= 11,5 \text{ ton} < 31,4 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

2. Kontrol perhitungan geser satu arah pada pile cap akibat kolom dimensi 0,30m x 0,30m



**Gambar 4. 113** Bidang kritis geser satu arah akibat kolom

Digunakan :

$$D_{poer} = 22 \text{ mm}$$

$$D_{pilecap} = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= t_{poer} - D_{poer} - (0,5 \times D_{pilecap}) \\ &= 500\text{mm} - 22\text{mm} - (0,5 \times 22\text{mm}) \\ &= 392 \text{ mm} \end{aligned}$$

Didapatkan dari program bantu SAP 2000, beban terpusat terbesar kolom akibat beban terfaktor (1D+1L+1Ey) :

$$P_u = 24,5 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= P_u/A \\ &= 24,5 \text{ ton}/1,68 \text{ m}^2 \\ &= 14,57 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$= 0,15 \text{ N/mm}^2$$

Gaya geser yang terjadi pada *pile cap* :

$$V_u = Q_u \times b \times L'$$

Dimana,

$$\begin{aligned} L' &= (0,5 \cdot b_{\text{pile cap}}) - (0,5 \cdot b_{\text{kolom}}) - d \\ &= (0,5 \times 1400\text{mm}) - (0,5 \times 300\text{mm}) - 392\text{mm} \\ &= 158\text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = Q_u \times b \times L'$$

$$\begin{aligned} &= 0,15\text{N/mm}^2 \times 1400\text{mm} \times 158\text{mm} \\ &= 27638,7\text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser beton :

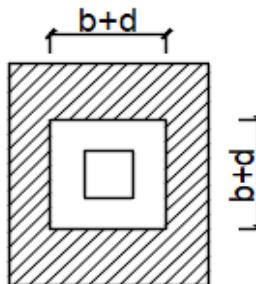
$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times L' \\ &= 0,17 \times \sqrt{35}\text{MPa} \times 1400\text{mm} \times 158\text{mm} \\ &= 190687,1\text{ N} \end{aligned}$$

Cek gaya geser :

$$V_c > V_u$$

$$190687,1\text{ N} > 27638,7\text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

3. Kontrol perhitungan geser dua arah pada *pile cap* akibat kolom



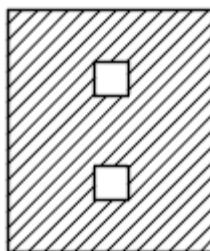
**Gambar 4. 114** Bidang kritis geser dua arah akibat kolom

$$\begin{aligned} A_t &= (A_{\text{poer}}) - [(b_{\text{kolom}}+d) \times (h_{\text{kolom}}+d)] \\ &= (1680000\text{ mm}^2) - [(300+392) \times (300+392)]\text{mm} \end{aligned}$$

$$= 1201136 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_u &= Q_u \times A_t \\ &= 0,15 \text{ N/mm}^2 \times 1201136 \text{ mm}^2 \\ &= 175094,2 \text{ N} \end{aligned}$$

4. Kontrol perhitungan geser dua arah pada *pile cap* akibat tiang pancang



**Gambar 4. 115** Bidang kritis geser dua arah akibat tiang pancang pada pondasi

$$P_u = 24,5 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= P_u/A \\ &= 24,5 \text{ ton} / 1,68 \text{ m}^2 \\ &= 14,6 \text{ ton/m}^2 \\ &= 0,15 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_t &= A_{poer} - (n \times A_{tiang}) \\ &= 1680000 \text{ mm}^2 - (2 \times (\pi \times (200 \text{ mm})^2)) \\ &= 1428571,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= Q_u \times A_t \\ &= 0,15 \text{ N/mm}^2 \times 1428571,4 \text{ mm}^2 \\ &= 208248,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai  $V_u$  yang dipakai adalah yang terbesar diantara  $V_u$  akibat kolom dan  $V_u$  akibat tiang pancang.

$$V_u = 208248,3 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.11.2.1 (a), (b), dan (c), untuk perencanaan plat atau pondasi telapak dua arah, nilai VC harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai Vc terkecil :

$$a. \quad V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

Dimana :

$$\beta = 1 \text{ (rasio terhadap } h \text{ kolom)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (untuk beton normal)}$$

$$b_0 = 2(h_{kolom} + b_{kolom}) + 4d$$

$$= 2(300\text{mm} + 300\text{mm}) + (4 \times 392\text{mm})$$

$$= 2768 \text{ mm}$$

Maka :

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa} \times$$

$$2768\text{mm} \times 392\text{mm}$$

$$= 3273831,7 \text{ N}$$

$$b. \quad V_c = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa} \times 2768\text{mm} \times 392\text{mm}$$

$$= 6266198,4 \text{ N}$$

$$c. \quad V_c = 0,083 \times \left(\frac{A_s \times d}{b_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

Dimana :

$$A_s = 30 \text{ (untuk kolom tepi)}$$

Maka :

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{A_s \times d}{b_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_0 \times d$$

$$= 0,083 \times \left(\frac{30 \times 392\text{mm}}{2768\text{mm}}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa} \times$$

$$2768\text{mm} \times 392\text{mm}$$

$$= 3329230,5 \text{ N}$$

Maka dipakai nilai  $V_c$  terkecil diantara 3 persamaan diatas, sehingga nilai  $V_c$  yang digunakan adalah  $V_c = 3273831,7 \text{ N}$

Cek gaya geser dua arah :

$$V_c > V_u$$

$$3273831,7 \text{ N} > 27638,7 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perencanaan tulangan lentur poer

$$b_{\text{poer}} = 1400 \text{ mm}$$

$$h_{\text{poer}} = 1200 \text{ mm}$$

$$t = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Decking} = 75 \text{ mm}$$

$$D_{\text{tulangan}} = 22 \text{ mm}$$

$$dx = t - \text{decking} - (0,5D)$$

$$= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - (0,5 \times 22 \text{ mm})$$

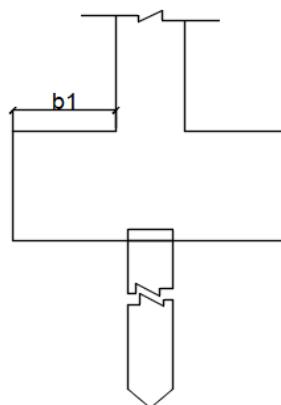
$$= 414 \text{ mm}$$

$$dy = dx - D$$

$$= 414 \text{ mm} - 22 \text{ mm}$$

$$= 392 \text{ mm}$$

a. Penulangan arah X



**Gambar 4. 116** b1 dan b2 pada pile cap arah X

$$b_1 = 0,45 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,0 \text{ m}$$

qu = berat pile cap pada daerah yang ditinjau

$$= 0,4\text{m} \times 1,4\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3$$

$$= 1680 \text{ kg/m}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah :

$$P_u = 24,49 \text{ ton} = 24490 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi adalah :

$$Mu = -Mq$$

$$= -(0,5 \cdot qu \cdot bl^2)$$

$$= -(0,5 \times 1680 \text{ kg/m} \times (0,45\text{m})^2)$$

$$= 170,1 \text{ kNm}$$

$$= 170100 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{170100 \text{ Nmm}}{0,8}$$

$$= 212625 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f_{c'}}$$

$$= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 35 \text{ MPa}}$$

$$= 13,45$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2}$$

$$= \frac{212625 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (414 \text{ mm})^2}$$

$$= 0,001 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,001 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ MPa}}} \right)$$

$$= 0,000003$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,0035$$

Cek :

$$\rho > \rho_{\min}$$

$$0,000003 < 0,0035$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho = 0,0035$

$$\text{As perlu } = \rho \times b \times dx$$

$$= 0,0035 \times 1000\text{mm} \times 414\text{mm}$$

$$= 1449 \text{ mm}^2$$

Direncanakan dipasang tulangan lentur D22-200

$$\text{As pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times (22\text{mm})^2 \times 1000\text{mm}}{200\text{mm}}$$

$$= 1901,4 \text{ mm}^2$$

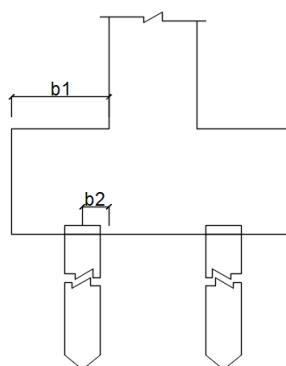
Cek :

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$1901,4 \text{ mm}^2 > 1449 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan lentur **D22-200**

### b. Penulangan arah Y



**Gambar 4. 117**  $b_1$  dan  $b_2$  pada pile cap arah Y

$$b_1 = 0,55 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,15 \text{ m}$$

$q_u$  = berat pile cap pada daerah yang ditinjau

$$= 0,4 \times 1,4m \times 2400\text{kg/m}^3 \\ = 1440 \text{ kg/m}$$

$$q_{tanah} = 1920 \text{ kg/m}$$

$$q_{total} = 3360 \text{ kg/m}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah :

$$P_u = 22,6439 \text{ ton} = 22643,9 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= -M_q + M_p \\ &= -(0,5 \cdot q_{tot.} b_1^2) + (P \times b_2) \\ &= -(0,5 \times 3360\text{kg/m} \times (0,55\text{mm})^2) + \\ &\quad (22643,9 \text{ kg} \times 0,15\text{m}) \\ &= 2888,385 \text{ kgm} \\ &= 2888385 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{2888385 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 3610481,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'} \\ &\quad 400 \text{ MPa}} \\ &= \frac{400 \text{ MPa}}{0,85 \times 35 \text{ MPa}} \\ &= 13,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d y^2} \\ &= \frac{3610481,3 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (392\text{mm})^2} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,45} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,45 \times 0,02 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ MPa}}} \right) \\ &= 0,00006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \end{aligned}$$

$$= 0,0035$$

Cek :

$$\rho > \rho_{\min}$$

$$0,00006 < 0,0035$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho$ , sehingga dipakai  $\rho = 0,0035$

$$\text{As perlu } = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,0035 \times 1000\text{mm} \times 392\text{mm}$$

$$= 1372 \text{ mm}^2$$

Direncanakan dipasang tulangan lentur D22-200

$$\text{As pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times (22\text{mm})^2 \times 1000\text{mm}}{200\text{mm}}$$

$$= 1901,4 \text{ mm}^2$$

Cek :

$$\text{As pasang} > \text{As perlu}$$

$$1901,4 \text{ mm}^2 > 1372 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan lentur **D22-200**

#### D. Perhitungan Transfer Beban ke Pondasi

$$A_1 = \text{Luas kolom}$$

$$= 300\text{mm} \times 300\text{mm}$$

$$= 90000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \text{Luas poer}$$

$$= 1400\text{mm} \times 1200\text{mm}$$

$$= 1680000 \text{ mm}^2$$

##### c. Kuat tumpu pada dasar kolom, N1

$$P_u = 24,49 \text{ ton} = 244900 \text{ N}$$

$$N_1 = \emptyset \times 0,85 \times f_c' \times A_1$$

$$= 0,65 \times 0,85 \times 35\text{MPa} \times 90000 \text{ mm}^2$$

$$= 1740375 \text{ N}$$

Cek :

$$N_1 > P_u$$

$$1740375 \text{ N} > 244900 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

##### d. Kuat tumpu pada sisi atas pondasi, N2

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{1680000 \text{ mm}^2}{90000 \text{ mm}^2}}$$

$$= 4,3$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 15.8.21 nilai

$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$  tidak perlu diambil lebih dari 2.

Maka :

$$\begin{aligned} N_2 &= 2 \times N_1 \\ &= 2 \times 1740375 \text{ N} \\ &= 3480750 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek :

$$N_2 > P_u$$

$$3480750 \text{ N} > 244900 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

Dengan demikian tulangan tambahan berupa stek untuk menyalurkan beban kolom ke pondasi, dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 15..2.1 menyarankan tulangan minimum sebesar 0,005 kali luas bruto komponen struktur yang ditumpu (kolom).

Sehingga :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= 0,005 \times b_{\text{kolom}} \times h_{\text{kolom}} \\ &= 0,005 \times 300\text{mm} \times 300\text{mm} \\ &= 450 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan dipasang tulangan 8D-10

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 10\text{mm}^2 \times 8 \\ &= 629 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$629 \text{ mm}^2 > 450 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipasang tulangan tambahan **8D10**.

#### E. Panjang Penyaluran Tulangan Pasak

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, untuk panjang penyaluran tulangan tekan diambil dari yang terbesar diantara :

$$ldc_1 = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times db$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,24 \times 400 \text{ MPa}}{1 \times \sqrt{35} \text{ MPa}} \times 13 \text{ mm} \\
 &= 211 \text{ mm} \\
 \text{ldc}_2 &= 0,043 \times \text{db} \times \text{fy} \\
 &= 0,043 \times 13 \text{ mm} \times 400 \\
 &= 224 \text{ mm} \\
 \text{Diambil nilai ldc terbesar, sehingga} \\
 \text{Ldc} &= 224 \text{ mm} \\
 &\approx 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI SNI 2847:2013 Pasal 12.2, untuk panjang penyaluran tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 \text{ld} &= \left( \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \times \text{db} \right) \\
 &= \left( \frac{400 \text{ MPa} \times 1,0 \times 1,0}{1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \text{ MPa}} \times 13 \text{ mm} \right) \\
 &= 321,9 \text{ mm} \\
 &\approx 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

## 4.6 Metode Pelaksanaan

Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai metode pelaksanaan pada pekerjaan kolom. Berikut merupakan langkah-langkah pada metode pelaksanaan pekerjaan kolom.

### 4.6.1 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan yang dimaksud ialah mempersiapkan area kerja guna mempermudah proses pekerjaan kolom. Area kerja dibersihkan dari bahan-bahan maupun alat yang dapat mengganggu jalannya proses kerja dan penyediaan alat serta bahan yang diperlukan dalam pekerjaan kolom. Setelah area (*sterile*), dilanjutkan dengan menentukan titik as kolom yang diperoleh dari hasil pengukuran dan pematokan sesuai dengan *shop drawing*. Untuk menentukan as kolom digunakan alat bantu *theodolite* dengan menggunakan acuan titik *bench mark*.

#### 4.6.2 Pekerjaan Pembesian Kolom

Alat bantu yang digunakan dalam proses pembesian kolom ialah sebagai berikut :

a. *Bar Cutter*

Sesuai namanya, bar cutter merupakan alat yang berfungsi untuk memotong tulangan sesuai dengan kebutuhan dilapangan. Baja tulangan yang hendak dipotong dimasukkan kedalam gigi *bar cutter*, kemudian pedal pengendali dipijak sehingga baja tulangan akan terpotong. *Bar cutter* yang digunakan mampu memotong besi maksimal berdiameter 32mm. Pemotongan untuk baja tulangan yang memiliki diameter besar dilakukan satu persatu, sedangkan untuk yang berdiameter lebih kecil pemotongan dapat dilakukan beberapa buah sekaligus sesuai dengan kapasitas alat.

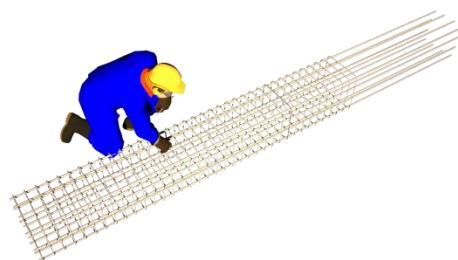
b. *Bar Bending*

Bar bender merupakan alat yang berfungsi untuk membenkokkan tulangan dalam berbagai macam sudut sesuai dengan perencanaan. Cara kerja alat ni yaitu baja tulangan yang akan dibengkokkan dimasukkan diantara poros tekan dan poros pembengkok, kemudian atur sudut sesuai sudut bengkok yang diinginkan dan panjang pembengkokannya. Ujung tulangan pada poros pembengkok dipegang dengan kunci pembengkok. Pedal ditekan sehingga roda pembengkok akan berputar sesuai dengan sudut dan pembengkokan yang direncanakan. Bar bender yang digunakan hanya dapat membengkokkan besi maksimal berdiameter 32mm.



**Gambar 4. 118** Fabrikasi tulangan kolom

Setelah baja tulangan dipotong dan dibengkokkan, dilakukan perakitan tulangan kolom di area pemasangan. Perakitan tulangan kolom dimulai dengan memasang tulangan utama. Sebelum pemasangan sengkang, terlebih dahulu diberi tanda pada tulangan utama menggunakan kapur atau spidol. Selanjutnya adalah pemasangan sengkang yang telah dibuat sesuai dengan gambar shop drawing. Setiap pertemuan antara tulangan utama dan sengkang diikat menggunakan kawat dengan sistem silang agar sengkang tetap pada tempatnya.



**Gambar 4. 119** Perakitan tulangan kolom

Tulangan kolom yang telah selesai dirakit kemudian diangkat menggunakan bantuan alat mobil crane untuk dipindahkan pada posisi kolom yang diinginkan.

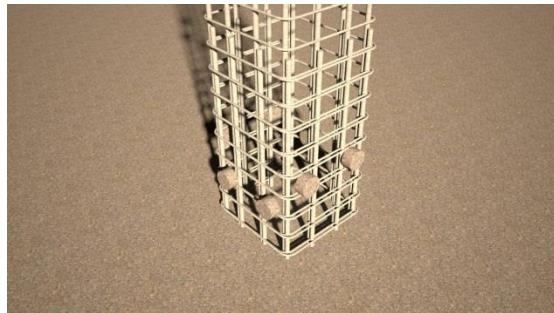


**Gambar 4. 120** Proses pemindahan tulangan kolom dari fabrikasi ke lokasi kolom



**Gambar 4. 121** Pemasangan tulangan saluran

Setelah tulangan kolom terpasang pada as kolom, kemudian dipasang beton decking yang tebalnya 40mm sesuai dengan perencanaan. Beton decking berfungsi menjaga tulangan agar sesuai dengan posisi yang direncanakan.

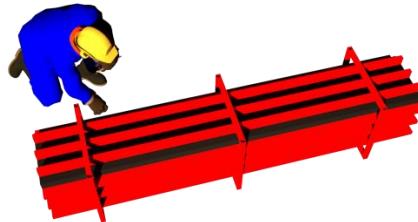


**Gambar 4. 122** Beton decking pada kolom

#### 4.6.3 Pekerjaan Bekisting Kolom

- Fabrikasi bahan-bahan bekisting antara lain :
  - Multiplek tebal 15 mm
  - Difabrikasi sesuai dengan kebutuhan dimensi kolom.

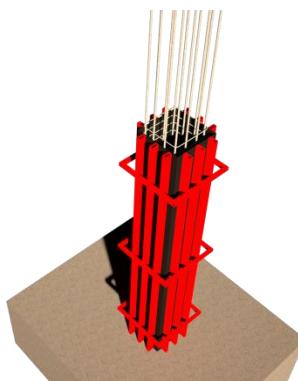
Fabrikasi bekisting dilakukan diluar area konstruksi, bertujuan agar tidak mengganggu proses pekerjaan konstruksi.



**Gambar 4. 123** Fabrikasi bekisting kolom

- Pasang multiplek dan hollow sesuai ukuran. hollow berfungsi sebagai pengaku multiplek agar multiplek lurus dan tidak melendut ketika proses pengecoran berlangsung akibat tekanan beton. Bekisting

- digabungkan dengan menggunakan metode setengah sisi
- c. Pasang pelat siku pada sudutan kolom tepat pada garis marking kolom berfungsi untuk mengunci dimensi kolom agar tidak berubah dan bergeser akibat tekanan beton dan aktifitas pekerja.
  - d. Angkat bekisting dengan menggunakan mobil crane pada area pekerjaan kolom.
  - e. Sebelum pemasangan bekisting, pastikan kolom telah dibersihkan dari sampah-sampah seperti sisa-sisa kawat baja/bendrat atau sampah lainnya, hal ini dimaksudkan agar pada saat pengecoran, beton tidak tercampur dengan sampah-sampah tersebut, sehingga akan didapatkan kolom dengan mutu sesuai rencana dan juga menghindari beton yang keropos setelah pelepasan bekisting nantinya. Selain itu,bekisting juga harus diolesi oli atau minyak untuk mempermudah proses pengecoran, agar beton tidak tersangkut pada panel bekisiting. Bekisting digabungkan dengan menggunakan metode setengah sisi.
  - f. Setelah bekisting kolom berdiri untuk menjaga bentuk kolom sekaligus mencegah kebocoran saat pengecoran digunakan sabuk pengikat yang terdiri dari suri-suri 6/12, di sekeliling bekisting.



**Gambar 4. 124** Pemasangan bekisting kolom

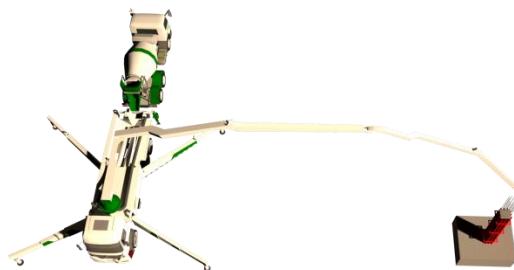
- g. Cek posisi vertical dan horizontal bekisting terhadap as kolom agar sewaktu pengecoran tidak terjadi pergeseran. Pengecekan posisi vertical dilakukan dengan memasang tali dan bandul pemberat yang disebut unting-unting pada keempat sisi bekisting. Bila jarak tali bagian atas dengan bawah sama maka posisi vertical bekisting sudah tepat. Sedangkan pengecekan posisi horizontal dilakukan dengan menggunakan marking yang sudah dibuat sebelum bekisting dipasang.

#### 4.6.4 Pekerjaan Pengecoran Kolom

Setelah bekisting kolom terpasang, pekerjaan selanjutnya adalah pengecoran kolom. Untuk pengecoran kolom pada proyek ini menggunakan bucket cor, dengan mutu beton sesuai dengan perhitungan perencana dapat dilihat pada standard drawing. Alat-alat yang digunakan selama pengecoran antara lain Bucket cor, mesin vibrator, tower crane, pipa tremi, dan alat-alat manual penunjang lainnya. Adapun metode pelaksanaan pekerjaan pengecoran adalah sebagai berikut :

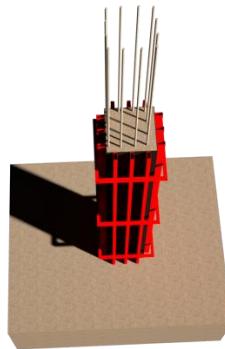
- a. Membersihkan area pengecoran dari segala kotoran

- 
- 
- 
- 
- 
- b. Membersihkan bucket cor dari kotoran dari sisa pengecoran agar beton lebih mudah ketika dikeluarkan.
- c. Sebelum kolom siap di cor,maka dilakukan pengambilan sampel adukan dari mixer truck untuk uji dengan slump test. Dengan kriteria, apabila kondisi penurunan adukan ini tidak melebihi slump rencana maka beton tersebut dapat digunakan dan bila penurunannya melebihi nilai slump rencana maka beton tersebut tidak layak untuk digunakan dan dikembalikan ke batching plan. Cara melakukan uji slump yaitu dengan menyiapkan corong yang akan digunakan untuk uji slump
- d. Campuran beton dituang kedalam bucket cor berkapasitas sesuai dengan kebutuhan dan kemudian diangkat menggunakan tower crane ke lokasi kolom yang akan di cor.
- e. Penuangan campuran beton pada kolom dilakukan dalam lapisan-lapisan yang seragam dengan menggunakan tuas, yaitu sebanyak  $1 \text{ m}^3$  setiap lapisan dengan tinggi jatuh yang disyaratkan tidak boleh melampaui 1 m. Agar tinggi jatuh campuran tidak melampaui 1 m maka pada ujung bawah bucket dipasang selang tremi. Pemasangan selang tremi untuk menghindari penuangan dalam tumpukan yang besar atau miring untuk mencegah pemisahan agregat kasar dan agregat halus (segregasi).



**Gambar 4. 125** Proses pengecoran kolom

- f. Masukkan vibrator kedalam campuran beton yang sudah dituang pada kolom bertujuan untuk meratakan beton pada bagian dalam agar besi tulangan dapat terselimuti secara keseluruhan dan menghindari adanya pori-pori pada beton.

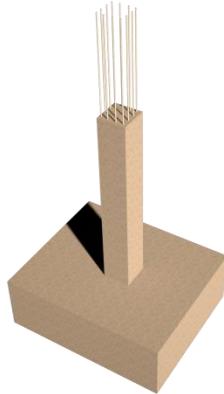


**Gambar 4. 126** Kolom yang telah dicor

#### **4.6.5 Pekerjaan Pelepasan Bekisting Kolom**

Pembongkaran bekisting dilakukan setelah minimum beton berusia 2 minggu terhitung dari pengecoran

dilaksanakan. Proses pembongkaran bekisting ini harus dilaporkan dan disetujui oleh pengawas MK.



**Gambar 4. 127** Pelepasan bekisting kolom

#### **4.6.6 Pekerjaan Perawatan Beton**

Perawatan beton yang dilakukan dengan membasahi beton agar tidak terjadi penguapan berlebihan pada beton kolom yang akan menyebabkan berkurangnya mutu beton. Penyiraman beton dilakukan pada pagi, siang dan sore. Suhu beton yang harus dipertahankan yaitu sekitar 20 Celcius.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa dan perhitungan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan penentuan dimensi elemen-elemen struktur pada bangunan kemudian dilakukan permodelan struktur pada program bantu SAP 2000 dan memasukkan data pembebanan (bebani mati, beban hidup, beban angin, beban gempa), diperoleh analisa gaya dalam yang selanjutnya diamplifikasi sesuai dengan SNI 2847:2013 dan dilakukan proses perhitungan penulangan elemen struktur bangunan sesuai metode SRPMM, didapatkan dimensi dan tulangan sebagai berikut :

#### **a. Komponen Atap Baja**

**Tabel 5. 1** Kesimpulan rangka baja

Rangka Baja	
Tipe Rangka	Profil
Gording	LC.150.65.20.3,2
Kuda-kuda	WF250.125.6.9
Kolom baja	WF250.125.6.9
Penggantung gording	Ø10
Ikatan angin	Ø16

### b. Komponen Tangga

Dimensi pelat tangga dan plat bordes dengan tebal  
 $T = 16 \text{ cm}$

**Tabel 5. 2** Kesimpulan plat tangga dan plat bordes

Tangga			
Tangga Tipe1	Pelat tangga	Arah Y	D12-200
		Arah X	$\emptyset 10-150$
	Pelat bordes	Arah Y	D12-200
		Arah X	$\emptyset 10-150$
Tangga Tipe1	Pelat tangga	Arah Y	D12-200
		Arah X	$\emptyset 10-150$
	Pelat bordes	Arah Y	D12-200
		Arah X	$\emptyset 10-150$

### c. Komponen Pelat

Dimensi pelat tangga dengan tebal  $t = 12\text{cm}$

**Tabel 5. 3** Kesimpulan pelat satu arah dan dua arah

Tipe	Jenis	Pelat Lantai							
				Tumpuan		Lapangan		Tul. bagi	
		Ly	Lx	X	Y	X	Y		
		mm	mm						
A	Satu arah	450	165	12D-200	12D-200	12D-200	12D-200	$\emptyset 10-200$	
B	Satu arah	360	170	12D-200	12D-200	12D-200	12D-200	$\emptyset 10-200$	
C	Dua arah	410	320	12D-200	12D-200	12D-200	12D-200	$\emptyset 10-200$	
D	Dua arah	360	220	12D-200	12D-200	12D-200	12D-200	$\emptyset 10-200$	

#### d. Komponen Balok dan Sloof

**Tabel 5. 4** Kesimpulan balok dan sloof

Tipe	Dimensi	Tulangan lentur				Tulangan geser		Tul torsi	
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan		
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan				
B1	300x600	5D19	2D19	2D19	5D19	2Ø10-120	2Ø10-200	4D16	
B2	250x400	3D19	2D19	2D19	3D19	2Ø10-85	2Ø10-150	2D16	
S1	300x600	4D22	4D22	4D22	4D22	2Ø10-120	2Ø10-200	2D22	

#### e. Komponen Kolom

**Tabel 5. 5** Kesimpulan kolom

Kolom				
Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Tulang an Lentur	Tulangan Geser	
			Sejarak lo	Diluar lo
K1	500x500	12D19	2Ø10-150	2Ø-200
K2	300x300	8D16	2Ø10-100	2Ø-200

#### f. Komponen Pondasi

**Tabel 5. 6** Kesimpulan pondasi

Tipe Pondasi	Dimensi Pile Cap (m)	Tebal Pile Cap (m)	Diameter Tiang Pancang (mm)	Kedalaman Tiang Pancang (m)	Jumlah Tiang Pancang	Pondasi	
						Tulangan Lentur	
						X	Y
P1	1,6x1,6	0,60	200	7	4	D22-150	D22-150
P2	1,4x1,2	0,50	200	7	2	D22-200	D22-200

2. Metode pelaksanaan pekerjaan kolom beton meliputi :

a. Tahap persiapan

Tahap persiapan berguna untuk menyiapkan area kerja agar pekerja dapat bekerja tanpa hambatan

b. Tahap penulangan kolom

Tulangan kolom dipotong dan dirakit di area fabrikasi tulangan sesuai dengan kebutuhan di gambar rencana.

- c. Tahap bekisting kolom  
Bekisting kolom dirakit di area fabrikasi sesuai dengan dimensi dan kebutuhan kolom digambar rencana.
- d. Tahap pengecoran kolom  
Pengecoran kolom menggunakan bantuan mobil crane. Kolom yang akan dicor dibersihkan terlebih dahulu agar mutu beton yang diperoleh sesuai dengan rencana.
- e. Tahap pembongkaran bekisting  
Setelah minimal umur beton sekitar 2 minggu, bekisting sudah bisa dilepaskan.
- f. Tahap perawatan beton  
Perawatan beton dilakukan dengan membasahi beton pada pagi, siang dan sore hari untuk menjaga suhu beton.

## 5.2 Saran

Berdasarkan keseluruhan prosesengerjaan tugas akhir terapan ini, didapatkan beberapa saran yaitu :

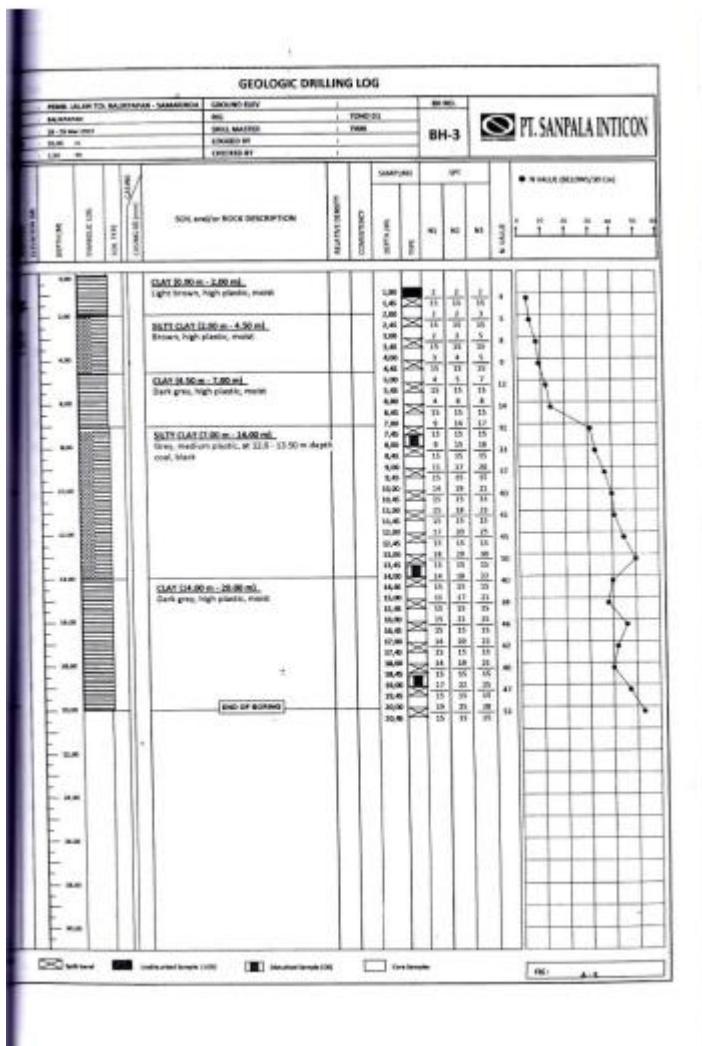
1. Setelah melakukan perhitungan penulangan maupun profil segera mengerjakan gambar rencana.
2. Konsisten terhadap time line pekerjaan yang telah direncanakan agar selesai tepat waktu.
3. Penentuan preliminary design struktur harus mempertimbangkan efisiensi dari dimensi yang digunakan serta perhitungan penulangan untuk elemen struktur harus mempertimbangkan kecukupan penampang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 03-1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *SNI 03-1729-2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: BSN
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI)*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik. 2016. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: ITB Press
- Joseph E Bowles . 1999. *Analisa dan Desain Pondasi-Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Universitas Trunojoyo Madura. 2018. *Gambar Rencana Gedung Kuliah Bersama Fakultas Ekonomi Bisnis Universitas Trunojoyo Madura*. Bangkalan: Universitas Trunojoyo Madura.
- PT. Sanpala Inticon. *Geologic Drilling Log*. Balikpapan: PT. Sanpala Inticon.
- n, Wildan. 2019. *Laporan Kerja Praktik “Metode Pelaksanaan Kolom”*. Surabaya: Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS.

## LAMPIRAN

... Data SPT Tanah Kota Balikpapan, Kalimantan Timur



## B. Brosur Tiang Pancang

**PRESTRESSED CONCRETE  
SQUARE PILE**

**SPECIFICATION MATERIAL :**

- SNI 03-2647-2002 Indonesian Standard Cement
- SNI 03-2647-2002 Indonesian Concrete Code
- JIS G 3536 - 1999 Uncoated Stress-Relieved Steel Wire and Strand For Prestressed Concrete
- JIS G 3137 - 1994 Small Size Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete




SIZE (cm)	WEIGHT (kg/m)	AREA (cm <sup>2</sup> )	LENGTH (m)	BENDING MOMENT		AXIAL LOAD (TON)
				MOMENT DESIGN (TM)	MOMENT ULTIMATE (TM)	
20X20	100	400	6-12	1.1	1.8	49
			13-15	1.2	2.5	48
25x25	157	625	6-12	1.9	3.2	78
			13-15	2.2	5.3	77
30x30	225	900	6-12	3.1	6.3	115
			13-15	3.6	8.4	111
35x35	306	1225	6-12	5.0	9.0	155
			13-15	5.5	10.7	152
			16-18	5.8	10.8	151
40X40	400	1600	6-12	6.0	12.5	205
			13-15	7.5	13.5	203
			16-18	7.9	16.0	200

SIZE cm	WEIGHT kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	LENGTH m	BENDING MOMENT		AXIAL LOAD TON
				MOMENT DESIGN TM	MOMENT ULTIMATE TM	
45x45	506	2025	6-12	8.1	15.1	266.0
			13-15	12.9	21.0	248.0
			16-18	13.4	27.0	246.0
50x50	625	2500	6-12	16.0	27.0	318.0
			13-15	16.5	28.5	312.0
			16-18	17.5	30.0	307.0

Note : Concrete Compressive Strength  $f_c = 42.3 \text{ Mpa}$  (Cube 500 kg/cm<sup>2</sup>)  
- Joint system : Welded at steel joint plate  
- Type of shoe : Pencil (Standard Product)

**SMARTINDO CAHAYA GEMILANG**  
**JUAL TIANG PANCANG PONDASI BETON**

**Kami Melayani Jasa Jual Tiang Pancang Pondasi Beton Kotak  
Minimal Pemesanan 500 Batang Dikirim dari Pabrik  
Informasi Lebih Lanjut Dapat Menghubungi Call / WhatsApp / Telegram :  
0812 5336 6948 - 0852 4726 4359 xl 0819 3387 0888  
857 5284 7999 Tri 0896 4872 6999 Axis 0831 5341 7388**

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dengan nama lengkap Yusron Hakiki, lahir di Probolinggo, 10 April 1998 merupakan anak bungsu dari pasangan suami istri Bapak Sueb dan Ibu Suliaty.

Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Ketapang II Kota Probolinggo, SMPN 10 Kota Probolinggo, dan SMAN 4 Kota Probolinggo dan menempuh masa perkuliahan di Diploma III Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas

Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 10111600000068. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah mengikuti kerja praktik di PT. Mitra Konstruksi pada proyek *East Cost 2*. Penulis pernah menjadi bagian dari departemen Diploma Sipil Champion selama 2 periode, penanggung jawab KJI-KBGI pada tahun 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020. Penulis pernah mendapat juara 2 *Load Design Competition* ITS 2017/2018. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [Yyusron82@gmail.com](mailto:Yyusron82@gmail.com)

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Rizky Putri Maulidiza, lahir di Bangkalan, 7 Juli 1998 merupakan anak bungsu dari pasangan suami istri Bapak Supriyadi dan Ibu Siti Azizah.

Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Banyuajuh 2 Kamal, SMPN 5 Bangkalan, dan SMAN 1 Bangkalan dan menempuh masa perkuliahan di Diploma III Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada

tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 10111600000067. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah mengikuti kerja praktik di PT. Tata Mulia Nusantara Indah pada Proyek *Ciputra World* Surabaya tahap 3. Penulis pernah menjadi staf unit kegiatan mahasiswa *voley ball* ITS. Penulis juga aktif dalam beberapa kepanitian selama menjadi mahasiswa Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [rizkyputrimaulidiza@gmail.com](mailto:rizkyputrimaulidiza@gmail.com)