



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG VILLA A.N. ANA KEL. PECALUKAN,
KEC. PRIGEN, KAB. PASURUAN DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Mahasiswa

LINDA KARTINI PUTRI

NRP. 3113030001

MIRANTI RAMDHINI

NRP. 3113030008

Dosen Pembimbing

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP. 19560520.198903. 2.001

PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT APPLIED – RC 145501

STRUCTURAL DESIGN OF VILLA A.N. ANA VILLAGE PECALUKAN, SUB-DISTRICT PRIGEN, DISTRICT PASURUAN WITH INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM (SRPMM)

Student :

LINDA KARTINI PUTRI

NRP. 3113.030.001

MIRANTI RAMDHINI

NRP. 3113.030.008

Counsellor Lecturer :

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP. 19560520.198903.3.2.001

DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING

Civil Engineering and Planning Faculty

Sepuluh Nopember Institute Technology

Surabaya

2016



TUGAS AKHIR TERAPAN – RC 145501

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG VILLA A.N.
ANA KEL. PECALUKAN, KEC. PRIGEN, KAB.
PASURUAN DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**Linda Kartini Putri
NRP. 3113.030.001**

**Miranti Ramdhini
NRP. 3113.030.008**

**Dosen pembimbing :
Ir. SRIE SUBEKTI, MT.
NIP. 19560520.198903.3.2.001**

**PROGRAM DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT APPLIED – RC 145501

STRUCTURAL DESIGN OF VILLA A.N. ANA VILLAGE PECALUKAN, SUB-DISTRICT PRIGEN, DISTRICT PASURUAN WITH INTERMEDIATE MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM (SRPMM)

**Linda Kartini Putri
NRP. 3113.030.001**

**Miranti Ramdhini
NRP. 3113.030.008**

Counsellor Lecturer :

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP. 19560520.198903.3.2.001

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING
Civil Engineering and Planning Faculty
Sepuluh Nopember Institute Technology
Surabaya**

2016

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG VILLA A.N.
ANA KEL. PECALUKAN, KEC. PRIGEN, KAB.
PASURUAN DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

TUGAS AKHIR TERAPAN
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Sistem
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

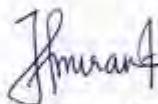
Oleh :

MAHASISWA I



LINDA KARTINI PUTRI
NRP. 3113030001

MAHASISWA II



MIRANTI RAMDHINI
NRP. 3113030008

29 JUN 2016

Diresetujui oleh :

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



I. SRI B/SUBEKTI, MT.
NIP. 19560520.198903.3.2.001

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Saya, seorang mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan:

Nama : LIPIDA SARTINI PUTRI / MIRANTI RAMDHANI
Nip. : 31190100171010008
Jenjang / Pak. : D3 TEKNIK SISTEM / PROG
Alamat kelas : KELASERAN A/16_16/F / PERIODICS ITS BLOK. A-26 NO.7
a. Email : lipida.sartini1@ptits.ac.id / miranti.ramdhani@gmail.com
b. Telepon : 0812-28581 / 089705310408

Menyatakan bahwa semua data yang saya sampaikan di Digital Library ITS merupakan hasil final (jauh berbeda) dan bukan hasil saya yang sedang dianugerahi oleh dosen pengajar. Apabila diketahui hasil akhiran atau kerja ilmiah saya yang berujung pada penyelesaian tesis/dikti/penelitian dan/atau publikasi dalam bentuk jurnal dan/atau konferensi internasional, maka saya bersedia memberitahu seluruhnya.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyerahkan untuk memberikan Hak Boleh Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas kerja ilmiah saya yang berujung pada penyelesaian tesis/dikti/penelitian dan/atau publikasi dalam bentuk jurnal dan/atau konferensi internasional.

PERINTAHANAN ETIKAL DAN KONSEP UNTUK PENGETAHUAN KEGIATAN PENELITIAN
DILAKUKAN DALAM RUMAH TUTUP SISTEM KASMAAN DEWAN KONSEP KONSEP
(SERTIFIKAT)

Dengan Hak Boleh Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menggunakan, mengiklankan/dan mempublikasikan di internet atau media lain untuk keperluan akademis tanpa izin (ini dari saya selama tetap menggunakan nama saya sebagai penulis/pencipta). Saya berada dalam posisi secara pribadi, negara Jawa dan provinsi Jawa yang dimiliki atau pelanggaran Hak Cipta dalam karya hasil saya ini siapa melihatkan pidak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan pernyataan ini saya hasil dengan sebenarnya



Diketahui : Santriwa
Pada tanggal :
Yang menyerahkan:

Lipida Sartini Putri / Miranti Ramdhani
Nip. 31190100171010008

KESTARIANGAN

Tanda tangani pernyataan yang dituliskan dan ditandatangani

Pada dokumen dan disertai dengan fotocopy hasilnya di Tanda Tangan

**Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana Kel.
Pecalukan, Kec. Prigen, Kab. Pasuruan dengan Metode
Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**

Nama Mahasiswa : 1. Linda Kartini Putri
 2. Miranti Ramdhini
NRP : 1. 3113.030.001
 2. 3113.030.008
Jurusan : D3 Teknik Sipil Bangunan Gedung
Dosen Pembimbing : Ir. Srie Subekti, MT.
NIP : 19560520.198903.3.2.001

ABSTRAK

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah Perencanaan Struktur Gedung Villa 4 Lantai A.N. Ana yang berlokasi di Kel. Pecalukan, Kec. Prigen, Kab. Pasuruan. Dalam perencanaannya, gedung ini dihitung dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) karena gedung tersebut dalam kategori desain seismik C.

Perencanaan dan perhitungan dibatasi pada bangunan atas yang terdiri dari struktur utama (kolom dan balok) dan struktur sekunder (tangga, pelat lantai, pelat atap dan balok anak) serta bangunan bawah yang terdiri dari sloof dan pondasi. Semua perhitungan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini mengacu pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia (**PBBI 1971**), Peraturan Pembebatan Indonesia Untuk Gedung 1983 (**PPIUG 1983**), **SNI 1726-2012** mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung dan **SNI 2847-2013** tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Untuk perencanaan perhitungan beban gempa dilakukan dengan menggunakan analisa statik ekuivalen.

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan, diwujudkan dalam suatu laporan perhitungan yang dilengkapi dengan gambar yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam pelaksanaan pembangunan.

***Kata Kunci : Kategori Desain Seismik, Statik Ekuivalen,
SRPMM***

**STRUCTURAL DESIGN OF VILLA A.N. ANA
VILLAGE PECALUKAN, SUB-DISTRICT PRIGEN,
DISTRICT PASURUAN WITH INTERMEDIATE
MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM (SRPMM)**

Student Name : 1. Linda Kartini Putri
 2. Miranti Ramdhini
NRP : 1. 3113.030.001
 2. 3113.030.008
Faculty : D3 Teknik Sipil Bangunan Gedung
Counsellor Lecturer : Ir. Srie Subekti, MT.
NIP : 19560520.198903.3.2.001

ABSTRACT

The preparation of this Final Project is the Structural Design of Villa A.N. Ana is located in the Village pecalukan, Sub-district prigen, District pasuruan. In planning, this building is computed using Intermediate Moment Resisting Frame System (SRPMM) because the building is in a Seismic Design Category C.

Planning and calculation is limited to the top of the building consists of the main structure (columns and beams) and secondary structures (ladder, slab floors, roof floors, joists) and the substructure consisting of sloof and foundation. All calculations are done in this Final Rule Regulation of Reinforced Concrete Indonesia (**PBBI 1971**), the rules of building load in 1983 (**PPIUG 1983**), **SNI 1726-2012** for earthquake load is based on procedure planning of earthquake building resistance and **SNI 2847-2013** for designing concrete structure. For the planning of seismic load calculation is done using the equivalent static analysis.

From calculations that have been done, embodied in a report the calculation of which is equipped with an image that can be used as reference for the development.

Keywords : Seismic Design Category, Equivalent Static, Intermediate Moment Resisting Frame System (SRPMM)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulisan tugas akhir yang berjudul "*Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana Kelurahan Pecalukan Kecamatan Prigen Kabupaten Pasuruan dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)*" ini selesai tepat pada waktunya. Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Ahli Madya pada Jurusan Diploma III Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari pihak-pihak terkait maka penulisan tugas akhir ini tidak akan selesai tepat pada waktunya. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberi dukungan moril, doa serta kasih sayang.
2. Bapak Dr. Machsus, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Diploma Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Ibu Ir. Srie Subekti, MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberi banyak masukan serta bimbingan kepada penulis.
4. Semua pihak yang namanya tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu berbagai kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berharap agar penulisan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Acuan Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana	5
2.2 Perhitungan Struktur SRPMM.....	6
2.3 Persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	9
2.3.1 Balok.....	9
2.3.2 Kolom	11
2.3.3 Kekuatan Geser	11
2.4 Hubungan Balok Kolom SRPMM	14
BAB III METODOLOGI.....	15
3.1 Pengumpulan Data	15
3.2 Preliminari Desain.....	16

3.2.1 Struktur Primer.....	16
3.2.2 Struktur Sekunder.....	17
3.3 Pembebanan Struktur.....	21
3.4 Permodelan Struktur.....	22
3.5 Analisa Gaya dalam.....	23
3.6 Perhitungan Penulangan Struktur.....	24
3.6.1 Penulangan Struktur Primer	24
3.6.2 Penulangan Struktur Sekunder.....	28
3.7 Flowchart	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur Beton.....	31
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok	31
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom.....	33
4.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai dan Pelat Atap	34
4.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga dan Bordes	41
4.2 Perencanaan Dimensi Struktur Baja	42
4.2.1 Perencanaan Gording.....	42
4.2.2 Perhitungan Penggantung Gording	51
4.2.3 Perhitungan Ikatan Angin Atap.....	55
4.2.4 Perhitungan Kuda - Kuda	61
4.2.5 Perhitungan Kolom Baja.....	68
4.2.6 Sambungan Kuda-Kuda.....	73
4.2.7 Pelat Landas	97
4.3 Perhitungan Beban Gempa	102
4.3.1 Gaya Gempa Tiap Joint	103
4.3.2 Perhitungan Statik Ekivalen.....	104

4.4 Berat Struktur Bangunan	111
4.5 Berat Per Lantai.....	120
4.6 Perencanaan Pembebatan.....	125
4.6.1 Pelat Lantai	125
4.6.2 Pelat Atap.....	126
4.6.3 Tangga dan Bordes.....	127
4.7 Penulangan Struktur Beton	128
4.7.1 Perhitungan Balok	128
4.7.2 Perhitungan Kolom.....	160
4.7.3 Perhitungan Pelat Lantai dan Pelat Atap	183
4.7.4 Perhitungan Pelat Tangga dan Pelat Bordes	193
4.8 Perhitungan Pondasi	206
4.8.1 Perhitungan Gaya Aksial Izin Bore Pile	206
4.8.2 Perencanaan Dimensi Poer	211
4.8.3 Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Bor.....	212
4.8.4 Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Tiang	212
4.8.5 Perhitungan Daya Dukung Bore Pile Kelompok	213
4.8.6 Perhitungan Penulangan Bore Pile	214
4.8.7 Perhitungan Penulangan Pile Cap	219
BAB V HASIL	230
5.1 Hasil Struktur	230
DAFTAR PUSTAKA.....	232
LAMPIRAN	234
BIOGRAFI PENULIS	236

X

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

DAFTAR TABEL

Tabel 1 rekapitulasi momen-momen yang terjadi.....	48
Tabel 2 gaya gempa (1)	102
Tabel 3 gaya gempa (2)	102
Tabel 4 gempa arah x.....	103
Tabel 5 gempa arah y.....	103
Tabel 6 nilai SDS	106
Tabel 7 nilai S1	106
Tabel 8 nilai N-SPT	106
Tabel 9 kategori tanah	106
Tabel 10 nilai gempa 2500 tahunan	107
Tabel 11 berat struktur lantai 1	111
Tabel 12 berat struktur lantai 2	112
Tabel 13 berat struktur lantai 3	113
Tabel 14 berat struktur lantai 4	114
Tabel 15 berat struktur lantai atap.....	115
Tabel 16 berat sendiri pelat.....	116
Tabel 17 beban mati lainnya lantai 2 hingga 4	117
Tabel 18 beban mati lantai atap	117
Tabel 19 beban mati tangga	118
Tabel 20 beban mati bordes	118
Tabel 21 beban dinding	119
Tabel 22 beban hidup dan beban air hujan pada atap.....	119
Tabel 23 beban air hujan pada atap	120
Tabel 24 berat lantai 1	120
Tabel 25 berat lantai 2	121
Tabel 26 berat lantai 3	122
Tabel 27 berat lantai 4	123
Tabel 28 berat lantai atap.....	124
Tabel 29 rekapitulasi beban	124

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 syarat momen balok dengan metode SRPMM (1)	10
Gambar 2.2 syarat momen balok dengan metode SRPMM (2)	10
Gambar 2.3 syarat sengkang balok dengan metode SRPMM.....	10
Gambar 2.4 gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM	12
Gambar 2.5 gaya lintang rencana pada kolom untuk SRPMM.....	13
Gambar 2.6 hubungan balok dengan kolom	14
Gambar 3.1 penampang pelat satu arah.....	18
Gambar 3.2 penampang pelat dua arah	18
Gambar 3.3 pelat terjepit penuh	19
Gambar 3.4 gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM	25
Gambar 3.5 faktor panjang efektif K.....	26
Gambar 3.6 panjang penyaluran untuk tul. pada slab tanpa balok (SNI 03-2847-2013 Gambar 13.3.8)	28
Gambar 4.1 B.I Mel. E 1-2 35/50.....	32
Gambar 4.2 B.I Mel. E 2-3 35/50.....	32
Gambar 4.3 B.I Mel. E 3-4 35/50.....	33
Gambar 4.4 dimensi kolom 50/50	34
Gambar 4.5 plat s1 yang ditinjau	35
Gambar 4.6 dimensi tangga dan bordes.....	41
Gambar 4.7 profil LLC 150.50.20.2,5	43
Gambar 4.8 gambar rencana atap	44
Gambar 4.9 beban yang terjadi pada gording	44
Gambar 4.10 beban angin yang bekerja tegak lurus sumbu x	47
Gambar 4.11 peletakan profil penggantung gording pada atap	52
Gambar 4.12 satu buah penggantung gording	53
Gambar 4.13 ikatan angin atap setiap 2 meter jarak datar.....	56
Gambar 4.14 profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9	62
Gambar 4.15 profil kolom baja WF 125.125.6,5.9	69
Gambar 4.16 jarak baut sb. kuda-kuda dengan kolom Tp. A	74
Gambar 4.17 peletakan baut pada profil (1)	75
Gambar 4.18 tebal las 4mm (1).....	77
Gambar 4.19 kondisi fraktur 1 pada pelat (1)	79
Gambar 4.20 kondisi fraktur 2 pada pelat (2)	80
Gambar 4.21 jarak baut sb kuda-kuda dengan kolom Tp. B	82
Gambar 4.22 peletakan baut pada profil (2)	83

Gambar 4.23 tebal las 4 mm (2).....	85
Gambar 4.24 kondisi fraktur 1 pada pelat (2)	87
Gambar 4.25 kondisi fraktur 2 pada pelat (2)	88
Gambar 4.26 jarak baut sb. kuda-kuda dengan kolom Tp. C	90
Gambar 4.27 peletakan baut pada profil (3)	91
Gambar 4.28 tebal las 4mm (3).....	93
Gambar 4.29 kondisi fraktur 1 pada pelat (3)	95
Gambar 4.30 kondisi fraktur 2 pada pelat.....	96
Gambar 4.31 detail pelat landas	98
Gambar 4.32 posisi B.I Mel. yang ditinjau	128
Gambar 4.33 detail B.I Mel	129
Gambar 4.34 tulangan lentur tumpuan kiri B.I Mel	140
Gambar 4.35 tulangan lentur lapangan B.I Mel	146
Gambar 4.36 tulangan lentur tumpuan kanan B.I Mel	151
Gambar 4.37 pembagian wilayah geser pada balok	154
Gamabr 4.38 dimensi kolom 50/50	161
Gambar 4.39 dari gambar di atas diperoleh nilai K sebesar 1,2 ...	167
Gambar 4.40 diagram interaksi rho 2% (1)	170
Gambar 4.41 diagram interaksi rho 2% (2)	175
Gambar 4.42 detail penulangan kolom dimensi 50/50	182
Gambar 4.43 pelat terjepit penuh tipe II	183
Gambar 4.44 posisi pelat yang ditinjau	184
Gambar 4.45 detail penulangan pelat lantai dan atap.....	193
Gambar 4.46 potongan tangga	194
Gambar 4.47 penulangan pelat tangga dan pelat bordes	205
Gambar 4.48 tahanan ujung ultimate pada tanah non-kohesif (sumber: Reese & Wright, 1977)	207
Gambar 4.49 hubungan tahanan selimut ultimate terhadap B-spt (Sumber: Wright, 1977).....	208
Gambar 4.50 lapisan tanah pada pondasi bore pile	209
Gambar 4.51 geser 1 arah pilecap	220
Gambar 4.52 geser 2 arah pilecap	221
Gambar 4.53 mektek poer arah x	222
Gambar 4.54 mektek poer arah y	225

DAFTAR NOTASI

- A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, (mm^2),
 A_{cv} = Luas efektif bidang geser dalam hubungan antar balok-kolom (mm^2),
 A_g = Luas bruto penampang (mm^2),
 A_l = Luasan total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2),
 A_n = Luas bersih penampang (mm^2),
 A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2),
 A_{oh} = Luas penampang yang dibatasi oleh garis as tulangan sengkang (mm^2),
 A_s = Luas tulangan tarik non prategang (mm^2),
 $A_{s'}$ = Luas tulangan tekan non prategang (mm^2),
 A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2),
 A_v = Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2),
 b = Lebar daerah tekan komponen struktur (mm^2),
 C = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm),
 $C_{c'}$ = Gaya pada tulangan tekan,
 $C_{s'}$ = Gaya tekan pada beton,
 d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm),
 d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm),
 D = Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati,
 e_x = Jarak kolom ke pusat kekakuan arah x,
 e_y = Jarak kolom ke pusat kekakuan arah y,
 E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa),

- EI = Kekuatan lentur komponen struktur tekan (N-mm^2),
 Es = Modulus elastisitas tulangan (Mpa),
 Ex = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa X,
 Ey = Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa Y,
 fc' = Kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa),
 fy = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (Mpa),
 f_{vy} = Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (Mpa),
 f_{ys} = Kuat leleh tulangan sengkang torsi (Mpa),
 h = Tinggi total dari penampang,
 hn = Bentang bersih kolom,
 I_b = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok,
 I_p = Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat,
 k = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
 Ln = Bentang bersih balok,
 Lx = Bentang pendek pelat,
 Ly = Bentang panjang pelat,
 Ml = Momen lapangan,
 Mn = Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm),
 Mnb = Kekuatan momen nominal per satuan jarak sepanjang suatu garis leleh,
 Mnc = Kekuatan momen nominal untuk balok yang tidak mempunyai tulangan tekan (Nmm),
 Mnx = Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x,
 Mny = Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y,
 Mox = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x untuk aksial tekan yang nol,
 Moy = Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y untuk aksial tekan yang nol,
 Mt = Momen tumpuan,

- M_u = Momen terfaktor pada penampang (Nmm),
M₁ = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan, bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm),
M₂ = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen tekan, selalu bernilai positif (Nmm),
M_{1ns} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (orde pertama), bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm),
M_{2ns} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm),
M_{1s} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (orde pertama), bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm),
M_{2s} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm),
Nu = Beban aksial terfaktor,

- P_b = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N),
 P_c = Beban kritis (N),
 P_{cp} = Keliling penampang beton (mm),
 P_h = Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi,
 P_n = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas (N),
 P_o = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol (N),
 P_u = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N),
 S = Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan (N),
 T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton,
 T_n = Kuat momen torsi nominal (Nmm),
 T_s = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan tarik,
 T_u = Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm),
 V = Geser desain total di dasar struktur arah yang ditinjau,
 V_c = Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton,
 V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N),
 V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang (N),
 W_u = Beban terfaktor per unit panjang balok atau luas pelat,
 W_c = Berat satuan beton (Kg/m³),
 α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari panel panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok,
 β = Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah,
 ρ = Rasio tulangan tarik,
 ρ' = Rasio tulangan tekan,
 ρ_b = Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang,
 ρ_{max} = Rasio tulangan tarik maksimum,
 ρ_{min} = Rasio tulangan tarik minimum,

- \emptyset = Faktor reduksi kekuatan,
 ε = Regangan,
 ε_c = Regangan dalam beton,
 λ_d = Panjang penyaluran,
 λ_{db} = Panjang penyaluran dasar,
 λ_{dh} = Panjang penyaluran kait standar tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan,
 λ_{hb} = Panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik,
 λ_n = Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentan-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif,
 λ_u = Panjang bebas (tekuk) pada kolom,
 δ_{ns} = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan,
 δ_s = Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi,

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyusunan tugas akhir ini dilakukan dengan merencanakan struktur atas dan struktur bawah dari bangunan Gedung Villa A.N. Ana yang berlokasi di Kelurahan Pecalukan, Kecamatan Prigen, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Struktur bagian atas terdiri dari kolom, balok, dinding, pelat lantai dan atap sedangkan struktur bagian bawah terdiri dari balok sloof dan pondasi.

Dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Semua metode ini tergantung pada Kategori Resiko Struktur dan Kategori Desain Seismik. Perencanaan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dapat dilakukan apabila bangunan tersebut masuk dalam Kategori Desain Seismik C berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{DI} . Syarat nilai S_{DS} sebesar $0.167 \leq S_{DS} < 0.33$ untuk kategori resiko IV sedangkan pada kategori resiko I, II dan III nilai S_{DS} sebesar $0.33 \leq S_{DS} < 0.50$. Untuk syarat nilai S_{DI} sebesar $0.067 \leq S_{DI} < 0.133$ untuk kategori resiko IV sedangkan pada kategori resiko I, II dan III nilai S_{DI} sebesar $0.133 \leq S_{DI} < 0.20$.

Berdasarkan adanya data tanah yang diperoleh dari Laboratorium Uji Material Kampus Diploma Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya, daerah Pasuruan termasuk dalam klasifikasi tanah keras dengan nilai S_{DS} sebesar 0.464 dan S_{DI} sebesar 0.258. Gedung Villa A.N. Ana termasuk dalam Kategori Resiko Struktur II. Sehingga berdasarkan nilai

S_{DS} termasuk dalam Kategori Desain Seismik C sedangkan berdasarkan nilai S_{D1} termasuk dalam Kategori Desain Seismik D. Maka, dalam Perhitungan strukturnya dapat dihitung dengan menggunakan metode SRPMM sesuai dengan syarat-syarat yang akan dijelaskan pada Bab IV. Pada perencanaan struktur Gedung Villa A.N. Ana, penulis memodifikasi denah menjadi lebih sederhana dan simetris sesuai dengan kompetensi yang telah diperoleh dalam perkuliahan.

Pemodelan struktur Gedung Villa A.N. Ana dihitung berdasarkan kompetensi yang berlaku di jurusan Diploma Teknik Sipil ITS. Karena pada pemodelan kali ini denah telah dimodifikasi menjadi simetris maka pengaruh setiap beban-beban gempa rencana pada beban gempa nominal dapat dianggap sebagai beban gempa berbentuk nominal statik ekuivalen sehingga dapat dihitung dengan menggunakan metode analisis beban gempa statik ekuivalen.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas maka dapat ditarik suatu rumusan masalah yaitu merencanakan Perhitungan bangunan Gedung Villa A.N. Ana menggunakan metode SRPMM.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan permasalahan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan bangunan Gedung Villa A.N. Ana tidak meninjau mengenai manajemen konstruksi, analisa biaya maupun arsitektural, namun hanya meninjau Perhitungan struktur.

2. Beban gempa direncanakan menggunakan analisa beban gempa statik ekuivalen dalam kategori desain seismik C.
3. Perhitungan struktur hanya meninjau dua portal yaitu portal memanjang dan portal melintang.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menghasilkan Perhitungan struktur Gedung Villa A.N. Ana dengan metode SRPMM.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mendapatkan desain bangunan Gedung Villa A.N. Ana yang tahan gempa.
2. Untuk mengaplikasikan semua kompetensi mengenai perencanaan struktur bangunan gedung yang telah didapatkan selama berada di bangku perkuliahan dalam laporan hasil akhir sesuai dengan data yang sebenarnya.

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang akurat dan optimal. Dalam bab ini akan dibahas mengenai konsep pemilihan sistem struktur dan konsep perencanaan/desain struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

Pada bab ini juga akan dibahas mengenai penggunaan struktur yang berdasarkan beton, dimana beton merupakan salah satu bahan bangunan komposit yang berasal dari kombinasi agregat dan bahan pengikat semen. Beton sering kali digunakan untuk struktur bangunan, perkerasan jalan, struktur jembatan penyebrangan, pondasi, dan lain sebagainya. Seiring berkembangnya zaman beton banyak dimodifikasi menjadi beberapa bagian yaitu, beton ringan, beton cetak, beton semprot, beton berkekuatan tinggi, beton berkekuatan sangat tinggi, dan lain-lain. Beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi dan tentunya tetap memiliki kekuatan yang sangat tinggi seperti tahan terhadap temperatur yang tinggi dan yang terpenting biaya perawatannya juga murah dan efisien, maka dari itu beton merupakan suatu bahan bangunan yang sangat sering digunakan dalam perencanaan struktur konstruksi suatu bangunan pada saat ini.

2.1 Acuan Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana

- PBBI 1971 : Peraturan Beton Bertulang Indonesia
- PPIUG 1983 : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.

- SNI 1726-2012 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
- SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- SNI 1729-2015 : Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
- Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua Karya Agus Setiawan.

2.2 Perhitungan Struktur SRPMM

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) merupakan sistem yang dilakukan guna menghitung beban lateral akibat gempa yang dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Metode Perhitungan dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen terbagi menjadi tiga metode yaitu :

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) merupakan metode perencanaan suatu bangunan agar tahan terhadap gempa berkekuatan rendah yaitu untuk kategori desain seismik A dan B.
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) merupakan metode perencanaan suatu bangunan agar tahan terhadap gempa berkekuatan sedang yaitu untuk kategori desain seismik C.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan metode perencanaan suatu bangunan agar tahan terhadap gempa berkekuatan tinggi yaitu untuk kategori desain seismik D dan E.

Beban lateral yang dipikul oleh rangka momen pada bangunan Gedung Villa A.N Ana merupakan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa sedang karena gedung Villa A.N.

Ana masuk dalam kategori desain seismik C, sehingga dalam perhitungannya dapat dilakukan dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Dalam penentuan kategori desain seismik suatu bangunan dapat dilakukan dengan mengacu pada **SNI 1726-2012** tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Apabila nilai $S_1 < 0.75$ maka penetapan kategori desain seismik dapat mengacu pada **Tabel 6 SNI 1726-2012** dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- a. Pada masing-masing dua arah orthogonal, perkiraan periода fundamental struktur T_a , yang ditentukan sesuai dengan **7.8.2.1** adalah kurang dari $0,8T_s$, dimana T_s ditentukan sesuai dengan **Pasal 6.4** dan mengacu pada **Tabel 15 SNI 1726-2012** untuk mengetahui nilai koefisien C_t dan x . Nilai T_a dapat diperoleh sebesar 10% jumlah tingkat apabila ketinggian bangunan kurang dari 12 tingkat dengan sistem penahan gempa terdiri atas rangka penahan momen beton atau baja, dan ketinggian masing-masing tingkat minimum 3 m.
- b. Pada masing-masing dua arah orthogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .
- c. Koefisien respons seismik C_s dapat dihitung sesuai dengan **Persamaan 22 SNI 1726-2012** dengan syarat sebagai berikut :
 1. Nilai C_s pada **Persamaan 22** lebih kecil dari nilai C_s hasil Perhitungan pada **Persamaan 23 SNI 1726-2012**.
 2. Nilai C_s pada **Persamaan 22 SNI 1726-2012** lebih besar dari nilai C_s hasil Perhitungan pada **Persamaan 24 SNI 1726-2012**.

- d. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di **7.3.1** atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Apabila keempat ketentuan-ketetuan di atas telah dipenuhi, maka untuk menentukan kategori desain seismik yang berdasarkan pada **Tabel 6 SNI 1726-2012** harus dihitung nilai SDS yang bergantung pada kategori resiko struktur bangunan serta faktor keutamaan, wilayah gempa serta klasifikasi situsnya.

- i. Kategori resiko struktur bangunan serta faktor keutamaan.

Kategori resiko struktur bangunan ditentukan berdasarkan **Tabel 1 SNI 1726-2012** sedangkan untuk faktor keutamaan ditentukan berdasarkan **Tabel 2 SNI 1726-2012**. Perencanaan struktur gedung Villa A.N. Ana masuk kedalam kategori resiko 2 dan memiliki faktor keutamaan sebesar 1.

- ii. Wilayah gempa

Wilayah gempa ditinjau berdasarkan **Peta Hazzard 2010**. Pada perencanaan kali ini digunakan gempa periode 2500 tahun. Daerah Pasuruan termasuk pada daerah dengan nilai Ss sebesar 0,6 g dan nilai S₁ sebesar 0,25 g.

- iii. Klasifikasi situs

Klasifikasi situs dilakukan dengan menggunakan hasil uji SPT profil tanah lapisan 30 m paling atas. Berdasarkan **Tabel 3 SNI 1726-2012** terdapat beberapa klasifikasi situs yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus). Pada perencanaan gedung Villa A.N. Ana menggunakan data tanah SPT untuk daerah Pasuruan dengan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (\bar{N}) lebih besar dari 50. Maka

dengan demikian klasifikasi situs tanahnya masuk ke dalam kategori SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak).

Tahap selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) sesuai dengan **Persamaan 5-6 SNI 1726-2012** serta **Tabel 4** dan **Tabel 5 SNI 1726-2012**. Sehingga nilai S_{DS} dan S_{DI} yang dijadikan sebagai acuan dalam penentuan kategori desain seismik diperoleh dari dua per tiga MCE_R .

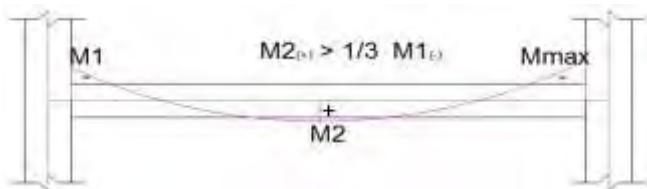
2.3 Persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Perhitungan struktur bangunan gedung dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah di Indonesia mengacu pada ketentuan-ketentuan yang telah tercantum dalam **SNI 03-2847-2013** tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Apabila beban aksial terfaktor (P_u) $< A_g f'_c / 10$ maka harus memenuhi syarat perhitungan balok dan apabila beban aksial terfaktor (P_u) $> A_g f'_c / 10$ maka harus memenuhi syarat perhitungan kolom.

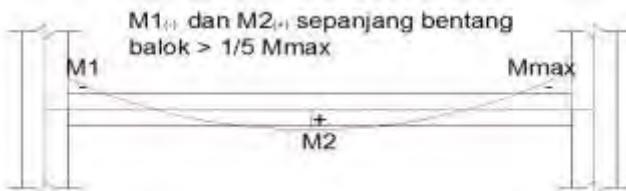
2.3.1 Balok

Desain penulangan pada balok harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Pada muka joint, besarnya momen positif tidak boleh kurang dari sepertiga momen negatif. Sedangkan besarnya nilai kedua momen tersebut sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima momen maksimum pada muka joint di kedua ujung balok tersebut.

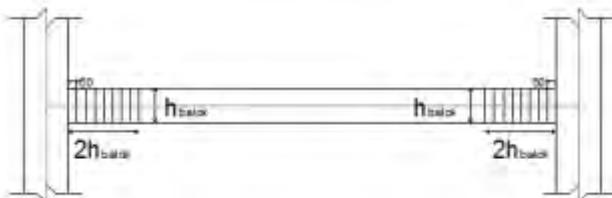


Gambar 2.1 syarat momen balok dengan metode SRPMM (1)



Gambar 2.2 syarat momen balok dengan metode SRPMM (2)

- b. Pada kedua ujung balok, sengkang harus dipasang sepanjang jarak dua kali tinggi balok tersebut pada kedua ujung penampang yang diukur dari muka joint kearah tengah bentang dengan sengkang pertama ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka joint. Sedangkan spasi sengkang tidak boleh lebih besar dari nilai terkecil keempat ketentuan berikut :
- $d/4$.
 - Delapan kali diameter batang Tulangan longitudinal terkecil.
 - 24 kali diameter sengkang.
 - 300.



Gambar 2.3 syarat sengkang balok dengan metode SRPMM

- c. Sepanjang bentang balok, sengkang harus dipasang tidak lebih besar dari $d/2$.

2.3.2 Kolom

Perencanaan penulangan pada kolom harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

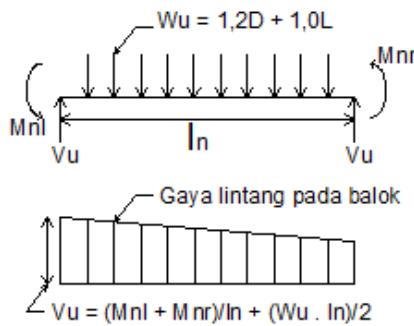
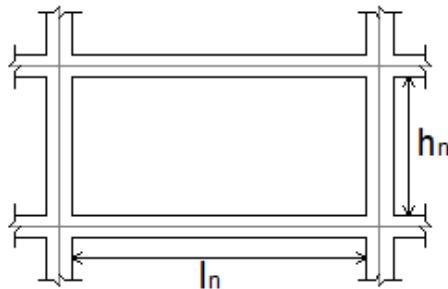
- a. Sepanjang l_0 yang diukur dari muka joint, harus dipasang sengkang dengan spasi S_0 yang tidak melebihi :
 - Delapan kali diameter batang longitudinal terkecil.
 - 24 kali diameter Tulangan begel.
 - 0.5 dimensi kolom terkecil.
 - 300 mm.
- b. Sedangkan untuk panjang l_0 tidak boleh lebih kecil dari :
 - 1/6 bentang bersih kolom.
 - Dimensi penampang kolom terbesar.
 - 450 mm.
- c. Sengkang ikat pertama harus dipasang tidak melebihi jarak $0.5 S_0$ yang diukur dari muka joint.
- d. Diluar panjang l_0 , spasi minimal tidak boleh lebih besar dari 16 kali diameter batang tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang tulangan pengikat atau dimensi terkecil komponen struktur tekan.

2.3.3 Kekuatan Geser

- a. Geser Balok

Kuat geser rencana $\bar{\sigma}_{Vn}$ pada balok yang menahan pengaruh gempa, tidak boleh lebih kecil dari nilai minimum kedua syarat berikut :

- Jumlah gaya lintang yang terjadi pada setiap ujung bentang bersih akibat terkekang oleh kuat lentur kurvatur dan gaya lintang yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang didapat dari kombinasi akibat pengaruh E, dimana nilai E dianggap sebesar dua kali lipat dari yang telah ditetapkan oleh tata cara bangunan pada umumnya dan telah diadopsi untuk desain bangunan tahan gempa.

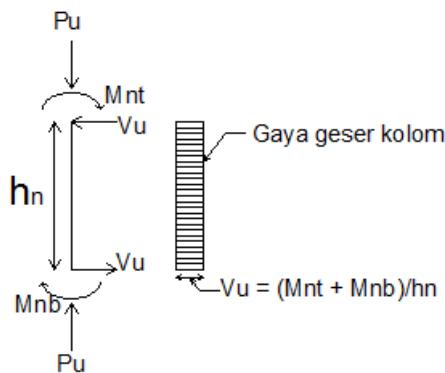


Gambar 2.4 gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM

b. Geser Kolom

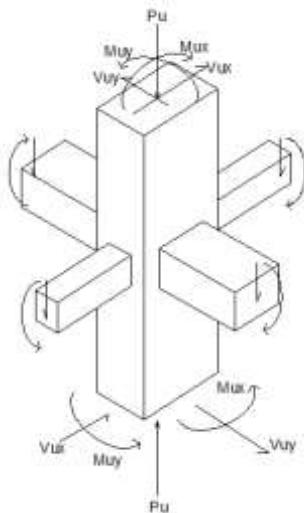
Kuat geser rencana ØVn pada kolom yang menahan pengaruh gempa, tidak boleh lebih kecil dari nilai minimum kedua syarat berikut :

- Gaya lintang yang terjadi akibat pertambahan kekuatan momen nominal pada setiap ujung yang terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat adanya lentur kurvatur balik. Kuat lentur komponen struktur harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor dengan arah yang konsisten dan dengan gaya lateral yang ditinjau sehingga menghasilkan kuat lentur maksimum.
- Gaya lintang maksimum yang didapat dari kombinasi akibat pengaruh E, dimana nilai E ditingkatkan oleh Ω_0 .



Gambar 2.5 gaya lintang rencana pada kolom untuk SRPMM

2.4 Hubungan Balok Kolom SRPMM



Gambar 2.6 hubungan balok dengan kolom

Hubungan balok kolom direncanakan berdasarkan semua gaya-gaya yang bekerja termasuk diantaranya gaya geser, gaya aksial, momen lentur dan torsi, dimana balok ditumpukan pada semua sisi kolom. Gaya T_1 dan C_1 mewakili momen negatif pada ujung balok yang berada di sebelah kanan, sedangkan Gaya T_2 dan C_2 mewakili momen positif ujung balok sebelah kiri, gaya-gaya V_u pada kolom mewakili geser pada kolom di luar hubungan. Setelah mendapatkan gaya geser V_u di dalam hubungan geser ini kemudian dibagi dalam luas geser efektif A_{cv} dan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ untuk geser sehingga memberikan tegangan geser nominal V_n .

BAB III

METODOLOGI

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana Kelurahan Pecalukan Kecamatan Prigen Kabupaten Pasuruan dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana yaitu :

1. Gambar struktur bangunan (*terlampir*)

Digunakan untuk mengetahui dimensi – dimensi penampang komponen struktur bangunan tersebut.

2. Data perencanaaan

▪ Data Umum Bangunan

Nama Proyek : Pembangunan Gedung Villa A.N Ana.

Lokasi Proyek : JL. Geneng sari GG No. 720 Kel. Pecalukan Kec. Prigen Kab. Pasuruan.

Jumlah Lantai : 4 lantai.

Tinggi Bangunan : 13 m.

Luas Tanah : 220 m².

Luas Bangunan : 847 m².

Struktur Atap : Pelat beton.

Struktur B. Atas : Kolom, balok, pelat, dan tangga yang semuanya menggunakan struktur beton bertulang.

Struktur B. Bawah : Pondasi bore pile.

- Data Bahan

Mutu bahan yang digunakan pada perencanaan Villa A.N. Ana adalah :

Mutu beton (f_c') : 25 Mpa

Mutu baja (f_y lentur) : 400 Mpa

Mutu baja (f_y geser) : 240 Mpa

- Data Tanah (*terlampir*)

Data tanah diperoleh dari Laboratorium Uji Material Kampus Diploma Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya. Data yang diperoleh berupa data SPT yang nantinya digunakan untuk menghitung beban gempa dan struktur pondasi.

3.2 Preliminari Desain

Preliminari desain merupakan perencanaan yang bertujuan untuk mengetahui dimensi-dimensi komponen struktur yang akan digunakan dalam bangunan tersebut berdasarkan gambar struktur yang telah didapat. Komponen-komponen struktur beton tersebut yaitu :

1. Struktur Primer

Merupakan struktur utama dari suatu bangunan yang meliputi kolom, balok dan sloof.

2. Struktur Sekunder

Merupakan struktur bangunan yang terdiri dari tangga, pelat lantai dan pelat atap.

3.2.1 Struktur Primer

- a. Kolom

Hal pertama yang harus diketahui pada saat akan melakukan perhitungan dimensi kolom adalah mencari tinggi bentang kolom pada gambar struktur bangunan. Perhitungan dimensi kolom dilakukan dengan cara perbandingan

rasio inersia dan panjang kolom dengan rasio inersia dan panjang balok.

b. Balok

Pertama kali dalam Perhitungan balok yaitu dengan cara mengetahui bentang pada balok tersebut harus diketahui terlebih dahulu dari gambar struktural bangunan. Perencanaan dimensi balok diatur dalam **Tabel 9.5.a SNI 03-2847-2013** tentang dimensi Balok.

3.2.2 Struktur Sekunder

A. Pelat Lantai dan Atap

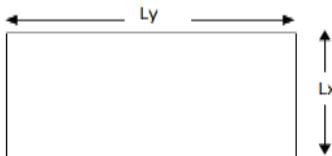
Prosedur perencanaan dimensi pelat lantai dan atap adalah sebagai berikut :

1. Menentukan posisi pelat yang akan ditinjau
2. Mengetahui data – data desain :
 - a. Tipe pelat
 - b. Mutu beton (f_c')
 - c. Kuat leleh Tulangan lentur (f_y)
 - d. Modulus elastisitas beton $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$
 - e. Tebal pelat rencana (t)
 - f. Bentang terpanjang (L_y)
 - g. Bentang terpendek (L_x)
 - h. Dimensi balok yang mengapit pelat (balok kanan, balok kiri, balok atas, balok bawah)
3. Perhitungan tebal rencana pelat

Untuk setiap komponen struktur beton yang mengalami lentur harus direncanakan untuk sedemikian rupa agar tidak dapat mengurangi kekuatan dan kemampuan komponen struktur beton tersebut. Berikut merupakan langkah-langkah yang dapat dilakukan ketika akan

mendesain tebal rencana pelat sesuai dengan jenis pelat yang ditinjau.

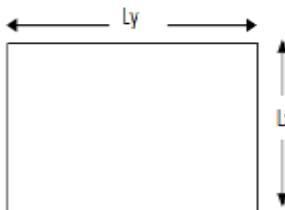
a. Pelat satu arah



Gambar 3.1 penampang pelat satu arah

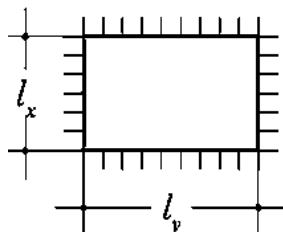
- Pelat satu arah terjadi apabila $l_y/l_x > 2$; L_y adalah bentang terpanjang dan L_x adalah bentang terpendek.
- Tebal minimum untuk pelat satu arah telah diatur pada **Tabel 9.5.a SNI 03-2847-2013** tentang tebal minimum untuk pelat satu arah

b. Pelat dua arah



Gambar 3.2 penampang pelat dua arah

- Pelat dua arah terjadi apabila $l_y/l_x < 2$; L_y adalah bentang terpanjang dan L_x adalah bentang terpendek.
- Pada desain bangunan ini, pelat diasumsikan terjepit penuh pada keempat sisinya, sehingga momen terbesar berada di daerah tumpuan.



Gambar 3.3 pelat terjepit penuh

Momen-momen yang terjadi pada pelat terjepit penuh, dapat dihitung berdasarkan **Tabel 13.3.1 PBBI 1971** tentang momen pada pelat terjepit penuh di keempat sisinya.

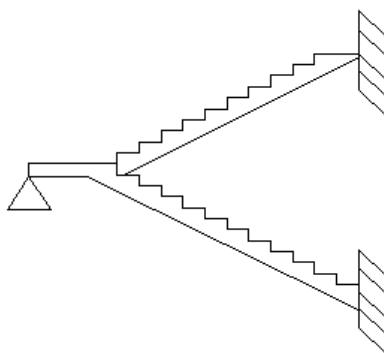
- Syarat – syarat yang harus dipenuhi pada saat akan mendesain pelat dua arah adalah :
 - a. Untuk panel dengan terjepit balok sepenuhnya pada keempat sisinya, maka harus memenuhi persyaratan **Persamaan 13-12 dan 13-13 SNI 03-2847-2013 Pasal 9.6.1.6**
 - b. Tebal minimumnya harus memenuhi **Tabel 9.5.c SNI 03-2847-2013** tentang tebal minimum pelat tanpa balok interior, namun tidak boleh kurang dari nilai berikut :
 - Tanpa panel drop > 125mm
 - Dengan panel drop >100mm

Momen inersia penampang bersayap bisa dinyatakan sebagai momen penampang segi empat yang dimodifikasi dengan nilai k sesuai dengan tata cara yang tertera pada buku **Desain Beton Bertulang 2, Wang-Salmon.**

B. Perencanaan Dimensi Tangga

Tangga digunakan sebagai media untuk menghubungkan antara lantai yang satu dengan lantai yang lainnya. Pada bangunan bertingkat tangga digunakan sebagai elemen paling penting baik untuk tangga utama maupun tangga darurat. Dalam perencanaan ini, semua tangga memiliki ukuran serta elevasi yang sama (satu tipe tangga) sehingga Perhitungan dilakukan dalam satu kali Perhitungan.

- Gambar asumsi perletakan untuk tangga



Perencanaan dimensi tangga sesuai ketentuan Perhitungan menggunakan metode SRPMM adalah sebagai berikut :

1. Data – data perencanaan yang dibutuhkan ketika akan menghitung struktur tangga adalah :
 - a. Tipe tangga
 - b. Panjang datar tangga
 - c. Tinggi tangga
 - d. Tinggi pelat bordes
 - e. Tebal rencana pelat tangga
 - f. Tebal rencana pelat bordes
 - g. Lebar injakan (i)
 - h. Tinggi tanjakan (t)

2. Perhitungan perencanaan dimensi tangga

Dalam perencanaan dimensi tangga yang perlu dihitung terlebih dahulu adalah lebar injakan, tinggi tanjakan, jumlah injakan, jumlah tanjakan, sudut kemiringan tangga dan tebal efektif anak tangga.

3.3 Pembebanan Struktur

Dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan bertingkat terdapat beberapa jenis beban yang harus ditinjau seperti, beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa.

1. Beban Mati

a. Beban mati pada pelat atap

Beban mati pada pelat atap terdiri atas berat sendiri pelat dan aspal dengan tebal 4 cm, beban plafond dan penggantung serta beban instalasi listrik.

b. Beban mati pada pelat lantai

Beban mati pada pelat lantai terdiri atas beban sendiri pelat, beban pasangan keramik dan spesi, beban plafond dan penggantung serta beban instalasi listrik.

c. Beban mati pada balok

Beban mati pada balok terdiri atas beban sendiri balok, beban mati pelat lantai, serta beban dinding $\frac{1}{2}$ batu bata.

d. Beban mati pada tangga

Beban mati pada tangga terdiri atas beban sendiri pelat tangga, beban anak tangga, beban sendiri pelat bordes, beban pasangan keramik dan spesi, beban handrailling.

2. Beban Hidup

Beban hidup pada lantai, atap dan tangga gedung ditentukan dalam peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung (**PPIUG 1983**).

3. Beban Angin

Beban angin pada gedung ditentukan dalam peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung (**PPIUG 1983**)

4. Beban Gempa

Beban gempa dihitung dengan menggunakan statik ekuivalen (respon spektrum)

3.4 Permodelan Struktur

Pada perencanaan bangunan ini, analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program SAP. Komponen-komponen yang dimasukkan ke dalam program analisa struktur yaitu : kolom, balok, pelat lantai, pelat atap, tangga, sloof dan pondasi.

1. Lingkup perencanaan

Bangunan ini didesain dalam bentuk tiga dimensi (3D) dalam program SAP dan difungsikan sebagai Villa (tempat tinggal). Komponen struktur yang dipakai :

- a. Sloof
- b. Pelat (pelat lantai, pelat atap dan pelat tangga)
- c. Kolom
- d. Balok

2. Deskripsi model bangunan

Bangunan Villa empat lantai ini dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi (3D). pada dasar bangunan, diasumsikan terdapat perletakan jepit guna mencari gaya pada saat menghitung struktur pondasi.

Pada pelat atap, pelat beton dilapisi aspal dengan tebal 4 cm. beban – beban diinputkan sesuai dengan beban pelat per lantai dengan menggunakan model self-thin. Pada pemodelan struktur tangga, tumpuan pada balok sloof dan balok anak diasumsikan sebagai jepit, sedangkan tumpuan yang menumpu pada balok bordes dianggap sebagai sendi karena bertumpu pada balok yang diapit oleh kolom – kolom praktis

3.5 Analisa Gaya dalam

Gaya dalam merupakan gaya-gaya yang muncul akibat adanya beban-beban yang diterima oleh elemen struktur. Terdapat tiga jenis gaya dalam yaitu momen, gaya lintang dan gaya normal. Momen merupakan gaya dalam yang membuat suatu elemen struktur mengalami lendutan. Gaya lintang merupakan gaya yang arahnya tegak lurus dengan sumbu batang elemen struktur. Sedangkan gaya normal merupakan gaya yang memiliki arah gaya searah dengan sumbu batang elemen struktur.

Besaran gaya yang terjadi pada setiap elemen struktur dapat diketahui dari beberapa kombinasi sebagai berikut :

- Kombinasi pembebanan akibat adanya gaya-gaya gravitasi
 - $U = 1,0D + 1,0L$
 - $U = 1,2D + 1,6L$
 - $U = 1,2D + 1,6L + 0,8W$
 - Kombinasi pembebanan akibat adanya gaya-gaya gempa
 - $U = 1,2D + 1,6L + 0,3Ex \pm 1,0Ey$
 - $U = 1,2D + 1,6L + 1,0Ex \pm 0,3Ey$
- Keterangan :
- D = beban mati
L = beban hidup

- W = beban angin
Ex = beban gempa arah X
Ey = beban gempa arah Y

Hasil dari semua nilai kombinasi tersebut nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan jumlah tulangan yang akan digunakan pada masing-masing elemen struktur.

3.6 Perhitungan Penulangan Struktur

3.6.1 Penulangan Struktur Primer

3.6.1.1 Balok

a. Perhitungan tulangan lentur

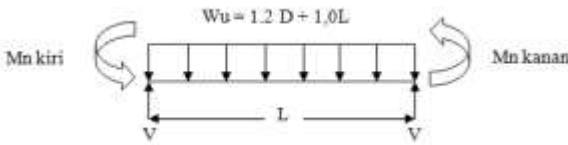
Prosedur untuk Perhitungan desain tulangan lentur balok :

1. Dari program pemodelan struktur diperoleh output berupa Mu tumpuan kiri, Mu lapangan dan Mu tumpuan kanan.
2. Lakukan cek jenis tulangan, apakah tulangan yang akan digunakan merupakan tulangan rangkap atau merupakan tulangan tunggal. Apabila $(M_n - M_{nc}) > 0$, maka diperlukan tulangan rangkap dan apabila $(M_n - M_{nc}) < 0$, maka diperlukan tulangan tunggal

b. Perhitungan tulangan geser

1. Penentuan nilai Vu, Vc, Vs dan Vn

Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk kombinasi akibat beban gempa E yang diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan gempa



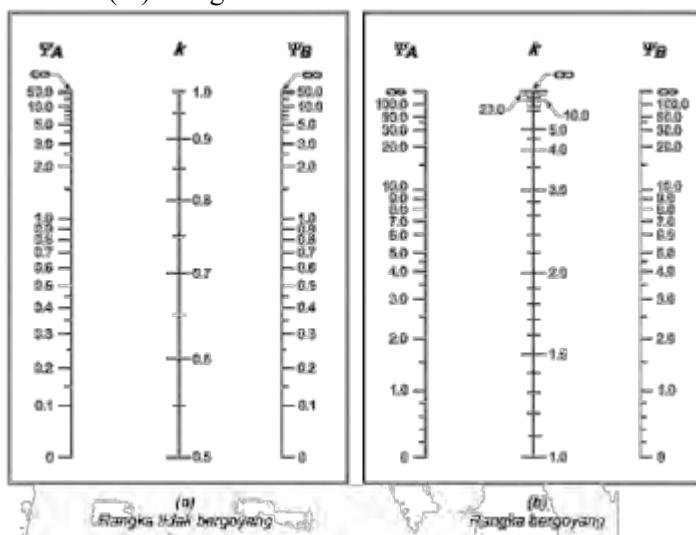
Gambar 3.4 gaya lintang rencana pada balok untuk SRPMM

2. Hitung tulangan geser minimum pada balok
3. Tentukan kondisi geser tulangan rencana dari keenam persyaratan kondisi geser tulangan yang ada.
- c. Perhitungan tulangan torsi (puntir)
Tulangan torsi digunakan untuk menahan gaya puntir yang terjadi. Tulangan puntir dapat diabaikan bila momen torsi terfaktor kurang dari persyaratan pada **Pasal 11.5.1 SNI 03-2847-2013**. Luas tulangan torsi yang digunakan nantinya akan ditambahkan pada luas tulangan pada perhitungan lentur balok.
- d. Perhitungan panjang penyaluran tulangan
Penyaluran tulangan pada momen positif mengacu pada **Pasal 12.11 SNI 03-2847-2013** sedangkan penyaluran tulangan momen negatif mengacu pada **Pasal 12.12 SNI 03-2847-2013**.

3.6.1.2 Kolom

- a. Perhitungan tulangan lentur :
 1. Tentukan jenis kolom yang digunakan, apakah masuk dalam kategori kolom bergoyang atau masuk dalam kategori kolom tidak bergoyang.

2. Hitung faktor kekakuan (EI) kolom
Nilai EI diambil yang terbesar dari **Persamaan 10-14** dan **Persamaan 10-15 SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1**
3. Hitung faktor kekangan ujung (Ψ) sesuai **Pasal 10.10.7.2 SNI 03-2847-2013**
4. Tentukan nilai K
Nilai K diperoleh dari diagram faktor panjang efektif K dengan memasukkan nilai dari faktor kekangan ujung kolom (Ψ) sebagai berikut :



Gambar 3.5 faktor panjang efektif K

5. Kontrol kelangsungan
 - Untuk rangka portal tak bergoyang sesuai **Persamaan 10-7 Pasal 10.10.1.b SNI 03-2847-2013**

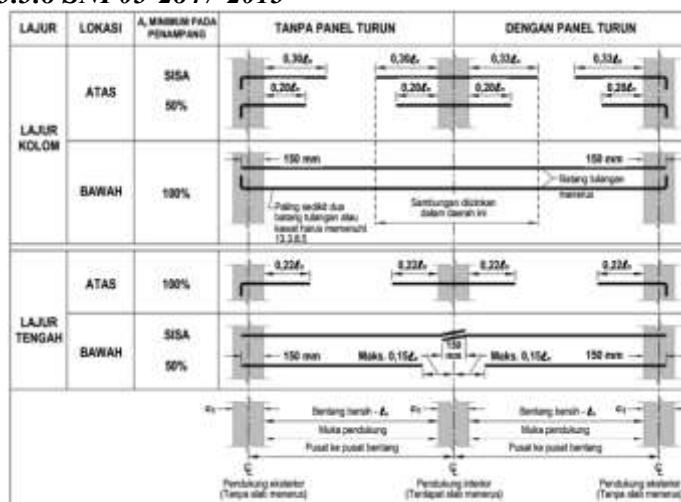
- Untuk rangka portal bergoyang sesuai ***Persamaan 10-6 Pasal 10.10.1.a SNI 03-2847-2013***
6. Menghitung nilai Cm
- Untuk komponen struktur tanpa beban transversal di antara tumpuannya sesuai ***Persamaan 10-16 Pasal 10.10.6.4 SNI 03-2847-2013***
 - Untuk komponen struktur dengan beban transversal di antara tumpuannya sesuai ***Pasal 10.10.6.4 SNI 03-2847-2013***
7. Menghitung faktor pembesaran momen
- Rangka tak bergoyang sesuai ***Persamaan 10-12, 10-13 dan 10-11 Pasal 10.10.6 SNI 03-2847-2013***
 - Rangka bergoyang sesuai ***Persamaan 10-20 Pasal 10.10.7.3, Persamaan 10-21 Pasal 10.10.6, Persamaan 10-18 dan 10-19 Pasal 10.10.7 SNI 03-2847-2013***
8. Desain untuk tulangan lentur kolom berdasarkan Pu dan M di atas
- a. Perhitungan tulangan geser
 - Perhitungan tulangan geser pada kolom dengan menggunakan metode SRPMM dengan cara menginputkan gaya geser yang diperoleh dari hasil analisa struktur pada persamaan yang terdapat ***Pasal 21.3.3 SNI 03-2847-2013***. Kemudian definisikan kondisi geser tulangan rencana sesuai dengan keenam kondisi geser yang ada.
 - b. Perhitungan panjang penyaluran tulangan
 - Panjang penyaluran tulangan kolom kondisi tarik sesuai dengan ***Persamaan 12-1 Pasal 12.2.3 SNI 03-2847-2013***
 - Panjang penyaluran tulangan kolom kondisi tekan sesuai dengan ***Pasal 12.3.2 SNI 03-2847-2013***

3.6.2 Penulangan Struktur Sekunder

3.6.2.1 Pelat Lantai dan Atap

Perhitungan penulangan pelat sama dengan Perhitungan tulangan tunggal pada balok sehingga diperoleh luas tulangan. Kemudian tentukan diameter tulangan yang akan dipakai serta jarak yang akan digunakan. Terakhir kontrol jarak maksimum Tulanganya sesuai dengan **Pasal 13.3.2 SNI 03-2847-2013**

Perhitungan penyaluran tulangan momen positif mengacu pada **Pasal 12.11 SNI 03-2847-2013** sedangkan penyaluran Tulangan momen negatif mengacu pada **Pasal 13.3.8 SNI 03-2847-2013**



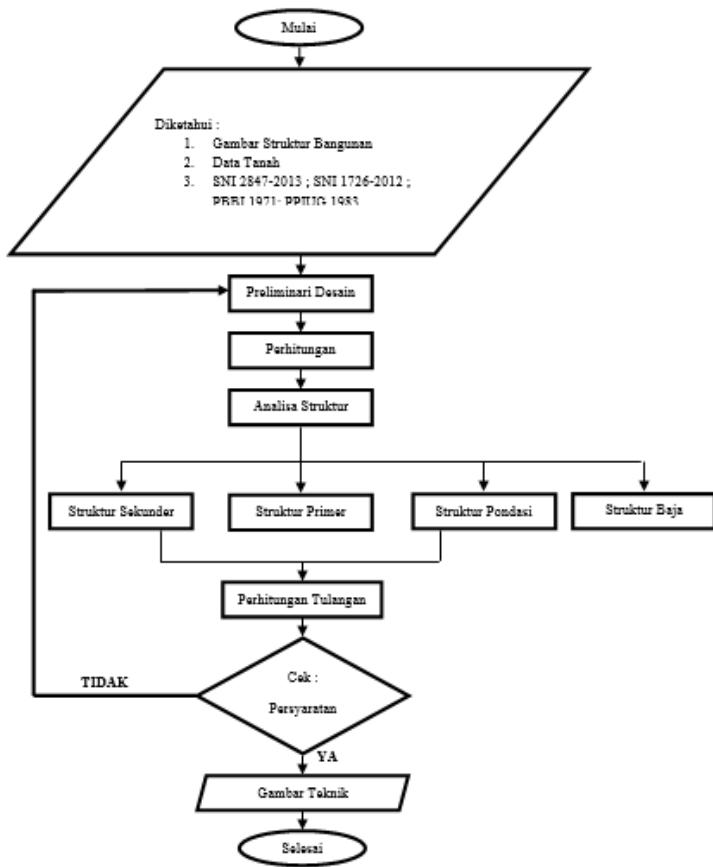
Gambar 3.6 panjang penyaluran untuk tul. pada slab tanpa balok (SNI 03-2847-2013 Gambar 13.3.8)

3.6.2.2 Pelat tangga

Langkah – langkah percanaan penulangan pada pelat tangga sama seperti pada pelat lantai

3.7 Flowchart

Flowchart Dasar



“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur Beton

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan tinggi balok minimum (h_{min}) dihitung berdasarkan *Tabel 9.5(a) SNI 03-2847-2013* untuk f_y selain 420 Mpa, sebagai berikut :

1. Balok induk

$$h \geq \frac{1}{16} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

2. Balok anak

$$h \geq \frac{1}{21} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

3. Balok kantilever

$$h \geq \frac{1}{8} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

➤ Balok Induk Melintang

1. Data perencanaan :

- Tipe balok : BI. Mel
- As : E 1-2
- Bentang balok (L_{balok}) : 500 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa

- Perencanaan dimensi :

- a. Tinggi balok

$$h \geq \frac{1}{16} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$h \geq \frac{1}{16} \times 500 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h \geq 30 \text{ cm}$$

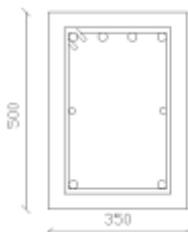
$$h = 50 \text{ cm}$$

- b. Lebar balok

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 50 \text{ cm}$$

$b = 35 \text{ cm}$ - Jadi, dimensi yang digunakan adalah 35/50.



Gambar 4.1 B.I Mel. E 1-2 35/50

2. Data perencanaan :

- Tipe balok : BI. Mel
- As : E 2-3
- Bentang balok (L_{balok}) : 460 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- Perencanaan dimensi :

a. Tinggi balok

$$h \geq \frac{1}{16} \times 1 \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$h \geq \frac{1}{16} \times 460 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h \geq 28 \text{ cm}$$

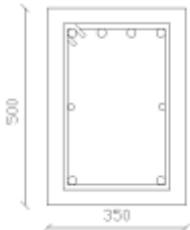
$$h = 50 \text{ cm}$$

b. Lebar balok

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 50 \text{ cm}$$

$b = 35 \text{ cm}$ - Jadi, dimensi yang digunakan adalah 35/50.



Gambar 4.2 B.I Mel. E 2-3 35/50

3. Data perencanaan :

- Tipe balok : BI. Mel
- As : E 3-4
- Bentang balok (L_{balok}) : 507.5 cm
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa

▪ Perencanaan dimensi :

a. Tinggi balok

$$h \geq \frac{1}{16} \times l \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$h \geq \frac{1}{16} \times 507.5 \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h \geq 30 \text{ cm}$$

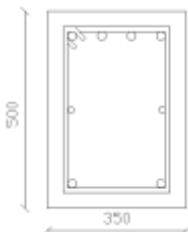
$$h = 50 \text{ cm}$$

b. Lebar balok

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 50 \text{ cm}$$

$b = 35 \text{ cm}$ - Jadi, dimensi yang digunakan adalah 35/50.



Gambar 4.3 B.I Mel. E 3-4 35/50

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom dilakukan berdasarkan gambar denah yang terlampir untuk setiap tingkat. Sehubungan dengan jarak yang sama antar tingkat dari lantai 1 hingga lantai atap, maka terdapat satu tipe kolom. Perhitungan dimensi kolom berdasarkan pada **PBBI 1989 Pasal 13.7.4.1**, sebagai berikut :

$$EI_{Kolom} = EI_{balok}$$

$$\frac{I_{Kolom}}{L_{Kolom}} = \frac{I_{Balok}}{L_{Balok}}$$

Keterangan :

I_{kolom} = inersia kolom ($\frac{1}{12} \times b \times h^3$)

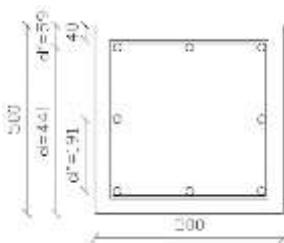
I_{balok} = inersia balok ($\frac{1}{12} \times b \times h^3$)

L_{kolom} = tinggi bersih kolom

L_{balok} = tinggi bersih balok

$$b_k = d_k \geq 250 \text{ mm}$$

$$\frac{h_k}{b_k \text{ atau } d_k} \leq 25$$



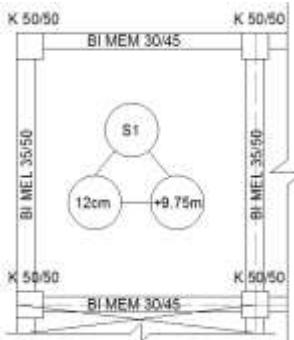
Gambar 4.4 dimensi kolom 50/50

1.1.3 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai dan Pelat Atap

1. Data perencanaan :

- Tipe pelat : S1 (EL +9.75)
- As pelat : A-B joint 3-4
- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- Tebal rencana pelat : 12 cm
- Bentang sumbu panjang (L_y) : 507.5 cm
- Bentang sumbu pendek (L_x) : 450 cm
- Balok atas (BI. Mem) : 30/45
- Balok bawah (BI. Mem) : 30/45

- Balok kanan (BI. Mel) : 35/50
- Balok kiri (BI. Mel) : 35/50



Gambar 4.5 plat s1 yang ditinjau

Perencanaan dimensi :

➤ Lendutan ijin $= \frac{L_y}{240} = \frac{507.5}{240} = 21.146 \text{ mm}$

➤ Bentang bersih sumbu panjang (Ln)

$$Ln = Ly - \frac{B_{w1}}{2} - \frac{B_{w2}}{2}$$

$$Ln = 507.5 - \frac{35}{2} - \frac{35}{2}$$

$$Ln = 472.5 \text{ cm}$$

➤ Bentang bersih sumbu pendek (Sn)

$$Sn = Lx - \frac{B_{w1}}{2} - \frac{B_{w2}}{2}$$

$$Sn = 450 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2}$$

$$Sn = 420 \text{ cm}$$

➤ Rasio sumbu panjang terhadap sumbu pendek

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{472.5}{420} = 1.125$$

➤ **Balok atas (BI. Mem) 30/45**

Direncanakan tebal pelat adalah 12 cm

Lebar efektif flens penampang L:

- $be = bw + hf$

$$be = 30 + (45-12) = 63 \text{ cm}$$

- $be = bw + 4hf$

$$be = 30 + (4 \times 12) = 78 \text{ cm}$$

Digunakan nilai be terkecil sebesar 63 cm

- Hitung nilai K berdasarkan pada **Desain Beton Bertulang 2, Wang-Salmon**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left\{4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right\}}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{63}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{45}\right) \left\{4 - 6 \left(\frac{12}{45}\right) + 4 \left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{63}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{45}\right)^3\right\}}{1 + \left(\frac{63}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$K = 1.387$$

- Momen inersia penampang

$$I_b = k \times bw \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.387 \times 30 \times \frac{45^3}{12}$$

$$I_b = 315923.521 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = bp \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} \times bp\right) \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} \times 507.5\right) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 36540 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok bawah terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b_{balok}}{I_p_{pelat}}$$

$$\alpha_1 = \frac{315923.521 \text{ cm}^4}{36540 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 8.646$$

➤ **Balok bawah (BI. Mem) 30/45**

Direncanakan tebal pelat adalah 12 cm

Lebar efektif flens penampang L:

- $be = bw + hf$
 $be = 30 + (45 - 12) = 63 \text{ cm}$
- $be = bw + 4hf$
 $be = 30 + (4 \times 12) = 78 \text{ cm}$

Digunakan nilai be terkecil sebesar 63 cm

- Hitung nilai K berdasarkan pada **Desain Beton Bertulang 2, Wang-Salmon**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\{4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3\}}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{63}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{45}\right)\{4 - 6\left(\frac{12}{45}\right) + 4\left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{63}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{45}\right)^3\}}{1 + \left(\frac{63}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$K = 1.387$$

- Momen inersia penampang

$$I_b = k \times bw \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.387 \times 30 \times \frac{45^3}{12}$$

$$I_b = 315923.521 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = bp \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} \times bp\right) \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} \times 507.5\right) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 36540 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok bawah terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b_{\text{balok}}}{I_p_{\text{pelat}}}$$

$$\alpha_1 = \frac{315923.521 \text{ cm}^4}{36540 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 8.646$$

➤ **Balok kanan (BI. Mel) 35/50**

Direncanakan tebal pelat adalah 12 cm

Lebar efektif flens penampang T:

- $be = bw + 2hw$

$$be = 35 + (2 \times (50 - 12)) = 111 \text{ cm}$$

- $be = bw + 8hf$

$$be = 35 + (8 \times 12) = 131 \text{ cm}$$

Digunakan nilai be terkecil sebesar 111 cm

- Hitung nilai K berdasarkan pada **Desain Beton Bertulang 2, Wang-Salmon**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left\{ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right\}}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right) \left\{ 4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)^3 \right\}}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$K = 1.624$$

- Momen inersia penampang

$$I_b = k \times bw \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.624 \times 35 \times \frac{50^3}{12}$$

$$I_b = 591964.599 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} (b_p 1 + b_p 2) \right) \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} (450 + 300) \right) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 54000 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok bawah terhadap pelat

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

$$\alpha_1 = \frac{591964.599 \text{ cm}^4}{54000 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 10.962$$

➤ **Balok kiri (BI. Mel) 35/50**

Direncanakan tebal pelat adalah 12 cm

Lebar efektif flens penampang L:

- $be = bw + hf$

$$be = 35 + (50-12) = 73 \text{ cm}$$

- $be = bw + 4hf$

$$be = 35 + (4 \times 12) = 83 \text{ cm}$$

Digunakan nilai be terkecil sebesar 73 cm

- Hitung nilai K berdasarkan pada **Desain Beton Bertulang 2, Wang-Salmon**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left\{ 4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right\}}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{73}{35} - 1 \right) \left(\frac{12}{50} \right) \left\{ 4 - 6 \left(\frac{12}{50} \right) + 4 \left(\frac{12}{50} \right)^2 + \left(\frac{73}{35} - 1 \right) \left(\frac{12}{50} \right)^3 \right\}}{1 + \left(\frac{73}{35} - 1 \right) \left(\frac{12}{50} \right)}$$

$$K = 1.373$$

- Momen inersia penampang

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{12}$$

$$I_b = 1.373 \times 35 \times \frac{50^3}{12}$$

$$I_b = 500643.729 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} \times b_p\right) \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = \left(\frac{1}{2} \times 450\right) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 32400 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok bawah terhadap pelat

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

$$\alpha_1 = \frac{500643.729 \text{ cm}^4}{32400 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 15.452$$

- Nilai $\alpha_{\text{rata-rata}}$

$$\begin{aligned}\alpha_m &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} \\ &= \frac{8.646 + 8.646 + 10.962 + 15.452}{4} \\ &= 10.927\end{aligned}$$

- Perhitungan rencana tebal pelat

Karena $\alpha_m > 2.0 \rightarrow$ dipakai persamaan (17), tetapi tidak boleh kurang dari 90 mm :

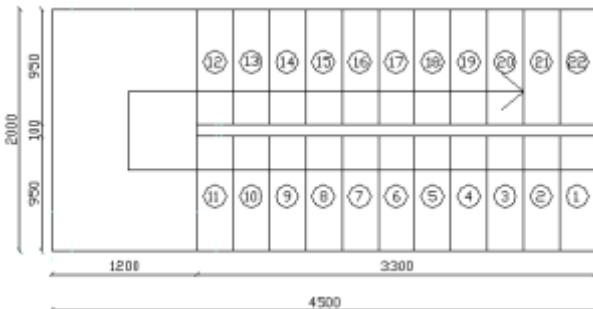
$$\begin{aligned}h &= \frac{l_n \left(0.80 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{472.5 \left(0.80 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 9(1.125)} \\ &= 111.220 \text{ mm} > 90 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}\end{aligned}$$

1.1.4 Perencanaan Dimensi Tangga dan Bordes

Perencanaan dimensi dan penulangan tangga pada tangga dari lantai lower ground ke lantai ground. Adapun data-data, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam di dapatkan dari analisis SAP 2000.

1. Data – data perencanaan :

- Perletakan = jepit-sendi-jepit
- Panjang datar tangga = 4.5 m = 450 cm
- Tinggi tangga = 1.6 m = 160 cm
- Tebal rencana pelat tangga = 18 cm
- Tebal rencana pelat bordes = 18 cm
- Lebar injakan = 30 cm
- Tinggi injakan = 15 cm
- Tinggi kolom = 325 cm



Gambar 4.6 dimensi tangga dan bordes

- Perhitungan perencanaan awal
 - Panjang miring anak tangga
$$\sqrt{30^2 + 15^2} = 33.54 \text{ cm}$$
 - Jumlah tanjakan
 - tinggi kolom $\frac{325}{15} = 21.67$ buah
 - 21 tanjakan t = 15 cm dan 1 tanjakan t = 10 cm

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{15}{30}$$

$$\alpha = 26.57^\circ = 27^\circ$$
 - Syarat sudut kemiringan tangga
 $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
 $25^\circ \leq 27^\circ \leq 40^\circ \text{ (OK)}$
- Syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan
 $60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm}$
 $60 \text{ cm} \leq (2 \times 15 \text{ cm}) + 30 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm}$
 $60 \text{ cm} \leq 60 \text{ cm} \leq 65 \text{ cm (OK)}$
- Jumlah injakan
 $N_i = nt - 1$
 $= (21 + 1) - 1$
 $= 21 \text{ buah}$
- Tebal pelat ekivalen anak tangga
 $\text{Luas } \Delta_1 = \frac{1}{2} \times i \times t$
 $= \frac{1}{2} \times 30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$
 $= 225 \text{ cm}^2$
 $\text{Luas } \Delta_2 = \frac{1}{2} \times \sqrt{i^2 + t^2} \times d$
 $= \frac{1}{2} \times \sqrt{30^2 + 15^2} \times d$
 $= 16.77 \text{ cm} \times d$
 $\text{Luas } \Delta_1 = \text{Luas } \Delta_2$
 $225 \text{ cm}^2 = 16.77 \text{ cm} \times d$
 $d = 13.4164 \text{ cm}$
 $\frac{1}{2} d = 6.7082 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$
- Tebal efektif pelat tangga = $18 \text{ cm} + 8 \text{ cm} = 26 \text{ cm}$

4.2 Perencanaan Dimensi Struktur Baja

4.2.1 Perencanaan Gording

Pada bangunan Villa ana, gording yang digunakan adalah profil baja dengan bentuk LLC (Light Lip Channels). Profil yang digunakan

dihitung berdasarkan beban-beban yang bekerja yaitu beban penutup atap, berat sendiri gording dan beban-beban lainnya.

- Data perencanaan perhitungan gording :

Sudut kemiringan atap (α)	: 15°
Jarak antar kuda-kuda	: 5 m
Jarak antar gording (b)	: 1 m
Jumlah penggantung	: 1 buah
Penutup atap	: asbes gelombang besar
Berat penutup atap	: $18,03 \text{ kg/m}^2$
Tekanan tiup angin	: 25 kg/m^2

(PPIUG 1983)

Mutu Baja	: BJ 37
Tegangan putus minimum (F_u)	: 3700 kg/cm^2
Tegangan leleh minimum (F_y)	: 2400 kg/cm^2
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 Mpa
Profil gording baja LLC	: 150.50.20.2,3
F.reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0.9

(SNI 1729:2015 pasal F.1)

Berdasarkan table profil pada lampiran 3 buku perencanaan struktur baja dengan metode LRFD edisi kedua oleh Agus Setiawan, untuk profil baja LLC 150.50.20.2,5 diperoleh data-data sebagai berikut :

$$W = 5,37 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 226 \text{ cm}^4$$

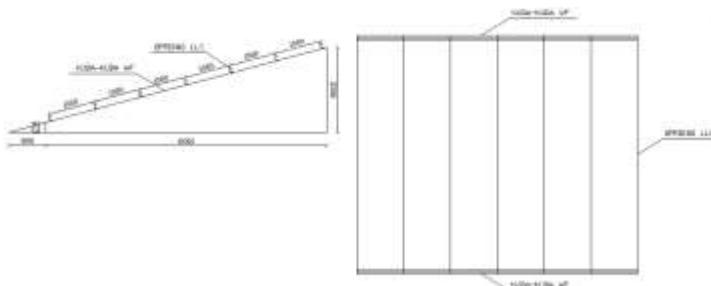
$$I_y = 23 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 32,18 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 5,98 \text{ cm}^3$$

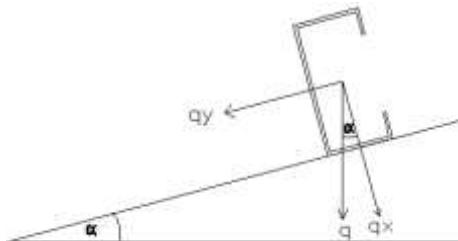


Gambar 4.7 profil LLC 150.50.20.2,5



Gambar 4.8 gambar rencana atap

Beban – beban yang terjadi pada gording dapat didefinisikan seperti gambar berikut :



Gambar 4.9 beban yang terjadi pada gording

4.2.1.1 Perhitungan Beban dan Momen

a. Akibat beban mati

Beban mati yang bekerja :

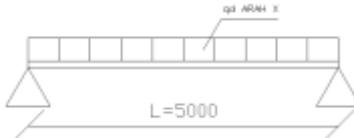
$$\begin{aligned} \text{Berat asbes gelombang besar } x b &= 18,03 \text{ kg/m} \times 1\text{m} \\ &= 18,03 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri gording} &= 5,37 \text{ kg/m} \\ \text{Beban mati (qd)} &= 23,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat alat pengikat} &= 10\% \times qd = 10\% \times 23,4 \text{ kg/m} \\ &= 2,34 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

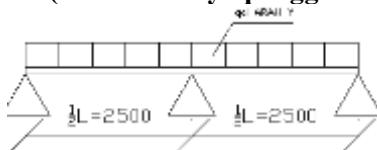
$$\begin{aligned} \text{Maka, beban mati (qd) total} &= 23,4 \text{ kg/m} + 2,34 \text{ kg/m} \\ &= 25,74 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Momen arah X



$$\begin{aligned} M_{dx} &= 1/8 \times (qd \times \cos \alpha) \times L^2 \\ &= 1/8 \times (25,74 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ) \times (5\text{m})^2 \\ &= 77,697 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen arah Y (akibat adanya penggantung gording)

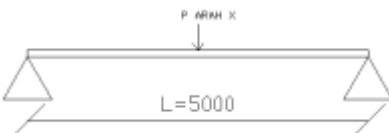


$$\begin{aligned} M_{dy} &= 1/8 \times (qd \times \sin 15^\circ) \times (\frac{1}{2} L)^2 \\ &= 1/8 \times (25,74 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ) \times (\frac{1}{2} 5\text{m})^2 \\ &= 5,205 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Akibat beban pekerja

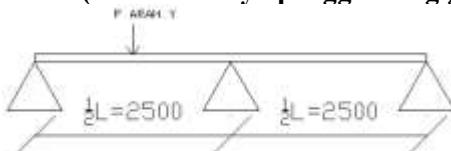
Beban pekerja berdasarkan PPIUG 1983 pasal 3.2 sebesar 100 kg

Momen arah X



$$\begin{aligned} M_{lx} &= 1/4 \times (P_l \times \cos \alpha) \times (L)^2 \\ &= 1/4 \times (100 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ) \times (5\text{m})^2 \\ &= 120,7 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen arah Y (akibat adanya penggantung gording)



$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 1/4 \times (P_l \times \sin 15^\circ) \times (\frac{1}{2} L)^2 \\
 &= 1/4 \times (100 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ) \times (\frac{1}{2} \times 5)^2 \text{ m} \\
 &= 16,18 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

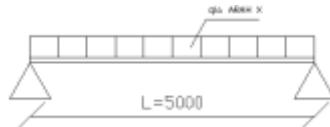
c. Akibat beban air hujan

Beban air hujan berdasarkan PPIUG 1983 pasal 3.2 sebesar $(40-0,8\alpha)$ kg/m² dengan α adalah sudut kemiringan atap namun nilainya tidak boleh lebih besar dari 20 kg/m²

$$\begin{array}{ll}
 q_{la} = (40-0,8\alpha) \text{ kg/m}^2 & \leq 20 \text{ kg/m}^2 \\
 (40-0,8 \times 15^\circ) \text{ kg/m}^2 & \leq 20 \text{ kg/m}^2 \\
 28 \text{ kg/m}^2 & > 20 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

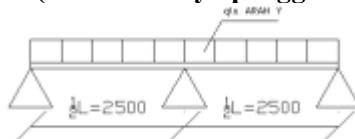
Jadi beban air hujan yang menentukan sebesar 20 kg/m²

Momen arah X



$$\begin{aligned}
 M_{lax} &= 1/8 \times (q_{la} \times \cos 15^\circ) \times L^2 \\
 &= 1/8 \times (20 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ) \times (5 \text{ m})^2 \\
 &= 60,37 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen arah Y (akibat adanya penggantung gording)



$$\begin{aligned}
 M_{lay} &= 1/8 \times (q_{la} \times \sin 15^\circ) \times (\frac{1}{2} L)^2 \\
 &= 1/8 \times (20 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ) \times (\frac{1}{2} \times 5 \text{ m})^2 \\
 &= 4,044 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

d. Akibat beban angin

Beban angin berdasarkan PPIUG 1983 pasal 4.3 untuk atap segitiga dengan $\alpha < 65^\circ$ memiliki koefisien angin tekan sebesar $(0,02\alpha - 0,4)$ dan koefisien angin hisap sebesar -0,4 dengan α adalah sudut kemiringan atap.

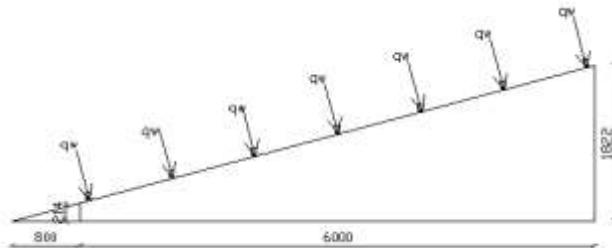
$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien angin tekan (c tekan)} &= 0,02\alpha - 0,4 \\
 &= 0,02 \times 15^\circ - 0,4 \\
 &= -0,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban angin tekan} &= c \text{ tekan} \times q_w \times \text{jarak antar gording} \\
 &= -0,1 \times 25 \text{ kg/m}^2 \times 1\text{m} \\
 &= -2,5 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Koefisien angin hisap (c hisap)} = -0,4$$

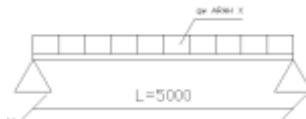
$$\begin{aligned}
 \text{Beban angin hisap} &= c \text{ hisap} \times q_w \times \text{jarak antar gording} \\
 &= -0,4 \times 25 \text{ kg/m}^2 \times 1\text{m} \\
 &= -10 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka, beban angin yang menentukan adalah beban angin terbesar yaitu 10 kg/m^2 . Karena beban angin bekerja tegak lurus dengan sumbu x sehingga hanya terdapat M_x saja.



Gambar 4.10 beban angin yang bekerja tegak lurus sumbu x

Momen arah X



$$\begin{aligned}
 M_{wx} &= 1/8 \times q_w \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 10 \text{ kg/m} \times (5\text{m})^2 \\
 &= 31,25 \text{kgm}
 \end{aligned}$$

Tabel 1 rekapitulasi momen-momen yang terjadi

No	Jenis beban	Momen	
		Arah x	Arah y
1	Beban mati	75,697 kgm	5,205 kgm
2	Beban hidup	120,7 kgm	16,18 kgm
3	Beban air hujan	60,37 kgm	4,044 kgm
4	Beban angin	31,25 kgm	-

Perhitungan momen ultimate yang terjadi

1. $M_u = 1,4D$
 $M_{ux} = 1,4 M_{dx}$
 $= 1,4 \times 75,697 \text{ kgm}$
 $= 108,8 \text{ kgm}$
 $M_{uy} = 1,4 M_{dy}$
 $= 1,4 \times 5,205 \text{ kgm}$
 $= 7,287 \text{ kgm}$

2. $M_u = 1,2D + 0,5 La$
 $M_{ux} = 1,2 M_{dx} + 0,5 M_{lx}$
 $= 1,2 \times 75,697 \text{ kgm} + 0,5 \times 120,7 \text{ kgm}$
 $= 153,6 \text{ kgm}$
 $M_{uy} = 1,2 M_{dy} + 0,5 M_{ly}$
 $= 1,2 \times 5,205 \text{ kgm} + 0,5 \times 16,18 \text{ kgm}$
 $= 14,33 \text{ kgm}$

3. $M_u = 1,2D + 1,6La$
 $M_{ux} = 1,2 M_{dx} + 1,6 M_{lx}$
 $= 1,2 \times 75,697 \text{ kgm} + 1,6 \times 120,7 \text{ kgm}$
 $= 286,4 \text{ kgm}$

- Muy = 1,2 Mdy + 1,6 Mly
 $= 1,2 \times 5,205 \text{ kgm} + 1,6 \times 16,18 \text{ kgm}$
 $= 32,13 \text{ kgm}$
4. Mu = 1,2D + 1,6La +0,8W
Mux = 1,2 Mdx + 1,6 Mlx + 0,8Mwx
 $= 1,2 \times 75,697 \text{ kgm} + 1,6 \times 120,7 \text{ kgm} +$
 $0,8 \times 31,25 \text{ kgm}$
 $= 311,4 \text{ kgm}$
Muy = 1,2 Mdy + 1,6 Mly + 0,8Mwy
 $= 1,2 \times 5,205 \text{ kgm} + 1,6 \times 16,18 \text{ kgm} + 0$
 $= 32,13 \text{ kgm}$
5. Mu = 1,2D + 1,3W +0,5La
Mux = 1,2 Mdx + 1,3Mwx + 0,5 Mlx
 $= 1,2 \times 75,697 \text{ kgm} + 1,3 \times 31,25 \text{ kgm}$
 $0,5 \times 120,7 \text{ kgm}$
 $= 194,2 \text{ kgm}$
Muy = 1,2 Mdy + 1,3Mwy + 0,5 Mly
 $= 1,2 \times 5,205 \text{ kgm} + 1,3 \times 0 + 1,6 \times 16,18 \text{ kgm}$
 $= 14,33 \text{ kgm}$
6. Mu = 0,9D + 1,3W
Mux = 0,9 Mdx + 1,3Mwx
 $= 0,9 \times 75,697 \text{ kgm} + 1,3 \times 31,25 \text{ kgm}$
 $= 110,6 \text{ kgm}$
Muy = 0,9 Mdy + 1,3Mwy
 $= 0,9 \times 5,205 \text{ kgm} + 1,3 \times 0$
 $= 4,684 \text{ kgm}$

Dari perhitungan diatas, didapat momen ultimate terbesar berdasar kombinasi $1,2D + 1,6La + 0,8W$ sebagai berikut :
Mux = 311,4kgm = $311,4 \times 10^4 \text{ Nmm}$
Muy = 32,13kgm = $32,13 \times 10^4 \text{ Nmm}$

4.2.1.2 Kontrol Tekuk Lokal

Asumsikan penampang kompak :

$$\begin{aligned}M_{nx} &= Z_y \times f_y \\&= (32,18 \text{ cm}^3 \times 1000) + (240 \text{ Mpa}) \\&= 7723200 \text{ Nmm} \\M_{nx} &= Z_x \times f_y \\&= (5,98 \text{ cm}^3 \times 1000) + (240 \text{ Mpa}) \\&= 1435200 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Untuk mengantisipasi masalah puntiran maka M_{ny} dapat dibagi 2 sehingga :

$$\begin{aligned}\frac{M_{ux}}{\phi b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b \times \frac{M_{ny}}{2}} &\leq 1 \\ \frac{311,4 \times 10^4}{0,9 \times 7723200} + \frac{32,13 \times 10^4}{0,9 \times \frac{1435200}{2}} &\leq 1 \\ 0,945 &\leq 1 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

4.2.1.3 Kontrol Lendutan

Lendutan yang diijinkan adalah sebesar $\frac{L}{240}$ maka lendutan ijin untuk gording pada villa Ana adalah :

$$\frac{L}{240} = \frac{500}{240} = 2,083 \text{ cm}$$

Lendutan yang terjadi pada gording harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} < f \text{ ijin}$$

dengan f_x adalah lendutan terhadap sumbu x-x profil dan f_y adalah lendutan terhadap sumbu y-y profil

$$\begin{aligned}f_x \text{ akibat beban merata} &= \frac{\frac{5}{384} \times (q \times \cos \alpha) \times L^4}{E \times I_x} \\&= \frac{\frac{5}{384} \times \left(\frac{(25,74 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}})}{100}\right) \times \cos 15^\circ \times (5 \text{ m} \times 100)^4}{(200000 \text{ Mpa} \times 10) \times 226 \text{ cm}^4} \\&= 0,969 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$fx \text{ akibat beban terpusat} = \frac{\frac{1}{48} x (P \cos \alpha) x L^3}{E \times ix}$$

$$= \frac{\frac{1}{48} x 100 \text{ kg} \times \cos 15^\circ \times (5\text{m} \times 100)^3}{(200000 \text{ Mpa} \times 10) \times 226 \text{ cm}^4}$$

$$= 0,557 \text{ cm}$$

$$fy \text{ akibat beban merata} = \frac{\frac{5}{384} x (q \sin \alpha) x \frac{L^4}{2}}{E \times iy}$$

$$= \frac{\frac{5}{384} x \left(\frac{25,74 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{100}\right) x \sin 15^\circ \times \left(\frac{5\text{m} \times 100}{2}\right)^4}{(200000 \text{ Mpa} \times 10) \times 23 \text{ cm}^4}$$

$$= 0,131 \text{ cm}$$

$$fy \text{ akibat beban terpusat} = \frac{\frac{1}{48} x (P \sin \alpha) x \frac{L^3}{2}}{E \times iy}$$

$$= \frac{\frac{1}{48} x 100 \text{ kg} \times \sin 15^\circ \times \left(\frac{5\text{m} \times 100}{2}\right)^3}{(200000 \text{ Mpa} \times 10) \times 23 \text{ cm}^4}$$

$$= 0,183 \text{ cm}$$

Syarat : $f = \sqrt{fx^2 + fy^2} < f_{ijin}$

$$\sqrt{(0,969 + 0,557)^2 + (0,131 + 0,183)^2} < 2,083$$

$$1,558 < 2,083$$

(memenuhi)

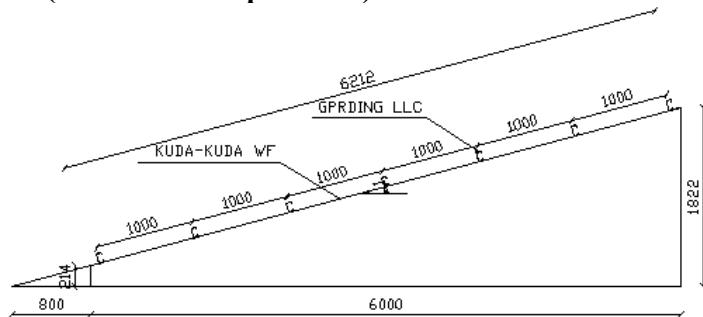
Sehingga, untuk gording pada villa Ana digunakan profil baja LLC 150.50.20.2,5

4.2.2 Perhitungan Penggantung Gording

Pada bangunan Villa Ana, digunakan 1 buah penggantung gording yang berupa baja bulat dan diletakan di tengah bentang gording.

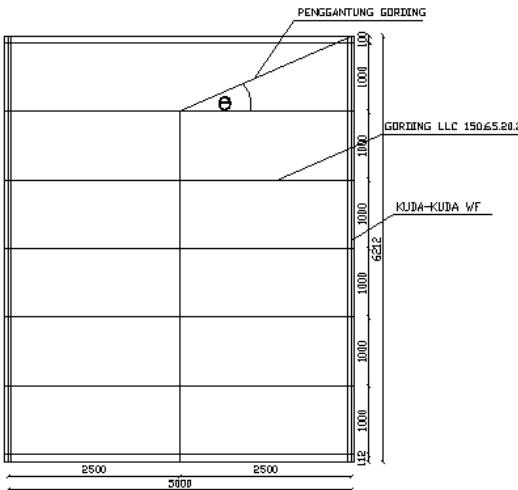
- Data perencanaan penggantung gording :
- Sudut kemiringan atap (α) : 15°
- Jarak antar kuda-kuda : 5 m
- Jarak antar gording (b) : 1 m
- Jumlah penggantung : 1 buah

Bentang overstag	: 0,8 m
Beban mati (qd)	: 25,74 kg/m
(beban mati pada gording)	
Beban hidup (Pl)	: 25,88 kg
(Pl gording x sin α)	
Mutu Baja	: BJ 37
Tegangan putus minimum (Fu)	: 370 Mpa
Tegangan leleh minimum (Fy)	: 240 Mpa
Modulus elastisitas baja (Es)	: 200000 Mpa
Faktor reduksi kuat tarik leleh (φ)	: 0.9
(SNI 1729:2015 pasal D.2)	



Gambar 4.11 peletakan profil penggantung gording pada atap

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang miring kuda-kuda} &= \frac{L}{\cos \alpha} = \frac{6}{\cos 15^\circ} = 6,212 \text{ m} \\
 \text{Jumlah gording} &= \frac{\text{L miring kuda-kuda}}{\text{jarak antar gording}} \\
 &= \frac{6,212 \text{ m}}{\frac{1}{m}} \\
 &= 6,212 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.12 satu buah penggantung gording

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{\text{jarak tegak}}{\text{jarak datar}} \\ &= \frac{1,1 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{1,1 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} \\ &= 23,7^\circ\end{aligned}$$

4.2.2.1 Perhitungan Beban dan Perencanaan Batang Tarik

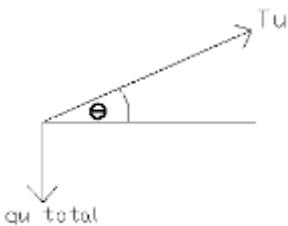
a. Perhitungan penggantung gording tipa A (lurus)

Perhitungan beban penggantung gording berdasarkan beban-beban yang bekerja pada arah Y

$$\begin{aligned}qu &= 1,2 (qd \times L \text{ arah y}) + 1,6 Pl \times \sin \alpha \\ &= 1,2 (25,74 \text{ kg/m} \times 2,5 \text{ m}) + 1,6 100 \text{ kg} \times \sin 15^\circ \\ &= 118,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}qu \text{ total} &= qu \times \text{jumlah gording} \\ &= 118,6 \text{ kg} \times 7 \text{ buah} \\ &= 830,4 \text{ kg}\end{aligned}$$

b. Perhitungan penggantung gording tipe B (miring)



$$\begin{aligned} Tu &= \frac{qu \text{ total}}{\sin \theta} \\ &= \frac{830,4 \text{ kg}}{\sin 23,7^\circ} \\ &= 2062 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perencanaan Batang Tarik

$$\begin{aligned} A &= \frac{Tu}{f_y} \\ &= \frac{2062 \text{ kg}}{2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \\ &= 0,859 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ \phi &= \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4} \times \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{0,859 \text{ cm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi}} \\ &= 1,046 \text{ cm} \approx 1,2 \text{ cm (12 mm)} \end{aligned}$$

4.2.2.2 Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 1600 kg/cm^2

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (1,2 \text{ cm})^2 \\ &= 1,13 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\delta = \frac{q_u \text{ total}}{A} < \delta_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{830,4 \text{ kg}}{1,13 \text{ cm}^2} < \delta_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 734,6 \text{ kg/cm}^2 < \delta_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

4.2.2.2.1 Kontrol LRFD

Tu = Gaya tarik aksial terfaktor

Tn = Tahanan nominal

$$\begin{aligned} Tn &= A \times f_y \\ &= 1,13 \text{ cm}^2 \times 2400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 2713 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat : Tu $< \phi Tn$; $\phi = 0,9$ untuk kondisi leleh

$$\begin{aligned} 2062 \text{ kg} &< 0,9 \times 2713 \text{ kg} \\ 2062 \text{ kg} &< 2442 \text{ kg} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Rasio : $\frac{Tu}{\phi Tn} = \frac{2062 \text{ kg}}{2442 \text{ kg}} = 0,844$

4.2.2.2.2 Kontrol Kelangsungan

$$\begin{aligned} D &> \frac{L}{500} \\ 1,2 \text{ cm} &> \frac{2,5 \text{ m} \times 100}{500} \end{aligned}$$

1,2 cm $> 0,5 \text{ cm}$ (memenuhi)

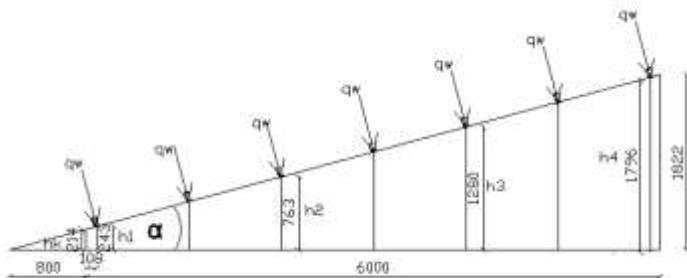
Sehingga penggantung gording yang digunakan pada bangunan villa Ana adalah baja bulat dengan diameter 12 mm

4.2.3 Perhitungan Ikatan Angin Atap

Pada bangunan Villa ana, digunakan ikatan angin atap yang berupa baja bulat dan diletakan di setiap 2 meter jarak datar.

- Data perencanaan ikatan angin :
- Sudut kemiringan atap (α) : 15°
- Jarak antar kuda-kuda : 5 m
- Jarak antar gording (b) : 1 m
- Jarak ikatan angin (jarak dua gording) : 1,932 m

Bentang overstag	: 0,8 m
Tinggi kolom	: 0,214 m
Jarak antar kuda-kuda	: 6 m
Mutu Baja	: BJ 37
Tegangan putus minimum (Fu)	: 370 Mpa
Tegangan leleh minimum (Fy)	: 240 Mpa
Modulus elastisitas baja (Es)	: 200000 Mpa
Beban angin	: 25 kg
Faktor reduksi kuat tarik leleh (ϕ) (SNI 1729:2015 pasal D.2)	: 0.9
Faktor reduksi batas putus (ϕ) (SNI 1729:2015 pasal D.2)	: 0.75



Gambar 4.13 ikatan angin atap setiap 2 meter jarak datar

Perhitungan ketinggian kolom :

$$h_k = 0,214 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= h_k + (\tan \alpha \times \text{jarak ikatan angin pertama}) \\ &= 0,214 \text{ m} + \tan 15^\circ \times 0,108 \text{ m} \\ &= 0,243 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h_1 + (\tan \alpha \times \text{jarak ikatan angin}) \\ &= 0,214 \text{ m} + \tan 15^\circ \times 2\text{m} \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_3 &= h_2 + (\tan \alpha \times \text{jarak ikatan angin}) \\ &= 0,75 \text{ m} + \tan 15^\circ \times 2\text{m} \\ &= 1,286 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h4 &= h3 + (\tan \alpha \times \text{jarak ikatan angin}) \\
 &= 1,286 \text{ m} + \tan 15^\circ \times 2\text{m} \\
 &= 1,822 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan beban angin berdasarkan PPIUG pasal 4

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien angin tekan (c tekan)} &= 0,02\alpha - 0,4 \\
 &= 0,02 \times 15^\circ - 0,4 \\
 &= -0,1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban angin tekan} &= c \text{ tekan} \times q_w \times \text{jarak antar} \\
 &\quad \text{ikatan angin} \\
 &= -0,1 \times 25 \text{ kg/m}^2 \times 1,932 \text{ m} \\
 &= -4,83 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien angin hisap (c hisap)} &= -0,4 \\
 &= c \text{ hisap} \times q_w \times \text{jarak antar} \\
 &\quad \text{ikatan angin} \\
 &= -0,4 \times 25 \text{ kg/m}^2 \times 1,932 \text{ m} \\
 &= -9,32 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka, beban angin yang menentukan adalah beban angin terbesar yaitu 20 kg/m^2 .

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{1}{2} \times (q_w \times \frac{h1}{2}) \\
 &= \frac{1}{2} \times (19,32 \text{ kg/m} \times \frac{0,243 \text{ m}}{2}) \\
 &= 1,173 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= (q_w \times \frac{h2}{2}) \\
 &= (19,32 \text{ kg/m} \times \frac{0,732 \text{ m}}{2}) \\
 &= 7,067 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P3 &= (q_w \times \frac{h3}{2}) \\
 &= (19,32 \text{ kg/m} \times \frac{1,249 \text{ m}}{2}) \\
 &= 12,07 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

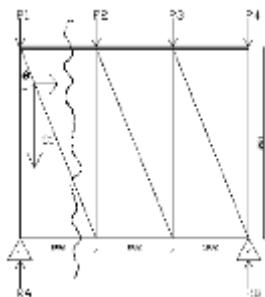
$$\begin{aligned}
 P4 &= \frac{1}{2} \times (q_w \times \frac{h4}{2}) \\
 &= \frac{1}{2} \times (19,32 \text{ kg/m} \times \frac{1,767 \text{ m}}{2}) \\
 &= 8,534 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum MB &= 0, RA = \uparrow \\ RA \times 5,796m - P1 \times 5,796m - P2 \times 3,864m - P3 \times 1,932m &= 0 \\ RA &= \frac{(1,173\text{kg} \times 5,8\text{m}) + (7,067\text{kg} \times 3,86\text{m}) + (12,07\text{kg} \times 1,9\text{m})}{5,796 \text{ m}} \\ &= 9,91 \text{ kg} \uparrow\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum MA &= 0, RB = \uparrow \\ -RB \times 6m + P4 \times 6m + P3 \times 4m + P2 \times 2m &= 0 \\ RB &= \frac{(8,535\text{kg} \times 5,8\text{m}) + (12,07 \text{ kg} \times 3,86\text{m}) + (7,967\text{kg} \times 1,9\text{m})}{5,796 \text{ m}} \\ &= 18,93 \text{ kg} \uparrow\end{aligned}$$

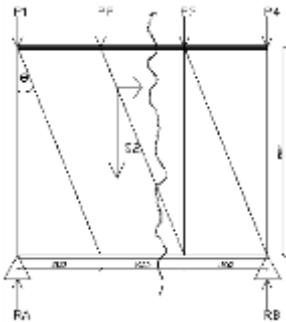
Metode ritter

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{\text{jarak tegak}}{\text{jarak datar}} \\ &= \frac{1,932 \text{ m}}{5 \text{ m}} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{1,932 \text{ m}}{5 \text{ m}} \\ &= 10,93\end{aligned}$$



Batang S1

$$\begin{aligned}\sum V &= 0 \\ 0 &= RA - P1 - S1 \cos \theta \\ 0 &= 9,91 \text{ kg} - 1,173\text{kg} - S1 \cos 10,934^\circ \\ S1 &= \frac{9,91 - 1,173}{\cos 10,934^\circ} \\ &= 8,895 \text{ kg (tarik)}\end{aligned}$$



Batang S2

$$\sum V = 0$$

$$0 = RA - P1 - S1 \cos \theta - P2$$

$$0 = 9,91 \text{ kg} - 1,173 \text{ kg} - S2 \cos 10,934^\circ - 7,067 \text{ kg}$$

$$S1 = \frac{9,91 - 1,173 - 7,067}{\cos 10,934^\circ}$$

$$= 1,697 \text{ kg (tarik)}$$

Maka, gaya tarik yang menentukan adalah S1 yaitu sebesar 8,895 kg.

4.2.3.1 Perencanaan Batang Tarik

Berdasarkan perhitungan ritter di atas diperoleh $P_u = 8,895 \text{ kg}$

a. Untuk leleh

$$P_u = \phi x f_y x A$$

$$A = \frac{P_u}{\phi x f_y}$$

$$= \frac{8,895 \text{ kg}}{0,9 x 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$= 0,004 \text{ cm}^2$$

b. Untuk batas putus

$$P_u = \phi x f_u x A x 0,75$$

$$A = \frac{P_u}{\phi x f_u x 0,75}$$

$$= \frac{8,895 \text{ kg}}{0,75 x 3700 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} x 0,75}$$

$$= 0,004 \text{ cm}^2$$

Maka, digunakan A yang paling minimum sebesar $0,004 \text{ cm}^2$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2$$

$$\begin{aligned}\phi &= \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4} \times \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{0,004 \text{ cm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi}} \\ &= 0,072 \text{ cm} \approx 1,2 \text{ cm (12 mm)}\end{aligned}$$

4.2.3.2 Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 1600 kg/cm^2

$$\begin{aligned}A &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (1,2 \text{ cm})^2 \\ &= 1,13 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{P_u}{A} < \delta_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{8,895 \text{ kg}}{1,13 \text{ cm}^2} < \delta_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 8 \text{ kg/cm}^2 < \delta_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2 (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

4.2.3.3 Kontrol LRFD

T_u = Gaya tarik aksial terfaktor

T_n = Tahanan nominal

$$\begin{aligned}T_n &= A \times f_y \\ &= 1,13 \text{ cm}^2 \times 2400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 2713 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat : } T_u &< \phi T_n ; \phi = 0,9 \text{ untuk kondisi leleh} \\ 8,895 \text{ kg} &< 0,9 \times 2713 \text{ kg} \\ 2030 \text{ kg} &< 2442 \text{ kg (memenuhi)}\end{aligned}$$

$$\text{Rasio : } \frac{T_u}{\varphi T_n} = \frac{8,895 \text{ kg}}{2442 \text{ kg}} = 0,004$$

4.2.3.4 Kontrol Kelangsingan

$$L_x = 1,932 \text{ m}$$

$$L_y = 5 \text{ m}$$

$$D > \frac{L}{500}$$

$$1,2 \text{ cm} > \frac{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}{500}$$

$$1,2 \text{ cm} > \frac{\sqrt{(193,2 \text{ cm})^2 + (500 \text{ cm})^2}}{500}$$

$$1,2 \text{ cm} > 1,07 \text{ cm} \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga penggantung gording yang digunakan pada bangunan villa Ana adalah baja bulat dengan diameter 12 mm

4.2.4 Perhitungan Kuda - Kuda

Pada bangunan Villa ana, digunakan kuda-kuda rangka kaku dengan menggunakan profil WF. Profil yang digunakan dihitung berdasarkan momen yang dihasilkan dari program analisa SAP 2000.

➤ Data perencanaan kuda-kuda :

Sudut kemiringan atap (α) : 15°

Jarak antar kuda-kuda : 5 m

Jarak antar gording (b) : 1 m

Bentang kuda-kuda : 6,8 m

Bentang overstag : 0,8 m

Jarak bersih kuda-kuda : 6 m

Mutu Baja : BJ 37

Tegangan putus minimum (F_u) : 370 Mpa

Tegangan leleh minimum (F_y) : 240 Mpa

Tegangan sisa (F_r) : 70 Mpa

Modulus elastisitas baja (E_s) : 200000 Mpa

Modulus geser (G) : 80000 Mpa

Profil kuda-kuda : WF300.150.6,5.9

Panjang tekuk (K jepit-jepit) : 0,5

**(Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD
edisi kedua karya Agus Setiawan halaman 57)**

Faktor reduksi kuat tarik leleh (ϕ_b) : 0.9

(SNI 1729:2015 pasal D.2)

Faktor reduksi batas putus (ϕ_c) : 0.75

(SNI 1729:2015 pasal I2.1b)

Berdasarkan table profil pada lampiran 2 buku perencanaan struktur baja dengan metode LRFD edisi kedua oleh Agus Setiawan, untuk profil baja WF 300.150.6,5.9 diperoleh data-data sebagai berikut :

$$W = 36,7 \text{ kg/m}$$

$$r = 13 \text{ mm}$$

$$I_x = 7210 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 508 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 12,4 \text{ cm}$$

$$r_y = 3,29 \text{ cm}$$

$$S_x = 481 \text{ cm}^3$$

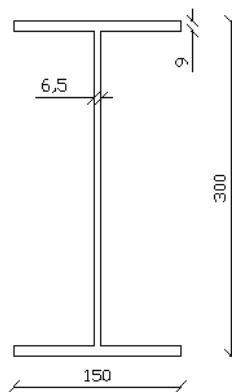
$$Z_y = 67,7 \text{ cm}^3$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

$$A = 150 \text{ mm} = d$$

$$t_w = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$



Gambar 4.14 profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9

Berdasarkan analisa struktur dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 diperoleh data-data sebagai berikut :

$$M_{uy} = 0,29 \text{ kgm}$$

$$M_{ux} = 1765,49 \text{ kgm}$$

$$P_u = 1221,52 \text{ kg}$$

$$V_u = 1490,1 \text{ kg}$$

4.2.4.1 Cek Kelangsungan dan Panjang Efektif

$$\begin{aligned}
 \text{a. Flens} &= \frac{b}{2 \times tf} &< \frac{0,56}{\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \\
 &= \frac{150 \text{ mm}}{2 \times 9 \text{ mm}} &< \frac{0,56}{\sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}}} \\
 &= 8,33 &< 16,1658 \text{ (penampang non langsing)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Web} &= \frac{h}{tw} &< \frac{1,49}{\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \\
 &= \frac{300\text{mm}-(2x(13\text{mm}+9\text{ mm})}{6,5 \text{ mm}} &< \frac{1,49}{\sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}}} \\
 &= 39,384 &< 43,0126 \\
 &\quad \text{(penampang non langsing)}
 \end{aligned}$$

Asumsikan kuda-kuda jepit-jepit, maka $K = 0,5$

$$\begin{aligned}
 \lambda_x &= \frac{K \times L}{r_x} \\
 &= \frac{0,5 \times (6 \times 100) \text{ cm}}{12,4} \\
 &= 24,19
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_c &= \frac{\lambda_x}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\
 &= \frac{24,19}{\pi} \times \sqrt{\frac{240 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}}} \\
 &= 0,267
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \text{ maka nilai } \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\
 &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,267} \\
 &= 1,006
 \end{aligned}$$

4.2.4.2 Kontrol Kuat Tekan

$$\begin{aligned} P_{cr} &= \frac{Ag \times F_y}{\lambda_c} \\ &= \frac{46,78 \text{ cm}^2 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,267} \\ &= 4208536,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{Ag \times F_y}{\omega} \\ &= \frac{46,78 \text{ cm}^2 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1,006} \\ &= 1115860,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat : $P_u < \phi P_n$
 $1221,52 \text{ kg} < 0,9 \times 1115860,2 \text{ kg}$
 $1221,52 \text{ kg} < 836895,2 \text{ kg}$ (memenuhi)

Rasio : $\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{1221,52 \text{ kg}}{836895,2 \text{ kg}} = 0,004 < 0,2$, maka

$$\begin{aligned} Z_x &= b \times t_f \times (d-t_f) + \frac{1}{4} \times t_w \times (d-2t_f)^2 \\ &= 150 \times 9 \times (300-9) + \frac{1}{4} \times 6,5 \times (300-2 \times 6,5)^2 \\ &= 218664 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_y &= \frac{1}{2} b^2 \times t_f + \frac{1}{4} \times t_w^2 \times (d-2t_f)^2 \\ &= \frac{1}{2} 150^2 \times 9 + \frac{1}{4} \times 6,5^2 \times (300-2 \times 6,5)^2 \\ &= 102644,25 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_u}{2 \times \phi P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi (Z_x \times f_y)} + \frac{M_{uy}}{\phi (Z_y \times f_y)} &< 1 \\ \frac{1221,52 \times 10}{2 \times 1115860,2 \times 10} + \frac{1765,49 \times 10^4}{0,9 \times (218664 \times 240)} + \frac{0,29 \times 10^4}{0,9 \times (102644,25 \times 240)} &< 1 \\ 0,3747 &< 1 \\ (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

4.2.4.3 Cek Local Buckling

a. Flens = λ $< \lambda_p$

$$= \frac{b}{2 \times t_f} < \frac{0,38}{\sqrt{\frac{E}{f_y}}}$$

$$= \frac{150 \text{ mm}}{2 \times 9 \text{ mm}} < \frac{0,38}{\sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}}}$$

$$= 8,33 < 10,9697 \text{ (penampang kompak)}$$

b. Web = λ $< \lambda_p$

$$= \frac{h}{t_w} < \frac{1,49}{\sqrt{\frac{E}{f_y}}}$$

$$= \frac{300\text{mm}-(2 \times 10\text{mm}+9 \text{ mm})}{6,5 \text{ mm}} < \frac{3,76}{\sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}}}$$

$$= 16,308 < 108,54$$

(penampang kompak)

Karena masuk ke dalam kategori penampang kompak maka $M_n = M_p$ (SNI 1729-2015 pasal F2-1)

Momen Nominal (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \times f_y \\ &= 218664 \text{ mm}^3 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 52479360 \text{ Nmm} = 5247,9360 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 5247,9360 \text{ Kgm} \\ &= 4723,1424 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Syarat : $M_u < \phi M_n$
 $1765,49 \text{ Kgm} < 4723,1424 \text{ Kgm}$ (memenuhi)

Rasio : $\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{1765,49 \text{ kgm}}{4723,1424 \text{ kgm}} = 0,3738$

4.2.4.4 Cek Tekuk Lateral (SN 1729-2015 pasal F2-2)

$$\begin{aligned} \text{a. } ry &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{508 \times 10^4}{46,78 \times 10^2}} \\ &= 32,9535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } L_p &= 1,76 \times ry \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 32,9535 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}} \\ &= 1674,263 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat : $L_b > L_p$
 $6000 \text{ mm} > 1674,263 \text{ mm}$ (bentang panjang)

Karena termasuk dalam kategori bentang panjang maka perlu untuk periksa L_r

$$\begin{aligned} h_o &= h - t_f \\ &= 256 \text{ mm} - 9 \text{ mm} \\ &= 247 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J &= 1/3 \times ((B \times t_f^3) + (A \times t_w^3)) \\ &= 1/3 \times ((100\text{mm} \times (9 \text{ mm})^3) + (300\text{mm} \times (6,5\text{mm})^3)) \\ &= 63912,5 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{ts} &= \sqrt{\frac{I_y \times h_o}{2 \times S_x}} \\ &= \sqrt{\frac{508 \text{ cm} \times \frac{247 \text{ mm}}{10}}{2 \times 481 \text{ cm}}} \\ &= 3,6115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 rts \times \frac{E}{0,7 f_y} \times \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,67\left(\frac{0,7 f_y}{E}\right)^2}} \\
 &= 6589,5525 \times \sqrt{3,44 + 11,88 + 0,00000477} \\
 &= 27500,147 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat : $L_p < L_b < L_r$
 $1674,263 \text{ mm} < 6000 \text{ mm} < 27500,147 \text{ mm}$
(memenuhi)

4.2.4.5 Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } \frac{h}{tw} &< \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{300 - 2x(13+9)}{6,5} &< \frac{1100}{\sqrt{240}} \\
 39,38 &< 71 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \times f_y \times tw \times h_o \\
 &= 0,6 \times 240 \text{ Mpa} \times 6,5 \text{ mm} \times 247 \text{ mm} \\
 &= 231192 \text{ N} = 23119,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 V_n \\
 &= 0,9 \times 23119,2 \text{ kg} \\
 &= 20807,28 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } V_u &< \phi V_n \\
 14901 \text{ kg} &< 20807,28 \text{ kg} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

4.2.4.6 Kontrol Lendutan

Dalam mengontrol lendutan suatu profil harus memiliki lendutan maksimum kurang dari $\frac{L}{240}$, dalam bangunan villa Ana, lendutan yang diijinkan adalah sebesar $\frac{6000 \text{ mm}}{240} = 25 \text{ mm}$. Sedangkan berdasarkan output SAP diperoleh lendutan maksimum sebesar 5,232 mm. maka dapat disimpulkan bahwa profil kuda-kuda WF 300.150.6,5.9 memenuhi syarat lendutan dikarenakan lendutan yang terjadi lebih kecil dari pada lendutan ijin.

4.2.5 Perhitungan Kolom Baja

Pada bangunan Villa ana, digunakan kolom baja dengan menggunakan profil WF. Profil yang digunakan dihitung berdasarkan momen yang dihasilkan dari program analisa SAP 2000.

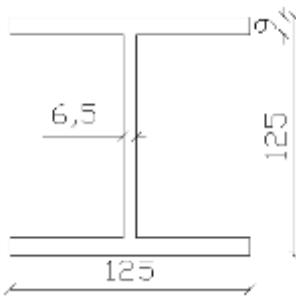
- Data perencanaan kolom :

Sudut kemiringan atap (α)	: 15°
Jarak antar kuda-kuda	: 5 m
Jarak antar gording (b)	: 1 m
Bentang kuda-kuda	: 6,8 m
Bentang overstag	: 0,8 m
Tinggi kolom	: 1,822 m
Mutu Baja	: BJ 37
Tegangan putus minimum (F_u)	: 370 Mpa
Tegangan leleh minimum (F_y)	: 240 Mpa
Tegangan sisa (F_r)	: 70 Mpa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 Mpa
Modulus geser (G)	: 80000 Mpa
Profil kolom WF	: 125.125.6,5.9
Panjang tekuk (K jepit-jepit)	: 0,5
- (Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD edisi kedua karya Agus Setiawan halaman 57)
Faktor reduksi kuat tarik leleh (ϕ_b) : 0.9
(SNI 1729:2015 pasal D.2)
Faktor reduksi batas putus (ϕ_c) : 0.75
(SNI 1729:2015 pasal I2.1b)

Berdasarkan table profil pada lampiran 2 buku perencanaan struktur baja dengan metode LRFD edisi kedua oleh Agus Setiawan, untuk profil baja WF 125.125.6,5.9 diperoleh data-data sebagai berikut :

$$W = 23,8 \text{ kg/m}$$
$$r = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
I_x &= 847 \text{ cm}^4 \\
I_y &= 293 \text{ cm}^4 \\
r_x &= 5,29 \text{ cm} \\
r_y &= 3,22 \text{ cm} \\
S_x &= 249,1 \text{ cm}^3 \\
Z_y &= 71,4 \text{ cm}^3 \\
B &= 125 \text{ mm} \\
A &= 125 \text{ mm} = d \\
t_w &= 6,5 \text{ mm} \\
t_f &= 9 \text{ mm}
\end{aligned}$$



Gambar 4.15 profil kolom baja WF 125.125.6.5.9

Berdasarkan analisa struktur dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 diperoleh data-data sebagai berikut :

$$M_{Uy} = 0,00002795 \text{ kgm}$$

$$M_{Ux} = 1249,13 \text{ kgm}$$

$$P_u = 1547,44 \text{ kg}$$

$$M_A = 132,14 \text{ kgm} \quad (\text{momen } \frac{1}{4} \text{ bentang})$$

$$M_B = 328,28 \text{ kgm} \quad (\text{momen } \frac{1}{2} \text{ bentang})$$

$$M_A = 788,7 \text{ kgm} \quad (\text{momen } \frac{3}{4} \text{ bentang})$$

4.2.5.1 Cek Kelangsungan Profil dan Panjang Efektif

a. Flens = λ $< \lambda_p$

$$\begin{aligned}
&= \frac{b}{2 \times t_f} && < \frac{0,38}{\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \\
&= \frac{125 \text{ mm}}{2 \times 8 \text{ mm}} && < \frac{0,38}{\sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}}} \\
&= 7,813 && < 10,9697 \text{ (penampang kompak)}
\end{aligned}$$

b. Web = λ $< \lambda_p$

$$\begin{aligned}
&= \frac{h}{t_w} && < \frac{1,49}{\sqrt{\frac{E}{f_y}}} \\
&= \frac{125 \text{ mm} - (2 \times 10 \text{ mm} + 9 \text{ mm})}{6 \text{ mm}} && < \frac{3,76}{\sqrt{\frac{200000 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}}}} \\
&= 19,231 && < 108,54 \\
&&& \text{(penampang kompak)}
\end{aligned}$$

Karena masuk ke dalam kategori penampang kompak maka $M_n = M_p$ (SNI 1729-2015 pasal F2-1)

Momen Nominal (M_n)

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \times f_y \\ &= 1491000 \text{ mm}^3 \times 240 \text{ MPa} \\ &= 35784000 \text{ Nmm} = 3578,4 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 3578,4 \text{ Kgm} \\ &= 3220,56 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } M_u &< M_n \\ 1249,13 \text{ Kgm} &< 3220,56 \text{ Kgm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\text{Rasio : } \frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{1249,13 \text{ kgm}}{3220,56} = 0,38$$

4.2.5.2 Cek Tekuk Lateral (SN 1729-2015 pasal F2-2)

$$\begin{aligned} a. r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{293 \times 10^4}{30,31 \times 10^2}} \\ &= 31,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b. L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \times 31,1 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} \\ &= 1580,09 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } L_b &> L_p \\ 1822 \text{ mm} &> 1580,09 \text{ mm} \text{ (bentang panjang)} \end{aligned}$$

Karena termasuk dalam kategori bentang panjang maka perlu untuk periksa L_r

$$\begin{aligned} h_o &= d - (2 \times (r + t_f) - t_f) \\ &= 125 - (2 \times (10 \text{ mm} + 6,5 \text{ mm}) - 9 \text{ mm}) \\ &= 81 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_w &= \frac{I_y \times h_o^2}{4} \\
 &= \frac{293 \times 10^4 \times (81 \text{ mm})^2}{4} \\
 &= 4805932500 \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J &= 1/3 \times ((B \times t f^3) + (A \times t w^3)) \\
 &= 1/3 \times ((125 \text{ mm} \times (9 \text{ mm})^3) + (125 \text{ mm} \times (6,5 \text{ mm})^3)) \\
 &= 32776,04 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \sqrt{\frac{I_y \times h_o}{2 \times S_x}} \\
 &= \sqrt{\frac{293 \text{ cm} \times \frac{81 \text{ mm}}{10}}{2 \times 149,1 \text{ cm}}} \\
 &= 2,82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 r_{ts} \times \frac{E}{0,7 f_y} \times \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6,67 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \\
 &= 6549,04 \times \sqrt{2,7239 + 7,365 + 0,00000477} \\
 &= 15257,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat : $L_p < L_b < L_r$
 $1256,7 \text{ mm} < 6000 \text{ mm} < 15257,7 \text{ mm}$
(memenuhi)

4.2.5.3 Cek Tekuk Lateral (SN 1729-2015 pasal F2-2)

Asumsikan kuda-kuda jepit-sendi, maka $K = 0,7$

$$\begin{aligned}
 \lambda_x &= \frac{K \times L}{r_x} \\
 &= \frac{0,7 \times (1,822 \times 100) \text{ cm}}{5,29} \\
 &= 24,11
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{\lambda_x}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{24,111}{\pi} \times \sqrt{\frac{240 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}}} \\ &= 0,2659\end{aligned}$$

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka nilai ω

$$\begin{aligned}&= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,2659} \\ &= 1,0057\end{aligned}$$

4.2.5.4 Kontrol Kuat Tekan

$$\begin{aligned}N_n &= \frac{A_g \times F_y}{\omega} \\ &= \frac{30,31 \text{ cm}^2 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1,0057} \\ &= 723307,98 \text{ kg}\end{aligned}$$

Syarat : $N_u < \phi N_n$
 $15474,4 \text{ kg} < 0,9 \times 723307,98 \text{ kg}$
 $15474,4 \text{ kg} < 614811,787 \text{ kg}$ (memenuhi)

$$\text{Rasio : } \frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{15474,4 \text{ kg}}{614811,787 \text{ kg}} = 0,025 < 0,2$$

Momen Pembesaran

$$\begin{aligned}C_m &= 0,6 \times 0,4 \times \frac{M_1}{M_2} \\ &= 0,6 \times 0,4 \times \frac{0,00002795 \text{ kg}}{1249,13 \text{ kg}} \\ &= 0,000000005\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{cbr} &= \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\lambda_x} \\ &= \frac{\pi^2 \times 200000 \text{ Mpa} \times 30,31 \times 100 \text{ mm}}{24,11} \\ &= 248148665,7 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta b &= \frac{C_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{cbr}} \right)} \\ &= \frac{0,0000000005}{1 - \left(\frac{15474,4 N}{248148665,7 N} \right)} \\ &= 0,0000000053 &< 1, \text{ maka dipakai } \delta = 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ux} &= \delta \times M_{nt} 2 \\ &= 1 \times 12491300 \text{ Nmm} \\ &= 12491300 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Periksa rumus interaksi

$$\frac{N_u}{2 \times \varphi N_n} + \frac{M_{ux}}{\varphi M_n} < 1 \text{ karena } M_{uy} = 0$$

maka dapat diabaikan

$$\begin{aligned}\frac{1547,44 \times 10}{2 \times 614811,787} + \frac{1249,13 \times 10^4}{0,9 \times 357848000} &< 1 \\ 0,4 &< 1 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

4.2.5.5 Kontrol Lentutan

Dalam mengontrol lentutan suatu profil harus memiliki lentutan maksimum kurang dari $\frac{L}{240}$, dalam bangunan villa Ana, lentutan yang diijinkan adalah sebesar $\frac{1822,1 \text{ mm}}{240} = 7,59 \text{ mm}$. Sedangkan berdasarkan output SAP diperoleh lentutan maksimum sebesar 7,37 mm. maka dapat disimpulkan bahwa profil kuda-kuda 125.125.6,5,9 memenuhi syarat lentutan dikarenakan lentutan yang terjadi lebih kecil dari pada lentutan ijin.

4.2.6 Sambungan Kuda-Kuda

Sambungan yang digunakan pada kuda-kuda terdapat dua macam, yaitu sambungan las dan sambungan baut. Kedua jenis sambungan tersebut disatukan dan digunakan untuk menyambungkan antara kolom dan kuda-kuda.

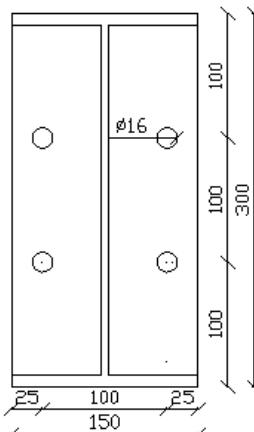
4.2.6.1 Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom Tipe A

Sambungan kolom tipe adalah sambungan yang digunakan untuk menyatukan kolom dengan ujung paling atas kuda-kuda pada bangunan villa Ana.

- Data perencanaan sambungan tipe A :

Tipe baut	: A325
f_u^b	: 825 Mpa
f_u	: 320
d_b	: 16 mm
tebal pelat	: 7 mm
S_1	: 100 mm
S_2	: 100 mm
S_3	: 25 mm
U	: 100 mm
F_y pelat	: 240 Mpa
F_u pelat	: 370 Mpa
Jumlah baut	: 4 buah

Syarat jarak baut



Gambar 4.16 jarak baut sb. kuda-kuda dengan kolom Tp. A

3db	\leq	U	$\leq 15tp$	atau 200 mm
3 x 16mm	\leq	100	$\leq 15 \times 7 \text{ mm}$	atau 200 mm
48 mm	\leq	100	$\leq 105 \text{ mm}$	atau 200 mm
(memenuhi)				
1,5db	\leq	s	$\leq 4tp + 100$	atau 200 mm
1,5 x 16mm	\leq	50	$\leq 4 \times 7 \text{ mm} + 100$	atau 200 mm
24 mm	\leq	50	$\leq 128 \text{ mm}$	atau 200 mm
(memenuhi)				

Profil WF atas yang digunakan : 300.150.6,5.9

Tinggi profil = 300 mm

Lebar profil = 150 mm

Tebal badan = 6,5 mm

Tebal sayap = 9 mm

Sudut atap = 15°

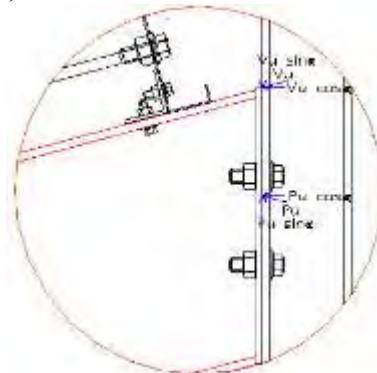
Faktor reduksi = 0,75

Berdasarkan output program analisa struktur SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam sebagai berikut :

M = 12587500 Nmm

V = 12587,6 N

P = 6983,4 N



Gambar 4.17 peletakan baut pada profil (1)

Gaya-gaya yang terjadi :

$$\begin{aligned} Vu \sin \alpha &= 12587,6 \text{ N} \times \sin 15^\circ \\ &= 3257,91 \text{ N} \\ Vu \cos \alpha &= 12587,6 \text{ N} \times \cos 15^\circ \\ &= 12158,69 \text{ N} \\ Pu \sin \alpha &= 6983,4 \text{ N} \times \sin 15^\circ \\ &= 1807,44 \text{ N} \\ Pu \cos \alpha &= 6983,4 \text{ N} \times \cos 15^\circ \\ &= 6745,45 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} PuH &= Vu \cos \alpha + Pu \cos \alpha \\ &= 12158,69 \text{ N} + 6745,45 \text{ N} \\ &= 18904,13 \\ PuV &= - Vu \sin \alpha + Pu \sin \alpha \\ &= - 3257,91 \text{ N} + 1807,44 \text{ N} \\ &= -1450,47 \\ Mu &= 12587500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Baut memikul gaya geser

Tahanan geser baut

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= \phi \times m \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,5 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2) \\ &= 62204 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan Tumpu baut

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= \phi \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 370 \text{ Mpa} \\ &= 74592 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan yang digunakan untuk menentukan jumlah baut adalah nilai tahanan paling minimum. Sehingga tahanan yang menentukan adalah tahanan geser baut sebesar 62204 N

Syarat : $Vu <$ tahanan geser baut

$$\begin{aligned} \frac{PuH}{n \text{ baut}} &< 62204 \text{ N} \\ \frac{18904,13 \text{ N}}{4 \text{ baut}} &< 62204 \text{ N} \\ 4726,034 \text{ N} &< 62204 \text{ N} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Tahanan tarik baut

$$\begin{aligned} Td &= \phi \times 0,75 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2) \\ &= 93305,30 \text{ N} \end{aligned}$$

Periksa intergaksi geser dan lentur

$$\begin{aligned} D_{max} &= S_1 + U \\ &= 100 \text{ m} + 100 \text{ mm} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\sum d_{max}^2 = (200 \text{ mm})^2 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Tu &= \frac{M \times d_{max}}{\sum d_{max}^2} \\ &= \frac{1258700 \text{ Nmm} \times 150 \text{ mm}}{40000 \text{ mm}^2} \\ &= 62937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat : Tu $< Td$
62937,5 N $< 93305,30 \text{ N}$ (memenuhi)

Tinjauan Tebal Las



Gambar 4.18 tebal las 4mm (1)

Direncanakan tebal las = 4 mm

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif las} &= \frac{t_{las}^2}{\sqrt{2} \times t_{las}^2} \\ &= \frac{(4 \text{ mm})^2}{\sqrt{2} \times (4 \text{ mm})^2} \\ &= 2,828 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{las} &= 2 \times (b_{profil} - tb_{profil}) \\ &= 2 \times (150 \text{ mm} - 6,5 \text{ mm}) \\ &= 287 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d \text{ las} &= 2 \times (h \text{ profil} - 2 \times t_s \text{ profil}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} - 2 \times 9 \text{ mm}) \\ &= 564 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total las} &= b \text{ las} + d \text{ las} \\ &= 287 \text{ mm} + 564 \text{ mm} \\ &= 851 \text{ mm} \end{aligned}$$

Modulus penampang

$$\begin{aligned} S &= (b \text{ las} \times d \text{ las}) + \frac{d \text{ las}^2}{6} \\ &= (287 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}) + \frac{(564 \text{ mm})^2}{6} \\ &= 214884 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Kekuatan las

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times t \text{ efektif} \times 0,6 \times f_{uv} \\ &= 0,75 \times 2,828 \text{ mm} \times 0,6 \times 325 \text{ MPa} \\ &= 413,66 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Kekuatan pelat

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times t \text{ pelat} \times 0,6 \times f_u \\ &= 0,75 \times 7 \text{ mm} \times 0,6 \times 370 \text{ MPa} \\ &= 1165,50 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Sehingga yang lebih menentukan adalah kekuatan las sebesar 413,66 N/mm

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser

$$P \text{ geser total} = -1450,47 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_{nv} &= \frac{P \text{ total}}{L \text{ total}} \\ &= \frac{1450,47 \text{ N}}{825 \text{ mm}} \\ &= 1,7 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi akibat momen

$$P \text{ geser total} = 12587500 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} R_{nt} &= \frac{M}{S} \\ &= \frac{12587500 \text{ Nmm}}{214884 \text{ mm}} \\ &= 58,578 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} Ru &= \sqrt{Rnv^2 + Rnt^2} & \leq \phi Rn \\ &= \sqrt{1,7^2 + 58,578^2} & \leq 413,66 \text{ N/mm} \\ &= 58,60 \text{ N/mm}^2 & \leq 413,66 \text{ N/mm} \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Tebal las pasang

$$\begin{aligned} Tw &= \frac{Ru}{\phi Rn} \\ &= \frac{58,60 \text{ N/mm}^2}{413,66 \text{ N/mm}^2} \\ &= 0,14 \text{ mm dipasang } 4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persyaratan minimum dan maksimum las sudut diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.2 dan pasal 13.5.4.3 yaitu sebagai berikut :

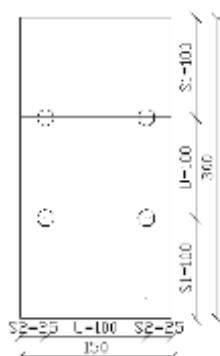
$$\begin{aligned} 4 \text{ mm} &\leq tw \leq tp \\ 4 \text{ mm} &\leq 4 \text{ mm} \leq 7 \text{ mm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Tinjauan Pelat

Kondisi leleh

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,9 \times Ag \times f_y \\ &= 0,9 \times tp \times b \times f_y \\ &= 0,9 \times 7 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 226800 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi fraktur 1



Gambar 4.19 kondisi fraktur 1 pada pelat (1)

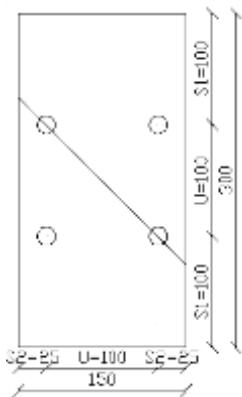
$$\begin{aligned} \text{Ant} &= A_g - n \times d \times t_p \\ &= 1050 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \\ &= 826 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

1 sambungan $> 2w$
 851 $> 2 \times 150 \text{ mm}$
 851 > 300 (memenuhi)

$$\begin{aligned} A_e &= U \times \text{Ant} \\ &= 1 \times 826 \text{ mm}^2 \\ &= 826 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,75 \times A_g \times f_u \\ &= 0,9 \times 826 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \\ &= 229215 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi fraktur 2



Gambar 4.20 kondisi fraktur 2 pada pelat (2)

$$S = 25 \text{ mm}$$

$$U = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= A_g - n \times d \times t_p + \frac{\sum S^2 \times t_p}{4U} \\ &= 1050 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} + \frac{25 \text{ mm}^2 \times 7 \text{ mm}}{4 \times 100 \text{ mm}} \\ &= 836,9375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

1 sambungan $> 2w$, maka $U=1$
518 $> 2 \times 150 \text{ mm}$
851 > 300 (memenuhi)

$$\begin{aligned} Ae &= U \times A_{\text{Ant}} \\ &= 1 \times 836,9375 \text{ mm}^2 \\ &= 836,9375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,75 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 836,9375 \text{ mm}^2 \times 370 \text{ Mpa} \\ &= 232250,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan fraktur yang digunakan adalah nilai tahanan fraktur terkecil yaitu 229215 N

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P_u &< \phi N_n \\ 6983,4 \text{ N} &< 229215 \text{ N} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

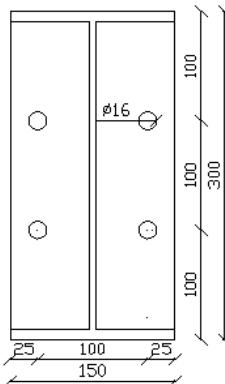
4.2.6.2 Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom Tipe B

Sambungan kolom tipe adalah sambungan yang digunakan untuk menyatukan kolom dengan ujung paling bawah kuda-kuda pada bangunan villa Ana.

➤ Data perencanaan sambungan tipe B :

Tipe baut	: A325
f_u^b	: 825 Mpa
f_u	: 320
d_b	: 16 mm
tebal pelat	: 7 mm
S_1	: 100 mm
S_2	: 100 mm
S_3	: 25 mm
U	: 100 mm
F_y pelat	: 240 Mpa
F_u pelat	: 370 Mpa
Jumlah baut	: 4 buah

Syarat jarak baut



Gambar 4.21 jarak baut sb kuda-kuda dengan kolom Tp. B

3db	\leq	U	$\leq 15tp$	atau 200 mm
3 x 16mm	\leq	100	$\leq 15 \times 7 \text{ mm}$	atau 200 mm
48 mm (memenuhi)	\leq	100	$\leq 105 \text{ mm}$	atau 200 mm
1,5db	\leq	s	$\leq 4tp + 100$	atau 200 mm
1,5 x 16mm	\leq	100	$\leq 4 \times 7 \text{ mm} + 100$	atau 200 mm
24 mm (memenuhi)	\leq	100	$\leq 128 \text{ mm}$	atau 200 mm

Profil WF atas yang digunakan : 300.150.6,5.9

Tinggi profil = 300 mm

Lebar profil = 150 mm

Tebal badan = 6,5 mm

Tebal sayap = 9 mm

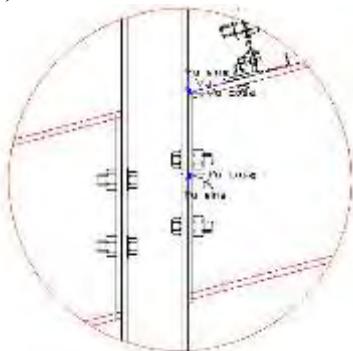
Sudut atap = 15°

Faktor reduksi = 0,75

Berdasarkan output program analisa struktur SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam sebagai berikut :

M = 12491300 Nmm

$$\begin{aligned}V &= 1215775,3 \text{ N} \\P &= 10107,8 \text{ N}\end{aligned}$$



Gambar 4.22 peletakan baut pada profil (2)

Gaya-gaya yang terjadi :

$$\begin{aligned}Vu \sin \alpha &= 1215775,3 \text{ N} \times \sin 15^\circ \\&= 4082,95 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Vu \cos \alpha &= 1215775,3 \text{ N} \times \cos 15^\circ \\&= 15237,77 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pu \sin \alpha &= 10107,8 \text{ N} \times \sin 15^\circ \\&= 2616,09 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pu \cos \alpha &= 10107,8 \text{ N} \times \cos 15^\circ \\&= 9763,39 \text{ N}\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}PuH &= Vu \cos \alpha + Pu \cos \alpha \\&= 15237,77 \text{ N} + 9763,39 \text{ N} \\&= 25001,15 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}PuV &= - Vu \sin \alpha + Pu \sin \alpha \\&= - 4082,95 \text{ N} + 2616,09 \text{ N} \\&= - 1466,87\end{aligned}$$

$$Mu = 12491300 \text{ Nmm}$$

Baut memikul gaya geser

Tahanan geser baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= \phi \times m \times r_l \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,5 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2) \\ &= 62204 \text{ N}\end{aligned}$$

Tahanan Tumpu baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= \phi \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\ &= 0,75 \times 2,4 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 340 \text{ Mpa} \\ &= 74592 \text{ N}\end{aligned}$$

Tahanan yang digunakan untuk menentukan jumlah baut adalah nilai tahanan paling minimum. Sehingga tahanan yang menentukan adalah tahanan geser baut sebesar 62204 N

Syarat : $V_u < \text{tahanan geser baut}$

$$\frac{P_u H}{n \text{ baut}} < 62204 \text{ N}$$

$$\frac{25001,15 \text{ N}}{4 \text{ baut}} < 62204 \text{ N}$$

$$6250,289 \text{ N} < 62204 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Tahanan tarik baut

$$\begin{aligned}T_d &= \phi \times 0,75 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2) \\ &= 93305,30 \text{ N}\end{aligned}$$

Periksa interaksi geser dan lentur

$$\begin{aligned}D_{max} &= S_1 + U \\ &= 100 \text{ m} + 100 \text{ mm} \\ &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

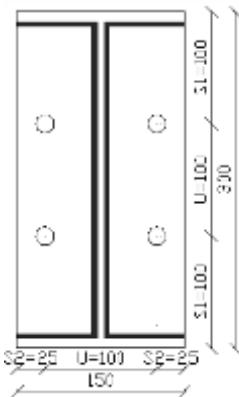
$$\sum D_{max}^2 = (200 \text{ mm})^2 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}T_u &= \frac{M \times d_{max}}{\sum D_{max}^2} \\ &= \frac{12491300 \text{ Nmm} \times 200 \text{ mm}}{40000 \text{ mm}^2} \\ &= 62456,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat : $T_u < T_d$

$$62456,5 \text{ N} < 93305,30 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Tinjauan Tebal Las



Gambar 4.23 tebal las 4 mm (2)

Direncanakan tebal las = 4 mm

$$\begin{aligned}\text{Tebal efektif las} &= \frac{t_{\text{las}}^2}{\sqrt{2 \times t_{\text{las}}^2}} \\ &= \frac{(4 \text{ mm})^2}{\sqrt{2 \times (4 \text{ mm})^2}} \\ &= 2,828 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b_{\text{las}} &= 2 \times (b_{\text{profil}} - t_{\text{b profil}}) \\ &= 2 \times (150 \text{ mm} - 6,5 \text{ mm}) \\ &= 287 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_{\text{las}} &= 2 \times (h_{\text{profil}} - 2 \times t_{\text{s profil}}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} - 2 \times 9 \text{ mm}) \\ &= 564 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang total las} &= b_{\text{las}} + d_{\text{las}} \\ &= 287 \text{ mm} + 564 \text{ mm} \\ &= 851 \text{ mm}\end{aligned}$$

Modulus penampang

$$\begin{aligned}S &= (b_{\text{las}} \times d_{\text{las}}) + \frac{d_{\text{las}}^3}{6} \\ &= (287 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}) + \frac{(564 \text{ mm})^3}{6} \\ &= 214884 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Kekuatan las

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \times t_{\text{efektif}} \times 0,6 \times f_{uv} \\ &= 0,75 \times 2,828 \text{ mm} \times 0,6 \times 385 \text{ MPa} \\ &= 490,02 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Kekuatan pelat

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \times t_{\text{pelat}} \times 0,6 \times f_{uv} \\ &= 0,75 \times 7 \text{ mm} \times 0,6 \times 370 \text{ MPa} \\ &= 1165,5 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Sehingga yang lebih menentukan adalah kekuatan las sebesar 490,02 N/mm

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser

$$P_{\text{geser total}} = 25001,15 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}R_{nv} &= \frac{P_{\text{total}}}{L_{\text{total}}} \\ &= \frac{25001,15 \text{ N}}{1120 \text{ mm}} \\ &= 29,378 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi akibat momen

$$P_{\text{geser total}} = 12415,42 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}R_{nt} &= \frac{M}{S} \\ &= \frac{12415,42 \text{ Nmm}}{214884 \text{ mm}} \\ &= 58,13 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}R_u &= \sqrt{R_{nv}^2 + R_{nt}^2} & \leq \phi R_n \\ &= \sqrt{29,378^2 + 58,13^2} & \leq 490,02 \text{ N/mm} \\ &= 65,13 \text{ N/mm}^2 & \leq 490,02 \text{ N/mm} \\ & \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

Tebal las pasang

$$\begin{aligned}Tw &= \frac{Ru}{\phi R_n} \\&= \frac{65,13 \text{ N/mm}^2}{490,02 \text{ N/mm}^2} \\&= 0,13 \text{ mm dipasang } 4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Persyaratan minimum dan maksimum las sudut diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.2 dan pasal 13.5.4.3 yaitu sebagai berikut :

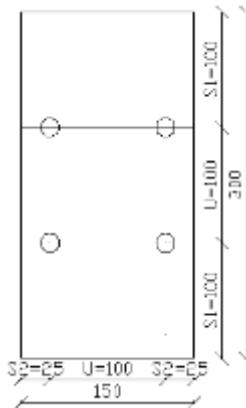
$$\begin{aligned}4 \text{ mm} &\leq tw \leq tp \\4 \text{ mm} &\leq 4 \text{ mm} \leq 7 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Tinjauan Pelat

Kondisi leleh

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\&= 0,9 \times t_p \times b \times f_y \\&= 0,9 \times 7 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 240 \text{ Mpa} \\&= 189000 \text{ N}\end{aligned}$$

Kondisi fraktur 1



Gambar 4.24 kondisi fraktur 1 pada pelat (2)

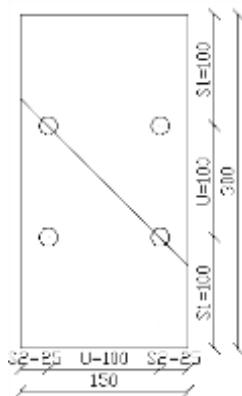
$$\begin{aligned} \text{Ant} &= Ag - n \times d \times tp \\ &= 1050 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \\ &= 826 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

1 sambungan $> 2w$
 851 $> 2 \times 150 \text{ mm}$
 851 > 300 (memenuhi)

$$\begin{aligned} Ae &= U \times \text{Ant} \\ &= 1 \times 476 \text{ mm}^2 \\ &= 826 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,75 \times Ag \times f_u \\ &= 0,9 \times 826 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 229215 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi fraktur 2



Gambar 4.25 kondisi fraktur 2 pada pelat (2)

$$S = 25 \text{ mm}$$

$$U = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= Ag - n \times d \times tp + \frac{\sum s^2 \times tp}{4U} \\ &= 1050 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} + \frac{\sum 25 \text{ mm}^2 \times 7 \text{ mm}}{4 \times 100 \text{ mm}} \\ &= 836,9375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

1 sambungan $> 2w$, maka $U=1$
851 $> 2 \times 150 \text{ mm}$
851 > 300 (memenuhi)

$$\begin{aligned} Ae &= U \times A_{\text{Ant}} \\ &= 1 \times 836,9375 \text{ mm}^2 \\ &= 836,9375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,75 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times 836,9375 \text{ mm}^2 \times 370 \text{ Mpa} \\ &= 232250,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan fraktur yang digunakan adalah nilai tahanan fraktur terkecil yaitu 229215 N

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P_u &< \phi N_n \\ 25001,15 \text{ N} &< 229215 \text{ N} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

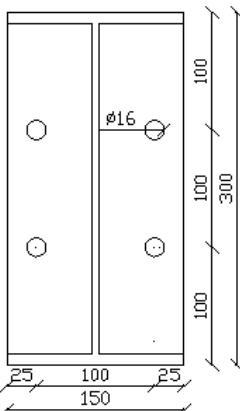
4.2.6.3 Sambungan Kuda-Kuda dengan Kolom Tipe C

Sambungan kolom tipe adalah sambungan yang digunakan untuk menyatukan kolom dengan kantilever pada bangunan villa Ana.

- Data perencanaan sambungan tipe C :

Tipe baut	: A325
f_u^b	: 825 Mpa
f_u	: 320
d_b	: 16 mm
tebal pelat	: 7 mm
S_1	: 100 mm
S_2	: 100 mm
S_3	: 25 mm
U	: 100 mm
F_y pelat	: 240 Mpa
F_u pelat	: 370 Mpa
Jumlah baut	: 4 buah

Syarat jarak baut



Gambar 4.26 jarak baut sb. kuda-kuda dengan kolom Tp. C

3db	\leq	U	$\leq 15tp$	atau 200 mm
3 x 16mm	$\wedge \vee$	100	$\leq 15 \times 7 \text{ mm}$	atau 200 mm
48 mm (memenuhi)	$\wedge \vee$	100	$\leq 105 \text{ mm}$	atau 200 mm
1,5db	\leq	s	$\leq 4tp + 100$	atau 200 mm
1,5 x 16mm	$\wedge \vee$	100	$\leq 4 \times 7 \text{ mm} + 100$	atau 200 mm
24 mm (memenuhi)	$\wedge \vee$	100	$\leq 128 \text{ mm}$	atau 200 mm

Profil WF atas yang digunakan : 300.150.6,5.9

Tinggi profil = 300 mm

Lebar profil = 150 mm

Tebal badan = 6,5 mm

Tebal sayap = 9 mm

Sudut atap = 15°

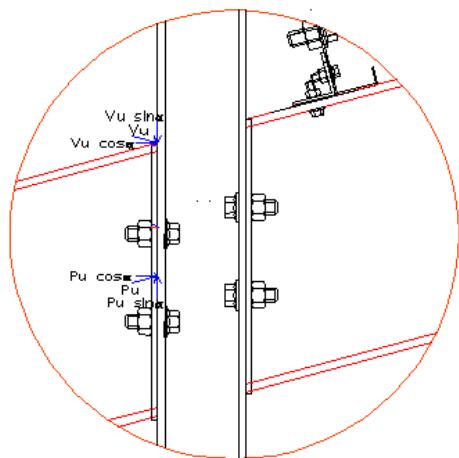
Faktor reduksi = 0,75

Berdasarkan output program analisa struktur SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$$M = 6237700 \text{ Nmm}$$

$$V = 10473,2 \text{ N}$$

$$P = 25169,3 \text{ N}$$



Gambar 4.27 peletakan baut pada profil (3)

Gaya-gaya yang terjadi :

$$\begin{aligned} V_u \sin \alpha &= 10473,2 \text{ N} & x \sin 15^\circ \\ &= 2710,66 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \cos \alpha &= 10473,2 \text{ N} & x \cos 15^\circ \\ &= 10116,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \sin \alpha &= 25169,3 \text{ N} & x \sin 15^\circ \\ &= 6514,29 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \cos \alpha &= 25169,3 \text{ N} & x \cos 15^\circ \\ &= 24311,63 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} PuH &= V_u \cos \alpha + P_u \cos \alpha \\ &= 10116,33 \text{ N} + 24311,63 \text{ N} \\ &= 34428,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u V &= -V_u \sin \alpha + P_u \sin \alpha \\
 &= -2710,66 \text{ N} + 6514,29 \text{ N} \\
 &= 3803,63 \text{ N} \\
 M_u &= 6237700 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Baut memikul gaya geser

Tahanan geser baut

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nv} &= \phi \times m \times r_l \times f_u^b \times A_b \\
 &= 0,75 \times 0,5 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2) \\
 &= 62204 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tahanan Tumpu baut

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nv} &= \phi \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\
 &= 0,75 \times 2,4 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 340 \text{ MPa} \\
 &= 74592 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tahanan yang digunakan untuk menentukan jumlah baut adalah nilai tahanan paling minimum. Sehingga tahanan yang menentukan adalah tahanan geser baut sebesar 62204 N

Syarat : $V_u < \text{tahanan geser baut}$

$$\begin{aligned}
 \frac{P_u H}{n \text{ baut}} &< 62204 \text{ N} \\
 \frac{34428,01 \text{ N}}{4 \text{ baut}} &< 62204 \text{ N} \\
 8607,003 \text{ N} &< 62204 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tahanan tarik baut

$$\begin{aligned}
 T_d &= \phi \times 0,75 \times f_u^b \times A_b \\
 &= 0,75 \times 0,75 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (16\text{mm})^2) \\
 &= 93305,30 \text{ N}
 \end{aligned}$$

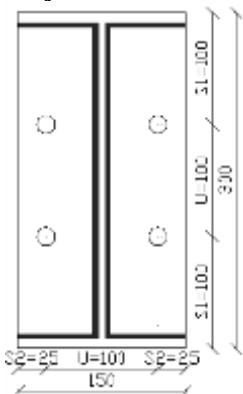
Periksa interaksi geser dan lentur

$$\begin{aligned}
 D_{max} &= S_1 + U \\
 &= 100m + 100 \text{ mm} \\
 &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum d_{max}^2 &= (200 \text{ mm})^2 = 40000 \text{ mm}^2 \\
 T_u &= \frac{M \times d_{max}}{\sum d_{max}^2} \\
 &= \frac{6237700 \text{ Nmm} \times 200 \text{ mm}}{40000 \text{ mm}^2} \\
 &= 31188,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat : Tu
 $31188,5 \text{ N}$
 $< T_d$
 $< 93305,30 \text{ N}$ (memenuhi)

Tinjauan Tebal Las



Gambar 4.28 tebal las 4mm (3)

Direncanakan tebal las = 4 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal efektif las} &= \frac{t_{\text{las}}^2}{\sqrt{2} \times t_{\text{las}}^2} \\
 &= \frac{(4 \text{ mm})^2}{\sqrt{2} \times (4 \text{ mm})^2} \\
 &= 2,828 \text{ mm} \\
 b_{\text{las}} &= 2 \times (b_{\text{profil}} - t_{\text{b profil}}) \\
 &= 2 \times (150 \text{ mm} - 6,5 \text{ mm}) \\
 &= 287 \text{ mm} \\
 d_{\text{las}} &= 2 \times (h_{\text{profil}} - 2 \times t_{\text{s profil}}) \\
 &= 2 \times (300 \text{ mm} - 2 \times 9 \text{ mm}) \\
 &= 564 \text{ mm} \\
 \text{Panjang total las} &= b_{\text{las}} + d_{\text{las}} \\
 &= 287 \text{ mm} + 564 \text{ mm} \\
 &= 851 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Modulus penampang

$$\begin{aligned} S &= (b \text{ las} \times d \text{ las}) + \frac{d \text{ las}^2}{6} \\ &= (287 \text{ mm} \times 564 \text{ mm}) + \frac{(564 \text{ mm})^2}{6} \\ &= 214884 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Kekuatan las

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times t \text{ efektif} \times 0,6 \times f_{uv} \\ &= 0,75 \times 2,828 \text{ mm} \times 0,6 \times 385 \text{ MPa} \\ &= 490,02 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Kekuatan pelat

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times t \text{ pelat} \times 0,6 \times f_u \\ &= 0,75 \times 7 \text{ mm} \times 0,6 \times 370 \text{ MPa} \\ &= 1165,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Sehingga yang lebih menentukan adalah kekuatan las sebesar 490,02 N/mm

Tegangan yang terjadi akibat gaya geser

$$P \text{ geser total} = 30867,31 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} R_{nv} &= \frac{P \text{ total}}{L \text{ total}} \\ &= \frac{30867,31 \text{ N}}{851 \text{ mm}} \\ &= 40,456 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi akibat momen

$$M = 6237700 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} R_{nt} &= \frac{M}{S} \\ &= \frac{6237700 \text{ Nmm}}{214884 \text{ mm}} \\ &= 29,028 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} Ru &= \sqrt{Rnv^2 + Rnt^2} \leq \phi Rn \\ &= \sqrt{40,456^2 + 29,028^2} \leq 490,02 \text{ N/mm} \\ &= 49,79 \text{ N/mm}^2 \leq 490,02 \text{ N/mm} \\ &\quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Tebal las pasang

$$\begin{aligned} Tw &= \frac{Ru}{\phi Rn} \\ &= \frac{49,79 \text{ N/mm}^2}{490,02 \text{ N/mm}^2} \\ &= 0,101 \text{ mm dipasang } 4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persyaratan minimum dan maksimum las sudut diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.2 dan pasal 13.5.4.3 yaitu sebagai berikut :

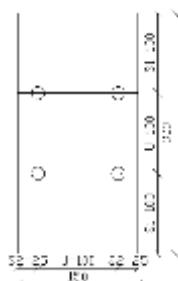
$$\begin{aligned} 4 \text{ mm} &\leq tw \leq tp \\ 4 \text{ mm} &\leq 4 \text{ mm} \leq 7 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Tinjauan Pelat

Kondisi leleh

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,9 \times A_g \times f_y \\ &= 0,9 \times t_p \times b \times f_y \\ &= 0,9 \times 7 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 240 \text{ MPa} \\ &= 189000 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi fraktur 1



Gambar 4.29 kondisi fraktur 1 pada pelat (3)

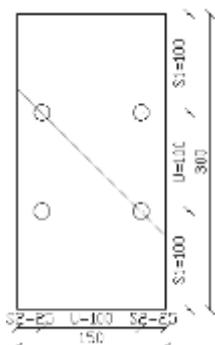
$$\begin{aligned} \text{Ant} &= A_g - n \times d \times t_p \\ &= 1050 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \\ &= 826 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{l sambungan} &> 2w \\ 851 &> 2 \times 150 \text{ mm} \\ 851 &> 300 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \times \text{Ant} \\ &= 1 \times 826 \text{ mm}^2 \\ &= 826 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,75 \times A_g \times f_u \\ &= 0,9 \times 826 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ MPa} \\ &= 229215 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi fraktur 2



Gambar 4.30 kondisi fraktur 2 pada pelat

$$S = 25 \text{ mm}$$

$$U = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= A_g - n \times d \times t_p + \frac{\sum s^2 \times t_p}{4U} \\ &= 1050 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} + \frac{\sum 25 \text{ mm}^2 \times 7 \text{ mm}}{4 \times 100 \text{ mm}} \\ &= 836,9375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{l sambungan} > 2w, \text{ maka } U=1$$

$$851 > 2 \times 150 \text{ mm}$$

$$851 > 300 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 Ae &= U \times A_{nt} \\
 &= 1 \times 355,63 \text{ mm}^2 \\
 &= 836,9375 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= 0,75 \times A_g \times f_y \\
 &= 0,9 \times 836,9375 \text{ mm}^2 \times 370 \text{ Mpa} \\
 &= 232250,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tahanan fraktur yang digunakan adalah nilai tahanan fraktur terkecil yaitu 229215 N

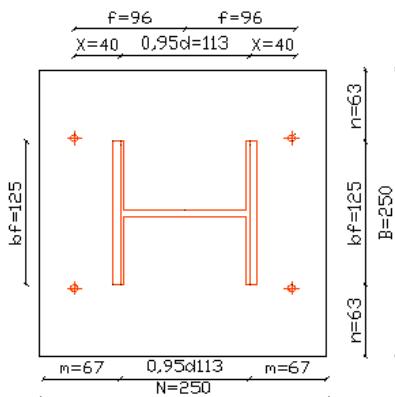
$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } P_u &< \phi N_n \\
 34428,01 \text{ N} &< 229215 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

4.2.7 Pelat Landas

Pelat landas yang digunakan pada bangunan villa Ana diletakkan di atas kolom beton guna menyambungkan antara kolom baja dengan kolom beton. Nantinya pelan landas ini akan dikaitkan dengan angkur.

- Data perencanaan pelat landas :

Mutu baja	: BJ 37
Fy baja	: 240 Mpa
Mutu beton (f_c')	: 25 Mpa
σ ijin	: 1600 kg/cm ²
dimensi kolom	: 125.125.6,5.9
dimensi pelat	: 250 x 250 x 8
Jumlah angkur	: 4 buah
ϕc	: 0,6
F_v	: 414 Mpa



Gambar 4.31 detail pelat landas

Gaya dalam hasil analisa struktur:

$$M = 592,57 \text{ kgm}$$

$$V = 1010,78 \text{ kg}$$

$$P_u = 1577,53 \text{ kg}$$

Dari data-data di atas maka dapat diketahui :

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

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

$$d = 125 \text{ mm}$$

$$0,95d = 0,95 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 118,8 \text{ mm}$$

$$m = \frac{N-0,95d}{2}$$

$$= \frac{250 \text{ mm} - 118,8 \text{ mm}}{2}$$

$$= 65,63 \text{ mm}$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2}$$

$$= \left(\frac{250 \text{ mm}}{2} - \frac{\frac{250 \text{ mm}}{2} - \frac{125 \text{ mm}}{2}}{2} \right) - \frac{125 \text{ mm}}{2} + \frac{9 \text{ mm}}{2}$$

$$= 35,8 \text{ mm}$$

Menghitung eksentrisitas untuk angkur yang didesain untuk menahan gaya *uplift* serta gaya geser yang terjadi.

$$e = \frac{Mu}{Pu}$$

$$= \frac{5925700 \text{ Nmm}}{15775,3 \text{ N}}$$

$$= 375,6 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{6} = \frac{250 \text{ mm}}{6}$$

$$= 42 \text{ mm}$$

Syarat : $\frac{N}{6} < e$
 $42 \text{ mm} < 375,6 \text{ mm}$ (memenuhi)

Tegangan tumpu pada beton

$$q = \phi c \times 0,85 \times f_{c'} \times B \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

Asumsikan $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$, maka

$$q = 0,6 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 250 \text{ mm} \times 2$$

$$= 6375 \text{ N/mm}$$

$$f + \frac{N}{2} = 93,75 \text{ mm} + \frac{250 \text{ mm}}{2}$$

$$= 218,75 \text{ mm}$$

$$f + e = 93,75 \text{ mm} + 375,6 \text{ mm}$$

$$= 469,38 \text{ mm}$$

$$Y = \left(f + \frac{N}{2} \right) - \sqrt{\left(\left(f + \frac{N}{2} \right) \right)^2 - \frac{2 \times Pu \times (f+e)}{q}}$$

$$= 218,75 \text{ mm} - \sqrt{(-218,75)^2 + \frac{2 \times 15775,3 \text{ N} \times 469,38 \text{ mm}}{6375 \text{ N/mm}}}$$

$$= 5,376 \text{ mm}$$

Periksa $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}}{250 \text{ mm} \times 5,376 \text{ mm}}} = 6,82 > 2$

maka digunakan $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$

$$\begin{aligned}
 Tu &= q \times Y - Pu \\
 &= 6375 \text{ N/mm} \times 5,376 \text{ mm} - 15775,3 \text{ N} \\
 &= 18495,56 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Periksa angkur terhadap gaya geser dan gaya tarik
Digunakan 2 buah angkur berdiameter 6 mm

$$\begin{aligned}
 V_{ub} &= \frac{V_u}{n} \\
 &= \frac{10107,8 \text{ N}}{2 \text{ angkur}} \\
 &= 5053,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi F_v A_b &= 0,75 \times 414 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (6\text{mm})^2) \\
 &= 8779,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } \phi F_v A_b &> V_{ub} \\
 8779,2 \text{ N} &> 5053,9 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_t &= 807 - 1,5 F_v &< 621 \\
 &= 807 - 1,5 \times \frac{V_{ub}}{A_b} &< 621 \\
 &= 807 - 1,5 \times \frac{5053,9 \text{ N}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (6\text{mm})^2} &< 621 \\
 &= 538,88 &< 621 \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{ub} &= \frac{T_u}{n} \\
 &= \frac{18495,56 \text{ N}}{2} \\
 &= 9247,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi F_t A_b &= 0,75 \times 538,88 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times (6\text{mm})^2) \\
 &= 11427,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } \phi F_t A_b &> T_{ub} \\
 11427,4 \text{ N} &> 9247,8 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan base plat

$$Y = 5,3758 \text{ mm} < m - 65,63 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{perlu}} &= 2,11 \times \sqrt{\frac{T_u \times X}{B \times f_y}} \\ &= 2,11 \times \sqrt{\frac{18495,56 \text{ N} \times 35,8 \text{ mm}}{250 \text{ mm} \times 240 \text{ Mpa}}} \\ &= 7,005 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{perlu}} &= 2,11 \times \sqrt{\frac{P_u \times (m - \frac{Y}{2})}{B \times f_y}} \\ &= 2,11 \times \sqrt{\frac{15775 \text{ N} \times (66,63 - \frac{5,3758 \text{ mm}}{2})}{250 \text{ mm} \times 240 \text{ Mpa}}} \\ &= 8,583 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, tebal pelat yang menentukan adalah tebal pelat terbesar yaitu $8,583 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$

Perencanaan panjang angkur

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik beton normal} &= 0,57x \sqrt{f_c'} \\ &= 0,57 \times \sqrt{25 \text{ Mpa}} \\ &= 2,85 \end{aligned}$$

Karena untuk mengantisipasi puntir maka jumlah angkur dipasang sebanyak 4 buah, maka panjang angkur adalah

$$\begin{aligned} L_h &= \frac{\frac{T_u}{n}}{\frac{\text{kuat tarik beton} \times \text{db}}{\frac{18495 \text{ N}}{4}}} \\ &= \frac{2,85 \times 6 \text{ mm}}{2,85 \times 6 \text{ mm}} \\ &= 271 \text{ mm dipakai } 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada bangunan villa Ana dipasang 4 buah angkur dengan diameter 6 mm dan panjang 275 mm

4.3 Perhitungan Beban Gempa

- Dari perhitungan periode gempa diperoleh $T = 0.4$ dan $C_s = 0.0928$ karena nilai $T \leq 0,5$
- Maka nilai $K = 1$

Tabel 2 gaya gempa (1)

Lantai	h (m)	W (Kg)	W.h^k	Cvx	V= Cs.Wtot	F= V.Cvx
1	0	160751,4	0	0.0000	141150.386	0
2	3.25	357656,2	1162382.731	0.1079	141150.386	15226.19
3	6.5	357656,2	2324765.463	0.2157	141150.386	30452.37
4	9.75	337222,5	3287919.741	0.3051	141150.386	43068.8
Atap	13	307730,7	4000498.613	0.3713	141150.386	52402.99
Total		10775566.55		1	706044.252	141150.4

Tabel 3 gaya gempa (2)

Lantai	h (m)	Fx (Kg)	30% Fx (Kg)	Fy (Kg)	30% Fy (Kg)
1	0	0	0	0	0
2	3.25	15226.19	4567.855555	15226	4567.855555
3	6.5	30452.37	9135.711111	30452	9135.711111
4	9.75	43068.84	12920.65173	43069	12920.65173
Atap	13	52402.99	15720.89753	52403	15720.89753

4.3.1 Gaya Gempa Tiap Joint

Tabel 4 gempa arah x

Lantai	Fx (Kg)	Joint			
		Fx1	Fx2	Fx3	Fx4
1	0	0	0	0	0
2	15226.18518	2593.899	4980.285444	5019.194	2632.80715
3	30452.37037	5187.797	9960.570887	10038.39	5265.6143
4	43068.83911	7337.111	14087.25232	14197.31	7447.16724
atap	52402.99177	8927.256	17140.33121	17274.24	9061.16468

Tabel 5 gempa arah y

Lantai	Fy (Kg)	Joint				
		Fy1	Fy2	Fy3	Fy4	Fy5
1	0	0	0	0	0	0
2	15226	2537.698	4229.495885	3383.597	3383.59671	1691.798
3	30452	5075.395	8458.991769	6767.193	6767.19342	3383.597
4	43069	7178.14	11963.56642	9570.853	9570.85314	4785.427
atap	52403	8733.832	14556.3866	11645.11	11645.1093	5822.555

4.3.2 Perhitungan Statik Ekvivalen

Diketahui :

- Tinggi tiap lantai = 3.25 m
- Dimensi kolom = 50 cm x 50 cm
- Mutu beton (f_c') = 25 Mpa

➤ Modulus Elastis (E) = $4700 \sqrt{f_c'}$
= $4700 \sqrt{25}$
= 23500 Mpa

➤ Momen Inersia (I) = $\frac{1}{12} \times 50 \text{ cm} \times (50 \text{ cm})^3$
= 520833.33 cm^4
= 0.00520833 m^4

➤ K lantai 1 = $\frac{3(EI)}{L^3}$
= $\frac{3(23500 \cdot 0.00520833)}{3.25^3}$
= 10.6963

➤ $\frac{K_{\text{lantai } 1}}{K_{\text{lantai } 2}} < 0.7$
memenuhi jika kategori tidak beraturan vertikal

➤ $\frac{K_{\text{lantai } 1}}{K_{\text{lantai } 2}} < 0.7$
 $1 > 0.7$ (gedung termasuk beraturan vertikal)

Ketidakberaturan struktur ditentukan berdasar **SNI 1726:2012 pada tabel 10** untuk ketidakberaturan horizontal dan tabel 11 untuk ketidakberaturan vertical. Suatu bangunan dikatakan termasuk dalam kategori ketidakberaturan horizontal apabila luas void bangunan tersebut lebih dari 50% luas yang melingkapinya, sedangkan suatu bangunan dikatakan masuk dalam kategori ketidakberaturan vertikal apabila EI/L_{kolom} antar lantai < 0.7 .

Berdasarkan keterangan diatas bangunan Villa a.n. Ana tidak termasuk dalam kategori ketidakberaturan horizontal dikarenakan luas voidnya kurang dari 50% luas yang melingkapinya. Bangunan Villa a.n. Ana juga tidak termasuk dalam ketidakberaturan vertikal karena tinggi tiap lantainya sama.

➤ **Beban-beban**

Beban Gempa yang terjadi tiap lantai

1. W_0
Setengah beban pada lantai ke-0
2. W_1
Setengah beban pada lantai ke-0 dan Setengah beban pada lantai ke-1
3. W_2
Setengah beban pada lantai ke-1 dan Setengah beban pada lantai ke-2
4. W_3
Setengah beban pada lantai ke-2 dan Setengah beban pada lantai ke-3
5. W_4
Setengah beban pada lantai ke-3 dan Setengah beban pada lantai ke-4

➤ **Syarat bangunan tahan gempa dengan system rangka pemikul momen menengah**

1. Untuk penggunaan sistem rangka pemikul momen menengah harus memenuhi kategori desain seismic (KDS) C. (**SNI 2847-2013**)
2. Menurut SNI gempa 2012 KDS C harus sebagai berikut :

Tabel 6 nilai SDS

Nilai S _{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S _{DS} < 0.167	A	A
0.167 ≤ S _{DS} < 0.33	B	C
0.33 ≤ S _{DS} < 0.50	C	D
0.50 ≤ S _{DS}	D	D

Tabel 7 nilai S₁

Nilai S _{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
S _{D1} < 0.167	A	A
0.067 ≤ S _{D1} < 0.133	B	C
0.133 ≤ S _{D1} < 0.20	C	D
0.20 ≤ S _{D1}	D	D

➤ **Mencari nilai N-SPT**

Tabel 8 nilai N-SPT

Lapis ke-i	Tebal lapisan (di)	Deskripsi jenis tanah	Nilai N-SPT
1	3	lempung berpasir berlanau berbatu	40
2	14	pasir berkerikil berbatu	60
3	5	pasir berkerikil berlanau berbatu	60

➤ **Mencari kategori tanah**

Tabel 9 kategori tanah

$\sum d_i =$	22
$\frac{\sum d_i}{N_i} =$	0.391667
$\frac{\sum d_i}{\sum d_i} =$	56.17

➤ Dengan nilai N = 56.17 termasuk dalam kategori tanah keras (SC) (**SNI 1726-2012, Tabel 3**)

➤ **Perencanaan gempa tahunan**

Untuk bangunan Villa a.n. Ana Prigen, Pasuruan ini direncanakan gempa 2500 tahunan. Dari Peta Hazard Indonesia didapatkan nilai S_s , S_1 untuk gempa 2500 tahunan.

Tabel 10 nilai gempa 2500 tahunan

$S_s =$	0.6	Gambar 8 (SNI Gempa 2012)
$S_1 =$	0.25	Gambar 9 (SNI Gempa 2012)
$F_a =$	1.16	Tabel 4 (SNI Gempa 2012)
$F_v =$	1.55	Tabel 5 (SNI Gempa 2012)
$S_{MS} =$	0.696	
$S_{M1} =$	0.388	
$S_{DS} =$	0.464	Memenuhi syarat KDS C
$S_{D1} =$	0.258	Memenuhi syarat KDS C

- $$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1.16 \times 0.6 \\ &= 0.696 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1.55 \times 0.25 \\ &= 0.388 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \times S_{MS} \\ &= 2/3 \times 0.696 \\ &= 0.464 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} S_{D1} &= 2/3 \times S_{M1} \\ &= 2/3 \times 0.3875 \\ &= 0.258 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0.258}{0.464} \\ &= 0.557 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright T_0 &= 0.2 \times T_s \\ &= 0.2 \times 0.258 \\ &= 0.111 \end{aligned}$$

(SNI 1726:2012 Tabel 15)

- Menurut *SNI gempa tahun 2012 pada pasal 6.5* disebutkan bahwa apabila nilai $S_1 < 0,75$ maka KDS diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 6 saja, namun berlaku semua ketentuan berikut :
 1. pada masing - masing dua arah ortogonal, perkiraan periода fundamental struktur (T_a) yang ditentukan bersadarkan pasal 7.8.2.1 $< 0,8T_s$ dimana T_s sesuai pasal 6.4
 - pasal 7.8.2.1 --> $T_a = C_t \times (H_n)^x$
 - Ct (tabel 15 untuk rangka beton pemikul momen) = 0.0466^a
 - x (tabel 15 untuk rangka beton pemikul momen) = 0.9
 - Hn (ketinggian gedung) = 13
 - Alternatif lain dalam menghitung nilai T_a SNI gempa 2012 pasal 7.8.2.1 persamaan 27 syarat menggunakan rumus ini :
 1. Struktur dengan ketinggian ≤ 12 tingkat = 4 tingkat
 2. Sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan = rangka penahan momen beton
 3. Tinggi tingkat minimal 3m = 3.25 m
 - Pasal 7.8.2.1 rumus27
$$\begin{aligned} T_a &= 0,1 \times \text{jumlah tingkat} \\ &= 0,1 \times 4 \text{ tingkat} = 0,4 \end{aligned}$$

- Pasal 6.4

$$Ts = SD1/SDS = 0.556753$$

$$SD1 = 0.464$$

$$SDS = 0.258$$

Ketentuan $Ta < 0.8 Ts$

$$0.4 < 0.445402 \text{ (OK)}$$

2. Pada masing - masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simapangan antar lantai adalah kurang dari Ts
 - Sesuai tabel 16 untuk kategori resiko II -->
 - a. Simpangan antar lantai ijin $\Delta a^a, b = 0,02 h_{xx}$; h_{xx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x
 - b. Lantai 1 hingga 4 mempunyai tinggi tingkat yang sama maka dihitung $1x$ dengan $h_x = 3.25$
 - c. Simpangan antar lantai ijin $= 0.02 \times 3.25 = 0.065$
Ketentuan simpangan antar lantai ijin $< Ts$
 $0.065 < 0.556753 \text{ (OK)}$
3. Persamaan 22 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik C_s
 - Persamaan 22
 - $C_s = SDS / (R/I_e) = 0.0928$
 - $SDS = 0.464$
 - $R = 5$
(sistem rangka beton bertulang pemikul momen menengah)
 - $I_e = 1$ (kategori resiko II)
 - Nilai C_s persamaan 22 tidak perlu melebihi
 $C_s = SD1 / (T(R/I_e)) = 0.12917$
 - $SD1 = 0.258$
 - $T = Ta = 0.4$

- Nilai C_s persamaan 22 tidak perlu kurang dari
 $C_s = 0.044SDS \times I_e$
 $= 0.044 \times 0.464 \times 1$
 $= 0.02042 \geq 0.01$ (**OK**)
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 7.3.1 atau untuk diafragma fleksibel jarak antar elemen - elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m
- pasal 7.3.1.2
kondisi diafragma kaku yaitu apabila perbandingan $S/De \leq 3$
 $S = \text{lebar denah} = 13.5$
 $De = \text{panjang denah} = 14.675$
Maka, $S/De = 0.91993$

Ketentuan $S/De \leq 3$
 $0.91993 \leq 3$ (**OK**)

4.4 Berat Struktur Bangunan

Tabel 11 berat struktur lantai 1

Komponen	b	h	BJ	Σ	L	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(buah)	(m)	(kg)
K 50/50	0.5	0.5	2400	20	3.25	39000
Sloof Mem L = 3m 30/45	0.3	0.45	2400	12	3	11664
Sloof Anak Mem L = 3m 20/30	0.2	0.3	2400	1	3	432
Sloof Mem L = 4.5m 30/45	0.3	0.45	2400	5	4.5	7290
Sloof Anak Mem L = 4.5m	0.2	0.3	2400	1	4.5	648
Sloof Anak Mem L = 2m 15/20	0.15	0.2	2400	1	2	144
Sloof Mel L = 5m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5	10500
Sloof Mel L = 4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	5	4.6	9660
Sloof Mel L = 5.075m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5.075	10657.5
Sloof anak Mel L = 3m 20/30	0.2	0.3	2400	1	3	432
Sloof anak Mel L = 1.75 15/20	0.15	0.2	2400	1	1.75	126
BB L = 4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	1	4.6	1932
Total						92485.5

Tabel 12 berat struktur lantai 2

Komponen	b	h	BJ	Σ	L	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(buah)	(m)	(kg)
K 50/50	0.5	0.5	2400	20	3.25	39000
BI Mem L = 3m 30/45	0.3	0.45	2400	12	3	11664
BI Mem L = 4.5m 30/45	0.3	0.45	2400	4	4.5	5832
BI Mel L = 5m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5	10500
BI Mel L = 4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	5	4.6	9660
BI Mel L = 5.075m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5.075	10657.5
BA Mem L = 1.5m 15/20	0.15	0.2	2400	5	1.5	540
BA Mem L = 3m 20/30	0.2	0.3	2400	2	3	864
BA Mem L = 4.5m 20/30	0.2	0.3	2400	2	4.5	1296
BA Mel L = 1.5m 15/20	0.15	0.2	2400	6	1.5	648
BA Mel L = 1.75m 15/20	0.15	0.2	2400	1	1.75	126
BK L = 1m 15/20	0.15	0.2	2400	5	1	360
Listplank L = 3m 6/50	0.06	0.5	2400	3	3	648
Listplank L = 4.5m 6/50	0.06	0.5	2400	1	4.5	324
BB L = 4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	1	4.6	1932
Total						94051.5

Tabel 13 berat struktur lantai 3

Komponen	b	h	BJ	Σ	L	W
	(m)	(m)	(kg/m ³)	(buah)	(m)	(kg)
K 50/50	0.5	0.5	2400	20	3.25	39000
BI Mem L = 3m 30/45	0.3	0.45	2400	12	3	11664
BI Mem L = 4.5m 30/45	0.3	0.45	2400	4	4.5	5832
BI Mel L = 5m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5	10500
BI Mel L = 4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	5	4.6	9660
BI Mel L = 5.075m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5.075	10657.5
BA Mem L = 1.5m 15/20	0.15	0.2	2400	5	1.5	540
BA Mem L = 3m 20/30	0.2	0.3	2400	2	3	864
BA Mem L = 4.5m 20/30	0.2	0.3	2400	2	4.5	1296
BA Mel L = 1.5m 15/20	0.15	0.2	2400	6	1.5	648
BA Mel L = 1.75m 15/20	0.15	0.2	2400	1	1.75	126
BK L = 1m 15/20	0.15	0.2	2400	5	1	360
Listplank L = 3m 6/50	0.06	0.5	2400	3	3	648
Listplank L = 4.5m 6/50	0.06	0.5	2400	1	4.5	324
BB L = 4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	1	4.6	1932
Total						94051.5

Tabel 14 berat struktur lantai 4

Tabel 15 berat struktur lantai atap

Komponen	b	h	BJ	Σ	L	W
	(m)	(m)	(kg/m3)	(buah)	(m)	(kg)
K 50/50	0.5	0.5	2400	20	3.25	39000
BI Mem L=3m 30/45	0.3	0.45	2400	12	3	11664
BI Mem L=4.5m 30/45	0.3	0.45	2400	4	4.5	5832
BI Mel L=5m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5	10500
BI Mel L=4.6m 35/50	0.35	0.5	2400	5	4.6	9660
BI Mel L=5.075m 35/50	0.35	0.5	2400	5	5.075	10657.5
BK L=1m 15/20	0.15	0.2	2400	5	1	360
Listplank L=3m 6/50	0.06	0.5	2400	3	3	648
Listplank L=4.5m 6/50	0.06	0.5	2400	1	4.5	324
W berat sendiri				Σ	L	
				(kg/m)	(buah)	(m)
gording LLC 150.50.20.3	5.37			6	5	161.1
	5.37			6	4.6	148.212
	5.37			6	5.075	163.5165
kuda-kuda WF 100.100.6.8	17.2			4	10.5	722.4
kolom WF 125.125.6.5.9	23.8			4	3.37616	321.4104
total					90162.14	

Tabel 16 berat sendiri pelat

Komponen	tebal	bebani	A	W
	(m)	(kg/m ³)	(m ²)	(kg)
Pelat lantai 2	0.12	2400	202.6125	58352.4
Pelat lantai 3	0.12	2400	202.6125	58352.4
Pelat lantai 4	0.12	2400	202.6125	58352.4
Pelat atap	0.12	2400	211.6125	60944.4
Pelat tangga	0.18	2400	14.71387	6356.393
Pelat bordes	0.18	2400	2.4	1036.8
Total				243394.8

Tabel 17 beban mati lainnya lantai 2 hingga 4

Komponen	tebal	bebán	A	W
	(cm)	(kg/cm ²)	(m ²)	(kg)
Spesi	2	21	202.6125	8509.725
Keramik	1	24	202.6125	4862.7
Penggantung	-	7	202.6125	1418.288
Plafond	-	11	202.6125	2228.738
Instalasi linstrik	-	40	202.6125	8104.5
Instalasi air	-	25	202.6125	5065.313
Total				30189.26

Tabel 18 beban mati lantai atap

komponen	tebal	bebán	A	W
	(cm)	(kg/cm ²)	(m ²)	(kg)
aspal	4	14	211.6125	11850.3
penggantung	-	7	211.6125	1481.288
plafond	-	11	211.6125	2327.738
instalasi linstrik	-	40	211.6125	8464.5
instalasi air	-	25	211.6125	5290.313
asbes gelombang besar	0.6	18.03	196.3582	3540.339
total				32954.48

Tabel 19 beban mati tangga

Komponen	tebal	bebán	A	W
	(cm)	(kg/cm ²)	(m ²)	(kg)
Spesi	2	21	29.42775	1235.965
Keramik	1	24	29.42775	706.2659
Railing	-	10	29.42775	294.2775
Anak tangga	-	192	29.42775	5650.127
Total				7886.636

Tabel 20 beban mati bordes

Komponen	tebal	bebán	A	W
	(cm)	(kg/cm ²)	(m ²)	(kg)
Spesi	2	21	2.4	100.8
Keramik	1	24	2.4	57.6
Railing	-	10	2.4	24
Total				182.4

Tabel 21 beban dinding

Komponen	beban	L	h	W
	(kg/m ²)	(m)	(m)	(kg)
Pelat lantai 1	250	71.5	3.25	58093.75
Pelat lantai 2	250	153.275	3.25	124535.9
Pelat lantai 3	250	153.275	3.25	124535.9
Pelat lantai 4	250	131.7	3.25	107006.3
Total				414171.9

Tabel 22 beban hidup dan beban air hujan pada atap

Komponen	beban	A	W
	(kg/m ²)	(m ²)	(kg)
Pelat lantai 2	250	202.6125	50653.13
Pelat lantai 3	250	202.6125	50653.13
Pelat lantai 4	250	202.6125	50653.13
Pelat atap	100	211.6125	21161.25
Pelat tangga	300	14.71387	4414.162
Pelat bordes	300	2.4	720
Total			178254.8

Tabel 23 beban air hujan pada atap

Komponen	beban	A	W
	(kg/m ²)	(m ²)	(kg)
Pelat lantai 4	20	211.6125	4232.25

4.5 Berat Per Lantai

Tabel 24 berat lantai 1

Beban	Komponen	W	W _{tot}
		(kg)	(kg)
Mati	balok dan kolom	92485.5	158310.364
	berat sendiri pelat	0	
	dinding	58093.75	
	bebani mati lainnya	0	
	plat tangga	3178.19649	
	plat bordes	518.4	
	bebani mati lainnya (tangga)	3943.31787	
Hidup	bebani mati lainnya (bordes)	91.2	2567.0809
	plat lantai	0	
	plat tangga	2207.0809	
	plat bordes	360	

Tabel 25 berat lantai 2

Beban	Komponen	W	Wtot
		(kg)	(kg)
Mati	balok dan kolom	94051.5	307129.1
	berat sendiri pelat	58352.4	
	dinding	124535.938	
	bebani mati lainnya	30189.2625	
	plat tangga	6356.39299	
	plat bordes	1036.8	
	bebani mati lainnya (tangga)	7886.63574	
Hidup	bebani mati lainnya (bordes)	182.4	55787.2868
	plat lantai	50653.125	
	plat tangga	4414.1618	
	plat bordes	720	

Tabel 26 berat lantai 3

Beban	Komponen	W	Wtot
		(kg)	(kg)
Mati	balok dan kolom	94051.5	307129.1
	berat sendiri pelat	58352.4	
	dinding	124535.938	
	bebán mati lainnya	30189.2625	
	plat tangga	6356.39299	
	plat bordes	1036.8	
	bebán mati lainnya (tangga)	7886.63574	
Hidup	bebán mati lainnya (bordes)	182.4	55787.2868
	plat lantai	50653.125	
	plat tangga	4414.1618	
	plat bordes	720	

Tabel 27 berat lantai 4

Beban	Komponen	W	Wtot
		(kg)	(kg)
Mati	balok dan kolom	91147.5	286695.413
	berat sendiri pelat	58352.4	
	dinding	107006.25	
	bebán mati lainnya	30189.2625	
	plat tangga	3178.19649	
	plat bordes	518.4	
	bebán mati lainnya (tangga)	3943.31787	
	bebán mati lainnya (bordes)	91.2	
Hidup	plat lantai	50653.125	53220.2059
	plat tangga	2207.0809	
	plat bordes	360	

Tabel 28 berat lantai atap

beban	komponen	W	Wtot
		(kg)	(kg)
Mati	balok dan kolom	90162.1389	184061.016
	berat sendiri pelat	60944.4	
	dinding	0	
	bebán mati lainnya	32954.4767	
hidup			21161.25

Tabel 29 rekapitulasi beban

lantai	Wmati (Kg)	Whidup (kg)	Wtotal (kg)
1	158184.3644	2567.0809	160751.445
2	307003.1	50653.125	357656.225
3	307003.1	50653.125	357656.225
4	286569.4125	50653.125	337222.538
atap	286569.4125	21161.25	307730.663
Total			1521017.1

4.6 Perencanaan Pembebanan

4.6.1 Pelat Lantai

Terdapat 2 jenis beban yang bekerja pada pelat lantai yaitu, beban mati (q_D) dan beban hidup (q_L). Dimana untuk besaran beban yang terjadi pada pelat lantai dapat dilihat sebagai berikut :

- Beban mati (q_D) (PPIUG 1987)
 t pelat = 0.12 m
 - 1. Berat pelat ($t \times b$) -> $0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 288 \text{ kg/m}^2$
 - 2. Penggantung -> $7 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 7 \text{ kg/m}^2$
 - 3. Plafond -> $11 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 11 \text{ kg/m}^2$
 - 4. Spesi ($t=2\text{cm}$) -> $2 \times 21 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 42 \text{ kg/m}^2$
 - 5. Keramik ($t=1\text{cm}$) -> $1 \times 24 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 24 \text{ kg/m}^2$
 - 6. Instalasi air -> $25 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 25 \text{ kg/m}^2$
 - 7. Instalasi listrik -> $40 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 40 \text{ kg/m}^2$
➔ Berat Total = 437 kg/m^2
- Beban hidup (q_L) (PPIUG 1987)
Beban hidup (q_L) sebagai Villa (rumah tinggal) digunakan sebesar 250 kg/m^2 .
- Maka, beban rencana terfaktor ultimate untuk pelat lantai sebesar Q_u :
$$Q_u = 1.2D + 1.6L$$
$$= 1.2 \times 437 \text{ kg/m}^2 + 1.6 \times 250 \text{ kg/m}^2$$
$$= 924.4 \text{ kg/m}^2$$

4.6.2 Pelat Atap

Terdapat 2 jenis beban yang bekerja pada pelat Atap yaitu, beban mati (q_D) dan beban hidup (q_L). Dimana untuk besaran beban yang terjadi pada pelat atap dapat dilihat sebagai berikut :

- Beban mati (q_D) (PPIUG 1987)

$$t \text{ pelat} = 0.12 \text{ m}$$

1.	Berat pelat ($t \times b$)	-> $0.12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	-> 288 kg/m^2
2.	Penggantung	-> 7 kg/m^2	-> 7 kg/m^2
3.	Plafond	-> 11 kg/m^2	-> 11 kg/m^2
4.	Aspal ($t=4\text{cm}$)	-> $4 \times 14 \text{ kg/m}^2$	-> 56 kg/m^2
5.	Instalasi air	-> 25 kg/m^2	-> 25 kg/m^2
6.	Instalasi listrik	-> 40 kg/m^2	-> 40 kg/m^2
		→ Berat Total	= 427 kg/m^2

- Beban hidup (q_L) (PPIUG 1987)

Beban hidup (q_L) atap Villa (rumah tinggal) digunakan sebesar 100 kg/m^2 dan beban air hujan sebesar 20 kg/m^2 . Maka, $q_{L \text{ total}}$ sebesar 120 kg/m^2 .

- Maka, beban rencana terfaktor ultimate untuk pelat lantai sebesar Q_u :

$$Q_u = 1.2D + 1.6L$$

$$\begin{aligned} &= 1.2 \times 427 \text{ kg/m}^2 + 1.6 \times 120 \text{ kg/m}^2 \\ &= 704.4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.6.3 Tangga dan Bordes

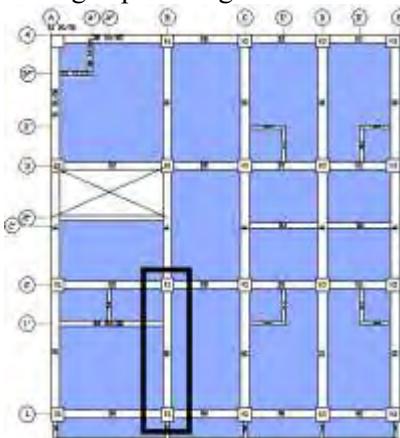
Pembebanan yang ada pada komponen struktur sekunder ini yaitu tangga dan bordes disesuaikan dengan **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)**. Perhitungan beban-beban tangga dibagi atas pembebanan pada anak tangga dan pembebanan pada bordes dapat dilihat sebagai berikut :

- Perhitungan beban pelat tangga
 - Beban mati (q_D) (PPIUG 1987)
 t pelat = 0.18 m
 1. Berat pelat ($t \times b$) -> $0.18 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 432 \text{ kg/m}^2$
 2. Spesi ($t=2\text{cm}$) -> $2 \times 21 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 42 \text{ kg/m}^2$
 3. Keramik ($t=1\text{cm}$) -> $1 \times 24 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 24 \text{ kg/m}^2$
 4. B. railing tangga -> $10 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 10 \text{ kg/m}^2$
→ Berat Total = 508 kg/m^2
 5. B. anak tangga -> $508 \text{ kg/m}^2 - 432 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 76 \text{ kg/m}^2$
 6. B. anak tangga -> $d \times b$ j beton -> 192 kg/m^2
→ Total q_D = 700 kg/m^2
 - Beban hidup (q_L) (PPIUG 1987)
Beban hidup (q_L) tangga untuk Villa (rumah tinggal) digunakan sebesar 300 kg/m^2 .
- Perhitungan beban bordes
 - Beban mati (q_D) (PPIUG 1987)
 t pelat = 0.18 m
 1. Berat pelat ($t \times b$) -> $0.18 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 288 \text{ kg/m}^2$
 2. Spesi ($t=2\text{cm}$) -> $2 \times 21 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 42 \text{ kg/m}^2$
 3. Keramik ($t=1\text{cm}$) -> $1 \times 24 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 24 \text{ kg/m}^2$
 4. B. railing tangga -> $10 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 10 \text{ kg/m}^2$
→ Berat Total = 508 kg/m^2
→
 - Beban hidup (q_L) (PPIUG 1987)
Beban hidup (q_L) bordes untuk Villa (rumah tinggal) digunakan sebesar 300 kg/m^2 .

4.7 Penulangan Struktur Beton

4.7.1 Perhitungan Balok

Perhitungan penulangan balok induk melintang (35/50) berdasarkan pada hasil analisis dari output SAP 2000. Berikut merupakan data perencanaan balok induk melintang sesuai dengan perhitungan SRPMM.



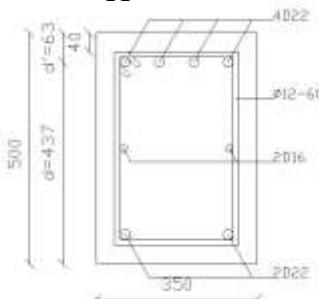
Gambar 4.32 posisi B.I Mel. yang ditinjau

- Data perencanaan penulangan balok :

Tipe balok	: BI MEL
As balok	: B 1-2
Lantai	: 2 (+3.25 m)
Bentang balok (L balok)	: 5000 mm
Lebar balok (b balok)	: 350 mm
Tinggi balok (h balok)	: 500 mm
Bentang kolom (L kolom)	: 3250 mm
Lebar kolom (b kolom)	: 500 mm
Tinggi kolom (h kolom)	: 500 mm
Kuat tekan beton ($f_{c'}$)	: 25 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 Mpa

Diameter tulangan lentur (Dlentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (\varnothing geser)	: 12 mm
Diameter tulangan puntir (Dpuntir)	: 16 mm
$\text{Cot } \theta^2$: 1
Jarak spasi minimum antar tulangan	: 25 mm
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 7.6.1)</i>	
Jarak spasi antar lapis	: 25 mm
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 7.6.2)</i>	
Faktor β_1	: 0.85
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 10.2.7.3)</i>	
Tebal selimut beton (cover)	: 40 mm
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 7.7.1)</i>	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0.9
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 9.3.2.1)</i>	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0.75
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 9.3.2.3)</i>	
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ)	: 0.75
<i>(SNI 03-2847:2013 Pasal 9.3.2.3)</i>	

➤ Maka, tinggi efektif balok dihitung sebagai berikut :



Gambar 4.33 detail B.I Mel

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \varnothing \text{sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{lentur} \\
 &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (1/2 \times 22 \text{ mm}) \\
 &= 437 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= h - d \\
 &= 500 \text{ mm} - 437 \text{ mm} \\
 &= 63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil Output dari analisa SAP 2000

Analisa dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 dengan menggunakan beberapa kombinasi pembebahan yang terdiri atas kombinasi beban mati, beban hidup, beban angin, serta beban gempa. Output dari program analisa SAP 2000 yang digunakan dalam perhitungan penulangan balok adalah diagram torsi, geser, serta lentur pada daerah tumpuan dan lapangan.

- Output SAP diagram torsi

Diperoleh dari kombinasi $1.2D + 1.6L + 1Ex + 0.3Ey$
 $Tu = 2671.7 \text{ kg.m}$

- Output SAP diagram geser

Diperoleh dari kombinasi $1.2D + 1.6L + 0.3Ex + 1Ey$
 $Vu = 14198.94 \text{ kg}$
 $Vu \text{ muka kolom} = 8977.52 \text{ kg}$

- Output SAP diagram lentur

Tumpuan kiri diperoleh dari kombinasi
 $1.2D + 1.6L + 0.3Ex + 1Ey$
 $Mu \text{ tumpuan} = 18359.56 \text{ kg.m}$
 Lapangan diperoleh dari kombinasi
 $1.2D + 1.6L + 0.3Ex + 1Ey$
 $Mu \text{ lapangan} = 6861.07 \text{ kg.m}$

a. Perhitungan Tulangan Torsi

Perhitungan penulangan balok dilakukan dengan cara memeriksa terlebih dahulu kecukupan penampang terhadap beban geser akibat lentur dan puntir.

1. Luas penampang beton (Acp)

$$\begin{aligned}Acp &= b \text{ balok} \times h \text{ balok} \\&= 350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\&= 175000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

2. Keliling penampang beton (Pcp)

$$\begin{aligned}Pcp &= 2 \times (b \text{ balok} + h \text{ balok}) \\&= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\&= 1700 \text{ mm}\end{aligned}$$

3. Luas penampang yang dibatasi oleh tulangan sengkang (Aoh)

$$\begin{aligned}Aoh &= (b \text{ balok} - 2 \times \text{cover} - \varnothing \text{sengkang}) \times \\&\quad (h \text{ balok} - 2 \times \text{cover} - \varnothing \text{sengkang}) \\&= (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \times \\&\quad (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \\&= 258 \text{ mm} \times 408 \text{ mm} = 105264 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4. Keliling penampang yang dibatasi oleh tulangan sengkang (Ph)

$$\begin{aligned}Ph &= 2 \times ((b \text{ balok} - 2 \times \text{cover} - \varnothing \text{sengkang}) + \\&\quad (h \text{ balok} - 2 \times \text{cover} - \varnothing \text{sengkang})) \\&= 2 \times ((350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) + \\&\quad (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})) \\&= 2 \times (258 \text{ mm} + 408 \text{ mm}) = 1332 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Momen puntir ultimate (Tu)

$$\begin{aligned}Tu &= 2671.7 \text{ kg.m} \\&= 26717000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

- Momen puntir nominal (T_n)

$$T_n = \frac{T_u}{\varphi}$$

$$= \frac{26717000 \text{ Nmm}}{0.75}$$

$$= 35622667 \text{ Nmm}$$

- Momen puntir minimum ($T_u \text{ min}$)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1(a)** momen puntir minimum dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_u \text{ min} = \varphi \times 0.083 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$= 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{(175000 \text{ mm}^2)^2}{1700 \text{ mm}} \right)$$

$$= 5629596 \text{ Nmm}$$

- Momen puntir maksimum ($T_u \text{ max}$)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2(a)** momen puntir maksimum dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_u \text{ max} = \varphi \times 0.33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$= 0.75 \times 0.33 \times 1 \times \sqrt{25} \times \left(\frac{(175000 \text{ mm}^2)^2}{1700 \text{ mm}} \right)$$

$$= 22518382 \text{ Nmm}$$

- Syarat pengaruh puntir harus diperhitungkan apabila momen puntir nominal lebih besar daripada momen puntir minimum ($T_n > T_u \text{ min}$). Dari perhitungan diatas diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

$T_n > T_u \text{ min} ; 35622667 \text{ Nmm} > 5629596 \text{ Nmm}$

maka penampang balok memerlukan tulangan puntir

- Dimensi penampang yang memerlukan tulangan torsi harus memenuhi syarat sesuai **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.1** sebagai berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bw \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{bw \times d} + 0.66 \times \sqrt{f'_c} \right)$$

- Dimana $V_c = 0.17\lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$ sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1** sehingga,

$$V_c = 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm} \\ = 130007.5 \text{ N}$$

- Maka syarat kecukupan penampang adalah sebagai berikut

$$\sqrt{\left(\frac{141989.4}{350 \times 437}\right)^2 + \left(\frac{35622667 \times 1332}{1.7 \times 105264^2}\right)^2} \leq 0.75 \left(\frac{130007.5}{350 \times 437} + 0.66 \times \sqrt{25} \right) \\ 2.68 \leq 3.13$$

penampang balok cukup untuk menahan momen puntir

- Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan (A_l) yang digunakan untuk menahan puntir diatur dalam **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7** sebagai berikut :

$$A_l = \frac{At}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_y t}{f_y}\right) \times \cot^2 \theta$$

Perhitungan diatas dapat diselesaikan dengan cara menggunakan persamaan pada **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6**.

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times At \times f_y t}{s} \times \cot \theta$$

- Dimana nilai A_o diambil sebesar $0.85 A_{oh}$ sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6** sehingga nilai $\frac{At}{s}$ dapat dihitung dengan cara :

$$\frac{At}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_{oh} \times f_y t \times \cot \theta} \\ = \frac{35622667}{2 \times (0.85 \times 105264) \times 400 \times 1} \\ = 0.49 \text{ mm}$$

- Maka tulangan puntir untuk lentur (Al) sebesar :

$$Al = 0.49 \text{ mm} \times 1332 \text{ mm} \times \left(\frac{240 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}}\right) \times 1^2$$

$$= 397.73 \text{ mm}^2$$
- Tulangan puntir untuk lentur (Al) di atas tidak boleh kurang dari Al minimum yang dijelaskan pada **SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.5.3**

$$Al_{min} = \frac{0.42 \times \sqrt{f_{c'}} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= 513.72 \text{ mm}^2$$
- Tulangan puntir untuk lentur diambil dari nilai terbesar antara nilai Al dan Al min. Pada perhitungan di atas, nilai Al lebih besar dari Al min sehingga tulangan puntir untuk lentur dipakai sebesar **Al = 513.72 mm²**.
- Tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisinya. Sisi atas disalurkan kepada tulangan tarik balok sedangkan sisi bawah disalurkan kepada tulangan tekan balok.

$$\frac{Al}{4} = \frac{513.72 \text{ mm}^2}{4} = 128.43 \text{ mm}^2$$
- Maka pada sisi atas dan bawah balok masing-masing mendapat tambahan tulangan puntir sebesar 128.43 mm². Pada sisi kanan dan kiri dipasang tulangan puntir sebesar :

$$2 \times \frac{Al}{4} = \frac{2 \times 513.72 \text{ mm}^2}{4} = 256.86 \text{ mm}^2$$
- Tulangan puntir rencana 2D16
 Cek kecukupan tulangan pakai

$$As = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2$$

$$= 402.29 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As perlu} \\ 402.29 \text{ mm}^2 &\geq 256.86 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka pada tumpuan kiri, lapangan serta tumpuan kanan balok induk melintang dipasang tulangan torsi sebesar 2D16.

b. Perhitungan Tulangan Lentur

1. Tumpuan

Momen lentur tumpuan kiri diperoleh dari kombinasi
1.2D + 1.6L + 0.3Ex + 1Ey

$$\begin{aligned} \text{Mu tumpuan kiri} &= 18359.56 \text{ kg.m} \\ &= 183595600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= \frac{\text{Mu}}{\varphi} \\ &= \frac{183595600 \text{ Nmm}}{0.8} \\ &= 229494500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Garis netral dalam kondisi balance (Xb)

$$\begin{aligned} \text{Xb} &= \frac{600}{600+\text{fy}} \times d \\ &= \frac{600}{600+400} \times 437 \text{ mm} \\ &= 262.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum (Xmax)

$$\begin{aligned} \text{Xmax} &= 0.75 \times \text{Xb} \\ &= 0.75 \times 262.2 \text{ mm} \\ &= 196.65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum (Xmin)

$$\begin{aligned} \text{Xmin} &= d' \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (X)

$$\begin{aligned} X &= 0.5 \times X_b \\ &= 0.5 \times 262.2 \text{ mm} \\ &= 131.1 \text{ mm, dipakai } 130 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tunggal (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{0.85 \times f_{c'} \times b \times \beta_1 \times X}{f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 0.85 \times 130 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}} \\ &= 2054.61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal (Mnc)

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X}{2} \right) \\ &= 2054.61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times \left(437 \text{ mm} - \frac{0.85 \times 130 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 313738852 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap (Mns)

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 229494500 \text{ Nmm} - 313738852 \text{ Nmm} \\ &= -84244352 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat perhitungan tulangan rangkap adalah apabila $M_{ns} > 0$

Kontrol : $M_{ns} > 0$; $-84244352 \text{ Nmm} < 0$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga perhitungan penulangan menggunakan perhitungan tulangan lentur tunggal.

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0.85 \times 25 \text{ Mpa}} \\ &= 18.82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} \\ &= 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0.85 \times 0.85 \times \frac{25 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \times \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \\ &= 0.027\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \times 0,027 \\ &= 0.0203\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{229494500 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (437 \text{ mm})^2} \\ &= 3.43 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.82} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.82 \times 3.43 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0.0094\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &\leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\ 0.0035 &\leq 0.0094 \leq 0.0203 \text{ (**memenuhi**)} \\ \text{maka digunakan } \rho_{\text{perlu}} &= 0,0094\end{aligned}$$

Tulangan lentur tarik perlu

$$\begin{aligned}A_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}} \times b \times d) + \frac{Al}{4} \\ &= (0.0094 \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm}) + 128.43 \text{ mm}^2 \\ &= 1569.03 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan tarik 5D22

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned} As &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 1901.43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

As pasang \geq As perlu
 $1901.43 \text{ mm}^2 \geq 1569.03 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol jarak spasi tulangan (s)

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - (2 \times \text{cover}) - (2 \times \text{Øsengkang}) - n \cdot \text{tul} \times D \text{lentur}}{n \cdot \text{tul} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (5 \times 22 \text{ mm})}{5 - 1} \\ &= 34 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$s \geq s_{\min}$
 $34 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$, **maka menggunakan tulangan 1 lapis**

Tulangan lentur tekan (As')

Tulangan lentur tekan diambil sebesar 30% dari tulangan lentur tarik, sehingga kebutuhan tulangan lentur tekan adalah :

$$\begin{aligned} As'_{\text{perlu}} &= 30\% \cdot As + \frac{Al}{4} \\ &= (30\% \times 1569.03 \text{ mm}^2) + 128.43 \text{ mm}^2 \\ &= 599.14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan tekan 2D22

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned} As &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 760.57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

As pasang \geq As perlu
 $760.57 \text{ mm}^2 \geq 599.14 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol jarak spasi tulangan (s)

$$\begin{aligned}s &= \frac{b - (2 \times \text{cover}) - (2 \times \emptyset_{\text{sengkang}}) - n \cdot \text{tul} \times D_{\text{lentur}}}{n \cdot \text{tul} - 1} \\&= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (2 \times 22 \text{ mm})}{2 - 1} \\&= 202 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

$$s \geq s_{\min}$$

202 mm \geq 25 mm, **maka menggunakan tulangan 1 lapis**

➤ Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga momen negatif pada muka joint. Baik kekuatan positif maupun kekuatan negatif pada sembarang penampang tidak boleh kurang dari seperlima momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1*)

1. Momen lentur tumpuan (+) $\geq \frac{1}{3}$ Momen lentur tumpuan(-)
pengecekan diatas dilakukan dengan pengecekan tulangan yang terpasang

$$As_{\text{pasang}} = 5D22 = 1901.43 \text{ mm}^2$$

$$As'_{\text{pasang}} = 2D22 = 760.57 \text{ mm}^2$$

$$\text{Momen lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} \text{ Momen lentur tumpuan(-)}$$

$$760.57 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1901.43 \text{ mm}^2$$

$$760.265 \text{ mm}^2 \geq 633.81 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

2. Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned}a &= \frac{As \times f_y}{0.85 \times f_{c'} \times b} \\&= \frac{1901.43 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0.85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\&= 102.26 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \times f_{c'} \times b \times a \\&= 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 102,26 \text{ mm} \\&= 760571,43 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' \text{ pasang} \times f_y \\&= 599,14 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\&= 239656,52 \text{ N}\end{aligned}$$

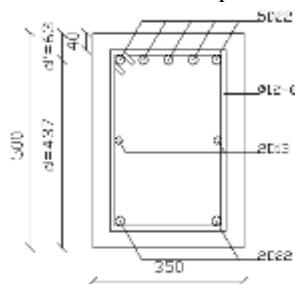
$$\begin{aligned}M_n \text{ pasang} &= C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' \times (d - d') \\&= 760571,43 \text{ N} \times \left(437 \text{ mm} - \frac{102,26 \text{ mm}}{2} \right) + \\&\quad 239656,52 \text{ N} \times (437 \text{ mm} - 63 \text{ mm}) \\&= 383112585,73 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}M_n \text{ pasang} &> M_n \text{ perlu} \\383112585,73 \text{ Nmm} &> 229494500 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Maka, pada tumpuan kiri balok induk melintang (35/50) dipasang tulangan sebagai berikut :

- Tulangan tarik = 5D22 Lapis 1
- Tulangan tekan = 2D22 Lapis 1



Gambar 4.34 tulangan lentur tumpuan kiri B.I Mel

2. Lapangan

Momen lentur lapangan diperoleh dari kombinasi
1.2D + 1.6L + 0.3Ex + 1Ey

$$\begin{aligned}
 Mu &= 6861.07 \text{ kg.m} \\
 &= 68610700 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{68610700 \text{ Nmm}}{0.8} \\
 &= 85763375 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Garis netral dalam kondisi balance (Xb)

$$\begin{aligned}
 Xb &= \frac{600}{600+fy} \times d \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 437 \text{ mm} \\
 &= 262.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum (Xmax)

$$\begin{aligned}
 Xmax &= 0.75 \times Xb \\
 &= 0.75 \times 262.2 \text{ mm} \\
 &= 196.65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum (Xmin)

$$\begin{aligned}
 Xmin &= d' \\
 &= 63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (X)

$$\begin{aligned}
 X &= 0.5 \times Xb \\
 &= 0.5 \times 262.2 \text{ mm} \\
 &= 131.1 \text{ mm, dipakai } 130 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tunggal (Asc)

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{0,85 \times fc' \times b \times \beta_1 \times X}{fy} \\
 &= \frac{0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 130 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}} \\
 &= 2054,61 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal (Mnc)

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X}{2} \right) \\
 &= 2054.61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times \left(437 \text{ mm} - \frac{0.85 \times 130 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 313738851.6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan rangkap (Mns)

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 85763375 \text{ Nmm} - 313738851.6 \text{ Nmm} \\
 &= -227975476.56 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat perhitungan tulangan rangkap adalah apabila $M_{ns} > 0$

Kontrol : $M_{ns} > 0 ; -227975476.56 \text{ Nmm} < 0$,

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga perhitungan penulangan menggunakan perhitungan tulangan lentur tunggal.

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'} / 400 \text{ Mpa}} \\
 &= \frac{0.85 \times 25 \text{ Mpa}}{0.85 \times 25 \text{ Mpa}} \\
 &= 18.82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1.4}{f_y} \\
 &= \frac{1.4}{400 \text{ Mpa}} \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0.85 \times 0.85 \times \frac{25 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \times \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \\
 &= 0.027
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \times 0.027 \\ &= 0.0203\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{85763375 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (437 \text{ mm})^2} \\ &= 1.28 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{18,82} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 1,28 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}}\right) \\ &= 0.0033\end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0.0035 > 0.0033 \leq 0.0203$ (tidak memenuhi)
 Maka ρ_{perlu} harus dinaikkan sebesar 30% sehingga diperoleh
 $1.3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1.3 \times 0.0033 = 0.0043$
 ρ_{perlu} pakai diambil dari nilai terbesar antara ρ_{\min} dan
 $1.3\rho_{\text{perlu}}$.

maka digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0.0043$

Tulangan lentur tarik perlu

$$\begin{aligned}A_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}} \times b \times d) + \frac{Al}{4} \\ &= (0,0043 \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm}) + 128,431 \text{ mm}^2 \\ &= 786,77 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan tarik 3D22

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned}A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 1140,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

$$\text{As pasang} \geq \text{As perlu}$$
$$1140,86 \text{ mm}^2 \geq 786,77 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan (s)

$$s = \frac{b - (2 \times \text{cover}) - (2 \times \emptyset_{\text{sengkang}}) - n_{\text{tul}} \times D_{\text{lentur}}}{n_{\text{tul}} - 1}$$
$$= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (3 \times 22 \text{ mm})}{3 - 1}$$
$$= 90 \text{ mm}$$

Syarat :

$$s \geq s_{\min}$$
$$90 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}, \text{ maka menggunakan tulangan 1 lapis}$$

Tulangan lentur tekan (As')

Tulangan lentur tekan diambil sebesar 30% dari tulangan lentur tarik, sehingga kebutuhan tulangan lentur tekan adalah :

$$\text{As}'_{\text{perlu}} = 30\% \text{ As} + \frac{Al}{4}$$
$$= (30\% \times 786,77 \text{ mm}^2) + 128,431 \text{ mm}^2$$
$$= 364,46 \text{ mm}^2$$

Direncanakan menggunakan tulangan tekan 2D22

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\text{As} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$
$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$$
$$= 760,26 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$\text{As pasang} \geq \text{As perlu}$$
$$760,26 \text{ mm}^2 \geq 364,46 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan (s)

$$s = \frac{b - (2 \times \text{cover}) - (2 \times \emptyset_{\text{sengkang}}) - n_{\text{tul}} \times D_{\text{lentur}}}{n_{\text{tul}} - 1}$$
$$= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (2 \times 22 \text{ mm})}{2 - 1}$$
$$= 202 \text{ mm}$$

Syarat :

$$s \geq s_{min}$$

202 mm \geq 25 mm, **maka menggunakan tulangan 1 lapis**

➤ **Cek syarat SRPM untuk kekuatan lentur balok**

Momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga momen negatif pada muka joint. Baik kekuatan positif maupun kekuatan negatif pada sembarang penampang tidak boleh kurang dari seperlima momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint (**SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1**).

1. Momen lentur tumpuan(+) $\geq \frac{1}{3}$ Momen lentur tumpuan(-) pengecekan di atas dilakukan dengan pengecekan tulangan yang terpasang

$$As \text{ pasang} = 3D22 = 1140,86 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ pasang} = 2D22 = 760,26 \text{ mm}^2$$

$$\text{Momen lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} \text{ Momen lentur tumpuan}(-)$$

$$760,26 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1140,86 \text{ mm}^2$$

$$760,26 \text{ mm}^2 \geq 380,29 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

2. Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1140,86 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 61,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 61,36 \text{ mm} \\ &= 456342,86 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= As' \text{ pasang} \times f_y \\ &= 364,46 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ &= 145785,38 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn_{\text{pasang}} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs' \times (d - d') \\
 &= 456342,86 \text{ N} \times \left(437 \text{ mm} - \frac{61,36 \text{ mm}}{2} \right) + \\
 &\quad 145785,38 \text{ N} \times (437 \text{ mm} - 63 \text{ mm}) \\
 &= 239945642 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

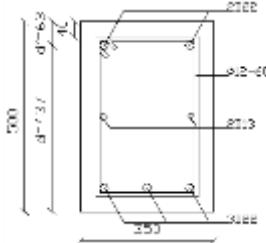
Syarat :

$$Mn_{\text{pasang}} > Mn_{\text{perlu}}$$

$$239945642 \text{ Nmm} > 85763375 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka, pada lapangan balok induk melintang (35/50) dipasang tulangan sebagai berikut :

- a. Tulangan tarik = 3D22 Lapis 1
- b. Tulangan tekan = 2D22 Lapis 1



Gambar 4.35 tulangan lentur lapangan B.I Mel.

3. Tumpuan Kanan

Momen lentur tumpuan kanan diperoleh dari kombinasi $1.2D + 1.6L + 0.5Lr$

$$\begin{aligned}
 Mu &= 8051,09 \text{ kg.m} \\
 &= 80510900 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{80510900 \text{ Nmm}}{0.8} \\
 &= 100638625 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Garis netral dalam kondisi balance (Xb)

$$\begin{aligned}
 Xb' &= \frac{600}{600+fy} \times d \\
 &= \frac{600}{600+400} \times 437 \text{ mm} \\
 &= 262,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum (X_{max})

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 262,2 \text{ mm} \\ &= 196,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum (X_{min})

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (X)

$$\begin{aligned} X &= 0,5 \times X_b \\ &= 0,5 \times 262,2 \text{ mm} \\ &= 131,1 \text{ mm, dipakai } 130 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tunggal (Asc)

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times b \times \beta_1 \times X}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 130 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}} \\ &= 2054,61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal (M_{nc})

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X}{2} \right) \\ &= 2054,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times \left(437 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 130 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 313738851,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal Tulangan rangkap (M_{ns})

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 100638625 \text{ Nmm} - 313738851,6 \text{ Nmm} \\ &= -213100226,56 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat perhitungan tulangan rangkap adalah apabila M_{ns} > 0

Kontrol : M_{ns} > 0 ; -213100226,56 Nmm < 0 ,

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Sehingga perhitungan penulangan menggunakan perhitungan tulangan lentur tunggal.

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \times f_{c'} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0.85 \times 25 \text{ Mpa}} \\ &= 18,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{25 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \times \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,027 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{100638625 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (437 \text{ mm})^2} \\ &= 1,51 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 1,51 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0,0039 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &\leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\ 0,0035 &\leq 0,0039 \leq 0,0203 \text{ (memenuhi)} \\ \text{maka digunakan } \rho_{\text{perlu}} &= 0,0039 \end{aligned}$$

Tulangan lentur tarik perlu

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= (\rho_{perlu} \times b \times d) + \frac{Al}{4} \\ &= (0,0039 \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm}) + 128,431 \text{ mm}^2 \\ &= 726,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan tarik 2D22

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned} As &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} As_{pasang} &\geq As_{perlu} \\ 760,57 \text{ mm}^2 &\geq 726,15 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan (s)

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - (2 \times \text{cover}) - (2 \times \emptyset_{\text{sengkang}}) - n_{\text{tul}} \times D_{\text{lentur}}}{n_{\text{tul}} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 12 \text{ mm}) - (2 \times 22 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 202 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} s &\geq s_{min} \\ 202 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm}, \text{ **maka menggunakan tulangan 1 lapis**} \end{aligned}$$

Tulangan lentur tekan (As')

Tulangan lentur tekan diambil sebesar 30% dari tulangan lentur tarik, sehingga kebutuhan tulangan lentur tekan adalah

$$\begin{aligned} As'_{perlu} &= 30\% As + \frac{Al}{4} \\ &= (30\% \times 726,15 \text{ mm}^2) + 128,431 \text{ mm}^2 \\ &= 346,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan Tulangan tekan 2D22

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned} As &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

As pasang \geq As perlu
 $760,26 \text{ mm}^2 \geq 346,28 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

Kontrol jarak spasi Tulangan (s)

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - (2 \times \text{cover}) - (2 \times \text{Øsengkang}) - n \cdot \text{tul} \times \text{Dlentur}}{n \cdot \text{tul} - 1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 12\text{mm}) - (2 \times 22\text{mm})}{2 - 1} \\ &= 202 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$s \geq s_{\min}$
 $202 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$, **maka menggunakan tulangan 1 lapis**

➤ Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga momen negatif pada muka joint. Baik kekuatan positif maupun kekuatan negatif pada sembarang penampang tidak boleh kurang dari seperlima momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint (**SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1**)

1. Momen lentur tumpuan(+) $\geq \frac{1}{3}$ Momen lentur tumpuan(-)

Pengecekan di atas dilakukan dengan pengecekan Tulangan yang terpasang

As pasang = $2D22 = 760,26 \text{ mm}^2$

As' pasang = $2D22 = 760,26 \text{ mm}^2$

Momen lentur tumpuan(+) $\geq \frac{1}{3}$ Momen lentur tumpuan(-)

$760,26 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 760,26 \text{ mm}^2$

$760,26 \text{ mm}^2 \geq 253,52 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)

2. Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \\ &= \frac{760,26 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 40,90 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tekan beton

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times fc' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 40,90 \text{ mm} \\ &= 304228,57 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As' \text{ pasang} \times fy \\ &= 364,28 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ &= 138510,56 \text{ N} \end{aligned}$$

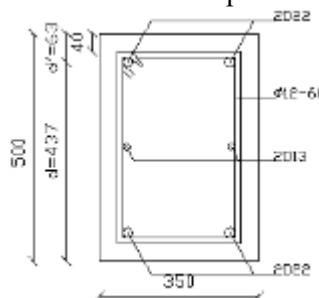
$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs' \times (d-d') \\ &= 138510,56 \text{ N} \times \left(437 \text{ mm} - \frac{40,90 \text{ mm}}{2} \right) + \\ &\quad 138510,56 \text{ N} \times (437 \text{ mm} - 63 \text{ mm}) \\ &= 178528650 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &> Mn \text{ perlu} \\ 178528650 \text{ Nmm} &> 100638625 \text{ Nmm} \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Maka, pada tumpuan kanan balok induk melintang (35/50) dipasang tulangan sebagai berikut :

- a. Tulangan tarik = 2D22 Lapis 1
- b. Tulangan tekan = 2D22 Lapis 1



Gambar 4.36 tulangan lentur tumpuan kanan B.I Mel.

c. Perhitungan Tulangan Geser

Perhitungan geser dilakukan berdasarkan pada perhitungan penulangan lentur. Sehingga diperoleh data – data sebagai berikut :

1. Tumpuan Kiri

$$As \text{ pasang} = 1901,43 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ pasang} = 760,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \\ &= \frac{1901,43 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 102,26 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal kiri (Mnl)

$$Mnl = As \text{ pasang} \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1901,43 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times \left(437 - \frac{102,26 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 293481048,9 \text{ Nmm}$$

2. Tumpuan Kanan

$$As \text{ pasang} = 1901,43 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ pasang} = 760,57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As' \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \\ &= \frac{760,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 40,90 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal kanan (Mnr)

$$Mnr = As' \text{ pasang} \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 760,57 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times \left(437 - \frac{40,90}{2} \right)$$

$$= 126725699,2 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan kombinasi 1.2D + 1L diperoleh
 Vu muka kolom = 8977,52 kg
 = 89775,2 N

Gaya geser pada ujung perlakuan diperoleh berdasarkan
SNI 03-2847-2013 gambar S21.3.3

$$\begin{aligned} Vu_1 &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L}{2} \\ &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\text{Lbalok} - \text{bkolom}} + V_u \\ &= \frac{293481048,9 \text{ Nmm} + 126725699,2 \text{ Nmm}}{5000 \text{ mm} - 500\text{mm}} + 89775,2 \text{ N} \\ &= 183154,48 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek syarat kuat tekan beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c} \leq 8,3$ (*SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2*)

$$\sqrt{25} \leq 8,3 \text{ Mpa}$$

5 ≤ 8,3 Mpa (**memenuhi**)

Kuat geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm} \\ &= 127458,33 \text{ N} \end{aligned}$$

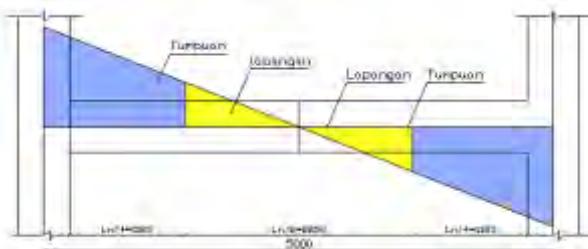
$$\begin{aligned} V_s \min &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm} \\ &= 50983,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \max &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 350 \text{ mm} \times 437 \text{ mm} \\ &= 254916,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{smax} &= 2 \times V_s \max \\ &= 2 \times 254916,67 \text{ N} \\ &= 509833,33 \text{ N} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah geser balok dibagi menjadi dua bagian. Wilayah tumpuan sebesar seperempat bentang balok sedangkan wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan hingga ke tengah bentang balok.



Gambar 4.37 pembagian wilayah geser pada balok

Penulangan Geser Balok

1. Tumpuan

$$V_{u1} = 183154,48 \text{ N}$$

Cek kondisi geser

a. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$183154,48 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 127458,33 \text{ N}$$

$$183154,48 \text{ N} > 47796,88 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

b. Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$0,5 \times 0,75 \times 127458,3 \text{ N} \leq 183154,48 \text{ N} \leq 0,75 \times 127458,3 \text{ N}$$

$$47796,8 \text{ N} < 183154,48 \text{ N} > 95593,75 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

c. Kondisi 3

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times (V_c + V_s \min)$$

$$0,75 \times 127458,3 \text{ N} \leq 183154,48 \text{ N} \leq 0,75 \times (127458,3 \text{ N} + 50983,33 \text{ N})$$

$$95593,7 \text{ N} < 183154,48 \text{ N} > 133831,3 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

d. Kondisi 4

$$\begin{aligned}\varphi (V_c + V_s \text{ min}) &\leq V_u \leq \varphi (V_c + V_s \text{ max}) \\ 0,75 \times (127458,3 \text{ N} + 50983,33 \text{ N}) &\leq 183154,48 \text{ N} \leq \\ 0,75 \times (127458,3 \text{ N} + 254916,67 \text{ N}) & \\ 133831,3 \text{ N} &< 183154,48 \text{ N} < 286781,3 \text{ N} (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

Sehingga perencanaan tulangan geser balok pada daerah tumpuan berdasarkan pada kondisi geser 4.

$$\begin{aligned}V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u - \varphi V_c}{\varphi} \\ &= \frac{2183154,48 \text{ N} - 0,75 \times 127458,3 \text{ N}}{0,75} \\ &= 116747,6 \text{ N}\end{aligned}$$

Jarak (s) rencana tulangan geser adalah 75 mm. Maka, tulangan geser perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_v \text{ perlu} &= \frac{V_s \text{ perlu} \times s}{f_y v \times d} \\ &= \frac{116747,6 \text{ N} \times 75 \text{ mm}}{240 \text{ MPa} \times 437 \text{ mm}} \\ &= 83,487 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Rencana digunakan tulangan geser 2 kaki Ø8-60

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned}A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 100,53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}A_v \text{ pasang} &\geq A_v \text{ perlu} \\ 100,53 \text{ mm}^2 &\geq 83,487 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan (s)

$$\begin{aligned}1. \quad S_{\text{max}} &\leq \frac{d}{2} \\ 60 \text{ mm} &\leq \frac{437 \text{ mm}}{2} \\ 60 \text{ mm} &\leq 218,5 \text{ mm} (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

2. $S_{max} \leq 600 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm } (\text{memenuhi})$

➤ **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok diatur dalam *SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2* sebagai berikut :

- a. Spakai $\leq \frac{d}{4}$
 $60 \text{ mm} \leq \frac{437}{4}$
 $60 \text{ mm} \leq 109,25 \text{ mm } (\text{memenuhi})$
- b. Spakai $\leq 8 \times D_{lentur}$
 $60 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm } (\text{memenuhi})$
- c. Spakai $\leq 24 \times \emptyset_{sengkang}$
 $60 \text{ mm} \leq 24 \times 12 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} \leq 288 \text{ mm } (\text{memenuhi})$
- d. Spakai $\leq 300 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm } (\text{memenuhi})$

Sehingga penulangan geser pada tumpuan balok induk melintang (35/50) adalah sengkang 2 kaki $\emptyset 12 - 60 \text{ mm}$

2. Lapangan

V_u pada daerah lapangan balok (V_{u2}) diperoleh dari perbandingan segitiga dengan persamaan sebagai berikut

$$\frac{V_{u2}}{0,5Ln - 2h_{balok}} = \frac{V_{u1}}{0,5Ln}$$

$$\begin{aligned} V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (0,5Ln - 2h_{balok})}{0,5Ln} \\ &= \frac{183154,48 \text{ N} \times (0,5(5000\text{mm} - 500\text{mm}) - 2(500\text{mm}))}{0,5(5000\text{mm} - 500\text{mm})} \\ &= 101752,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek kondisi geser

a. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$$

$$101752,5 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 127458,3 \text{ N}$$

$$101752,5 \text{ N} > 47796,88 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

b. Kondisi 2

$$0,5 \times \varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi \times V_c$$

$$0,5 \times 0,75 \times 127458,3 \text{ N} \leq 101752,5 \text{ N} \leq 0,75 \times 128706,2 \text{ N}$$

$$47796,88 \text{ N} < 101752,5 \text{ N} > 95593,33 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

c. Kondisi 3

$$\varphi \times V_c \leq V_u \leq \varphi (V_c + V_{s \min})$$

$$0,75 \times 128706,2 \text{ N} \leq 101752,5 \text{ N} \leq 0,75 \times (128706,2 \text{ N})$$

$$+ 50983,33 \text{ N})$$

$$65003,7 \text{ N} < 101752,5 \text{ N} < 133831,3 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga perencanaan tulangan geser balok pada daerah lapangan berdasarkan pada kondisi geser 3.

Jarak (s) rencana tulangan geser adalah 100 mm. Maka, Tulangan geser perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_v \min &= \frac{b \times s}{3 \times f_y v} \\ &= \frac{350 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}}{3 \times 240 \text{ MPa}} \\ &= 48,611 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rencana digunakan tulangan geser 2 kaki Ø8-100

Cek kecukupan tulangan pakai

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2$$

$$= 100,53 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_v \text{ pasang} \geq A_v \text{ perlu}$$

$$100,53 \text{ mm}^2 \geq 48,611 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi Tulangan (s)

1. $S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2}$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{437 \text{ mm}}{2}$$

100 mm ≤ 218,5 mm (**memenuhi**)

2. $S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$

100 mm ≤ 600 mm (**memenuhi**)

➤ **Cek syarat SRPM untuk kekuatan geser balok**

Persyaratan SRPM untuk kekuatan geser balok diatur dalam **SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2** sebagai berikut :

a. Spakai $\leq \frac{d}{4}$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{437}{4}$$

100 mm ≤ 109,25 mm (**memenuhi**)

b. Spakai $\leq 8 \times D_{\text{lentur}}$

$$100 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

100 mm ≤ 176 mm (**memenuhi**)

c. Spakai $\leq 24 \times \emptyset_{\text{sengkang}}$

$$100 \text{ mm} \leq 24 \times 12 \text{ mm}$$

100 mm ≤ 288 mm (**memenuhi**)

d. Spakai $\leq 300 \text{ mm}$

100 mm ≤ 300 mm (**memenuhi**)

Sehingga penulangan geser pada lapangan balok induk melintang (35/50) adalah sengkang 2 kaki $\emptyset 8 - 100 \text{ mm}$

d. Panjang Penyaluran Balok

Panjang penyaluran (ld) untuk kondisi tarik sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.2**

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1,5$$

$$\lambda = 1$$

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} ld &= \left(\frac{fy \times \psi t \times \psi e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \right) \times db \\ &= \left(\frac{240 \text{ Mpa} \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \times \sqrt{25}} \right) \times 22 \text{ mm} \\ &= 1552,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $ld > 300 \text{ mm}$

$1552,94 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned} \text{Reduksi } ld &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \times ld \\ &= \frac{1569,03 \text{ mm}}{1901,4286 \text{ mm}} \times 1552,94 \text{ mm} \\ &= 1281,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, ld pakai untuk kondisi tarik = 1300 mm

Panjang kait dalam kondisi tarik

$$\begin{aligned} ld &= \left(\frac{0,24 \times \psi e \times fy}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \right) / db \\ &= \left(\frac{0,24 \text{ Mpa} \times 1,5 \times 400 \text{ M}}{1 \times \sqrt{25}} \right) / 22 \text{ mm} \\ &= 1,31 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $ld > 150 \text{ mm}$

$1,31 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$ (tidak memenuhi)

Maka dipakai $ld = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Untuk kait bengkokan } 90^\circ &= 12 \times db \\ &= 12 \times 22 \text{ mm} \\ &= 264 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk kait bengkokan } 180^\circ &= 2 \times (4 \times db) \\ &= 2 \times (4 \times 22 \text{ mm}) \\ &= 176 \text{ mm} \approx 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang kait dalam kondisi tekan

$$\begin{aligned} \text{a. } ld &= \left(\frac{0,24 \times \psi e \times fy}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \right) \times db \\ &= \left(\frac{0,24 \text{ Mpa} \times 1,5 \times 400 \text{ M}}{1 \times \sqrt{25}} \right) \times 22 \text{ mm} \\ &= 633,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $ld > 200$ mm
 $633,6 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$ (**memenuhi**)

b. $ld = (0,043 \times fy) \times db$
 $= (0,043 \times 400 \text{ Mpa}) \times 22 \text{ mm}$
 $= 378,4 \text{ mm}$

Panjang penyaluran (ld) dalam kondisi tarik diambil dari nilai terbesar kedua persamaan di atas, sehingga panjang penyaluran (ld) dalam kondisi tarik = $633,6 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm}$

4.7.2 Perhitungan Kolom

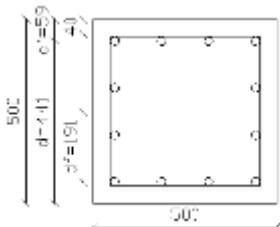
Perhitungan penulangan kolom lantai 1 (50/50) berdasarkan pada hasil analisis dari output SAP 2000. Berikut merupakan data perencanaan kolom lantai 1 sesuai dengan perhitungan SRPMM.

➤ Data perencanaan penulangan kolom :

Tipe kolom	: K1
b kolom	: 500 mm
h kolom	: 500 mm
L kolom	: 3250 mm
L BI MEM	: 4500 mm
L BI MEL atas	: 5075 mm
L BI MEL bawah	: 4600 mm
Kuat tekan beton (fc')	: 25 Mpa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: 23500 Mpa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (Dlentur)	: 22 mm
Diameter tulangan geser (\varnothing geser)	: 10 mm
Jarak spasi minimum antar tulangan	: 40 mm
(SNI 2847:2013 pasal 7.6.3)	
Faktor β_1	: 0.85
(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)	

- Tebal selimut beton (cover) : 40 mm
(SNI 2847:2013 pasal 7.7.1)
 Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0.65
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2(b))
 Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0.75
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)

Maka, tinggi efektif balok dihitung sebagai berikut :



Gambar 4.38 dimensi kolom 50/50

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} \text{Ølentur} \\
 &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 22 \text{ mm}) \\
 &= 439 \text{ mm} \\
 d' &= h - d \\
 &= 500 \text{ mm} - 439 \text{ mm} \\
 &= 61 \text{ mm} \\
 d'' &= h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} \text{Ølentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (1/2 \times 22 \text{ mm}) - (1/2 \times \\
 &\quad 500 \text{ mm}) = 189 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal ekw} &= \frac{\text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{lentur}}^2}{b} \\
 &= \frac{4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ mm})^2}{500 \text{ mm}} \\
 &= 3,04 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil Output dari analisa SAP 2000

Analisa dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 dengan menggunakan beberapa kombinasi pembebanan

yang terdiri atas kombinasi beban mati, beban hidup, beban angin, serta beban gempa, pada perhitungan penulangan kolom, hasil output SAP 2000 yang berupa momen dan gaya aksial pada arah X dan arah Y diambil dari kombinasi beban mati saja serta kombinasi semua pembebanan yaitu kombinasi dari beban hidup, beban mati, beban angin serta beban gempa. Berikut merupakan hasil analisa yang didapatkan :

- Output SAP diagram gaya aksial akibat beban mati saja
Diperoleh dari kombinasi 1,4D
 $P_u = 86350,47 \text{ kg} = 863504,7 \text{ N}$
- Output SAP diagram gaya aksial akibat semua kombinasi yang ada.
Diperoleh dari kombinasi $1,2D + 1,6L + 0,3Ex + 1Ey$
 $P_u = 87906,25 \text{ kg} = 879062,5 \text{ N}$

Output SAP diagram lentur arah X

- Output SAP diagram lentur akibat beban mati saja
 - a. Pada ujung bawah kolom diperoleh dari 1,4D
 $M_{1ns} = 1790,73 \text{ kg.m} = 17907300 \text{ Nmm}$
 - b. Pada ujung atas kolom diperoleh dari 1,4D
 $M_{2ns} = 2771,16 \text{ kg.m} = 27711600 \text{ Nmm}$
- Output SAP diagram lentur akibat semua kombinasi
 - a. Pada ujung bawah kolom diperoleh dari $1,2D + 1,6L + 1Ex + 0,3Ey$
 $M_{1s} = 20643,91 \text{ kg.m} = 206439100 \text{ Nmm}$
 - b. Pada ujung atas kolom diperoleh dari $1,2D + 1,6L + 0,3Ex + 1Ey$
 $M_{2s} = 4729,21 \text{ kg.m} = 47292100 \text{ Nmm}$

Output SAP diagram lentur arah Y

- Output SAP diagram lentur akibat beban mati saja
 - a. Pada ujung bawah kolom diperoleh dari 1,4D
 $M_{1ns} = 109,33 \text{ kg.m} = 1093300 \text{ Nmm}$

- b. Pada ujung atas kolom diperoleh dari 1,4D
 $M_{2ns} = 992,34 \text{ kg.m} = 9923400 \text{ Nmm}$
- Output SAP diagram lentur akibat semua kombinasi
 - a. Pada ujung bawah kolom diperoleh dari
 $1,2D + 1,6L + 0,3Ex + 1Ey$
 $M_{1s} = 15919,48 \text{ kg.m} = 159194800 \text{ Nmm}$
 - b. Pada ujung atas kolom diperoleh dari
 $1,2D + 1,6L + 0,3Ex + 1Ey$
 $M_{2s} = 7679,13 \text{ kg.m} = 76791300 \text{ Nmm}$

a. Kelangsingan Kolom

Kelangsingan kolom lantai 1 sama dengan kelangsingan kolom lantai 2. Pada Perhitungan kelangsingan kolom, β_d merupakan rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial total terfaktor maksimum

$$\begin{aligned}\beta_d &= \frac{\text{Pu akibat beban mati saja}}{\text{Pu akibat semua kombinasi}} \\ &= \frac{863504,7 \text{ N}}{879062,5 \text{ N}} \\ &= 0,98\end{aligned}$$

Momen inersia kolom (Ig)

$$\begin{aligned}I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3 \\ &= 5208333333 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Asumsikan kolom bertulangan 2% dan terbagi rata ke empat sisinya.

Momen inersia baja tulangan (Is)

$$\begin{aligned}I_s &= 2 \times \left(\left(\frac{1}{4} \times \text{prosestase tulangan} \times b \times \frac{1}{2}h \right) + \left(\frac{1}{12} \times \text{tebal ekuivalen} \times (h \text{ kolom} - (2 \times \text{cover}))^3 \right) \right) \\ &= 2 \times \left(\left(\frac{1}{4} \times 2\% \times 500 \text{ mm} \times \frac{500 \text{ mm}}{2} \right) + \left(\frac{1}{12} \times 3,042 \text{ mm} \times (500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}))^3 \right) \right) \\ &= 193816144 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Kekakuan lentur kolom (EI)

Nilai EI dihitung sesuai dengan ketentuan **SNI 2847:2013 pasal 10.10.6.1**. Nilai EI yang digunakan adalah nilai EI terbesar dari kedua persamaan berikut :

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,2 \times Ec \times Ig + Es \times Is}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,2 \times 23500 \times 5208333333 + 200000 \times 193816144}{1 + 0,98} \\ &= 31903514690806 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 5208333333}{1 + 0,98} \\ &= 24697718914847,80 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan EI sebesar 31903514690806 Nmm²

Kekakuan lentur kolom (EI)

a. Balok atas memanjang

Momen inersia balok atas memanjang (Ig)

$$\begin{aligned} Ig &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 300 \text{ mm} \times (450 \text{ mm})^3 \\ &= 2278125000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,2 \times Ec \times Ig + Es \times Is}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,2 \times 23500 \times 2278125000 + 200000 \times 193816144}{1 + 0,98} \\ &= 24956046360059,30 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 2278125000}{1 + 0,98} \\ &= 10802782253354,40 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan EI sebesar 24956046360059,30 Nmm²

b. Balok atas melintang

Momen inersia balok atas melintang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3 \\ &= 3645833333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,2 \times E_c \times I_g + E_s \times I_s}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,2 \times 23500 \times 3645833333 + 200000 \times 193816144}{1 + 0,98} \\ &= 28198856853578,80 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 3645833333}{1 + 0,98} \\ &= 17288403240393,40 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan EI sebesar 28198856853578,80 Nmm²

c. Balok bawah memanjang

Momen inersia balok atas memanjang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 300 \text{ mm} \times (450 \text{ mm})^3 \\ &= 2278125000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,2 \times E_c \times I_g + E_s \times I_s}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,2 \times 23500 \times 2278125000 + 200000 \times 193816144}{1 + 0,98} \\ &= 24956046360059,30 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 2278125000}{1 + 0,98} \\ &= 10802782253354,40 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan EI sebesar 24956046360059,30 Nmm²

d. Balok bawah melintang

Momen inersia balok atas melintang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3 \\ &= 3645833333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,2 \times Ec \times Ig + Es \times Is}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,2 \times 23500 \times 3645833333 + 200000 \times 193816144}{1 + 0,98} \\ &= 28198856853578,80 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 3645833333}{1 + 0,98} \\ &= 17288403240393,40 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

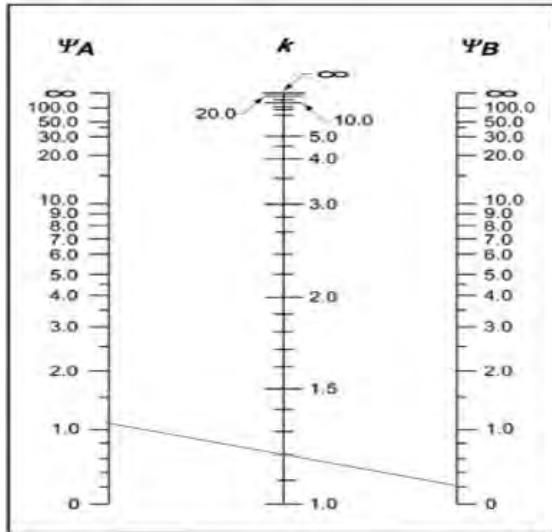
Maka digunakan EI sebesar 28198856853578,80 Nmm²

Rasio $\Sigma(\frac{EI}{L})$ kolom terhadap $\Sigma(\frac{EI}{L})$ balok dalam suatu bidang di salah satu ujung kolom (ψ)

$$\begin{aligned} \psi_{atas} &= \frac{\Sigma(\frac{EI}{L})\text{kolom}}{\Sigma(\frac{EI}{L})\text{balok}} \\ &= \frac{\frac{32131791743885 \text{ Nmm}^2}{3250 \text{ mm}} + \frac{32131791743885 \text{ Nmm}^2}{3250 \text{ mm}}}{\frac{25134612664580,60}{4500 \text{ mm}} + \frac{2840062619904,70}{5075 \text{ mm}} + \frac{2840062619904,70}{4600 \text{ mm}}} \\ &= 1,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_{bawah} &= \frac{\Sigma(\frac{EI}{L})\text{kolom}}{\Sigma(\frac{EI}{L})\text{balok}} \\ &= \frac{\frac{32131791743885 \text{ Nmm}^2}{3250 \text{ mm}}}{\frac{25134612664580,60}{4500 \text{ mm}} + \frac{2840062619904,70}{5075 \text{ mm}} + \frac{2840062619904,70}{4600 \text{ mm}}} \\ &= 0,57 \end{aligned}$$

Faktor panjang efektif (K) dengan menggunakan gambar di bawah ini (sumber gambar : *SNI 2847:2013 gambar S10.10.1.1*)



Gambar 4.39 dari gambar di atas diperoleh nilai K sebesar 1,2

Berdasarkan pada *SNI 10.10.1.2* untuk struktur tekan persegi, radius girasi (r) boleh diambil sebesar 0,3 kali dimensi keseluruhan dalam arah stabilitas yang ditinjau.

$$\begin{aligned} r &= 0,3 \times h \\ &= 0,3 \times 500 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kelangsungan (λ) kolom lantai 1

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{K \times L}{r} \\ &= \frac{1,2 \times 3250 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \\ &= 26 \end{aligned}$$

Pengaruh kelangsungan dapat diabaikan apabila $\lambda \leq 22$. Dari perhitungan diatas, diketahui bahwa $\lambda = 26 > 22$, maka pengaruh kelangsungan harus diperhitungkan.

P kritis (P_c) dihitung berdasarkan **SNI pasal 10.10.6 persamaan 10-12**

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{(K \times L)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times 31903514690806 \text{ Nmm}^2}{(1,2 \times 3250 \text{ mm})^2} \\ &= 20701845 \text{ N} \end{aligned}$$

Faktor pembesaran momen (δ_s) berdasarkan **SNI pasal 10.10.7.4** sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c}} \geq 1 \\ &= \frac{1}{1 - \frac{879062,5 \text{ N}}{0,75 \times 20701845 \text{ N}}} \geq 1 \\ &= 1,06 \geq 1 \end{aligned}$$

Maka digunakan faktor pembesaran momen (δ_s) sebesar 1,06

b. Pembesaran Momen

1. Pembesaran momen arah X

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s} \\ &= 17907300 \text{ Nmm} + 1,06 \times 206439100 \text{ Nmm} \\ &= 236735891,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s} \\ &= 27711600 \text{ Nmm} + 1,06 \times 47292100 \text{ Nmm} \\ &= 77841946,67 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka momen yang menentukan adalah 236735891,9 Nmm

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{M \text{ akibat pembesaran momen}}{\varphi} \\ &= \frac{236735891,9 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 364209064,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \frac{P_u \text{ maksimum}}{\varphi} \\
 &= \frac{879062,5 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 1352403,85 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= 15 + 0,03 \times h \\
 &= 15 + 0,03 \times 500 \text{ mm} \\
 &= 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{perlu}} &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= \frac{364209064,4 \text{ Nmm}}{1352403,85 \text{ N}} \\
 &= 269,30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan nilai e terbesar antara e_{\min} dan e_{perlu} , 269,30 mm

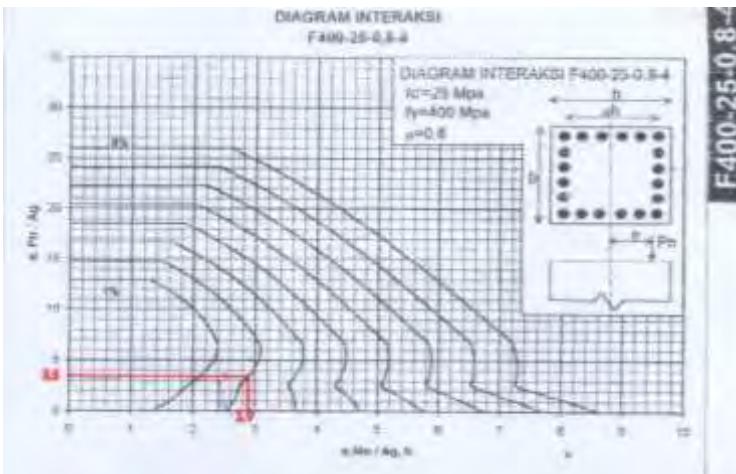
$$\begin{aligned}
 \frac{P_u}{b \times h} &= \frac{879062,5 \text{ N}}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \\
 &= 3,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{M_u}{b \times h^2} &= \frac{364209064,4 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2} \\
 &= 2,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu h &= b \text{ kolom} - 2 \times \text{cover} - 2 \times \text{Ø geser} - \text{D lentur} \\
 &= 500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 22 \text{ mm} \\
 &= 378 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\mu h}{h} &= \frac{378 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \\
 &= 0,756 \approx 0,8
 \end{aligned}$$

Lihat nilai ρ berdasarkan diagram interaksi berikut



Gambar 4.40 diagram interaksi rho 2% (1)

Dari diagram interaksi diperoleh nilai $\rho = 2\%$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 2\% \times 500 \text{ mm} \times 439 \text{ mm} \\ &= 4390 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan 12D22

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 4561,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\text{As pakai} > \text{As perlu}'$$

$$4561,59 \text{ mm}^2 > 4390 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} \text{As} &= \text{As}' = \frac{\text{As pakai}}{2} \\ &= \frac{4561,59 \text{ mm}^2}{2} \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Xb &= \frac{600}{600+f_y} \times d \\
 &= \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \times 439 \text{ mm} \\
 &= 263,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \beta_1 \times Xb \\
 &= 0,85 \times 263,4 \text{ mm} \\
 &= 223,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2 \times (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 25 \text{ Mpa}) \\
 &= 863851,59 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times Xb \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 500 \text{ mm} \times 263,4 \text{ mm} \\
 &= 2378831,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times f_y \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\
 &= 912318,51 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2378831,25 \text{ N} + 863851,59 \text{ N} - 912318,51 \text{ N} \\
 &= 2330364,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \times (d - d'' - \frac{ab}{2}) + Cs' (d - d'' - d') + (T \times d'') \\
 &= 2378831,25 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - \frac{223,89 \text{ mm}}{2}) \\
 &\quad + 863851,59 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) + \\
 &\quad (912318,51 \text{ N} \times 439 \text{ mm}) \\
 &= 664105695,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mb}{Pb} \\
 &= \frac{664105695,7 \text{ Nmm}}{2330364,33 \text{ N}} \\
 &= 284,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < eb$ (kondisi tekan menentukan)
 $e_{\min} < e_{\text{perlu}} > eb$ (kondisi tarik menentukan)

Kolom lantai 1 termasuk dalam kategori :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < eb$
 $30 \text{ mm} < 269,30 \text{ mm} < 284,98 \text{ mm}$,
maka kondisi tekan menentukan

Digunakan $X = 270 \text{ mm}$

Syarat $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ($f_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \left(\frac{d}{X} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{439 \text{ mm}}{270 \text{ mm}} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= 0,0019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{f_s}{E_s} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Syarat $\varepsilon_s < \varepsilon_y$; $0,0019 < 0,002$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2 \times (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 25 \text{ Mpa}) \\
 &= 863851,59 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 500 \text{ mm} \times 270 \text{ mm} \\
 &= 2438437,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times \left(\frac{d}{x} - 1\right) \times 600 \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2 \times \left(\frac{439}{270} - 1\right) \times 600 \\
 &= 856565,71 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2438437,5 \text{ N} + 863851,59 \text{ N} - 856565,71 \text{ N} \\
 &= 2445723,38 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat : $P > Pb$
 $2445723,38 \text{ N} > 2330364,33 \text{ N}$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned}
 Mn &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \times \left(d - d'' - \frac{\beta_1 \times X}{2}\right) + Cs' \left(d - d'' - d'\right) + (T \times d'') \\
 &= 2438437,5 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 270 \text{ mm}}{2}) + \\
 &\quad 863851,59 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) + (856565,71 \\
 &\quad \text{N} \times 439 \text{ mm}) \\
 &= 654957540,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat : $\phi Mn > Mu$
 $0,65 \times 654957540,6 \text{ Nmm} > 364209064,4 \text{ Nmm}$
 $425722401,4 \text{ Nmm} > 364209064,4 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Tulangan dibagi merata ke empat sisinya. Sehingga masing – masing sisi dipasang tulangan 4D22

2. Pembesaran momen arah Y

$$\begin{aligned}
 M1 &= M1ns + \delta s \times M1s \\
 &= 1093300 \text{ Nmm} + 1,06 \times 159194800 \text{ Nmm} \\
 &= 169842213,9 \text{ Nmm} \\
 M2 &= M2ns + \delta s \times M2s \\
 &= 9923400 \text{ Nmm} + 1,06 \times 76791300 \text{ Nmm} \\
 &= 91323348,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka momen yang menentukan adalah 169842213,9 Nmm

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{M \text{ akibat pembesaran momen}}{\varphi} \\ &= \frac{169842213,9 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 261295713,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pu &= \frac{Pu \text{ maksimum}}{\varphi} \\ &= \frac{879062,5 \text{ N}}{0,65} \\ &= 1352403,85 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\min} &= 15 + 0,03 \times h \\ &= 15 + 0,03 \times 500 \text{ mm} \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= \frac{Mu}{Pu} \\ &= \frac{261295713,7 \text{ Nmm}}{1352403,85 \text{ N}} \\ &= 193,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan nilai e terbesar antara e_{\min} dan e_{perlu} , 193,21 mm

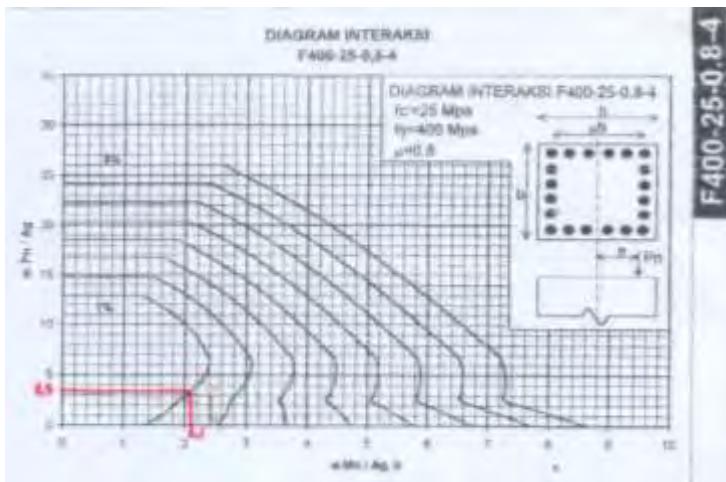
$$\begin{aligned} \frac{Pu}{b \times h} &= \frac{879062,5 \text{ N}}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \\ &= 3,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{Mu}{b \times h^2} &= \frac{261295713,7 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2} \\ &= 2,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu h &= b \text{ kolom} - 2 \times \text{cover} - 2 \times \emptyset \text{ geser} - D \text{lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 22 \text{ mm} \\ &= 378 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\mu h}{h} &= \frac{378 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \\ &= 0,756 \approx 0,8 \end{aligned}$$

Lihat nilai ρ berdasarkan diagram interaksi berikut



Gambar 4.41 diagram interaksi rho 2% (2)

Dari diagram interaksi diperoleh nilai $\rho = 2\%$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 2\% \times 500 \text{ mm} \times 439 \text{ mm} \\ &= 4390 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan Tulangan 12D22

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 12 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 4561,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &> \text{As perlu}' \\ 4561,59 \text{ mm}^2 &> 4390 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As} &= \text{As}' \\ &= \frac{\text{As pakai}}{2} \\ &= \frac{4561,59 \text{ mm}^2}{2} \\ &= 2280,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Xb &= \frac{600}{600+fy} \times d \\
&= \frac{600}{600+400 \text{ Mpa}} \times 439 \text{ mm} \\
&= 263,4 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ab &= \beta_1 \times Xb \\
&= 0,85 \times 263,4 \text{ mm} \\
&= 223,89 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Cs' &= As' \times (fy - 0,85 \times fc') \\
&= 2280,80 \text{ mm}^2 \times (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 25 \text{ Mpa}) \\
&= 863851,59 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times fc' \times b \times Xb \\
&= 0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 500 \text{ mm} \times 263,4 \text{ mm} \\
&= 2378831,25 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T &= As \times fy \\
&= 2280,80 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\
&= 912318,51 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Pb &= Cc' + Cs' - T \\
&= 2378831,25 \text{ N} + 863851,59 \text{ N} - 912318,51 \text{ N} \\
&= 2330364,33 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Mb &= Pb \times eb \\
&= Cc' \times (d - d'' - \frac{ab}{2}) + Cs' (d - d'' - d') + (T \times d'') \\
&= 2378831,25 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - \frac{223,89 \text{ mm}}{2}) + \\
&\quad 863851,59 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) + \\
&\quad (912318,51 \text{ N} \times 439 \text{ mm}) \\
&= 664105695,7 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mb}{Pb} \\
 &= \frac{664105695,7 \text{ Nmm}}{2330364,33 \text{ N}} \\
 &= 284,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < eb$ (kondisi tekan menentukan)
 $e_{\min} < e_{\text{perlu}} > eb$ (kondisi tarik menentukan)

Kolom lantai 1 termasuk dalam kategori :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < eb$
 $30 \text{ mm} < 193,21 \text{ mm} < 284,98 \text{ mm}$,
maka kondisi tekan menentukan

Digunakan $X = 270 \text{ mm}$

Syarat $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ($f_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$)

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \left(\frac{d}{X} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{439 \text{ mm}}{270 \text{ mm}} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= 0,0019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{f_s}{E_s} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Syarat $\varepsilon_s < \varepsilon_y$; $0,0019 < 0,002$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2 \times (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 25 \text{ Mpa}) \\
 &= 863851,59 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 500 \text{ mm} \times 270 \text{ mm} \\
 &= 2438437,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times \left(\frac{d}{x} - 1\right) \times 600 \\
 &= 2280,80 \text{ mm}^2 \times \left(\frac{439}{270} - 1\right) \times 600 \\
 &= 856565,71 \text{ N} \\
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2438437,5 \text{ N} + 863851,59 \text{ N} - 856565,71 \text{ N} \\
 &= 2445723,38 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat : $P > Pb$
 $2445723,38 \text{ N} > 2330364,3 \text{ N}$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned}
 Mn &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \times \left(d - d'' - \frac{\beta_1 \times X}{2}\right) + Cs' \left(d - d'' - d'\right) + (T \times d'') \\
 &= 2438437,5 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 270 \text{ mm}}{2}) + \\
 &\quad 863851,59 \text{ N} \times (439 \text{ mm} - 189 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) + (856565,71 \\
 &\quad \text{N} \times 439 \text{ mm}) = 654957540,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat : $\phi Mn > Mu$
 $0,65 \times 654957540,6 \text{ Nmm} > 261295714 \text{ Nmm}$
 $425722401,4 \text{ Nmm} > 261295714 \text{ Nmm}$ (**memenuhi**)

Tulangan dibagi merata ke empat sisinya. Sehingga masing – masing sisi dipasang tulangan 4D22. Karena tulangan yang diakibatkan oleh momen arah X dan momen arah Y sama besar yaitu 12D22. Sehingga pada setiap sisi kolom dipasang 4D22.

c. Penulangan Geser Kolom

Perhitungan geser kolom dilakukan berdasarkan pada perhitungan penulangan lentur. Sehingga diperoleh data – data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Mut &= 364209064,4 \text{ Nmm} \\
 Mub &= 364209064,4 \text{ Nmm} \\
 Mnt &= 485612085,86 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Besar gaya geser untuk metode SRPMM berdasarkan **SNI 2847:1728 pasal 21.3.5** sebagai berikut :

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{\frac{L_n}{3250 \text{ mm} - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2}\right) - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2}\right)}} = \frac{485612085,86 \text{ Nmm} + 485612085,86 \text{ Nmm}}{3250 \text{ mm} - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2}\right) - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2}\right)} = 353172,4261 \text{ N}$$

Cek syarat kuat tekan beton (f'_c)

Nilai $\sqrt{f'_c} \leq 8,3$ (**SNI 2847:2013 pasal 11.1.2**)

$$\sqrt{25} \leq 8,3 \text{ Mpa}$$

$5 \leq 8,3 \text{ Mpa}$ (**memenuhi**)

Kuat geser yang disediakan oleh beton (V_c) dijelaskan dalam **SNI 2847:1728 pasal 11.2.1.2**

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14 \times A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ = 0,17 \times \left(1 + \frac{879062,5 \text{ N}}{14 \times 500 \times 500}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 500 \times 437 \\ = 227815,51 \text{ N}$$

$$V_s \min = \frac{1}{3} \times b \times d \\ = \frac{1}{3} \times 500 \text{ mm} \times 437 \text{ mm} \\ = 72833,33 \text{ N}$$

$$V_s \max = 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ = 0,33 \times \sqrt{25} \times 5000 \text{ mm} \times 437 \text{ mm} \\ = 364166,67 \text{ N}$$

$$2V_{s\max} = 2 \times V_s \max \\ = 2 \times 364166,67 \text{ N} \\ = 728333,33 \text{ N}$$

Penulangan Geser Kolom

Cek kondisi geser

- a. Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \varphi \times V_c$$

$$353172,4261 \text{ N} \leq 0,5 \times 0,75 \times 227815,51 \text{ N}$$

$$353172,4261 \text{ N} > 85430,82 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

- b. Kondisi 4

$$\varphi (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_u \leq \varphi (V_c + V_s \text{ max})$$

$$0,75 \times (227815,51 \text{ N} + 72833,3 \text{ N}) \leq 353172,4261 \text{ N} \leq 0,75 \times (227815,51 \text{ N} + 364166,67 \text{ N})$$

$$225486,6 \text{ N} < 353172,4261 \text{ N} < 443986,6 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga perencanaan tulangan geser kolom lantai 1 berdasarkan pada kondisi geser 2.

Jarak (s) rencana tulangan geser adalah 140 mm. Maka, tulangan geser perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_v \text{ perlu} &= \frac{\text{Sperlu} \times V_s \text{ perlu}}{f_v \times d} \\ &= \frac{75 \text{ mm} \times 243081,1 \text{ N}}{240 \text{ Mpa} \times 441 \text{ mm}} \\ &= 172,2531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rencana digunakan tulangan geser 2 kaki $\emptyset 12-75$

Cek kecukupan tulangan pakai

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \\ &= 226,1947 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_v \text{ pasang} \geq A_v \text{ perlu}$$

$$226,1947 \text{ mm}^2 \geq 172,2531 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi Tulangan (s)

1. $S_{\text{max}} \leq \frac{d}{2}$

$$140 \text{ mm} \leq \frac{441 \text{ mm}}{2}$$

140 mm ≤ 220,5 mm (**memenuhi**)

2. $S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$

140 mm ≤ 600 mm (**memenuhi**)

➤ Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser kolom

Persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser kolom diatur dalam *SNI 2847:2013 pasal 21.3.5.2* sebagai berikut :

a. Spakai ≤ 8 x Dlentur

$$140 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

140 mm ≤ 176 mm (**memenuhi**)

b. Spakai ≤ 24 x Øsengkang

$$140 \text{ mm} \leq 24 \times 8 \text{ mm}$$

140 mm ≤ 192 mm (**memenuhi**)

c. Spakai ≤ 1/2 x dimensi penampang kolom terkecil

$$140 \text{ mm} \leq \frac{500 \text{ mm}}{2}$$

140 mm < 250 mm (**memenuhi**)

d. Spakai ≤ 300 mm

140 mm ≤ 300 mm (**memenuhi**)

Sengkang untuk kolom yang di desain dengan menggunakan metode SRPMM harus diletakan sepanjang lo dari muka kolom. Dimana nilai lo tidak boleh lebih kecil dari pada syarat yang telah disebutkan dalam *SNI 2847:2013 pasal 21.3.5.2* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a. \quad L_o &\geq \frac{\text{tinggi bersih kolom}}{6} \\
 &\geq \frac{3250 \text{ mm} - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2}\right) - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2}\right)}{6} \\
 &\geq 458,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

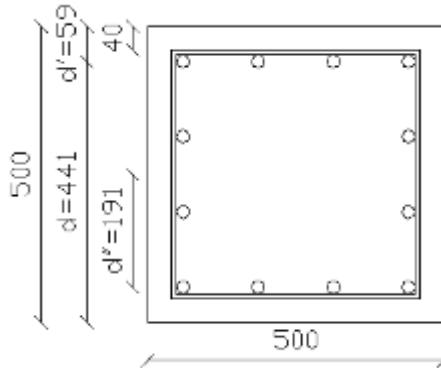
b. $L_o \geq \text{Dimensi penampang kolom terbesar} = 500 \text{ mm}$

c. $L_o \geq 450 \text{ mm}$

Maka digunakan $L_o = 550 \text{ mm}$

Sengkang pertama diletakan sejarak $\frac{\text{Spakai}}{2} = \frac{140}{2} = 70 \text{ mm}$

Sehingga penulangan geser pada kolom lantai 1 adalah sengkang 2 kaki $\varnothing 12 - 75 \text{ mm}$ sejarak 550 mm dan sengkang pertama diletakkan sejarak 37,5 mm dari muka joint.



Gambar 4.42 detail penulangan kolom dimensi 50/50

4.7.3 Perhitungan Pelat Lantai dan Pelat Atap

Penulangan pelat lantai dan pelat atap mengacu pada PBBI 1971 pasal 13.3.(1) yang menyatakan bahwa pelat terjepit penuh terjadi, apabila penampang pelat di atas tumpuan itu tidak dapat berputar akibat pembebanan pada pelat. Hal ini terjadi misalnya apabila di tepi itu pelat merupakan satu kesatuan monolit dengan balok pemikul yang relatif sangat kaku.

Pada pelat lantai dan pelat atap yang direncanakan termasuk jenis pelat terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya, maka pada PBBI 1971 pasal 13.3 tabel 13.3.2 pelat termasuk dalam tipe II, sebagai berikut :



	$M_{Lx} = +0.001 q L^2 N$	75	20	31	34	36	37	39	40	41	43	44	45	46	47	48	49
$M_{Lx} = +0.001 q L^2 N$	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$M_{Lx} = +0.001 q L^2 N$	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$M_{Lx} = +0.001 q L^2 N$	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$M_{Lx} = +0.001 q L^2 N$	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Gambar 4.43 pelat terjepit penuh tipe II

- $M_{tx} = -0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$
- $M_{lx} = +0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$
- $M_{ty} = -0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$
- $M_{ly} = +0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X$

Dimana :

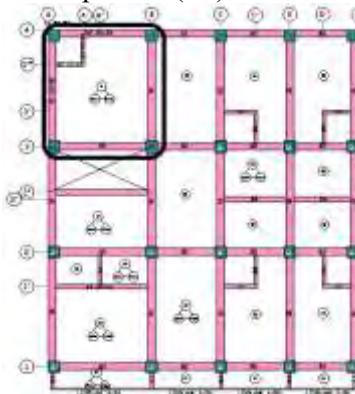
- M_{tx} = momen tumpuan arah X
- M_{lx} = momen lapangan arah X
- M_{ty} = momen tumpuan arah Y
- M_{ly} = momen lapangan arah Y

❖ Perencanaan Penulangan Pelat Terbesar

1. Data perencanaan :

- Tipe pelat : S1 (EL +9.75)
- As pelat : A-B joint 3-4
- Mutu beton (f'_c) : 25 Mpa
- Kuat leleh Tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- Tebal pelat : 120 mm

- Cover : 13 mm
- β_1 : 0.85
- q_u lantai : 924.4 kg/m²
- Bentang sumbu panjang (Ly) : 507.5 cm
- Bentang sumbu pendek (Lx) : 450 cm



Gambar 4.44 posisi pelat yang ditinjau

- Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat : **SNI 2847:2013 Pasal 13.6.1.2**
- $$\frac{ly}{lx} = \frac{507.5}{450} = 1.127 \leq 2 \rightarrow \text{"Two Way Slab"}$$
- Direncanakan menggunakan Ø Tulangan lentur = 12 mm
- Momen-momen pelat dihitung dengan Tabel 13.3.2 PBBI 1971 (Pelat tipe II) →

Tumpuan X = 60

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0.001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\
 &= 0.001 \cdot 924.4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4.5\text{m})^2 \cdot 60 \\
 &= 1130.4257 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Lapangan X = 26

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0.001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X \\
 &= 0.001 \cdot 924.4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4.5\text{m})^2 \cdot 26 \\
 &= 483.5768 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Tumpuan Y = 55

$$\begin{aligned}M_{ty} &= 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\&= 0.001 \cdot 924.4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4.5\text{m})^2 \cdot 55 \\&= 1021.2309 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Lapangan Y = 21

$$\begin{aligned}M_{ly} &= 0.001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot X \\&= 0.001 \cdot 924.4 \text{ kg/m}^2 \cdot (4.5\text{m})^2 \cdot 21 \\&= 387.9014 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Pelat memiliki dua arah tulangan utama yang berbeda yaitu, Tulangan arah ly dan Tulangan arah lx maka tebal efektif dari pelat adalah :

- $dx = t_{\text{pelat}} - \text{cover} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. lentur}}$
 $= 120 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm})$
 $= 101 \text{ mm}$
- $dy = t_{\text{pelat}} - \text{cover} - \varnothing_{\text{tul. lentur}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. lentur}}$
 $= 120 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm})$
 $= 89 \text{ mm}$

Diperlukannya batasan-batasan rasio Tulangan yaitu, perbandingan Tulangan tarik dengan komponen tekan beton.

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035 \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1})$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \cdot fc' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0.85 \cdot 25 \cdot 0.85}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) = 0.0271$$

(**SNI 2847:2013 Pasal 8.4.3**)

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_{\text{balance}} \\&= 0.75 \cdot 0.0271 \\&= 0.020\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot fc'} \\&= \frac{400}{0.85 \cdot 25} \\&= 18.824\end{aligned}$$

(**SNI 2847:2013 Pasal 10.3.5**)

▪ **Penulangan Daerah Tumpuan**

• **Tumpuan Arah X**

- $M_{tx} = 1130.4257 \text{ kgm} = 11304257 \text{ Nmm}$

$$\begin{aligned} - M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{11304257 \text{ Nmm}}{0.8} \\ &= 14130321 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned} - R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} \\ &= \frac{14130321 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (101 \text{ mm})^2} \\ &= 1.3852 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned} - \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 1.3852}{400}} \right) \\ &= 0.0036 \end{aligned}$$

- $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

$0.0035 < 0.0036 < 0.020$ **(OK)**

- $A_s \text{ perlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot dx$
 $= 0.0036 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 101 \text{ mm}$
 $= 361.9698 \text{ mm}^2$

- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{max} \leq 2h$
 $S_{max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan $\emptyset 10-200$

$$\begin{aligned} A_{spakai} &= \frac{0.25 \times \pi \times \emptyset^2 \times x_b}{Spakai} \\ &= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,857 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{spakai} = 392,857 \text{ mm}^2 > A_{perlu} = 361.9698 \text{ mm}^2$ **(OK)**

- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 2.h$
 $S \leq 2. 120 \text{ mm}$
 $S \leq 240 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm (OK)}$

- **Lapangan Arah X**

- $M_{lx} = 483.5768 \text{ kgm} = 4835768 \text{ Nmm}$

- $$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{4835768 \text{ Nmm}}{0.8}$$

$$= 6044709 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

- $$R_n = \frac{M_n}{b \cdot dx^2}$$

$$= \frac{6044709 \text{ Nmm}}{1000\text{mm}.(101\text{mm})^2}$$

$$= 0.5926 \text{ N/mm}^2$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

- $$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 0.5926}{400}} \right)$$

$$= 0.0015$$

- $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$
 $0.0035 > 0.0015 < 0.020 \text{ (NOT OK)}$

$\rho_{perlu} < \rho_{min}$, sehingga ρ_{perlu} harus dinaikkan sebesar 30 % sesuai dengan **SNI 2847:2013 Pasal 10.5.3**, sebagai berikut :

$$1.3 \times \rho_{perekai} = 1.3 \times 0.0015$$

$$\rho_{perekai} = 0.0020$$

$1.3 \times \rho_{perekai} < \rho_{min}$, maka digunakan $\rho_{perekai} = 0.0035$

- $A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot dx$
 $= 0.0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 101 \text{ mm}$
 $= 353.5 \text{ mm}^2$
 - Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$
 $S_{\max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$
 - Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-200$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{\text{Spakai}}}{}$$

 $= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$
 $= 392,857 \text{ mm}^2$
 $A_s \text{ pakai} = 392,857 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 353.5 \text{ mm}^2 (\text{OK})$
 - $S \leq S_{\max}$
 $S \leq 2.h$
 $S \leq 2 \cdot 120 \text{ mm}$
 $S \leq 240 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} (\text{OK})$
- **Tulangan Susut Arah X**
 - Pelat yang menggunakan batang Tulangan ulir mutu 300 digunakan $\rho_{\text{susut}} = 0.002$
 - $A_s \text{ susut} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$
 $= 0.002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}$
 $= 240 \text{ mm}^2$
 - $S_{\max} \leq 5h$ atau $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$
 $S_{\max} = 5 \cdot h = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$
 - Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-300$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{\text{Spakai}}}{}$$

 $= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{300 \text{ mm}}$
 $= 261,9048 \text{ mm}^2$
 $A_s \text{ pakai} = 261,9048 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2 (\text{OK})$

- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 5.h$
 $S \leq 5. 120 \text{ mm}$
 $S \leq 600 \text{ mm}$
 $300 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$
- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 450 \text{ mm}$
 $300 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm (OK)}$

- **Tumpuan Arah Y**
- $M_{ty} = 1021.2309 \text{ kgm} = 10212309 \text{ Nmm}$
- $$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{10212309 \text{ Nmm}}{0.8}$$

$$= 12765386 \text{ Nmm}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

- $$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2}$$

$$= \frac{12765386 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (89 \text{ mm})^2}$$

$$= 1.6116 \text{ N/mm}^2$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

- $$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 1.6116}{400}} \right)$$

$$= 0.0042$$
- $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$
 $0.0035 < 0.0042 < 0.020 \text{ (OK)}$
- $$A_s \text{ perlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d_y$$

$$= 0.0042 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 89 \text{ mm}$$

$$= 373.3161 \text{ mm}^2$$

- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{max} \leq 2h$
 $S_{max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$
- Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-200$

$$A_{spakai} = \frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{Spakai}$$

$$= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 392.8571 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 392.8571 \text{ mm}^2 > A_{perlu} = 373.3161 \text{ mm}^2$$

(OK)

- $S \leq S_{max}$
- $S \leq 2.h$
- $S \leq 2 \cdot 120 \text{ mm}$
- $S \leq 240 \text{ mm}$
- $200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm } \textbf{(OK)}$

- **Lapangan Arah Y**

- $M_{ly} = 387.9014 \text{ kgm} = 3879014 \text{ Nmm}$
- $M_n = \frac{M_u}{\phi}$
 $= \frac{3879014 \text{ Nmm}}{0.8}$
 $= 4848767 \text{ Nmm}$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

- $R_n = \frac{M_n}{b \cdot d y^2}$
 $= \frac{4848767 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (89 \text{ mm})^2}$
 $= 0.6121 \text{ N/mm}^2$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 0.6121}{400}} \right)$$

$$= 0.0016$$

- $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0035 < 0.0016 < 0.020$ (**NOT OK**)

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, sehingga ρ_{perlu} harus dinaikkan sebesar 30 % sesuai dengan **SNI 2847:2013 Pasal 10.5.3**, sebagai berikut :

$$1.3 \times \rho_{\text{pakai}} = 1.3 \times 0.0016$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0020$$

$$1.3 \times \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\min}, \text{ maka } \rho_{\text{pakai}} = 0.0035$$

- $A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot dy$
 $= 0.0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 89 \text{ mm}$
 $= 311.5 \text{ mm}^2$
- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$
 $S_{\max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$
- Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-200$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{\text{Spakai}}$$

 $= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$
 $= 392,8571 \text{ mm}^2$
- $A_s \text{ pakai} = 392,8571 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 311.5 \text{ mm}^2$ (**OK**)
- $S \leq S_{\max}$
 $S \leq 2.h$
 $S \leq 2 \cdot 120 \text{ mm}$
 $S \leq 240 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$ (**OK**)

• **Tulangan Susut Arah Y**

- Pelat yang menggunakan batang Tulangan ulir mutu 300 digunakan $\rho_{\text{susut}} = 0.002$
- $A_s \text{ susut} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$
 $= 0.002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}$
 $= 240 \text{ mm}^2$

- $S_{max} \leq 5h$ atau $S_{max} \leq 450 \text{ mm}$
 $S_{max} = 5 \cdot h = 5 \cdot 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-300$

$$A_{spakai} = \frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{Spakai}$$

$$= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{300 \text{ mm}}$$

$$= 261,9048 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 261,9048 \text{ mm}^2 > A_{susut} = 240 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 5.h$
 $S \leq 5 \cdot 120 \text{ mm}$
 $S \leq 600 \text{ mm}$
 $300 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm } (\text{OK})$
- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 450 \text{ mm}$
 $300 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm } (\text{OK})$

→ Maka pada pelat bentang ly 507.5 cm, lx 450 cm menggunakan baja Tulangan sebagai berikut :

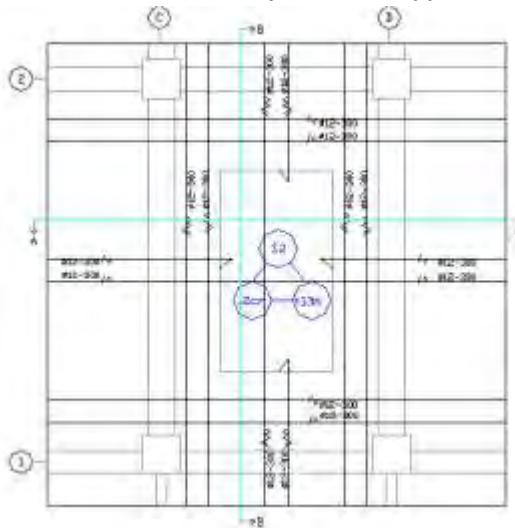
- **Tulangan Utama :**

Tumpuan arah X	= $\varnothing 10-200$
Tumpuan arah Y	= $\varnothing 10-200$
Lapangan arah X	= $\varnothing 10-200$
Lapangan arah Y	= $\varnothing 10-200$

- **Tulangan Susut :**

Tumpuan arah X	= $\varnothing 10-300$
Tumpuan arah Y	= $\varnothing 10-300$

- Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, dimana masing-masing ujung kiri dan ujung kanan tumpuan, baik arah ly maupun arah lx.
- Lajur pemasangan Tulangan susut
 Ke arah bentang panjang = $0.22 \times (507.5 - (35/2) - (35/2))$
 $= 103.95 \text{ cm} \approx 110 \text{ cm}$
 Ke arah bentang pendek = $0.22 \times (450 - (30/2) - (30/2))$
 $= 92.4 \text{ cm} \approx 100 \text{ cm}$



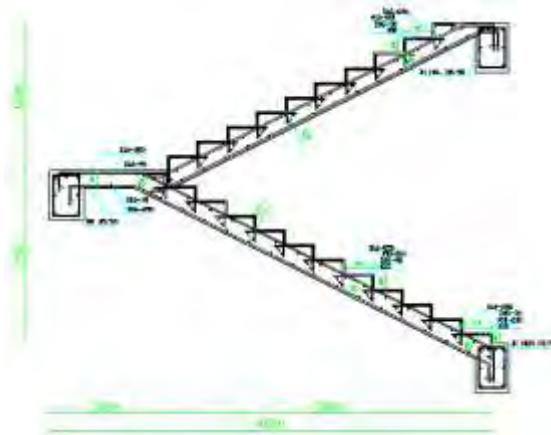
Gambar 4.45 detail penulangan pelat lantai dan atap

4.7.4 Perhitungan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

1. Data perencanaan :

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Kuat leleh Tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- Tebal pelat : 180 mm
- Cover : 13 mm
- β_1 : 0.85
- Ø tul. Lentur : 12 mm
- Ø tul. susut : 12 mm

- b : 1000 mm
- ρ_{susut} (SNI 2847:2013 Pasal 7.12) : 0.0018



Gambar 4.46 potongan tangga

Nilai momen yang diambil dari output SAP :

1. Momen 1.1 tangga = 3798,5 kgm = 37985000 Nmm
2. Momen 2.2 tangga = 4863,99 kgm = 48639900 Nmm

Pelat memiliki dua arah tulangan utama yang berbeda yaitu, Tulangan arah ly dan Tulangan arah lx maka tebal efektif dari pelat adalah :

- $dx = t. \text{pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul. lentur}$
 $= 180 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm})$
 $= 161 \text{ mm}$
- $dy = t. \text{pelat} - \text{cover} - \varnothing \text{ tul. lentur} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul. lentur}$
 $= 180 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm})$
 $= 149 \text{ mm}$

Diperlukannya batasan-batasan rasio Tulangan yaitu, perbandingan Tulangan tarik dengan komponen tekan beton.

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035 \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1)}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \cdot f_{c'} \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0.85 \cdot 25 \cdot 0.85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0.0271$$

(SNI 2847:2013 Pasal 8.4.3)

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \cdot 0.0271 \\ &= 0.020\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0.85 \cdot 25} \\ &= 18.824\end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.3.5)

- **Penulangan Tangga Arah X**

$$\begin{aligned}- M_{11} &= 37985000 \text{ Nmm} \\ - M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{37985000 \text{ Nmm}}{0.8} \\ &= 47481250 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned}- R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d x^2} \\ &= \frac{47481250 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (161 \text{ mm})^2} \\ &= 1,83 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned}- \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 1,83}{400}} \right) \\ &= 0.0048\end{aligned}$$

- $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0035 < 0.0048 < 0.020$ (**OK**)
- $A_s = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot dx$
 $= 0.0048 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 161 \text{ mm}$
 $= 772,14 \text{ mm}^2$
- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$
 $S_{\max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 180 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$
- Tulangan yang digunakan D16-250

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0.25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{Spakai}$$

$$= \frac{0.25 \times (22/7) \times (16 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}}$$

$$= 804,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = 804,57 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 772,14 \text{ mm}^2$$
 (**OK**)
- $S \leq S_{\max}$
 $S \leq 2.h$
 $S \leq 2 \cdot 180 \text{ mm}$
 $S \leq 360 \text{ mm}$
 $250 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm}$ (**OK**)
- **Tulangan Susut Arah X**
- Pelat yang menggunakan batang Tulangan ulir mutu 300 digunakan $\rho_{\text{susut}} = 0.0018$
- $A_{s_{\text{susut}}} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$
 $= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}$
 $= 324 \text{ mm}^2$
- $S_{\max} \leq 5h$ atau $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$
 $S_{\max} = 5 \cdot h = 5 \cdot 180 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-200$

$$As_{\text{pakai}} = \frac{\frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{Spakai}}{= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}} \\ = 392.8571 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai}} = 392.8571 \text{ mm}^2 > As_{\text{susut}} = 324 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

- $S \leq S_{\text{max}}$
 $S \leq 5.h$
 $S \leq 5. 180 \text{ mm}$
 $S \leq 900 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm } (\text{OK})$
- $S \leq S_{\text{max}}$
 $S \leq 450 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm } (\text{OK})$

▪ Penulangan Tangga Arah Y

- $M_{22} = 48639900 \text{ Nmm}$
- $M_n = \frac{Mu}{\phi}$
 $= \frac{48639900 \text{ Nmm}}{0.8}$
 $= 60799875 \text{ Nmm}$
(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)
- $R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$
 $= \frac{60799875 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (149 \text{ mm})^2}$
 $= 2.7386 \text{ N/mm}^2$
(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned}
 - \quad \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 2.7386}{400}} \right) \\
 &= 0.0074
 \end{aligned}$$

- $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0035 < 0.0074 < 0.020 \text{ (OK)}$

- $A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y$
 $= 0.0074 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 149 \text{ mm}$
 $= 1096,0097 \text{ mm}^2$

- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$
 $S_{\max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 180 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan D16-90

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= \frac{0.25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{\text{Spakai}} \\
 &= \frac{0.25 \times (22/7) \times (16 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \\
 &= 2234,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pakai} = 2234,92 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1096,0097 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

- $S \leq S_{\max}$
 $S \leq 2 \cdot h$
 $S \leq 2 \cdot 180 \text{ mm}$
 $S \leq 360 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm (OK)}$

• Tulangan Susut Arah Y

- Pelat yang menggunakan batang Tulangan ulir mutu 300 digunakan $\rho_{\text{susut}} = 0.0018$

- $A_s \text{ susut} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$
 $= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}$
 $= 324 \text{ mm}^2$

- $S_{\max} \leq 5h$ atau $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$
 $S_{\max} = 5 \cdot h = 5 \cdot 180 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-200$

$$As_{\text{pakai}} = \frac{\frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{Spakai}}{= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}} \\ = 392.8571 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{pakai}} = 392.8571 \text{ mm}^2 > As_{\text{susut}} = 324 \text{ mm}^2 (\text{OK})$$

- $S \leq S_{\text{max}}$

$$S \leq 5.h$$

$$S \leq 5. 180 \text{ mm}$$

$$S \leq 900 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} (\text{OK})$$

- $S \leq S_{\text{max}}$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm} (\text{OK})$$

- **Tulangan Utama :**

$$\text{Tul. arah X} = D16-250$$

$$\text{Tul. arah Y} = D16-90$$

- **Tulangan Susut :**

$$\text{Tul. arah X} = \varnothing 10-200$$

$$\text{Tul. arah Y} = \varnothing 10-200$$

❖ **Bordes**

1. Data perencanaan :

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Kuat leleh Tulangan lentur (f_y) : 400 Mpa
- Tebal pelat : 180 mm
- Cover : 13 mm
- β_1 : 0.85
- \varnothing tul. Lentur : 12 mm
- \varnothing tul. susut : 12 mm
- b : 1000 mm
- ρ_{susut} (**SNI 2847:2013 Pasal 7.12**) : 0.0018

Nilai momen yang diambil dari output SAP :

1. Momen 1.1 tangga = 9485,9 kgm = 94859000 Nmm
2. Momen 2.2 tangga = 3236,03 kgm = 32360300 Nmm

Pelat memiliki dua arah Tulangan utama yang berbeda yaitu, Tulangan arah ly dan Tulangan arah lx maka tebal efektif dari pelat adalah :

- $$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - \text{cover} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. lentur}} \\ &= 180 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm}) \\ &= 161 \text{ mm} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} dy &= t_{\text{pelat}} - \text{cover} - \varnothing_{\text{tul. lentur}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. lentur}} \\ &= 180 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 12 \text{ mm}) \\ &= 149 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diperlukannya batasan-batasan rasio Tulangan yaitu, perbandingan Tulangan tarik dengan komponen tekan beton.

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035 \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1})$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85.f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0.85 \cdot 25 \cdot 0.85}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0.0271$$

(SNI 2847:2013 Pasal 8.4.3)

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \cdot \rho_{\text{balance}} \\ &= 0.75 \cdot 0.0271 \\ &= 0.020 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0.85 \cdot 25} \\ &= 18.824 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.3.5)

▪ **Penulangan Bordes Arah X**

- $M_{11} = 94859000 \text{ Nmm}$

$$\begin{aligned} - \quad M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{94859000 \text{ Nmm}}{0.8} \\ &= 1118573750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned} - \quad R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} \\ &= \frac{1118573750 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (161 \text{ mm})^2} \\ &= 4,57 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

$$\begin{aligned} - \quad \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 4.57}{400}} \right) \\ &= 0.0130 \end{aligned}$$

- $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0.0035 < 0.0130 < 0.020 \text{ (OK)}$

$$\begin{aligned} - \quad A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0.0130 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 134 \text{ mm} \\ &= 2098,685 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$

$S_{\max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 180 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan D16-90

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{0.25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{\text{Spakai}} \\ &= \frac{0.25 \times (22/7) \times (16 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \\ &= 2234,921 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ pakai} = 2234,921 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 2098,685 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 2.h$
 $S \leq 2 \cdot 180 \text{ mm}$
 $S \leq 360 \text{ mm}$
 $90 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm (OK)}$

- **Tulangan Susut Arah X**

- Pelat yang menggunakan batang Tulangan ulir mutu 300 digunakan $\rho_{susut} = 0.0018$
- $As_{susut} = \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$
 $= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}$
 $= 324 \text{ mm}^2$
- $S_{max} \leq 5h$ atau $S_{max} \leq 450 \text{ mm}$
 $S_{max} = 5 \cdot h = 5 \cdot 180 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$
- Tulangan yang digunakan $\emptyset 10-200$

$$As_{pakai} = \frac{0.25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{Spakai}$$

$$= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 523.8095 \text{ mm}^2$$

$As_{pakai} = 392.8571 \text{ mm}^2 > As_{susut} = 324 \text{ mm}^2 (\text{OK})$

- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 5.h$
 $S \leq 5 \cdot 180 \text{ mm}$
 $S \leq 900 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm (OK)}$
- $S \leq S_{max}$
 $S \leq 450 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm (OK)}$

- **Penulangan bordes Arah Y**

- $M_{22} = 32360300 \text{ Nmm}$

- $$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\&= \frac{32360300 \text{ Nmm}}{0.8} \\&= 40450375 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8)

- $$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d y^2} \\&= \frac{40450375 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (149 \text{ mm})^2} \\&= 1.822 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 14.8.3)

- $$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\&= \frac{1}{18.824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 18.824) \cdot 1.822}{400}} \right) \\&= 0.0048\end{aligned}$$

- $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0.0035 < 0.0048 < 0.020 \text{ (OK)}$

- $$\begin{aligned}A_s_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d y \\&= 0.0048 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 122 \text{ mm} \\&= 710,5929 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Syarat spasi antar Tulangan $\rightarrow S_{\max} \leq 2h$
 $S_{\max} = 2 \cdot h = 2 \cdot 180 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$

- Tulangan yang digunakan D16-250

$$\begin{aligned}A_s_{\text{pakai}} &= \frac{0.25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{\text{Spakai}} \\&= \frac{0.25 \times (22/7) \times (16 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} \\&= 804,5714 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s_{\text{pakai}} = 804,5714 \text{ mm}^2 > A_s_{\text{perlu}} = 710,5929 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

- $S \leq S_{\max}$
 $S \leq 2 \cdot h$
 $S \leq 2 \cdot 180 \text{ mm}$

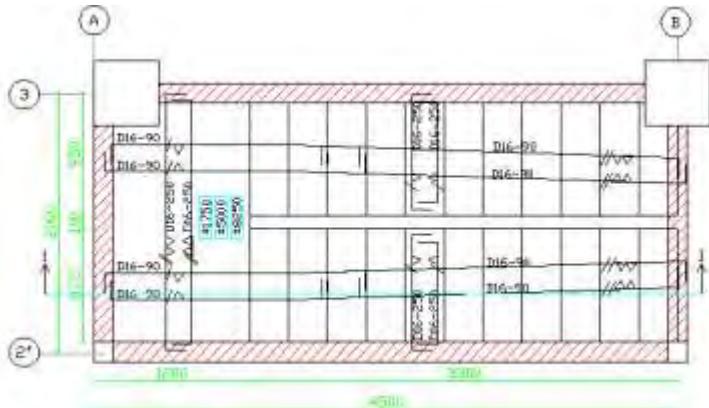
$$S \leq 360 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm } (\textbf{OK})$$

- **Tulangan Susut Arah Y**
- Pelat yang menggunakan batang Tulangan ulir mutu 300 digunakan $\rho_{\text{susut}} = 0.0018$
- $A_s = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat}$
 $= 0.0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}$
 $= 324 \text{ mm}^2$
- $S_{\text{max}} \leq 5h$ atau $S_{\text{max}} \leq 450 \text{ mm}$
 $S_{\text{max}} = 5 \cdot h = 5 \cdot 180 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$
- Tulangan yang digunakan $\varnothing 10-200$

$$A_s = \frac{0.25 \times \pi \times \varnothing^2 \times b}{\text{Spakai}}$$

 $= \frac{0.25 \times (22/7) \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$
 $= 392.8571 \text{ mm}^2$
 $A_s = 392.8571 \text{ mm}^2 > A_s = 324 \text{ mm}^2 (\textbf{OK})$
- $S \leq S_{\text{max}}$
 $S \leq 5.h$
 $S \leq 5 \cdot 180 \text{ mm}$
 $S \leq 900 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm } (\textbf{OK})$
- $S \leq S_{\text{max}}$
 $S \leq 450 \text{ mm}$
 $200 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm } (\textbf{OK})$
- **Tulangan Utama :**
Tul. arah X = D16-90
Tul. arah Y = D16-250
- **Tulangan Susut :**
Tul. arah X = $\varnothing 10-200$
Tul. arah Y = $\varnothing 10-200$



Gambar 4.47 penulangan pelat tangga dan pelat bordes

4.8 Perhitungan Pondasi

4.8.1 Perhitungan Gaya Aksial Izin Bore Pile

Pada bangunan Villa ana, pondasi yang digunakan adalah pondasi bore pile. Perhitungan gaya aksial izin bore pile berdasarkan pada hasil analisis dari output SAP 2000 yaitu gaya aksial yang terjadi pada kolom yang menumpu pada pondasi tersebut. Beikut merupakan data perencanaan pondasi pada bagunan gedung Villa Ana.

- Data perencanaan penulangan kolom :

Tipe pondasi	: P2
b kolom	: 500 mm
h kolom	: 500 mm
L kolom	: 3250 mm
Diameter pondasi	: 0.4 m
L pondasi	: 6 m
Tahanan ujung tiang (qp)	: 400 t/m ²
(reese&wright 1997)	
Faktor keamanan (SF)	: 3
(untuk tiang dengan beban normal)	
Kuat tekan beton (fc')	: 25 Mpa
Modulus elastisitas beton (Ec)	: 23500 Mpa
Modulus elastisitas baja (Es)	: 200000 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (Dlentur)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (Øgeser)	: 12 mm
Faktor β_1	: 0.85
(SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)	
Tebal selimut beton (cover)	: 50 mm
(SNI 2847:2013 pasal 7.7.1)	
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0.8
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.1)	
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0.75
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)	

Faktor λ : 1
(SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)

Berdasarkan perhitungan analisa menggunakan program SAP 2000 diperoleh hasil sebagai berikut :

Pu maksimum : 109883,67 Kg = 109,8837 ton

Mx maksimum : 7283,29 kgm = 7,28329 tm

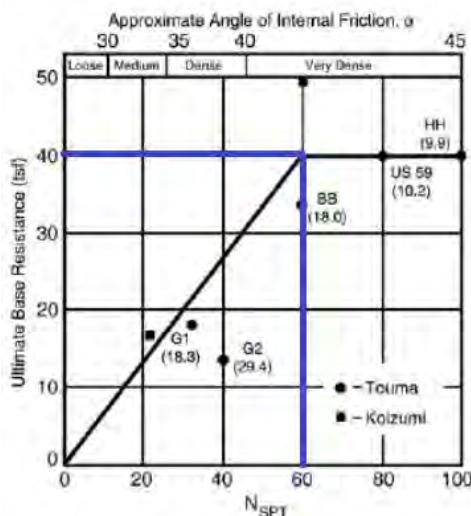
My maksimum : 8016,59 kgm = 8,01659 tm

Perhitungan Daya Dukung Tiang (Qp)

➤ Luas penampang tiang (Ap)

$$\begin{aligned} Ap &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (0.4 \text{ m})^2 \\ &= 0,12566 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka, nilai daya dukung tiang (Qp) adalah



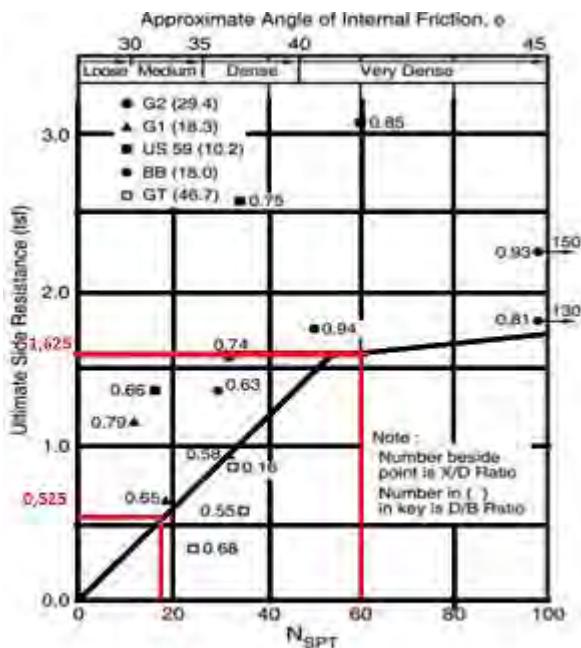
Gambar 4.48 tahanan ujung ultimate pada tanah non-kohesif
(sumber: Reese & Wright, 1977)

$$\begin{aligned}
 Q_p &= qp \times A_p \\
 &= 400 \text{ t/m}^2 \times 0,12566 \text{ m}^2 \\
 &= 50,26548 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

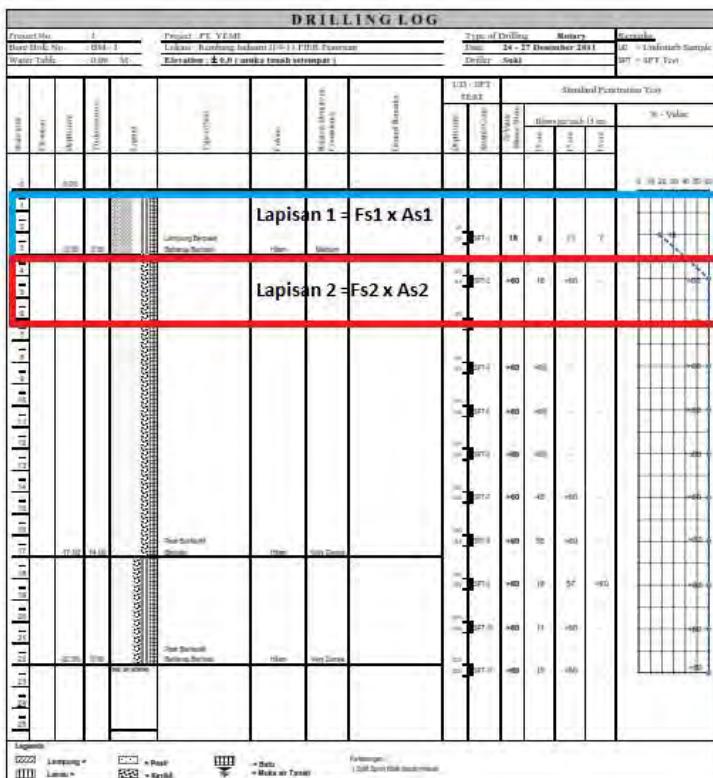
Perhitungan Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$Q_s = \sum (f_s \times \text{panjang lapisan} \times \text{keliling tiang})$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling tiang} &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0.4 \text{ m} \\
 &= 1,2566 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.49 hubungan tahanan selimut ultimate terhadap B-spt (Sumber: Wright, 1977)



Gambar 4.50 lapisan tanah pada pondasi bore pile

➢ **Lapisan 1**

$$\begin{aligned}
 F_s &= 0,525 \text{ t/ft}^2 \\
 &= \frac{0,525}{0,3048^2} \text{ t/m}^2 \\
 &= 5,651 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Panjang lapisan 1 = 3 m

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } Q_s \text{ lapisan 1} &= 5,651 \text{ t/m}^2 \times 3 \text{ m} \times 1,2566 \text{ m} \\
 &= 21,30397 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ **Lapisan 2**

$$\begin{aligned}Fs &= 1,625 \text{ t/ft}^2 \\&= \frac{1,625}{0,3048^2} \text{ t/m}^2 \\&= 17,49135 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Panjang lapisan 1 = 3 m

$$\begin{aligned}\text{Maka, } Q_s \text{ lapisan 1} &= 17,49135 \text{ t/m}^2 \times 3 \text{ m} \times 1,2566 \text{ m} \\&= 65,940853 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_s \text{ total} &= Q_s \text{ lapisan 1} + Q_s \text{ lapisan 2} \\&= 21,30397 \text{ ton} + 65,940853 \text{ ton} \\&= 87,24482 \text{ ton}\end{aligned}$$

Perhitungan Daya Dukung ultimate tiang (Qu)

$$\begin{aligned}Qu &= Q_p + Q_s \\&= 50,26548 \text{ ton} + 87,24482 \text{ ton} \\&= 137,5103 \text{ ton}\end{aligned}$$

Menurut **PPIUG 1983 tabel 1.1**, daya dukung fondasi untuk jenis tanah keras dinaikkan sebesar 50%, sehingga

$$\begin{aligned}Qu \text{ pakai} &= 1,5 \times Qu \\&= 1,5 \times 137,5103 \text{ ton} \\&= 206,26545 \text{ ton}\end{aligned}$$

Maka P ijin untuk 1 tiang pondasi bore pile adalah

$$\begin{aligned}P \text{ ijin} &= \frac{Qu \text{ pakai}}{SF} \\&= \frac{206,26545 \text{ ton}}{3} \\&= 68,755 \text{ ton}\end{aligned}$$

Jumlah pondasi yang digunakan diperoleh dari gaya aksial yang terjadi dibagi dengan gaya aksial ijin 1 tiang pondasi

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah pondasi} &= \frac{\text{Pu Max dari SAP}}{\text{Pijin 1 tiang pondasi}} \\
 &= \frac{109,8837 \text{ ton}}{68,755 \text{ ton}} \\
 &= 1,598 \quad \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

4.8.2 Perencanaan Dimensi Poer

Menurut Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya yang berjudul Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 bahwa perhitungan jarak tiang (S) sebagai berikut :

➤ **Jarak pusat ke pusat tiang (S)**

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &: 2,5D \leq S \leq 3D \\
 &2,5 \times (0,4 \text{ m}) \leq S \leq 3 \times (0,4 \text{ m}) \\
 &1 \text{ m} \leq S \leq 1,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan S sebesar 1,2 m

➤ **Jarak pusat tiang ke tepi pile cap (S')**

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &: 1,5D \leq S \leq 2D \\
 &1,5 \times (0,4 \text{ m}) \leq S \leq 2 \times (0,4 \text{ m}) \\
 &0,6 \text{ m} \leq S \leq 0,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan S sebesar 0,6 m

Sehingga dapat disimpulkan ukuran poer adalah sebagai berikut :

- Panjang = $S + (2 \times S')$
 $= 1,2 \text{ m} + (2 \times 0,6 \text{ m})$
 $= 2,4 \text{ m}$
- Lebar = $(2 \times S')$
 $= (2 \times 0,6 \text{ m})$
 $= 1,2 \text{ m}$
- Tebal = 0,6 m (asumsi)

4.8.3 Pengecekan Ulang Kebutuhan Tiang Bor

Periksa ulang kebutuhan tiang bor dilakukan setelah ditambahkan dengan berat sendiri poer

Beban – beban yang terjadi :

$$P_u \text{ maksimum} = 109,8837 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat poer} &= p \times l \times t \times B_J \text{ beton} \\ &= 2,4\text{m} \times 1,2\text{m} \times 0,35\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \\ &= 2,419 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_u \text{ total} &= 109,8837 \text{ ton} + 2,419 \text{ ton} \\ &= 112,3029 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah pondasi} &= \frac{P_u \text{ total}}{\text{Pijin 1 tiang pondasi}} \\ &= \frac{112,3029 \text{ ton}}{68,755 \text{ ton}} \\ &= 1,633 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

4.8.4 Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Tiang

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi dari buku Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2 cetakan ke-4 karya Joseph E. Bowles halaman 343. Perhitungan daya dukung poer menggunakan metode Converce-Lebare adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baris tiang (m)} &= 1 \\ \text{Jumlah tiang dalam 1 baris (n)} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Diameter tiang} &= 0,4 \text{ m} \\ \text{Jarak pusat ke pusat tiang} &= 1,2 \text{ m} \\ \text{Jarak pusat tiang ke tepi poer} &= 0,6 \text{ m} \\ \theta = \text{arc tg } D/S &= \text{Arc tg } (0,4/1,2) \\ &= 18,43495\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi tiang } (\eta) &= 1 - \theta \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \\
 &= 1 - 18,43495 \frac{(2-1) \times 1 + (1-1) \times 2}{90 \times 1 \times 2} \\
 &= 0,8976
 \end{aligned}$$

Maka, P ijin bore pile berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P \text{ ijin efisiensi} &= \eta \times P \text{ ijin 1 tiang} \\
 &= 0,8976 \times 68,755 \text{ ton} \\
 &= 61,7135 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ ijin efisiensi total} &= \eta \times P \text{ ijin 1 tiang} \times n \text{ tiang} \\
 &= 0,8976 \times 68,755 \text{ ton} \times 2 \text{ buah} \\
 &= 123,427 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4.8.5 Perhitungan Daya Dukung Bore Pile Kelompok

Perhitungan daya dukung bore pile kelompok dilakukan berdasarkan output SAP sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_u \text{ maksimum} &: 109883,67 \text{ Kg} = 109,8837 \text{ ton} \\
 M_x \text{ maksimum} &: 7283,29 \text{ kgm} = 7,28329 \text{ tm} \\
 M_y \text{ maksimum} &: 8016,59 \text{ kgm} = 8,01659 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Data – data rencana yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal poer} &= 0,35 \text{ m} \\
 \text{Berat poer} &= 2,419 \text{ ton} \\
 X_i &= 0,6 \text{ m} \\
 Y_i &= 0 \text{ m} \\
 N \text{ tiang} &= 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 X_i &= \text{jarak pusat tiang ke pusat titik berat dalam arah X} \\
 Y_i &= \text{jarak pusat tiang ke pusat titik berat dalam arah y}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max kelompok tiang}} &= \frac{P_{\text{u max}}}{n \text{ tiang}} + \frac{M_y x_{\text{xi}}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x x_{\text{yi}}}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{109,8837}{2} + \frac{7,2832 \times 0,6}{(0,6+0,6)^2} + \frac{8,016x 0}{0^2} \\
 &= 58,28208 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max kelompok tiang}} &= \frac{P_{\text{u max}}}{n \text{ tiang}} - \frac{M_y x_{\text{xi}}}{\Sigma x^2} - \frac{M_x x_{\text{yi}}}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{109,8837}{2} - \frac{7,2832 \times 0,6}{(0,6+0,6)^2} - \frac{8,016x 0}{0^2} \\
 &= 54,10677 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum 1 tiang adalah 58,28208 ton
Syarat : beban maksimum 1 tiang $\leq P$ ijin efisiensi
58,28208 ton $< 61,7135$ ton (memenuhi)

4.8.6 Perhitungan Penulangan Bore Pile

Perhitungan penulangan bore pile dilakukan untuk mencari dimensi tulangan utama dan tulangan geser yang akan digunakan.

a. Perhitungan Penulangan Utama Bore Pile

$$\begin{aligned}
 d &= 0,8D = 0,8 \times 400 \text{ mm} &= 320 \text{ mm} \\
 d' &= D - d = 400 \text{ mm} - 320 \text{ mm} &= 80 \text{ mm} \\
 d'' &= \frac{D}{2} - d' = \frac{400 \text{ mm}}{2} - 80 \text{ mm} &= 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$P_u = 109,8837 \text{ ton} = 1098837 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{P_u}{\varphi} \\
 &= \frac{1098837 \text{ N}}{0,8} \\
 &= 1373545,875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 8,01659 \text{ tm} = 80165900 \text{ Nmm} \\
 &\quad (\text{momen maksimum output SAP})
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} \\ = \frac{80165900 \text{ Nmm}}{0,8} \\ = 100207375 \text{ Nmm}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n} \\ = \frac{100207375 \text{ Nmm}}{1373545,875 \text{ N}} \\ = 72,95524 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan 8 D 16

$$A_s = A_{s'} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ = 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ = 1608,4954 \text{ mm}^2$$

$$X_b = \frac{600}{600+f_y} \times d \\ = \frac{600}{600+400 \text{ Mpa}} \times 320 \text{ mm} \\ = 192 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \times X_b \\ = 0,85 \times 192 \text{ mm} \\ = 163,2 \text{ mm}$$

$$C_{s'} = A_{s'} \times (f_y - 0,85 \times f_{c'}) \\ = 1608,4954 \text{ mm}^2 \times (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 25 \text{ Mpa}) \\ = 609217,6474 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_{c'} \times b \times X_b \\ = 0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 1000 \text{ mm} \times 192 \\ = 1387200 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y \\ = 1608,4954 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \\ = 643398,1755 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 1387200 \text{ N} + 609217,6474 \text{ N} - \\
 &\quad 643398,1755 \text{ N} \\
 &= 1353019,472 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \times (d-d'' - \frac{ab}{2}) + Cs' (d-d''-d') + (T \times d'') \\
 &= 1387200 \text{ N} \times (320 \text{ mm} - 120 \text{ mm} - \\
 &\quad \frac{163,2 \text{ mm}}{2}) + 609217,6474 \text{ N} \times (320 \text{ mm} \\
 &\quad - 120 \text{ mm} - 80 \text{ mm}) + (643398,1755 \times \\
 &\quad 320 \text{ mm}) \\
 &= 314558378,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mb}{Pb} \\
 &= \frac{3145583378,7 \text{ Nmm}}{1353019,472 \text{ N}} \\
 &= 232,486 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

- e perlu < eb (kondisi tekan menentukan)
- e perlu > eb (kondisi tarik menentukan)

pondasi P2 termasuk dalam kategori :

- e perlu < eb
- $72,955 \text{ mm} < 232,486 \text{ mm}$ maka,
- kondisi tarik menentukan**

Digunakan X = 200 mm

Syarat $\epsilon_s < \epsilon_y$ ($f_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \left(\frac{d}{X} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{320 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= \frac{f_s}{E_s} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200000 \text{ Mpa}} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Syarat $\varepsilon_s < \varepsilon_y$, $0,0018 < 0,002$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned}C_{s'} &= A_{s'} \times (f_y - 0,85 \times f_c') \\ &= 1608,4954 \text{ mm}^2 \times (400 \text{ Mpa} - 0,85 \times 25 \text{ Mpa}) \\ &= 609217,6474 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{c'} &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ Mpa} \times 1000 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \\ &= 2312000 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \times \left(\frac{d}{X} - 1 \right) \times 600 \\ &= 1608,4954 \text{ mm}^2 \times \left(\frac{320}{200} - 1 \right) \times 600 \\ &= 386038,9053 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= C_{c'} + C_{s'} - T \\ &= 2312000 \text{ N} + 609217,6474 \text{ N} - \\ &\quad 386038,9053 \text{ N} \\ &= 2535178,742 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat : $P > P_b$
 $2535178,742 \text{ N} > 1353019,472 \text{ N}$ (**memenuhi**)

$$\begin{aligned}M_n &= P_b \times e_b \\ &= C_{c'} \times (d - d'' - \frac{\beta_1 \times X}{2}) + C_{s'} (d - d'' - d') + (T \times d'') \\ &= 2312000 \text{ N} \times (320 \text{ mm} - 120 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 270 \text{ mm}}{2}) + 609217,6474 \text{ N} \times \\ &\quad (320 \text{ mm} - 120 \text{ mm} - 80 \text{ mm}) + \\ &\quad (386038,9053 \times 320 \text{ mm}) \\ &= 393171586,3 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Syarat : $M_n > M_b$
 $393171586,3 \text{ Nmm} > 314558378,7 \text{ Nmm}$
 $393171586,3 \text{ Nmm} > 314558378,7 \text{ Nmm}$
(memenuhi)

Tulangan dibagi merata ke setiap sisinya. Sehingga masing – masing sisi dipasang tulangan 8D16

b. Perhitungan Penulangan Geser Spiral Bore Pile

Direncanakan menggunakan tulangan $\varnothing 12 \text{ mm}$

Luas tulangan geser (As geser)

$$\begin{aligned} As_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (12 \text{ mm})^2 \\ &= 113,0973 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas bore pile (Ag)

$$\begin{aligned} Ag &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (400 \text{ mm})^2 \\ &= 125663,7061 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas bore pile sampai batas d (Ach)

$$\begin{aligned} Ach &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (320 \text{ mm})^2 \\ &= 80424,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ps &= 0,45 \times \left(\frac{Ag}{Ach} - 1 \right) \times \frac{fc'}{fy} \\ &= 0,45 \times \left(\frac{125663,7061}{80424,77193} - 1 \right) \times \frac{25}{240} \\ &= 0,02636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{As_v \times \pi \times (d - \varnothing)}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times ps} \\ &= \frac{113,0973 \text{ mm} \times \pi \times (320 \text{ mm} - 12 \text{ mm})}{\frac{1}{4} \times \pi \times (320 \text{ mm})^2 \times 0,02636} \\ &= 51,605 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran menurut **SNI 2847-2013 pasal 12.3.2** dengan rumus sebagai berikut :

$$a. \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b = \frac{0,24 \times 240}{1 \times \sqrt{25}} \times 12 = 138,24 \text{ mm}$$

$$b. 0,043 \times f_y \times d_b = 0,043 \times 240 \times 12 = 123,84 \text{ mm}$$

Maka, digunakan panjang penyaluran sepanjang 150 mm

4.8.7 Perhitungan Penulangan Pile Cap

- Data – data perencanaan yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= 112,3029 \text{ ton} \\ &= 1123029 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang poer} = 2400 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar poer} = 1200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas poer} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 2400 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm} \\ &= 2880000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_t &= \frac{P_{\text{total}}}{\text{Luas poer}} \\ &= \frac{1123029 \text{ N}}{2880000 \text{ mm}^2} \\ &= 0,3899 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$B_{\text{kolom}} = 500 \text{ mm}$$

$$F_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$\phi_{\text{geser}} = 0,75$$

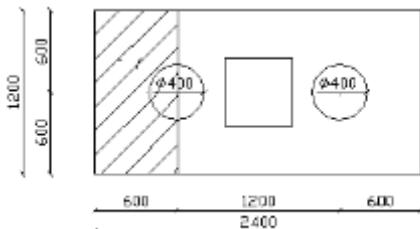
$$\text{diameter tulangan (D)} = 16$$

$$\text{tinggi poer} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{cover} = 50 \text{ mm}$$

a. Perhitungan Geser Poer

➤ Geser 1 arah



Gambar 4.51 geser 1 arah pilecap

$$\begin{aligned}
 d_{poer} &= H_{poer} - \text{cover} + \frac{Dtul.poer}{2} \\
 &= 350\text{mm} - (50\text{ mm} + 16\text{ mm} + \frac{16\text{ mm}}{2}) \\
 &= 276\text{ mm} \\
 At &= \frac{\text{Panjang poer}-b \text{ kolom}-2d}{2} \times \text{lebar poer} \\
 &= \frac{2400\text{mm}-500\text{mm}-2(2760\text{mm})}{2} \times 1200\text{mm} \\
 &= 808800\text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Beban geser (Vu)

$$\begin{aligned}
 Vu &= qt \times At \\
 &= 0,3899 \text{ N/mm}^2 \times 808800 \text{ mm}^2 \\
 &= 315383,89 \text{ N}
 \end{aligned}$$

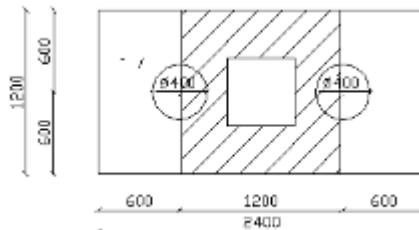
Gaya geser yang mampu dipikul oleh beton (Vc)

$$\begin{aligned}
 Vc &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times bw \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 2400 \text{ mm} \times 276 \text{ mm} \\
 &= 563040 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat : $\phi Vc > Vu$

$$\begin{aligned}
 0,75 \times 563040 \text{ N} &> 315383,89 \text{ N} \\
 422280 \text{ N} &> 315383,89 \text{ N} \\
 \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

➤ Geser 2 arah



Gambar 4.52 geser 2 arah pilecap

Perhitungan geser 2 arah berdasarkan pada **SNI 1728:2013 pasal 11.11.2.1** sebagai berikut

a. Persamaan 1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_1}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{0,85}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 2400 \times 276 \\ &= 1887840 \text{ N} \end{aligned}$$

b. Persamaan 2

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha s \times d}{b_0} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d$$

Dimana :

$$\begin{aligned} b_0 &= \text{keliling penampang kritis plat pondasi} \\ &= 2x((2 \times \text{lebar kolom}) + (2 \times d)) \\ &= 2x((2 \times 500) + (2 \times 500)) = 4000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\alpha_s = 40$ untuk kolom tengah sesuai **SNI 1728:2013 pasal 11.11.2.1**

Maka,

$$\begin{aligned} V_c &= 0,08 \times \left(\frac{40 \times 276}{4000} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 2400 \times 276 \\ &= 1527514,887 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Persamaan 3

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d \\ &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{25} \times 2400 \times 276 \\ &= 1092960 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil V_c dengan nilai terkecil yaitu 1092960 N
 Syarat : $\phi V_c \geq V_u$

$$0,75 \times 1092960 \text{ N} \geq 665180,075 \text{ N}$$

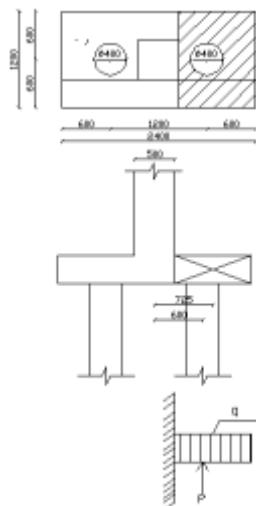
$$819720 \text{ N} > 665180,075 \text{ N}$$

(memenuhi)

b. Perhitungan Lentur Poer

$$\begin{aligned} dx &= h_{poer} - \text{cover} - \frac{D_{tulangan poer}}{2} \\ &= 350 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} \\ &= 292 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h_{poer} - \text{cover} - D_{tulangan poer} - \frac{D_{tulangan poer}}{2} \\ &= 350 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} \\ &= 276 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.53 metek poer arah x

➤ **Penulangan arah sumbu X**

$$\begin{aligned}
 Qu &= \text{berat poer yang di yang ditinjau} \\
 &= \text{panjang poer} \times \text{tinggi poer} \times \frac{1}{2} \text{ lebar poer} \times \\
 &\quad \text{BJ beton} \\
 &= 2,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times \frac{1}{2} 1,2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 2073,6 \text{ Kg} \\
 P &= P \text{ maksimum output SAP} \times \frac{1}{2} \text{ jumlah tiang} \\
 &= 109883,67 \text{ Kg} \times \frac{1}{2} \times 2 \text{ buah} \\
 &= 109883,67 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Momen poer (Mq)

$$\begin{aligned}
 Mq &= Qu \times (\text{bentang yang ditinjau} - \frac{1}{2} b \text{ kolom}) \\
 &= 2073,6 \text{ Kg} \times \left(\frac{1,2 \text{ m}}{2} - \frac{0,5 \text{ m}}{2} \right) \\
 &= 1243,91 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Momen pile (Mp)

$$\begin{aligned}
 Mp &= P \times \text{jarak as pile ke tepi kolom} \\
 &= 109883,67 \text{ Kg} \times 0 \text{ m} \\
 &= 0 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \text{ total} &= Mq + Mp \\
 &= 1243,91 \text{ kgm} + 0 \text{ kgm} \\
 &= 1243,91 \text{ kgm} = 12439100 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{M \text{ total}}{\phi} \\
 &= \frac{1243100 \text{ Nmm}}{0,8} \\
 &= 15548875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,027
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,027 \\
 &= 0,0203
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \\ R_n &= \frac{M_n}{b \times d_x^2} \\ &= \frac{15548875 \text{ Nmm}}{2400 \text{ mm} \times (292\text{mm})^2} \\ &= 0,044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 25} \\ &= 18,823\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{18,823} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 0,044}{400}}\right) \\ &= 0,000111\end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$
 $0,0035 > 0,000111 < 0,0203$
(tidak memenuhi)

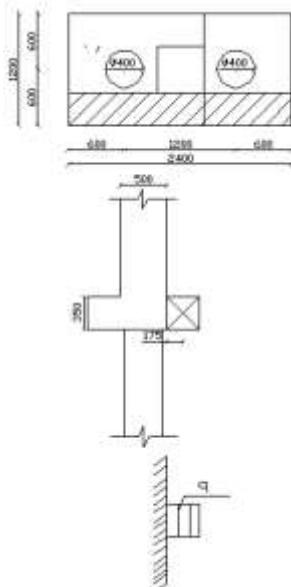
Maka ρ_{perlu} dinaikkan sebesar 30%, sehingga :

$$\begin{aligned}1,3 \rho_{\text{perlu}} &= 1,3 \times 0,000111 \\ &= 0,000144\end{aligned}$$

$1,3 \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, sehingga digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}As_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0035 \times 2400 \text{ mm} \times 292 \text{ mm} \\ &= 2452,8 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{As} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \times 2400 \text{ mm}}{2452,8 \text{ mm}^2} \\ &= 196,73 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka untuk tulangan arah x digunakan tulangan sebesar D16-200



Gambar 4.54 mektek poer arah y

➤ **ngan arah sumbu Y**

Qu = berat poer yang ditinjau
= panjang poer x tinggi poer x $\frac{1}{2}$ lebar poer x BJ beton
= $2,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times \frac{1}{2} 1,2 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$
= 2073,6 Kg

P = P maksimum output SAP x $\frac{1}{2}$ jumlah tiang
= $109883,67 \text{ Kg} \times \frac{1}{2} \times 2 \text{ buah}$
= 109883,67 Kg

Momen poer (Mq)

$$\begin{aligned} Mq &= Qu \times (\text{bentang yang ditinjau} - \frac{1}{2} b \text{ kolom}) \\ &= 2073,6 \text{ Kg} \times \left(\frac{2,4 \text{ m}}{2} - \frac{0,5 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 2488,07 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen pile (Mp)

$$\begin{aligned} Mp &= P \times \text{jarak as pile ke tepi kolom} \\ &= 109883,67 \text{ Kg} \times \left(\frac{1,2 \text{ m}}{2} - \frac{0,5 \text{ m}}{2} \right) \\ &= 38459,2845 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M \text{ total} = Mq + Mp$$

$$\begin{aligned} &= 2488,07 \text{ kgm} + 38459,2845 \text{ kgm} \\ &= 40947,3545 \text{ kgm} &= 409473545 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{M \text{ total}}{\varphi} \\ &= \frac{409473545 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 511841931,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho b &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho b \\ &= 0,75 \times 0,027 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{511841931,3 \text{ Nmm}}{2400 \text{ mm} \times (276 \text{ mm})^2} \\
 &= 5,458
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 25} \\
 &= 18,823
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{18,823} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,823 \times 5,458}{400}} \right) \\
 &= 0,016
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$
 $0,0035 < 0,016 < 0,0203$ (memenuhi)
 sehingga digunakan $\rho = 0,004005$

$$\begin{aligned}
 A_s_{\text{perlu}} &= \rho \times b \times dx \\
 &= 0,016 \times 1200 \text{ mm} \times 526 \text{ mm} \\
 &= 5324,49 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (16 \text{ mm})^2 \times 1200 \text{ mm}}{5324,49 \text{ mm}^2} \\
 &= 90,64 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka untuk tulangan arah y digunakan tulangan sebesar D16-100

c. Panjang Penyaluran

D tulangan = 16 mm

$$\begin{aligned} L_d &= 0,071 \times f_y \times d_b & \geq 300 \text{ mm} \\ &= 0,071 \times 240 \text{ MPa} \times 16 \text{ mm} & \geq 300 \text{ mm} \\ &= 454,4 \text{ mm} & \geq 300 \text{ mm} \\ &\approx 460 & \geq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Bengkokan 90° ditambah perpanjangan 12db pada ujung bebas kait

$$\begin{aligned} L &= 12\text{db} \\ &= 12 \times 16 \text{ mm} \\ &= 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

LAMPIRAN



ASBEST DJABESMENT GELOMBANG BESAR

PENGUNJUNG



DJABES GELOMBANG BESAR (B 100)

SPESIFIKASI:

Jarak Gelombang	6
Lebar	1020 mm
Lebar Terpakai	990 mm
Panjang Terpakai	mm 150 s/d 200 mm
Jarak Gelombang	100 mm
Tinggi Gelombang	50 mm
Tebal	5 mm dan 6 mm

DJABES GELOMBANG BESAR (B 100)

UKURAN :

Panjang	Lebar	Tebal	Berat
3000	1020	5	30.06
2500	1020	5	25.05
2250	1020	5	22.55
2000	1020	5	20.05
1800	1020	5	18.04
1500	1020	5	15.05
3000	1020	6	36.08
2500	1020	6	30.06
2250	1020	6	27.05
2000	1020	6	24.05
1800	1020	6	21.65
1500	1020	6	18.03

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

BAB V

HASIL

Berdasarkan hasil keseluruhan Perhitungan Perencanaan Struktur Gedung Villa A.N. Ana Kelurahan Pecalukan Kecamatan Prigen Kabupaten Pasuruan dengan metode SRPMM diperoleh hasil sebagai berikut :

5.1 Hasil Struktur

- **Balok**

Dimensi B.I Melintang	: 30/50
Dimensi B.I Memanjang	: 30/45
Dimensi B.A Melintang	: 15/20;20/30
Dimensi B.A Memanjang	: 15/20;20/30
Dimensi Balok Kantilever	: 15/20

- **Kolom**

Dimensi Kolom	: 50/50
---------------	---------

- **Atap Baja**

Gording	: LLC 150.50.20.2,5
Penggantung Gording	: baja bulat Ø12
Ikatan Angin Atap	: baja bulat Ø12
Kuda – Kuda	: WF 300.150.6,5,9
Kolom Baja	: WF 125.125.6,5,9
Sambungan Kuda-Kuda	: 4 buah baut D16
Jumlah angkur	: 4 buah Ø6

- **Tangga**

Tinggi tanjakan tangga	: 15 cm
Lebar injakan tangga	: 30 cm
Jumlah injakan tangga	: 21 buah

- Pelat

Tebal pelat lantai	: 12 cm
Tebal pelat atap	: 12 cm
Tebal pelat tangga	: 18 cm
Tebal pelat bordes	: 18 cm

- Pondasi Bore Pile

Panjang poer	: 240 cm
Lebar poer	: 120 cm
Tebal poer	: 60 cm
Diameter tiang poer	: 40 cm

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 1971, “**Peraturan Beton Bertulang Indonesia**”, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah bangunan, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983, “**Peraturan Pembebaan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG)**”, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah bangunan, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2012, “**Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 2847-2013)**”, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2013, “**Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)**”, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2015, “**Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)**”, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, “**Peta Hazard Gempa Indonesia 2010**”, Jakarta.
- McCormac, C.J, 2002, **Desain Beton Bertulang Edisi ke 5 Jilid 1**, Erlangga: Jakarta.
- McCormac, C.J, 2002, **Desain Beton Bertulang Edisi ke 5 Jilid 2**, Erlangga: Jakarta.
- Setiawan, Agus, 2013, “**Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD**”, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B.Peck, 1967, “**Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa**”, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wang, Chu Kia, Salmon, Charles G., Hariandja, Binsar, 1990, “**Desain Beton Bertulang Edisi Keempat Jilid 2**”, Jakarta: Penerbit Erlangga.

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 21 April tahun 1995 dan merupakan anak tunggal. Penulis bernama lengkap Linda Kartini Putri ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN I No. 464 Surabaya, SMPN 16 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013. Penulis mengikuti Ujian Masuk Diploma dan diterima di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113 030 001.

Penulis juga mengambil Konsentrasi Bangunan Gedung. Selama menjalani perkuliahan, penulis juga aktif mengikuti organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa LE-HMDS dan menduduki jabatan sebagai Bendahara pada tahun 2014. Dan penulis juga aktif dalam menyukseskan beberapa kegiatan yang ada di kampus ITS Manyar dan Kampus ITS Sukolilo, seperti : Tower Construction Competition (TCC), Bridge Construction Competition (BCC) dan Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah. Selain mengisi waktu dengan kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis mengikuti kegiatan non akademik seperti turut serta dalam Pelatihan Kejuaraan Daerah Renang Jatim.

“HALAMANINI SENGAJA DI KOSONGKAN”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 2 Februari tahun 1995 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Miranti Ramdhini ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Bayeman 1 Pasuruan, SMPN 1 Gondangwetan Pasuruan, dan SMAN 1 Gondangwetan Pasuruan. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013. Penulis mengikuti seleksi Ujian Masuk Diploma dan diterima di Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP - ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113 030 008.

Penulis juga mengambil Konsentrasi Bangunan Gedung. Di Program Studi Diploma III Teknik Sipil ini penulis pernah mengikuti Himpunan Mahasiswa LE-HMDS sebagai staf Pendidikan dan Kesejahteraan Mahasiswa. Penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kampus seperti kepanitiaan D'Village ITS tahun 2013 dan tahun 2013.