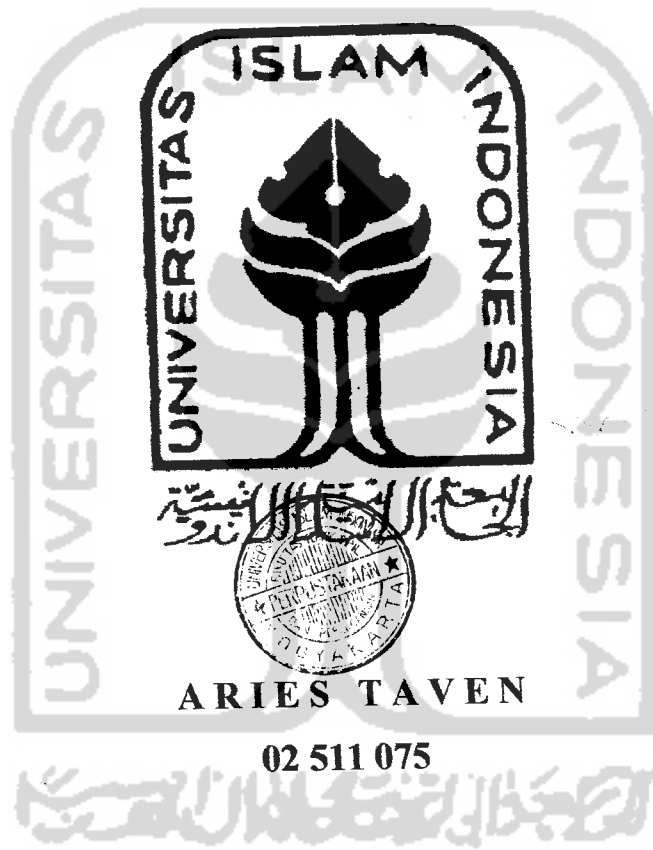


PERPUSTAKAAN FTS	
HADIAN/BELI	
TGL. TERIMA :	5-12-2007
NO. JUDUL :	2698
NO. INV. :	5120002698001
NO. INDIK. :	002698

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN JEMBATAN BETON BERTULANG
TIPE GELAGAR LENGKUNG (ARCH BRIDGE)
DI ATAS SUNGAI KRETEK BANTUL**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Srata Satu (S1) Teknik Sipil



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007**

PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN JEMBATAN BETON BERTULANG
TIPE GELAGAR LENGKUNG (*ARCH BRIDGE*)
DI ATAS SUNGAI KRETEK BANTUL

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Srata Satu (S1) Teknik Sipil



Disusun Oleh :

ARIES TAVEN

02 511 075

Disetujui Oleh :

Pembimbing :

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Suharyatmo', written over a horizontal line.

Ir. H. Suharyatmo, MT

Tanggal :

MOTTO

“Allah SWT akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(QS. AlMujaadilah : 11)

“Dan Allah menurunkan dari langit air (hujan) dan dengan air itu dihidupkan-Nya bumi setelah matinya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda kekuasaan Allah bagi orang-orang yang mendapatkan pengajaran”

(QS. An Nahl : 65)

“Apa saja yang di sisimu akan sirna, dan apa-apa yang di sisi Allah adalah kekal, dan sesungguhnya (Allah) akan memberi balasan kepada orang-orang yang sabar dengan pahala yang lebih besar dari pada apa-apa yang telah mereka kerjakan”

(QS. An Nahl : 96)

Sesungguhnya di dalam kesulitan pasti ada kemudahan

(QS. Asy Syarh : 5)

Barang siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu maka Allah akan memudahkan baginya jalan ke surga”

(Hadist Rasuullah SAW)

“Dan Kami jadikan di bumi gunung-gunung yang tegak berdiri agar tidak guncang bersama mereka, juga Kami jadikan di bumi jalan-jalan yang lebar agar mereka dapat petunjuk dan dalam perjalanan”

(QS. Al Anbiyaa' : 31)

'Kalau Anda ingin menyalahkan orang lain yang paling bertanggung jawab atas kegagalan Anda dalam hidup, maka Anda bisa mulai dengan menyalahkan diri sendiri ? Kenapa demikian ?? Karena Andalah sendirilah yang memutuskan, mengambil keputusan dengan penuh kesadaran, untuk gagal.

Sukses anda, bukan nasib. Sukses adalah sesuatu yang hanya dapat dicapai dengan harta, keringat, air mata dan kadang juga darah. Pada prinsipnya, tidak ada orang yang gagal. Yang ada hanya orang yang "memutuskan untuk berhenti" sebelum mencapai sukses"

"Kesuksesan itu hanya berjarak satu langkah dari orang yang mau belajar dari kesalahan, berani mencoba, pantang menyerah, tidak mudah putus asa, terus mencoba dan tidak takut gagal"

"Menjadi orang yang sukses itu sulit tapi lebih sulit lagi kalau tidak menjadi orang yang sukses"

*"Genggamlah erat-erat mimpi-mimpimu
Karena jika mimpi-mimpi itu hilang
Kehidupan seperti seekor burung
Yang patah sayapnya
Dan tidak dapat terbang*

*Genggamlah erat-erat mimpi-mimpimu
Karena ketika mimpi-mimpi itu pergi
Kehidupan seperti ladang yang kering
Gersang dan dingin"*

*“Aku tidak memilih menjadi insan biasa
Memang hak-ku untuk menjadi luar biasa
Aku mencari kesempatan bukan perlindungan
Aku tidak ingin menjadi warga yang terkungkung
Rendah diri dan terpedaya
Karena dilindungi pihak berkuasa
Aku siap menghadapi resiko terencana
Berangan-angan dan membina
Untuk gagal dan sukses
Aku menolak menukar insentif dengan derma
Aku memilih tantangan hidup dari pada derma
Aku memilih tantangan hidup dari pada
Kehidupan yang terjamin
Kenikmatan mencapai sesuatu,
Bukan utopia yang basi
Aku tidak akan menjual kebebasanku,
Tidak juga kemuliaanku
Untuk mendapatkan derma
Aku tidak akan merendahkan diri
Pada sembarangan atasan dan ancaman
Sudah menjadi warisanku
Untuk berdiri tegak, megah dan berani
Untuk berpikir dan bertindak untuk diri sendiri
Untuk meraih segala keuntungan
Hasil kerja sendiri
Dan untuk menghadapi dunia
Dengan berani dan berkata :
“Ini Telah Kulakukan”
Segalanya ini memberikan makna bagi seorang insan”*

Halaman Persembahan

Kupersembahkan Karya Sederhana ini Kepada :

Yang Terkasih Allah SWT

Serta Nabi Muhammad SAW

Dan orang-orang yang sangat kucintai dan kusayangi :

Ayahanda Arzi, Spd dan Ibunda Iskalil Mala

Nek di dusun

Kedua adikku Haris Alven dan Nicky Arzila

Seluruh Keluarga besar di Bengkulu

Kekasih hatiku

Dan

Sahabat-sahabatku

Yang senantiasa mencurahkan cinta dan kasih

sayangnya untukku

dan sebagai tempat meminta

tercinta yang telah sabar
sentuhan kasih sayang dan doa
karena dengan cinta
menyelesaikan tugas akhir
Kedua adikku yang ku sayangi,

diimpi-impikan n bisa jadi orang

Ho da camat BIMB mau ngajin keluarga nta? jaa

orang yang sukses..pokoknya

dan
makasih juga dah ngumpul-ngumpul slama ini setiap dang mau

Juga buat smua adex-adex sepupuku...

serta kesabaran dan keramahan sewaktu konsultasi, tanpa
bimbingan bapak mungkin saya tidak dapat menyelesaikan tugas akhir

dan semangat saling berbagi informasi

...oh yah ntar klo dpt proyek kasih tau aku

benar,
cauladan dalam hidupku.

langkah-langkahku,
bisa berbahagia dan
telah dicitakan.

dank sih?? tapi ga

yang slama ini

akademi kebudayaan ga? pokoknya

jadi

terjaga di hati dang...

keluarga



yah atas pertemanannya slama ini..dah saling berbagi cerita..sering jalan-jalan..pokoknya kamu tuh orang asyik juga walaupun kadang-kadang sering nyebelin..makasih juga atas bantuannay,informasinya n dukungannya

ku yang baru sekarang..maksih buat semuanya atas bantuan dan pertemanannya selama

pertemanannya slama kuliah...jaga terus kebersamaan kita yah..

maaf yah klo aku ada salah sama kalian...pokoknya teruskan perjuangan

yah klo aku sering nyebelin tiap aku ngetik laporan tugas akhir ini..maaf juga aku sering ngalahin mu tiap main wing

atas ilmu yang telah diberikan

kasih atas semua bantuannya

atas kenangan yang tlah diberikan

atas cinta dan kasih sayangnya utukku..maksih atas dukungan dan perhatianmu memberikan kesejukan didalam hatiku, Semoga Allah SWT mmeberikan sesuatu yang terbaik bagi kita. Amiin..

atas doanya utukku..moga suatu hari nanti kita bisa ngumpul lagi
Thanks for All...

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah rabbil 'alamin, Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, karunia dan rahmat-Nya kepada kita semua, khususnya kepada Penyusun sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tidak lupa sholawat dan salam senantiasa penyusun haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir ini dengan judul **Perencanaan Jembatan Beton Bertulang Tipe Gelagar Lengkung (Arch Bridge) Di Atas Sungai Kretek Bantul** diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada jenjang Strata Satu (S1), pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga terselesaikannya tugas akhir ini. Pada kesempatan ini dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu :

1. Bapak Prof. Dr. H. Edy Suandi Hamid, M.Ec, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr.Ir.H. Ruzardi, Ms, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.
3. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII.
4. Bapak Ir.H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing dalam penelitian ini.
5. Bapak Ir. Fatkhurrohman.N. MT, selaku Dosen Penguji.
6. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku Dosen Penguji.
7. Bapak dan Ibu tercinta di Bengkulu, atas kasih sayang, kesabaran serta dukungan baik material maupun spiritual dengan iringan doa yang telah diberikan kepada ananda selama ini.
8. Kedua Adikku Haris Alven dan Nicky Arzila.
9. Semua keluarga di Bengkulu atas dukungannya kepada ananda.
10. Teman seperjuanganku Ricky Apriansyah yang sama-sama mengambil tugas akhir tentang jembatan, terima kasih atas sharingnya, masukan dan sesama koreksinya.
11. Teman-teman Civil 02 yang tidak bisa penyusun sebut satu persatu, terima kasih atas segala dukungan, informasi, dan segala perhatiannya.
12. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
ABSTRAKSI	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Umum.....	1
1.2 Tujuan Perencanaan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Peta lokasi Jembatan Kretek 2.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum.....	12
2.2 <i>Abutment</i> dan Pilar.....	13
2.3 Pondasi Tiang <i>Bore Pile</i>	13
2.4 Dasar-dasar Perencanaan.....	14
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Umum.....	16
3.2 Pembebanan Strukur.....	16
3.2.1 Kombinasi Pembebanan.....	16
3.2.2 Kuat Rencana.....	17
3.3 Strukur Beton Bertulang dan Beban Gempa.....	18

	3.2.1	Faktor-faktor penentu Beban Gempa Rencana.....	18
	3.3.2	Analisa Beban Statik Ekuivalen.....	20
	3.4	Perencanaan Struktur Atas Jembatan.....	20
	3.4.1	Perencanaan Pelat.....	21
	3.4.2	Desai Balok.....	25
	3.4.3	Perencanaan Kolom.....	42
	3.5	Struktur Bawah Jembatan.....	49
	3.5.1	Perencanaan <i>Abutment</i>	49
	3.5.2	Perencanaan Pondasi Tiang <i>Bore Pile</i>	54
BAB IV		ANALISA DAN DESAIN	
	4.1	Pendahuluan.....	59
	4.2	Data Struktur.....	59
	4.3	Waktu Penelitian.....	60
	4.4	Tahap Perencanaan.....	60
	4.5	Pelaksanaan Penelitian dan Jadwal Penelitian.....	63
BAB V		PERHITUNGAN KONSTRUKSI	
	5.1	Perencanaan Koordinat Lengkung Jembatan.....	64
	5.2	Perencanaan <i>Kantilever</i>	65
	5.2.1	Perencanaan Tulangan Tiang Sandaran.....	65
	5.2.2	Perencanaan Tulangan Geser Tiang Sandaran.....	68
	5.2.3	Perencanaan Pelat Trotoar.....	69
	5.3	Perencanaan Pelat Lantai Jembatan.....	74
	5.4	Perencanaan Pembebanan Struktur Jembatan.....	83
	5.4.1	Perhitungan Pembebanan Struktur Jembatan.....	83
	5.4.2	Pembebanan Gempa.....	93
	5.4.3	Beban Angin.....	97
	5.4.4	Beban Rem dan Traksi.....	98
	5.4.5	Beban Temperatur.....	101
	5.4.6	Beban Susut dan Rangkak.....	101

5.4.7	Beban Aliran Air dan Hanyutan.....	102
5.5	Perencanaan Tulangan Balok / Gelagar.....	103
5.5.1	Perhitungan Tulangan.....	103
5.5.2	Perhitungan Momen Kapasitas Balok.....	109
5.5.3	Perhitungan Tulangan geser Balok.....	112
5.5.4	Perhitungan Grafik Interaksi Kolom.....	117
5.5.5	Perhitngan Tulangan Balok Lengkung.....	121
5.5.6	Perhitungan Tulangan Geser Balok Lengkung.....	124
5.6	Perhitungan Tulangan Kolom.....	126
5.6.1	Kelangsingan Kolom.....	126
5.6.2	Menghitung Momen Rencana Kolom.....	127
5.6.3	Perhitungan Tulangan Kolom.....	130
5.6.5	Perhitungan Geser Kolom.....	132
5.6.6	Perhitungan Tulangan Geser Kolom.....	134
5.7	Perhitungan Konsruksi Bagian Bawah.....	136
5.7.1	Perhitungan Kepala Jembatan / <i>Abutment</i>	136
5.7.2	Perhitungan Pondasi <i>Abutment</i> dan <i>Abutment</i>	162
5.7.3	Pembesian <i>Abutment</i>	172
5.8	Perhitungan Pondasi Pilar dan Pile Cap Pilar.....	190
5.8.1	Pondasi Pilar 1.....	190
5.8.2	Pondasi Pilar 2.....	212

BAB VI PEMBAHASAN

6.1	Umum.....	234
6.2	Balok.....	234
6.2.1	Balok Induk.....	235
6.2.2	Balok Anak.....	239
6.2.3	Balok Lintang.....	239
6.2.4	Balok Lengkung.....	262

6.3	Kolom.....	264
6.4	Pondasi.....	267
6.5	Pelat.....	269
6.6	Tiang Sandaran.....	270
6.7	Perhitungan Volume Beton.....	270

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1	Kesimpulan.....	272
7.2	Saran.....	273

DAFTAR PUSTAKA	274
-----------------------	-------	-----

LAMPIRAN



Gambar 5.5	Pelat trotoar.....	69
Gambar 5.6	Beban hidup pada trotoar.....	70
Gambar 5.7	Tampang pelat lantai jembatan.....	74
Gambar 5.8	Beban T pada lantai kendaraan.....	75
Gambar 5.10	Kontrol tegangan geser <i>pons</i>	81
Gambar 5.11	Potongan melintang jembatan.....	83
Gambar 5.12	Distribusi beban mati gelagar.....	84
Gambar 5.13	Distribusi beban hidup gelagar.....	87
Gambar 5.14	Distribusi beban hidup tiap gelagar.....	87
Gambar 5.15	Distribusi beban hidup tiap masing-masing gelagar.....	89
Gambar 5.16	Beban angin pada jembatan.....	97
Gambar 5.17	Gaya rem pada jembatan.....	101
Gambar 5.18	<i>Output SAP</i> gaya geser balok.....	112
Gambar 5.19	Gambar dimensi penampang <i>abutment</i>	136
Gambar 5.20	Penampang <i>abutment</i> untuk perhitungan berat sendiri.....	140
Gambar 5.21	Berat tanah di atas pondasi.....	141
Gambar 5.22	Beban-beban sekunder yang bekerja pada <i>abutment</i>	143
Gambar 5.23	Potongan bagian <i>breast wall</i>	149
Gambar 5.24	Potongan <i>back wall</i> dan <i>corbell</i>	153
Gambar 5.25	Potongan <i>wing wall</i>	160
Gambar 5.26	<i>BMD</i> tiang pondasi bor <i>abutment</i>	167
Gambar 5.27	Lengan terhadap sisi depan.....	172
Gambar 5.28	<i>BMD</i> tiang pondasi bor pilar 1.....	200
Gambar 5.29	Lengan tiang bor terhadap sisi luar pier 1.....	207
Gambar 5.30	<i>BMD</i> tiang pondasi bor pilar 2.....	222
Gambar 5.31	Lengan tiang bor terhadap sisi luar pier 2.....	229

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Tinggi Kolom.....	64
Tabel 5.2	Perhitungan Beban mati trotoar dan railing.....	70
Tabel 5.3	Perhitungan Beban hidup trotoar	71
Tabel 5.4	Perhitungan beban mati pelat lantai jembatan.....	75
Tabel 5.5	Berat jenis bahan.....	84
Tabel 5.6.	Tabel berat balok.....	95
Tabel 5.7.	Tabel berat kolom.....	95
Tabel 5.8	Perhitungan beban mati struktur atas.....	137
Tabel 5.9	Perhitungan berat sendiri abutment.....	141
Tabel 5.10	Perhitungan berat tanah di atas pondasi.....	142
Tabel 5.11	Perhitungan gaya horizontal tekanan tanah.....	143
Tabel 5.12	Perhitungan beban gempa pada abutment.....	144
Tabel 5.13	Kombinasi pembebanan pada perhitungan <i>abutment</i>	146
Tabel 5.14	Kombinasi pembebanan I ($M + (H + K) + Ta$).....	146
Tabel 5.15	Kombinasi pembebanan II ($M + F + A + Ta$).....	146
Tabel 5.16	Kombinasi pembebanan III ($M + (H + K) + R_m + F + A$)....	147
Tabel 5.17	Kombinasi pembebanan IV ($M + G_b + Ta$).....	147
Tabel 5.18	Perhitungan eksentrisitas pondasi.....	147
Tabel 5.19	Perhitungan stabilitas pondasi terhadap guling.....	148
Tabel 5.20	Perhitungan stabilitas pondasi terhadap geser.....	148
Tabel 5.21	Perhitngan momen akibat berat sendiri <i>breast wall</i>	149
Tabel 5.22	Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah	150
Tabel 5.23	Perhitungan gaya dan momen akibat gempa pada <i>breast wall</i>	150
Tabel 5.24	Perhitungan gaya dan momen akibat gaya gesek dan rem... 151	
Tabel 5.25	Kombinasi pembebanan I pada <i>breast wall</i>	151
Tabel 5.26.a	Kombinasi pembebanan II pada <i>breast wall</i>	151
Tabel 5.26.b	Kombinasi pembebanan III pada <i>breast wall</i>	152
Tabel 5.27	Kombinasi pembebanan IV pada <i>breast wall</i>	152

Tabel 5.28	Gaya dan momen pada potongan <i>breast wall</i>	152
Tabel 5.29	Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri <i>back wall</i> pot. A.....	154
Tabel 5.30	Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah pada <i>back wall</i>	154
Tabel 5.31	Perhitungan gaya dan momen akibat gempa pada <i>back wall</i>	154
Tabel 5.32	Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri <i>back wall</i> pot. B.....	155
Tabel 5.33	Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah pada <i>back wall</i>	155
Tabel 5.34	Perhitungan gaya dan momen akibat gempa pada <i>back wall</i>	156
Tabel 5.35	Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri <i>back wall</i> pot. C.....	156
Tabel 5.36	Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri <i>back wall</i> pot. D.....	157
Tabel 5.37	Kombinasi gaya dan momen <i>back wall</i> pot. A.....	158
Tabel 5.38	Kombinasi gaya dan momen <i>back wall</i> pot. B.....	158
Tabel 5.39	Kombinasi gaya dan momen <i>back wall</i> pot. C.....	158
Tabel 5.40	Kombinasi gaya dan momen <i>back wall</i> pot. D.....	158
Tabel 5.41	Kombinasi gaya dan momen rencana <i>back wall</i> pot. A....	159
Tabel 5.42	Kombinasi gaya dan momen rencana <i>back wall</i> pot. B....	159
Tabel 5.43	Kombinasi gaya dan momen rencana <i>back wall</i> pot. C....	159
Tabel 5.44	Kombinasi gaya dan momen rencana <i>back wall</i> pot. D....	159
Tabel 5.45	Perhitungan luas <i>wing wall</i>	160
Tabel 5.46	Gaya aksial yang diterima satu tiang bor.....	163
Tabel 5.47	Gaya lateral yang diterima satu tiang bor.....	163
Tabel 5.48	Perhitungan tekanan tanah pasif pada tiang bor <i>abutment</i> ..	168
Tabel 5.49	Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah.....	168
Tabel 5.50	Perhitungan bending moment diagram pada tiang bor	

	<i>abutment</i>	169
Tabel 5.51	Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin aksial tiang bor <i>abutment</i>	170
Tabel 5.52	Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin lateral tiang bor <i>abutment</i>	170
Tabel 5.53	Momen rencana pile cap.....	172
Tabel 5.54	Perhitungan berat dan momen pada pile cap.....	173
Tabel 5.55	Gaya aksial dan momen pada <i>breast wall</i>	176
Tabel 5.56	Gaya aksial yang diterima satu tiang bor.....	191
Tabel 5.57	Perhitungan beban mati pada struktur atas.....	191
Tabel 5.58	Perhitungan beban mati pada struktur bawah.....	192
Tabel 5.59	Perhitungan gaya gempa pada pilar 1.....	194
Tabel 5.60	Kombinasi pembebanan I gaya horizontal.....	195
Tabel 5.61	Kombinasi pembebanan II gaya horizontal.....	195
Tabel 5.62	Kombinasi pembebanan III gaya horizontal.....	196
Tabel 5.63	Kombinasi pembebanan IV gaya horizontal.....	196
Tabel 5.64	Gaya leteral yang diterima satu tiang bor pada pilar 1.....	196
Tabel 5.66	Perhitungan tekanan tanah pasif pada tiang bor pilar 1.....	201
Tabel 5.67	Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah.....	201
Tabel 5.68	Perhitung an bending momen t diagram pada tiang bor pilar 1.....	202
Tabel 5.69	Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin aksial tiang bor pilar 1.....	203
Tabel 5.70	Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin lateral tiang bor pilar 1.....	203
Tabel 5.71	Gaya axial maks. pada pile cap pilar 1.....	207
Tabel 5.72	Berat dan momen pada pile cap pilar 1.....	208
Tabel 5.73	Gaya aksial yang diterima satu tiang bor.....	213
Tabel 5.74	Perhitungan beban mati pada struktur atas pilar 2.....	213
Tabel 5.75	Perhitungan beban mati pada struktur bawah pilar 2.....	214
Tabel 5.76	Perhitungan gaya gempa pada pilar 2.....	216

DAFTAR NOTASI

- A_g = Luas bruto penampang.
- A_s = Luas dari tulangan tarik.
- A'_s = Luas dari tulangan tekan.
- $A_{s\ min}$ = Luas tulangan minimum.
- $A_{s\ susut}$ = Luas tulangan susut.
- 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.
- A_ϕ = Luas penampang satu batang tulangan.
- a = Tinggi blok tegangan regangan tekan persegi ekuivalen.
- a_{leleh} = Tinggi blok tegangan regangan tekan persegi ekuivalen pada saat leleh.
- a_k = Tinggi blok tegangan regangan persegi kapasitas ekuivalen.
- b = Lebar dari muka tekan komponen struktur.
- b_j = Lebar efektif join.
- b_v = Lebar penampang pada bidang kontak yang ditinjau terhadap geser horizontal.
- b_w = Lebar badan balok atau diameter penampang bulat.
- B_x = lebar abutment arah x
- B_y = lebar abutment arah y
- c = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral.

- C_1 = Koefisien gempa dasar.
- C_c = Gaya tekan dalam beton tanpa tulangan tekan.
- C_s = Gaya tekan tambahan akibat tulangan tekan.
- d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (tinggi efektif balok).
- d' = Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tekan.
- d_i = Simpangan horisontal lantai tingkat ke-i.
- D = Beban mati, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati.
- e = Eksentrisitas gaya terhadap sumbu.
- E = Pengaruh beban gempa, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa.
- E_c = Modulus elastisitas beton.
- E_s = Modulus elastisitas baja.
- f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan.
- f_i = Faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam struktur gedung dan nilainya ditetapkan sebesar 1,6.
- f_s = Kuat tekan leleh tulangan pada saat beban bekerja.
- f_y = Kuat leleh baja tulangan yang diisyaratkan.
- F_i = Distribusi beban geser dasar pada tingkat ke-i.
- g = Percepatan gravitasi.
- h = Tinggi kolom portal.
- h' = Tinggi bersih kolom portal.
- H = Tinggi kolom, tinggi total portal struktur.

- I = Faktor keutamaan, momen inersia.
- K = Faktor jenis keutamaan.
- k = Kekakuan lentur kolom.
- K_p = Kekakuan gabungan yang merupakan gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu-satuan lendutan horisontal jembatan.
- L = Beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban hidup.
- L_n = Panjang dari bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka-ke-muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya, mm.
- l_n = Bentang bersih.
- l = Panjang bentang.
- m = Perbandingan tegangan
- M_D = Momen akibat beban mati.
- M_E = Momen akibat beban gempa.
- M_{EK} = Momen akibat gaya geser gempa.
- M_{kap} = Momen kapasitas penampang.
- M_L = Momen akibat beban hidup.
- M_n = Kuat momen nominal pada suatu penampang.
- M_u = Momen ultimit/terfaktor penampang.
- n = Jumlah tulangan, jumlah lantai bangunan.
- nb = Jumlah baris tiang

- nt = Jumlah tiang bor perbaris
- P_b = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang.
- P_D = Gaya aksial akibat beban mati.
- P_E = Gaya aksial akibat beban gempa.
- P_g = Gaya aksial akibat beban gravitasi terfaktor pada pusat joint.
- P_L = Gaya aksial akibat beban hidup.
- P_n = Kekuatan beban aksial nominal.
- P_u = Gaya aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan.
- R = Faktor reduksi gempa.
- R_n = Koefisien lawan untuk perencanaan kekuatan.
- s = Spasi tulangan geser atau torsi dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.
- T = Waktu getar struktur, detik.
- T_{EQ} = Gaya gempa/gaya geser total.
- T_I = Waktu getar alami fundamental.
- T_s = Gaya tarik tulangan baja.
- U = Kuat perlu untuk menahan beban yang telah dengan faktor beban atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya
- V = Gaya gempa/gaya geser total.
- V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton.
- V_D = Gaya geser akibat beban mati.
- V_E = Gaya geser akibat beban gempa.
- V_g = Gaya geser akibat beban mati ditambah beban hidup.

- V_L = Gaya geser akibat beban hidup.
- V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.
- V_u = Gaya geser berfaktor pada penampang.
- q_c = Nilai konus rata-rata
- q_f = Nilai hambatan lekat rata-rata
- w_u = Beban terfaktor per unit luas.
- W_t = Berat total struktur.
- Z = Besaran pembatas distribusi tegangan lentur.
- ΣH = jumlah gaya arah horizontal
- ΣV = jumlah gaya arah vertikal
- ΣM_v = jumlah momen dari beban vertikal
- ΣM_h = jumlah momen dari beban horizontal
- α = Faktor distribusi momen kolom portal yang ditinjau, yang nilainya dihitung sebanding dengan kekakuan relatif unsur-unsur yang bertemu pada titik pertemuan tersebut.
- β = Rasio dari bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari plat.
- β_c = Perbandingan w/c ; tinggi dari distribusi tegangan persegi terhadap kedalaman dari garis netral.
- ρ = Perbandingan tulangan tarik terhadap $b \cdot d$.
- ρ_m = Perbandingan tulangan pada keadaan regangan berimbang.
- ρ_{mak} = Perbandingan tulangan pada keadaan regangan maksimum.
- ρ_{min} = Perbandingan tulangan pada keadaan regangan minimum.

ε_c = Regangan tekan beton.

ε_{cu} = Regangan tekan beton maksimum pada saat hancur.

ε_s = Regangan pada baja tulangan.

ε_y = Regangan pada saat baja mencapai tegangan leleh.

ϕ = Faktor reduksi kekuatan.

γ_o = Faktor penambahan kekuatan (*overstrength factor*), yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk baja tulangan dengan $f_y < 400$ MPa dan 1,4 untuk $f_y \geq 400$ MPa.



ABSTRAKSI

Pesatnya pertumbuhan masyarakat membutuhkan tersedianya sarana jalan dan jembatan yang memadai guna mempermudah arus transportasi barang dan manusia. Selama ini kita mengenal jalur Pantura, yaitu jalur jalan yang menghubungkan kota-kota di sepanjang pesisir utara pulau Jawa. Sebagai alternatif transportasi, maka dipandang perlu untuk membangun jalan di sepanjang pesisir selatan pulau Jawa, yang disebut jalur pantai selatan. Jalur ini banyak melewati sungai-sungai, baik besar maupun kecil. Salah satu sungai yang dilewati adalah Kali Opak di daerah Kretek, Bantul. Oleh karena itu pembangunan Jembatan Kretek II (yang berada di hilir Jembatan Kretek sekarang) menjadi mutlak diperlukan sebagai sarana penghubung pada ruas jalur yang baru tersebut

Adapun tujuan pembangunan Jembatan Kretek II antara lain adalah :

1. memperlancar arus lalu lintas sepanjang jalur pantai selatan,
2. meningkatkan prasarana jalan,
3. memperlancar perekonomian dan industri serta mendukung pertumbuhan sosial budaya dan pariwisata penduduk sekitar kecamatan Kretek kabupaten Bantul, dan
4. mengantisipasi pertumbuhan arus lalu lintas serta pengembangan wilayah pada masa sekarang.

Jembatan Kretek II termasuk jembatan dengan bentang panjang yaitu mencapai 240 m. Jembatan bentang panjang memerlukan perencanaan yang baik sehingga diperoleh hasil yang ekonomis dan aman, salah satu solusinya adalah merencanakan dengan model lengkung (arch) beton bertulang. Tujuan dari tugas akhir ini adalah merencanakan struktur atas jembatan meliputi gelagar, trotoar, sandaran, kolom dan gelagar lengkung yang juga merupakan struktur utama dari jembatan dan struktur bawah meliputi abutment dan pondasi.

Perencanaan jembatan kretek II diawali dengan menentukan spesifikasi struktur yang digunakan meliputi mutu beton dan kuat tarik baja yang digunakan. Kemudian dilakukan perhitungan struktur dengan menentukan beba-beban yang bekerja sesuai dengan PPTJ – 1992 dan BDM-1992, meliputi beban mati, hidup, angin, gempa, rem dan traksi, tekanan tanah, susut rangkai dan aliran air dan hanyutan. Tahap selanjutnya adalah dilakukan analisis struktur dengan program SAP 2000. Dari hasil analisis struktur dilakukan perhitungan struktur beton bertulang dengan metode kuat batas yaitu beban kerja dinaikkan dengan memberikan faktor beban, sehingga diperoleh suatu beban yang dipakai untuk perencanaan.

Hasil perhitungan diperoleh tulangan yang digunakan dalam perencanaan Jembatan Kretek II adalah balok dan kolom digunakan tulangan $\emptyset 25$, $\emptyset 22$, $\emptyset 19$ dengan $f_y = 390$ Mpa. Tulangan geser menggunakan tulangan $\emptyset 10$, $\emptyset 13$, $f_y = 390$ Mpa. Untuk pelat dan sandaran digunakan tulangan $\emptyset 8$, $\emptyset 16$ dan $\emptyset 12$. dan untuk struktur bawah digunakan tulangan $\emptyset 32$, $\emptyset 25$, $\emptyset 16$, $\emptyset 13$, $f_y = 390$ Mpa. Tulangan geser menggunakan tulangan $\emptyset 13$, $\emptyset 16$, dan $f_y = 390$

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Umum

Jembatan merupakan salah satu sarana yang sangat vital bagi kelancaran sistem lalu lintas pada umumnya. Jembatan biasanya menghubungkan antara dua daerah yang dipisahkan oleh kondisi alam, misalnya sungai, jurang dan lain-lain.

Pesatnya pertumbuhan masyarakat membutuhkan tersedianya sarana jalan dan jembatan yang memadai guna mempermudah arus transportasi barang dan manusia. Selama ini kita mengenal jalur Pantura, yaitu jalur jalan yang menghubungkan kota-kota di sepanjang pesisir utara pulau Jawa. Sebagai alternatif transportasi, maka dipandang perlu untuk membangun jalan di sepanjang pesisir selatan pulau Jawa, yang disebut jalur pantai selatan. Jalur ini banyak melewati sungai-sungai, baik besar maupun kecil. Salah satu sungai yang dilewati adalah Kali Opak di daerah Kretek, Bantul. Oleh karena itu pembangunan Jembatan Kretek II (yang berada di hilir Jembatan Kretek sekarang) menjadi mutlak diperlukan sebagai sarana penghubung pada ruas jalur yang baru tersebut dan selain itu juga membawa perubahan kondisi angkutan barang dan jasa yang meningkat baik volume maupun bebannya sehingga mempermudah dan mempercepat kegiatan ekonomi dan perdagangan bagi masyarakat pengguna ruas jalan tersebut. Adapun tujuan pembangunan Jembatan Kretek II antara lain adalah :

1. memperlancar arus lalu lintas sepanjang jalur pantai selatan,
2. meningkatkan prasarana jalan,

3. memperlancar perekonomian dan industri serta mendukung pertumbuhan sosial budaya dan pariwisata penduduk sekitar kecamatan Kretek kabupaten Bantul, dan
4. mengantisipasi penambahan arus lalu lintas serta pengembangan wilayah pada masa sekarang.

1.2 Tujuan Perencanaan/Disain

Dalam rangka menyelesaikan tugas akhir di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, maka diambil perencanaan jembatan secara lengkap. Adapun jembatan yang direncanakan adalah Jembatan Kretek II, dengan mencakup pekerjaan perencanaan meliputi :

1. perencanaan sandaran dan lantai jembatan,
2. perencanaan gelagar (balok) jembatan,
3. perencanaan pilar (kolom) jembatan (*pier*),
4. perencanaan *abutment*, dan
5. perencanaan pondasi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar penulisan dapat terarah dan terfokus pada acuan yang akan dicapai. Hal-hal penting yang perlu dibatasi adalah :

1. jembatan yang direncanakan adalah tipe kelas I A
2. pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang *bore pile*,

3. analisis struktur menggunakan program *SAP 2000*,
4. spesifikasi jembatan ditentukan sebagai berikut (lihat gambar 1.5 dan 1.6) :
 - a. tipe jembatan : beton bertulang gelagar lengkung
(*arch bridge*) dengan 5 perletakan,
 - b. panjang jembatan total : 240 m,
 - c. jumlah bentang : 4 buah (40 m, 80 m, 80 m, 40 m),
 - d. lebar jembatan : 20 m,
 - e. lebar perkerasan : 7 m untuk 1 jalur kendaraan,
 - f. lebar median jalan : 2,5 m,
 - g. lebar trotoar : 1,75 m,
 - h. tebal pelat lantai jembatan : 0,25 m,
 - i. jumlah balok induk memanjang : 3 buah,
 - j. jumlah balok anak memanjang : 6 buah,
 - k. jumlah balok lengkung : 3 buah,
 - l. jumlah balok lintang : 96 buah, dan
 - m. jumlah kolom : 135 buah,
5. pembebanan menggunakan metode Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, 1992 (*PPTJ – 1992*), Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga. dan *Bridge Design Manual*, 1992 (*BDM-1992*), *Directorate General of Highway, Ministry of Public Works, Republic of Indonesia*.

Pedoman Pembebanan untuk perencanaan jembatan jalan raya meliputi data-data beban primer, beban sekunder dan beban khusus serta persyaratan perencanaan untuk penyebaran beban, kombinasi pembebanan, syarat ruang bebas dan penggunaan beban hidup tidak penuh. Pedoman ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan bentang panjang > 200 m dengan mengadakan modifikasi sesuai jenis konstruksi dan kondisi lapangan.

A. Beban Primer

Beban primer adalah beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

a. Beban Mati

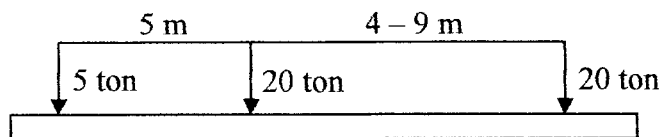
Beban mati adalah beban yang merupakan berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak dan atau pejalan pejalan kaki yang dianggap pekerja pada jembatan. Beban hidup jembatan terdiri dari :

- Beban Hidup Terpusat (T)

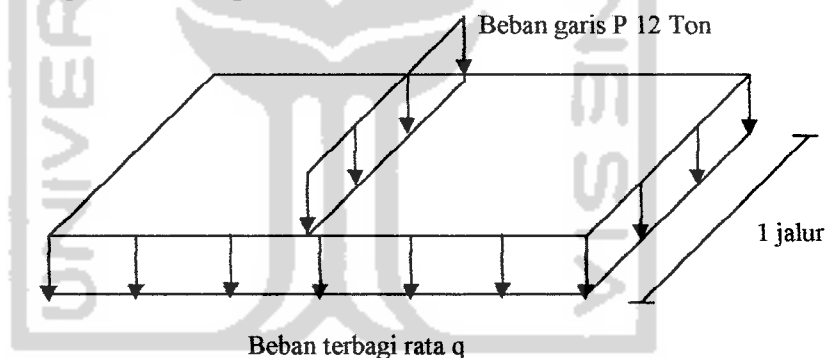
Beban hidup T merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan, beban T ini merupakan beban kendaraan truck yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton dengan ukuran-ukuran serta kedudukan seperti Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Beban hidup terpusat T untuk lantai kendaraan

- Beban Jalur (D)

Beban hidup D merupakan beban jalur untuk gelagar, beban D ini adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar q (ton per meter panjang per jalur) dan beban garis P (ton per jalur lalu lintas tersebut), seperti terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Beban jalur D untuk balok

Besar q ditentukan sebagai berikut :

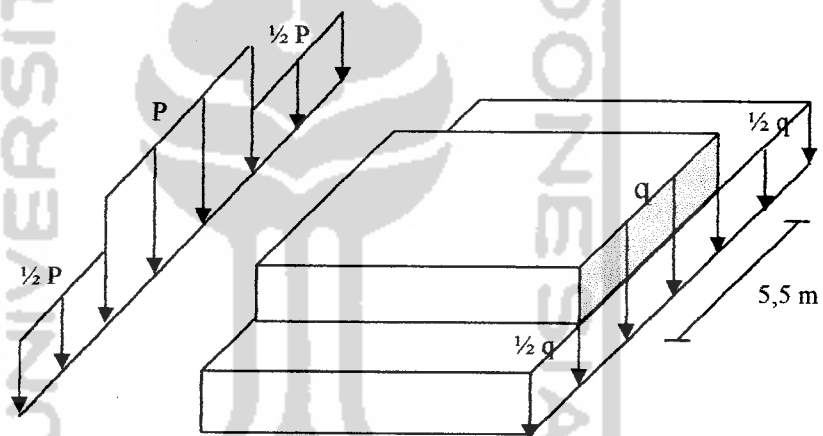
$$q = 2,2 \text{ t/m}^{\prime} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m} \quad (1.1)$$

$$q = 2,2 - 1,1/60 \cdot (L - 30) \text{ t/m}^{\prime} \quad \text{untuk } 30 \text{ m} < L < 60 \text{ m} \quad (1.2)$$

$$q = 1,1 (1 + 30/L) \text{ t/m}^{\prime} \quad \text{untuk } L > 60 \text{ m} \quad (1.3)$$

Ketentuan penggunaan beban D dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut :

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,5 meter, beban D sepenuhnya 100 % harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 meter, beban D sepenuhnya 100% dibebankan pada lebar jalur 5,5 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban D 50 %, seperti terlihat pada gambar 1.3.



Gambar 1.3 Ketentuan penggunaan beban D

Untuk menentukan beban hidup (beban terbagi rata dan beban garis) perlu diperhatikan ketentuan bahwa:

$$\text{Beban terbagi rata} = \frac{q}{2,75} \frac{\text{ton/meter}}{\text{meter}} \quad (1.4)$$

$$\text{Beban garis} = \frac{P}{2,75} \frac{\text{ton}}{\text{meter}} \quad (1.5)$$

K = faktor jenis struktur, dan

W_t = berat total bangunan.

b. Beban Angin

Pengaruh beban angin sebesar $0,15 \text{ ton/m}^2$ pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horisontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu prosentase tertentu terhadap luas bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup. Bidang vertikal beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 meter di atas lantai kendaraan.

c. Gaya Rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem, harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5 % dari beban D tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada, dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 meter di atas permukaan lantai kendaraan.

d. Beban Tekanan tanah

Bagian bangunan jembatan yang menahan tanah harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah sesuai rumus-rumus yang ada.

e. Beban Akibat Perbedaan Temperatur

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan struktural karena adanya perubahan bentuk akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditetapkan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat. Pada umumnya pengaruh perbedaan suhu tersebut dapat dihitung dengan mengambil perbedaan suhu, untuk bangunan beton diambil perbedaan suhu maksimum-minimum sebesar 15°C .

f. Beban Susut dan Rangkak

Pengaruh rangkak dan susut bahan beton terhadap konstruksi, harus ditinjau. Besarnya pengaruh tersebut apabila tidak ada ketentuan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15°C .

g. Beban Aliran Air dan Hanyutan

Semua pilar dan bagian-bagian dari bangunan jembatan yang mengalami gaya-gaya aliran air, harus diperhitungkan dapat menahan tegangan-tegangan maksimum akibat gaya-gaya tersebut.

Gaya tekanan aliran air adalah hasil perkalian tekanan air dengan luas bidang pengaruh pada suatu pilar, yang dihitung dengan rumus:

$$Ah = k. Va^2 \quad (1.8)$$

dimana

Ah = tekanan aliran air (ton/m²),

Va = kecepatan aliran air yang dihitung berdasarkan analisa hidrologi (m/det), bila bila tidak ditentukan lain maka :

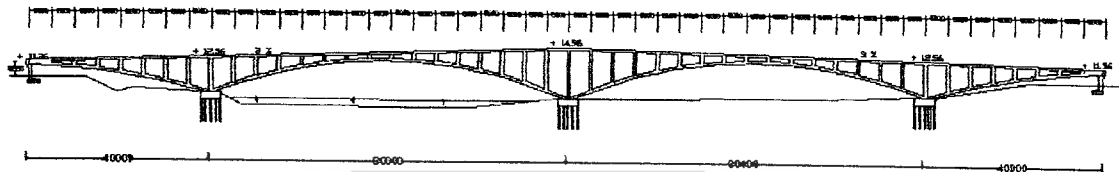
$Va = 3$ m/det, dan

K = koefisien aliran yang tergantung bentuk pilar.

1.4 Peta Lokasi Jembatan Kretak II

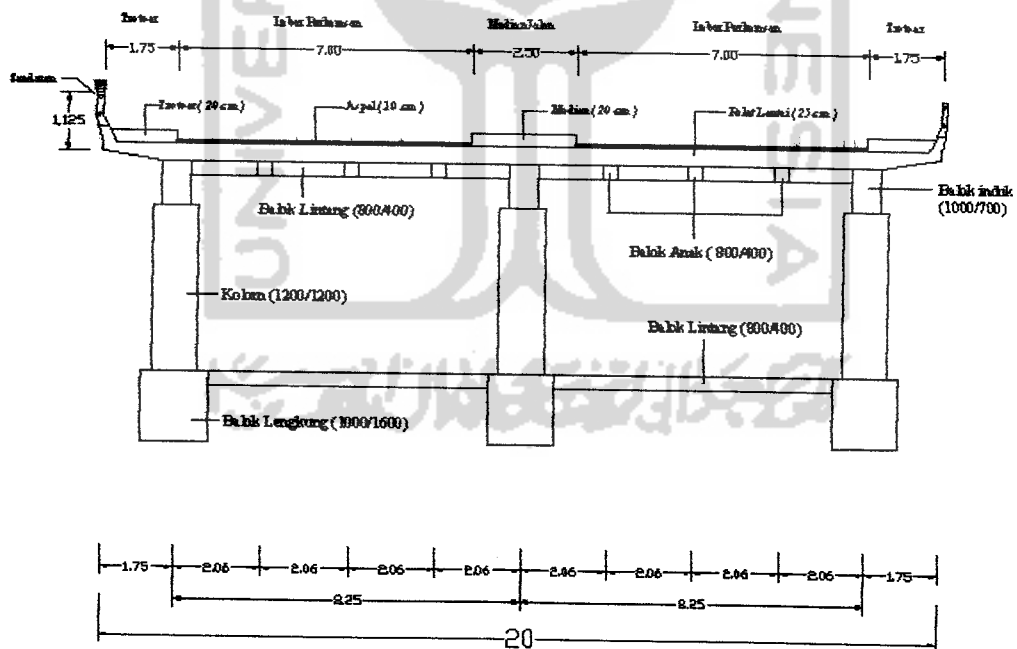
Jembatan Kretak II terletak di Kecamatan Kretak, Kabupaten Bantul, DIY, kurang lebih 20 kilometer sebelah selatan kota Yogyakarta (ke arah pantai Parangtritis). Untuk mencapainya dapat menggunakan kendaraan roda dua atau roda empat sampai ke areal penambangan pasir rakyat, di dataran banjir kali opak yang cukup lebar. Peta lokasi Jembatan kretak II dapat dilihat pada lampiran.

Jembatan Kretek II direncanakan mempunyai panjang bentang 240 m, seperti terlihat pada gambar 1.4.



Gambar 1.4 Potongan memanjang jembatan kretek II

Lebar jembatan Kretek II direncanakan 20 m, dengan lebar perkerasan 7 m dan lebar trotoar 1,75 m, seperti terlihat pada gambar 1.5.



Gambar 1.5 Potongan melintang jembatan kretek II

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan adalah suatu fasilitas bangunan jalan yang berfungsi mendukung lalu lintas jalan raya atau beban-beban yang bergerak di atas suatu rintangan atau tempat rendah seperti danau, sungai, terusan, jalan raya, jalan kecil, atau kombinasi semuanya (Bindra 1970).

Secara umum komponen jembatan dibagi dalam 2 bagian besar, yaitu *superstructure* dan *substructure*. Bagian atas jembatan seperti sandaran, batu pengaman dan pendukung lantai dengan sistem struktur seperti balok girder/gelagar, lengkungan dan kabel di atas tingkatan pendukung yang terdapat pada *superstructure*. Sedangkan *substructure* adalah suatu sistem yang mendukung *superstructure*, terdiri dari bagian-bagian struktur pendukung jalan yang terdiri dari *abutment*, dinding sayap (*wing wall*), pilar/kolom, pondasi pilar dan pondasi *abutment* (Bindra,1970).

Struktur jembatan beton bertulang adalah jembatan yang menggunakan beton bertulang pada strukturnya. Jembatan *arch* itu pada dasarnya terdiri dari pondasi utama, gelagar *arch*, pilar, lantai dan *abutment*. Gelagar *arch* dan kolom-kolom pilar merupakan bagian dari bangunan yang meneruskan gaya-gaya dari lantai jembatan ke pondasi yang berarti ke bawah tanah. Pada bentang yang panjang untuk struktur beton bertulang, jembatan gelagar lengkung (*arch bridge*) cukup ekonomis digunakan hingga panjang bentang mencapai 200 m (Bambang Supriyadi,2000).

2.2 *Abutment* dan pilar

Abutment mempunyai dua fungsi pokok, yaitu mendukung ujung-ujung jembatan dan menyediakan dukungan lateral paling tidak bagi tanah atau batu sekitar jembatan. Oleh karena itu *abutment* merupakan kombinasi dari fungsi pilar dan dinding penahan tanah (Peek, Hanson, Toohrnburn, 1973).

Bentuk pilar jembatan meliputi ; masif (*solid*), kotak (*cellular*), bundar (*circular*), oval dan juga bisa terdiri dari beberapa kolom (*treotic*) atau terdiri dari satu kolom (*hammer head*). Berdasarkan data yang ada serta memperhatikan segi arsitektural, maka perencanaan Jembatan Kretek II menggunakan pilar yang terdiri dari beberapa kolom dengan variasi gelagar lengkung (*arch bridge*) dari beton bertulang.

2.3 Pondasi Tiang *Bore Pile*

Pondasi tiang *bore pile* adalah bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban yang bekerja di atasnya sehingga didukung oleh tanah. Kegagalan perencanaan pondasi akan mengakibatkan bangunan secara keseluruhan tidak stabil dan mudah runtuh, meskipun struktur atas kuat dan aman.

Oleh karena itu data yang diperlukan untuk menentukan jenis pondasi suatu bangunan antara lain :

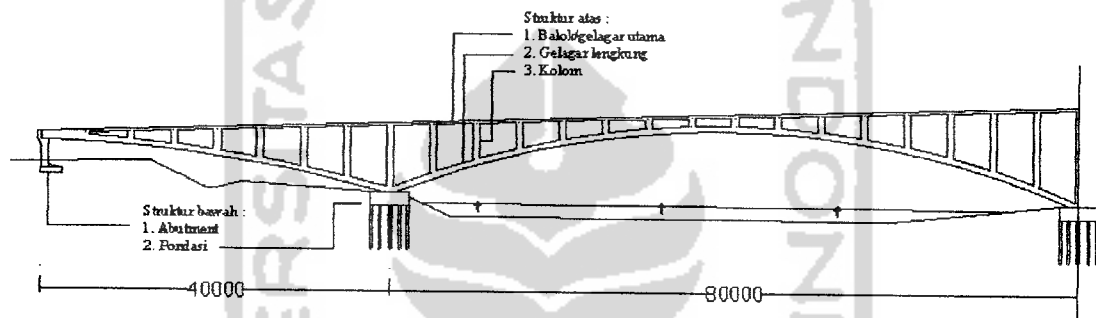
1. susunan, tebal, dan sifat lapisan tanah,
2. besar, macam, dan sifat khusus bangunan,
3. peralatan yang tersedia,

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Pada bab ini menjelaskan teori yang mendukung penulisan tugas akhir perencanaan Jembatan Kretek II, meliputi beberapa tentang perencanaan struktur jembatan dengan beton bertulang. Perencanaan struktur jembatan Kretek II meliputi struktur atas dan struktur bawah jembatan seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Struktur jembatan

3.2 Pembebanan Struktur

3.2.1 Kombinasi Pembebanan

Suatu struktur dapat dijamin keamanannya dengan cara memberikan kapasitas kekuatan atau kuat rencana (*design strength*) dapat diperoleh dengan mengalikan kekuatan nominal dengan nilai reduksi kekuatan ϕ yang lebih kecil dari satu. Kekuatan nominal diperoleh dengan meninjau kekuatan teoritis bahan sepenuhnya. Kekuatan suatu komponen suatu struktur yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi efek beban disebut kuat

perlu. Dengan kata lain struktur dapat dijamin kemannya bila kuat rencana lebih besar daripada kuat perlu (Wahyudi dan Rahim, 1997).

Faktor keamanan yang disyaratkan dapat dibagi dalam dua bagian, yaitu faktor beban dan faktor reduksi kekuatan. Faktor beban yang disyaratkan dalam PPTJ tahun 1992 adalah:

$$U = 1,3D + 2L \quad (3.1)$$

$$U = (1,3D + 2L_R + E) \quad (3.2)$$

Dengan :

U = Kuat perlu untuk menahan beban yang telah dengan faktor beban atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya.

D = Beban mati.

L = Beban hidup.

E = Beban gempa..

3.2.2 Kuat Rencana

Dalam menentukan kuat rencana suatu komponen struktur, maka kuat minimalnya harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai dengan sifat beban. Faktor reduksi kekuatan yang disyaratkan adalah:

1. $\phi = 0,80$ untuk lentur tanpa beban aksial.

2. $\phi = 0,70$ untuk aksial tekan dan aksial tekan lentur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat.
3. $\phi = 0,65$ untuk aksial tekan dan aksial tekan lentur dengan tulangan sengkang biasa.
4. $\phi = 0,60$ untuk geser dan torsi.
5. $\phi = 0,70$ untuk tumpuan pada beton.

3.3 Struktur Beton Bertulang dan Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan suatu struktur. Hal ini didasarkan pada karakteristik beban gempa yang sulit untuk dipastikan kapan terjadinya ataupun besarnya, sedangkan akibat yang ditimbulkannya bila struktur tidak mampu menahannya sangat fatal karena dapat mengakibatkan kegagalan struktur.

3.3.1 Faktor-Faktor Penentu Beban Gempa Rencana

a. Waktu getar alami struktur (T)

Waktu getar alami :

$$T = 2. \pi. \sqrt{\frac{Wt}{g.Kp}} \quad (3.3)$$

Dengan :

Kp = Kekakuan gabungan yang merupakan gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu-satuan lendutan horisontal jembatan.

Wt = Berat total jembatan.

g = Percepatan gravitasi bumi.

Diperkirakan waktu getar alami struktur jembatan rangka beton lengkung, $T = 0,1 - 1$ detik

b. Koefisien gempa dasar (C)

Koefisien gempa dasar berfungsi untuk menjamin agar suatu struktur mampu memikul beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan besar pada struktur. Koefisien C bergantung pada frekuensi terjadinya gerakan tanah yang bersifat sangat merusak, yang berbeda-beda pada daerah setiap wilayah gempa, waktu getar alami struktur, dan kondisi tanah setempat. Besarnya koefisien gempa dasar (C) merupakan plot antara C terhadap T (waktu getar gedung).

c. Faktor keutamaan (I)

Faktor keutamaan digunakan untuk memperbesar beban gempa rencana agar struktur tersebut tetap berfungsi setelah terjadi gempa besar. Nilai faktor keutamaan didasarkan pada tingkat kepentingan fungsi suatu struktur terhadap bahaya gempa.

d. Faktor jenis struktur (K)

Faktor jenis struktur dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin bahwa daktilitas yang dituntut tidak lebih

3.4.1 Perencanaan Plat

Plat merupakan struktur bidang datar (tidak melengkung) yang jika ditinjau secara 3 dimensi mempunyai tebal yang jauh lebih kecil daripada ukuran bidang plat. Untuk merencanakan plat beton bertulang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi yang menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung ditempat tumpuan.

a. Perencanaan plat satu arah

Sistem plat satu arah adalah plat yang panjang dari permukaannya dua kali atau lebih besar daripada lebarnya, sehingga hampir semua beban lantai menuju balok-balok dan hanya sebagian kecil yang akan menyalur secara langsung ke gelagar (balok induk). Pada plat satu arah tulangan utama sejajar dengan gelagar atau sisi pendek plat, dan tulangan susut sejajar dengan balok-balok atau sisi panjang plat. Permukaan yang melendut dari sistem plat satu arah mempunyai kelengkungan tunggal (Wang, 1985).

Perencanaan plat satu arah dapat direncanakan dengan ketentuan yang sudah ada dalam peraturan maupun dengan metode lain yang lebih akurat tetapi dapat dipertanggungjawabkan. Yang dimaksud plat satu arah adalah plat yang menahan lentur untuk satu arah dan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

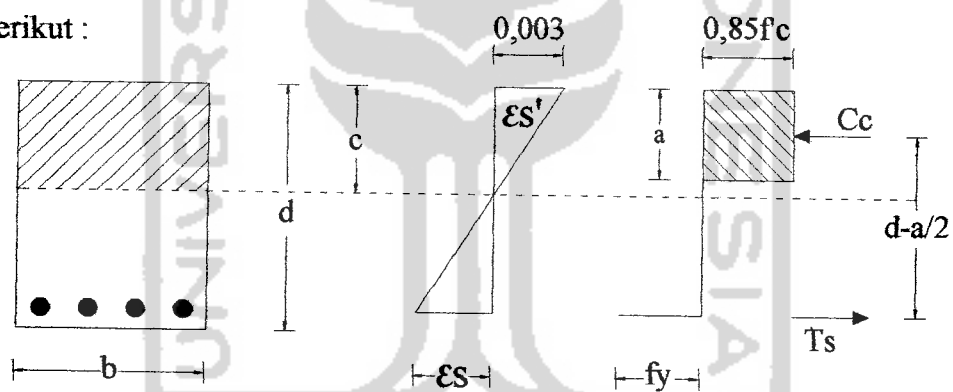
1. Minimum harus ada dua bentang.
2. Panjang bentang lebih kurang sama, dengan ketentuan bahwa bentang yang lebih besar dari dua bentang yang bersebelahan perbedaannya tidak lebih 20 % dari bentang yang pendek.

3. Beban yang bekerja merupakan beban terbagi rata.
4. Beban hidup per unit tidak melebihi tiga kali beban per unit.
5. Komponen strukturnya prismatis.
6. Plat yang terkekang dalam satu sumbu atau satu sisinya.

Tebal plat lantai tergantung dari persyaratan lendutan, lentur dan geser. Persyaratan lendutan untuk mencegah deformasi berlebihan yang menurunkan kelayakan dari struktur.

b. Perhitungan perencanaan plat

Perhitungan perencanaan plat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 3.2 Distribusi Tegangan Regangan Beton Bertulang Plat

Dengan:

- b = lebar pelat,
- c = jarak serat tekan terluar ke garis netral,
- d = jarak dari sisi tekan terluar ke pusat tulangan tarik,
- d' = jarak dari sisi tarik terluar beton ke pusat tulangan tarik,

- A_s = luas tulangan tarik,
 ϵ_s = regangan tarik beton,
 ϵ_c = regangan desak beton,
 C_c = gaya tekan yang diberikan beton tekan,
 T = gaya tarik baja tulangan,
 f_c' = mutu beton,

$$\frac{Mu}{\phi} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.5)$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (3.6)$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (3.7)$$

Apabila $A_s < A_{s \min}$, maka :

$1,33 A_s < A_{s \min}$ dipakai $A_{s \min}$, jika

$1,33 A_s > A_{s \min}$ dipakai $1,33 A_{s \min}$.

Perhitungan jarak antar tulangan pokok dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{A_{1\phi} \cdot b}{A_s} \quad (3.8)$$

Dan jarak antar tulangan susut dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{A_{1\phi} \cdot b}{A_{s \cdot susut}} \quad (3.9)$$

dengan

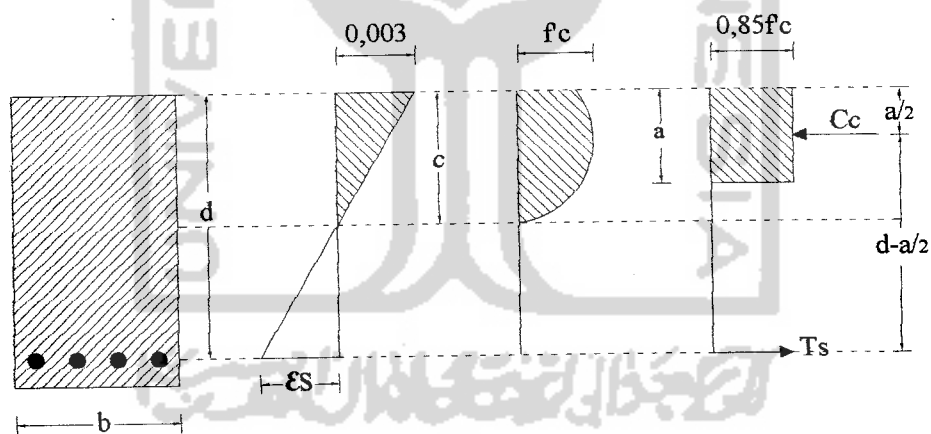
$$A_{s \cdot susut} = 0,002 \cdot b \cdot h \quad (3.10)$$

3.4.2 Desain Balok

a. Balok bertulangan sebelah (tarik)

Beban luar akan menyebabkan balok melentur. Tegangan internal suatu serat penampang akan tetap sebesar tegangan karakteristiknya, dan retak pada serat atas tidak terjadi karena adanya distribusi tegangan ke serat sebelah dalamnya. Distribusi tegangan dan regangan beton bias diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola, atau bentuk lainnya, asal menghasilkan perkiraan yang cukup baik bila dibandingkan dengan hasil pengujian.

Secara teoritis balok bertulangan sebelah ini digunakan bila hanya dengan tulangan tarik saja mampu menghasilkan gaya dalam yang dapat menahan momen yang terjadi.



Gambar 3.4 Distribusi Tegangan Regangan Balok Bertulangan Sebelah

Dengan: b = lebar balok,

d = jarak dari sisi tekan terluar ke pusat tulangan tarik,

$$a = \frac{T_s}{C_c} = \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad (3.19)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) \quad (3.20)$$

b. Balok bertulangan rangkap

Dalam praktek, sistem tulangan tunggal hampir tidak pernah dimanfaatkan untuk balok, karena pemasangan tulangan tambahan didaerah tekan misalnya ditepi atas penampang tengah lapangan akan mempermudah pengaitan sengkang. Secara struktural, tulangan tekan ini diperlukan antara lain:

1. Meningkatkan momen tahanan penampang karena dimensi penampang yang terbatas secara arsitektural.
2. Meningkatkan kapasitas rotasi penampang yang berkaitan dengan peningkatan daktilitas penampang.
3. Meningkatkan kekakuan penampang, sehingga mengurangi defleksi struktur.
4. Dapat mencakup kemungkinan momen yang berubah tanda. Gaya luar yang bekerja pada struktur tidaklah selalu tetap, misalnya gaya horizontal akibat gempa yang mengakibatkan momen-momen internal berubah tanda (Wahyudi dan Rahim, 1997).

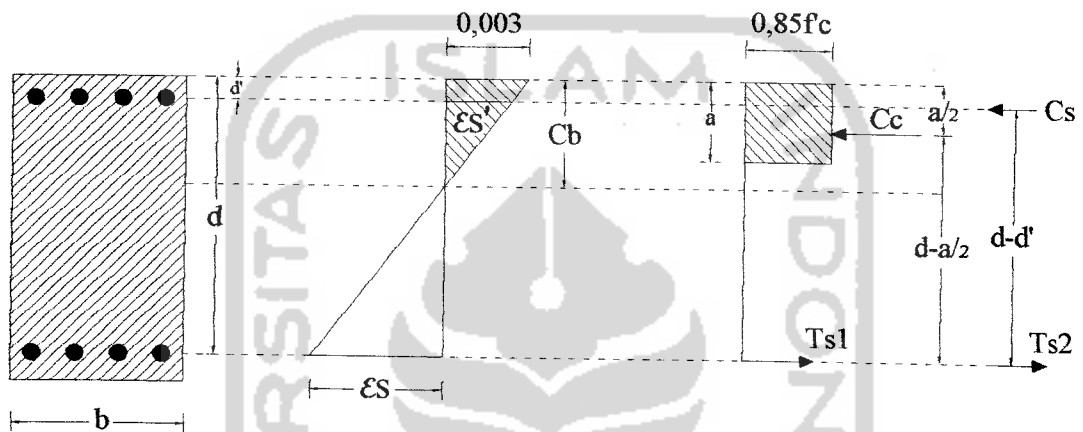
Dalam perencanaan balok tulangan sebelah digunakan

$$Rn1 = (0,3 \text{ s/d } 0,8).Rn \quad (3.21)$$

$$Mn1 = Rn1 . b . d^2 \quad (3.22)$$

$$Mn2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn1 \quad (3.23)$$

$$Mn = Mn1 + Mn2 \quad (3.24)$$



Gambar 3.5 Distribusi Tegangan Regangan Balok Bertulangan Rangkap

- Dengan: b = lebar balok,
 d = jarak dari sisi tekan terluar ke pusat tulangan tarik,
 cb = jarak serat tekan terluar ke garis netral,
 d' = jarak dari sisi tarik terluar beton ke pusat tulangan tarik,
 As = luas tulangan tarik,
 ϵ_s = regangan tarik beton,
 ϵ_c = regangan desak beton,
 Cc = gaya tekan yang ditahan,

- C_s = gaya tekan yang ditahan oleh tulangan baja tekan, dan
 T = gaya tarik baja tulangan,
 f_c' = mutu beton,

c. Balok bertulangan rangkap dengan tulangan tekan telah luluh

Pada kondisi ini diasumsikan tulangan tarik dan desak telah luluh paling tidak pada saat regangan beton mencapai 0,003, dengan mengangap $f_s = f_s' = f_y$. Untuk kondisi ini $A_s = A_{s1} + A_{s2}$, sedangkan $A_{s2} = A_s'$, sehingga tinggi balok tegangan tekan:

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (3.25)$$

atau,

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (3.26)$$

Sebagai kontrol asumsi yang dipakai benar, maka dilakukan pemeriksaan regangan sebagai berikut:

$$a_{leleh} = \frac{E_s \cdot \epsilon_c \cdot d' \cdot \beta_1}{E_s \cdot \epsilon_c - f_y} \quad (3.27)$$

bila a lebih besar sama dengan dari a_{leleh} maka asumsi benar bahwa tulangan tarik dan tulangan desak telah luluh, selanjutnya menghitung momen tahanan nominalnya dengan persamaan:

$$Mn = Mn1 + Mn2 \quad (3.28)$$

$$Mn1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot a\right) \quad (3.29)$$

atau,

$$Mn1 = As1 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot a\right) \quad (3.30)$$

$$Mn2 = As \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (3.31)$$

d. Balok bertulangan dengan tulangan tekan belum luluh

Kondisi ini merupakan kondisi dimana anggapan tulangan baja tarik telah luluh sedangkan tulangan baja desak belum luluh pada saat regangan beton mencapai 0,003. Jika a kurang dari a_{leleh} ($a < a_{leleh}$), untuk mendapatkan nilai C digunakan persamaan:

$$As \cdot f_y = As' \cdot \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a}\right) \epsilon_{cu} \cdot E_s + 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.32)$$

Dari persamaan kuadrat diatas, maka didapat nilai a dengan

$$C = \frac{a}{0,85} \quad (3.33)$$

$$f_s' = \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a}\right) E_s \cdot \epsilon_c = \frac{C - d'}{C} E_s \cdot \epsilon_c \quad (3.34)$$

Kuat momen tahanan ideal dari pasangan kopel tulangan baja tekan dengan baja tarik tambahan serta kopel gaya beton tekan dengan tulangan baja tarik dihitung dengan persamaan:

$$Mn1 = 0,85.f'c'.a.b.(d-\frac{1}{2}.a) \quad (3.35)$$

$$Mn2 = As.fs'.(d-d') \quad (3.36)$$

$$Mn = Mn1 + Mn2 \quad (3.37)$$

Untuk beton bertulangan tahan gempa, kuat momen positif pada sisi muka join tidak boleh kurang dari 50% kuat momen negatif yang disediakan pada sisi muka join tersebut.

e. Momen kapasitas balok

▪ Momen kapasitas negatif

Dianggap tulangan desak sudah leleh. Pada umumnya saat tulangan tarik mencapai kekuatan maksimum (*oferstrength*) regangan baja desak masih didaerah *yield plateu*. Oleh karena itu tegangan baja desak belum mencapai kekuatan maksimum.

$$\phi_o = 1,2 \text{ untuk } fy < 400 \text{ MPa, dan}$$

$$\phi_o = 1,4 \text{ untuk } fy \geq 400 \text{ MPa}$$

$$Ts = Tc + Cc \quad (3.38)$$

$$a = \frac{(As_{ada} \cdot \phi_o - As'_{ada})fy}{0,85.f'c.b} \quad (3.39)$$

Kriteria leleh :

$$a_{leleh} = \frac{Es.ec.\beta1.d'}{Es.ec - fy} \quad (3.40)$$

Jika $a \geq a_{leleh}$, Tulangan baja desak leleh tetapi belum mencapai kekuatan maksimum.

$$M_{kap}^- = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} a) + A_{s\ ada} \cdot f_y \cdot \phi_o \cdot (d - d') \quad (3.41)$$

Jika $a < a_{leleh}$, Tulangan baja desak leleh tetapi belum mencapai kekuatan maksimum.

$$A_{s\ ada} \cdot f_y \cdot \phi_o = A_{s' \ ada} \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \right) \cdot E_s \cdot \epsilon_c + 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \quad (3.42)$$

Dari persamaan (3.55) didapatkan persamaan kuadrat, nilai a dapat dihitung dan f_s' dihitung dengan persamaan (3.48)

$$M_{kap}^- = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} a) + A_{s\ ada} \cdot f_s' \cdot \phi_o \cdot (d - d') \quad (3.43)$$

▪ Momen kapasitas positif

Anggap tulangan desak tidak akan luluh

$$A_s \cdot \sigma_s = A_{s' \ ada} \cdot \sigma_s'$$

$$A_{s' \ ada} \cdot f_y \cdot \phi_o = A_{s' \ ada} \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \right) \cdot E_s \cdot \epsilon_c + 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \quad (3.44)$$

Didapat persamaan kuadrat dalam a

$$M_{kap}^+ = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} a) + A_{s\ ada} \cdot f_s' \cdot \phi_o \cdot (d - d') \quad (3.45)$$

f. Penulangan Geser Balok Terlentur

Selain menahan beban lentur, balok pada saat yang sama juga menahan beban geser akibat lentur. Untuk komponen struktur beton bertulang, apabila

gaya geser yang bekerja sedemikian besar diluar kemampuan beton untuk menahannya maka perlu dipasang tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut.

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, mensyaratkan bahwa untuk daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis, gaya geser yang disumbangkan beton dianggap sama dengan nol. Sedangkan besar gaya geser rencana yang harus ditahan struktur tahan gempa adalah:

$$V_u = V_e + V_g \quad (3.46)$$

$$V_u = \frac{(M_{pr}^-) + (M_{pr}^+)}{L_{netto}} + 1,5 (V_D + V_L) \quad (3.47)$$

dengan:

M_{kap} = Momen kapasitas pada ujung komponen dengan memperhitungkan kombinasi momen positif dan negatif.

M_{kap}' = Momen kapasitas pada bidang muka kolom disebelahnya.

L_n = Bentang bersih balok.

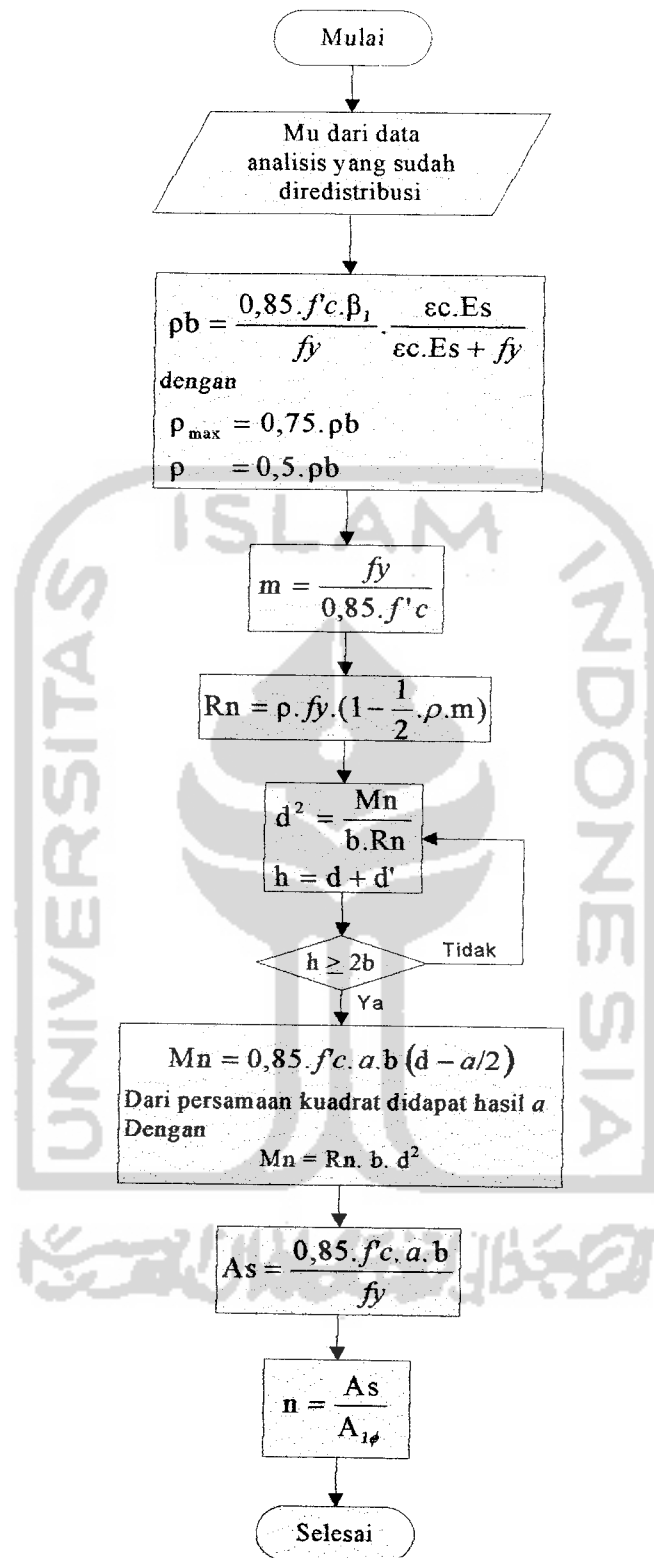
V_D = Gaya geser balok akibat beban mati.

V_L = Gaya geser balok akibat beban hidup.

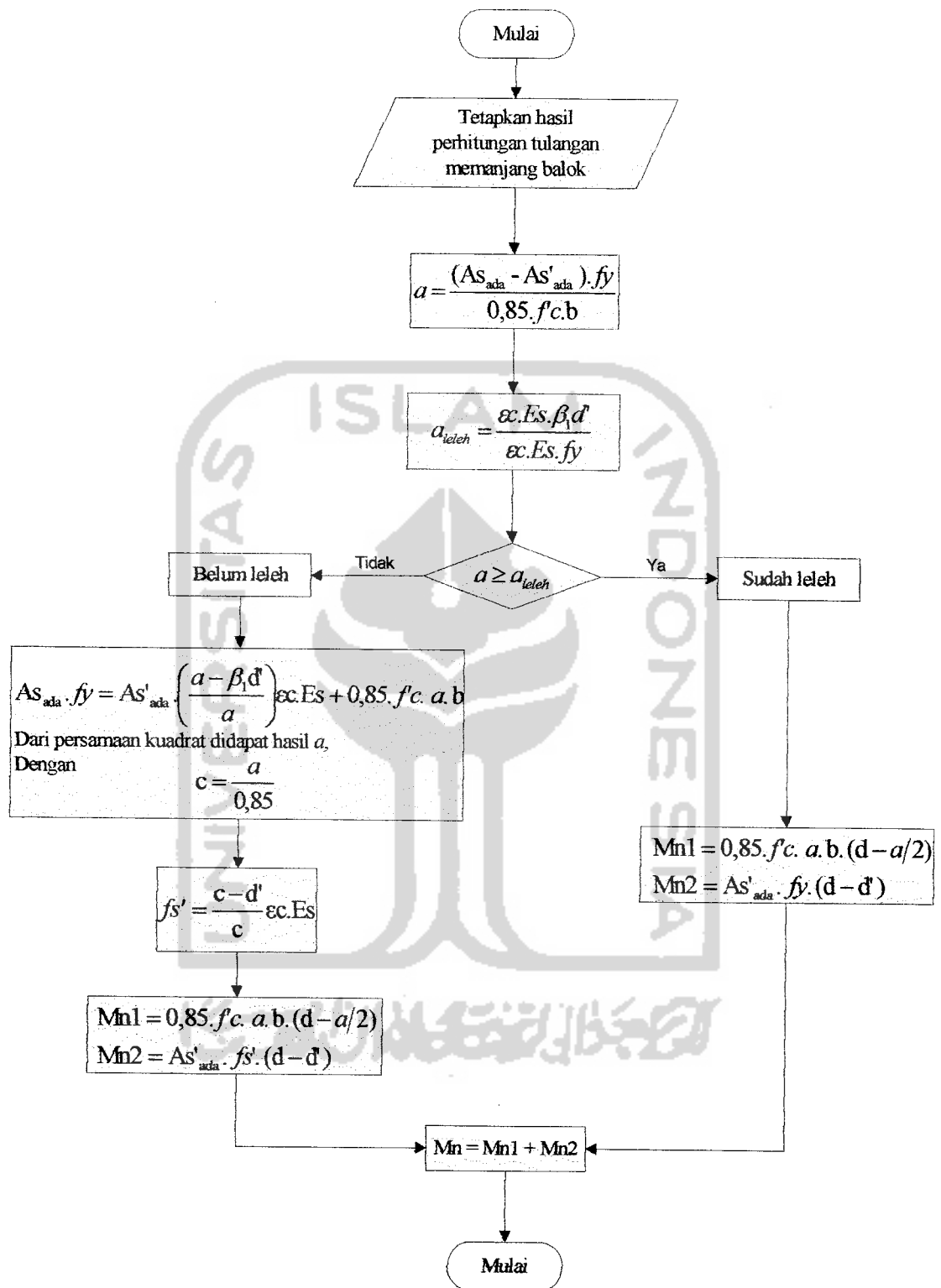
diukur dari sisi muka suatu komponen struktur pendukung. Spasi maksimum tulangan sengkang tidak boleh melebihi:

1. $\frac{1}{4}$ tinggi efektif balok.
2. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
3. 24 kali diameter tulangan sengkang.
4. 200 mm.





Gambar 3.7 Flow Chart Perhitungan Balok Bertulangan Sebelah



Gambar 3.9 Flow Chart Momen Tersedia Pada Balok

3.4.3 Perencanaan Kolom

Kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil sama dengan 3 atau lebih digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan. Sebagai bagian struktur dengan peran dan fungsi seperti tersebut di atas, kolom menempati posisi penting dalam suatu sistem struktur. Kegagalan kolom dapat berarti keruntuhan total struktur. Oleh karena itu perencanaan kolom terutama pada sistem struktur tahan gempa, harus diperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih daripada komponen struktur lainnya, sehingga saat struktur menerima beban gempa besar, kolom-kolom dalam struktur tersebut masih dalam kondisi elastis, kecuali kolom pada lantai dasar dan pada ujung-ujung baloknya telah terbentuk sendi-sendi plastis.

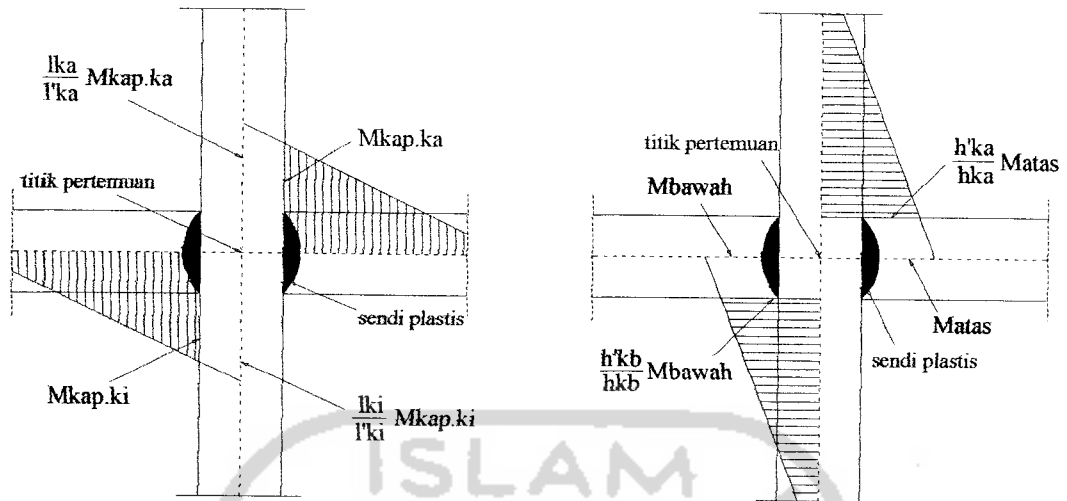
a. Momen rencana kolom

Untuk struktur rangka daktilitas penuh, kuat lentur bidang muka balok Mu.k harus dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur sendi plastis kedua ujung balok sebagai berikut:

dimana

$$M_{UK} = 1,3 M_D + 2 M_L \quad (3.52)$$

$$M_{UK} = 1,3 M_D + 2 M_X + 1 M_E \quad (3.53)$$



Gambar 3.12 Momen Lentur Sendi Plastis Pada Kedua Ujung Balok

b. Gaya aksial rencana kolom

Setelah momen ultimit kolom ($M_{u.k}$) maka untuk keperluan desain kolom besaran yang harus diketahui berikutnya adalah gaya aksial yang bekerja pada kolom.

$$P_{Uk} = 1,3 P_D + 2 P_L + 1 P_E \quad (3.54)$$

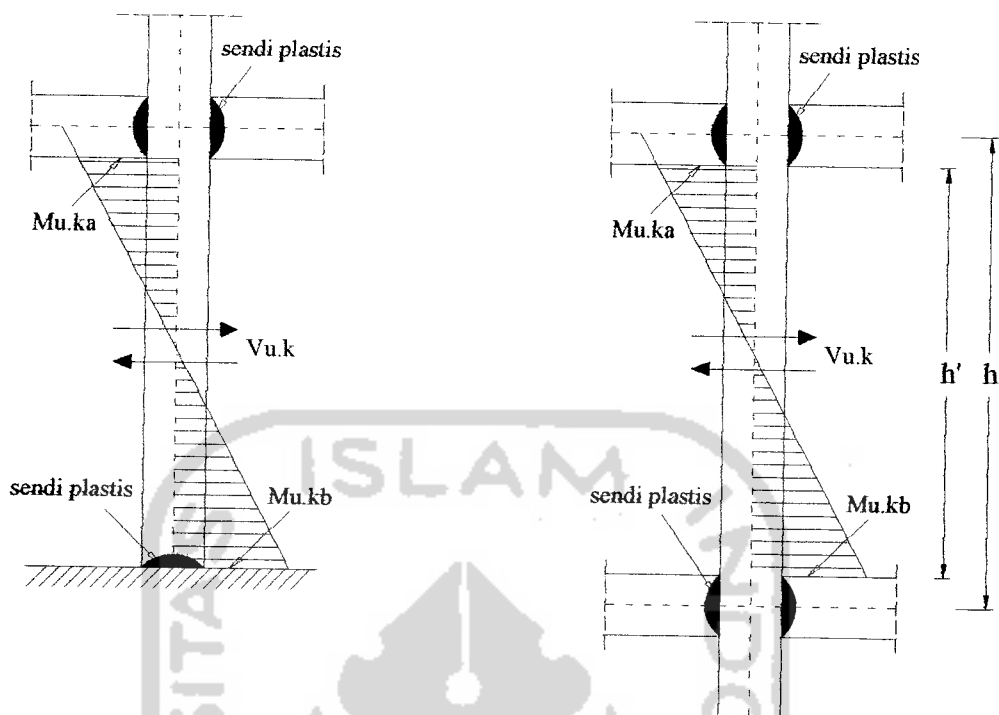
c. Desain kolom

Dari nilai M_n dan P_n , plotkan ke grafik M_n - P_n didapatkan r

$$A_s \text{ total} = r \cdot b \cdot h \quad (3.55)$$

$$A_{1\emptyset} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (3.56)$$

$$n = \frac{A_{s \text{ total}}}{A_{1\emptyset}} \quad (3.57)$$



Gambar 3.13 Kuat Geser Pada Kolom Portal

e. Desain geser kolom

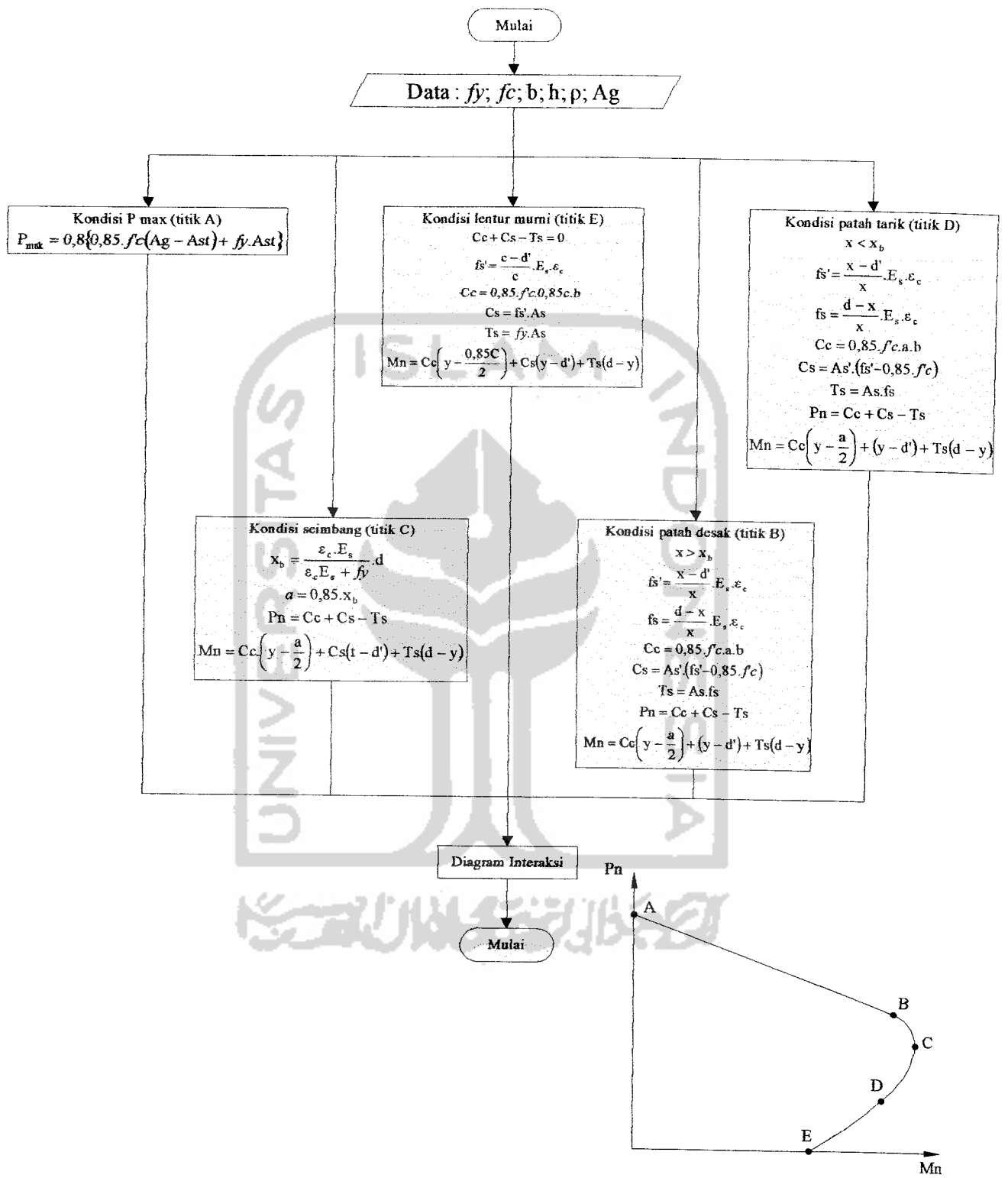
Ditetapkan berdasarkan kapasitas sendi plastis balok penulangan geser pada sendi plastis, untuk gaya geser yang diterima tulangan dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{sl} = \frac{V_u}{\phi} \quad (3.60)$$

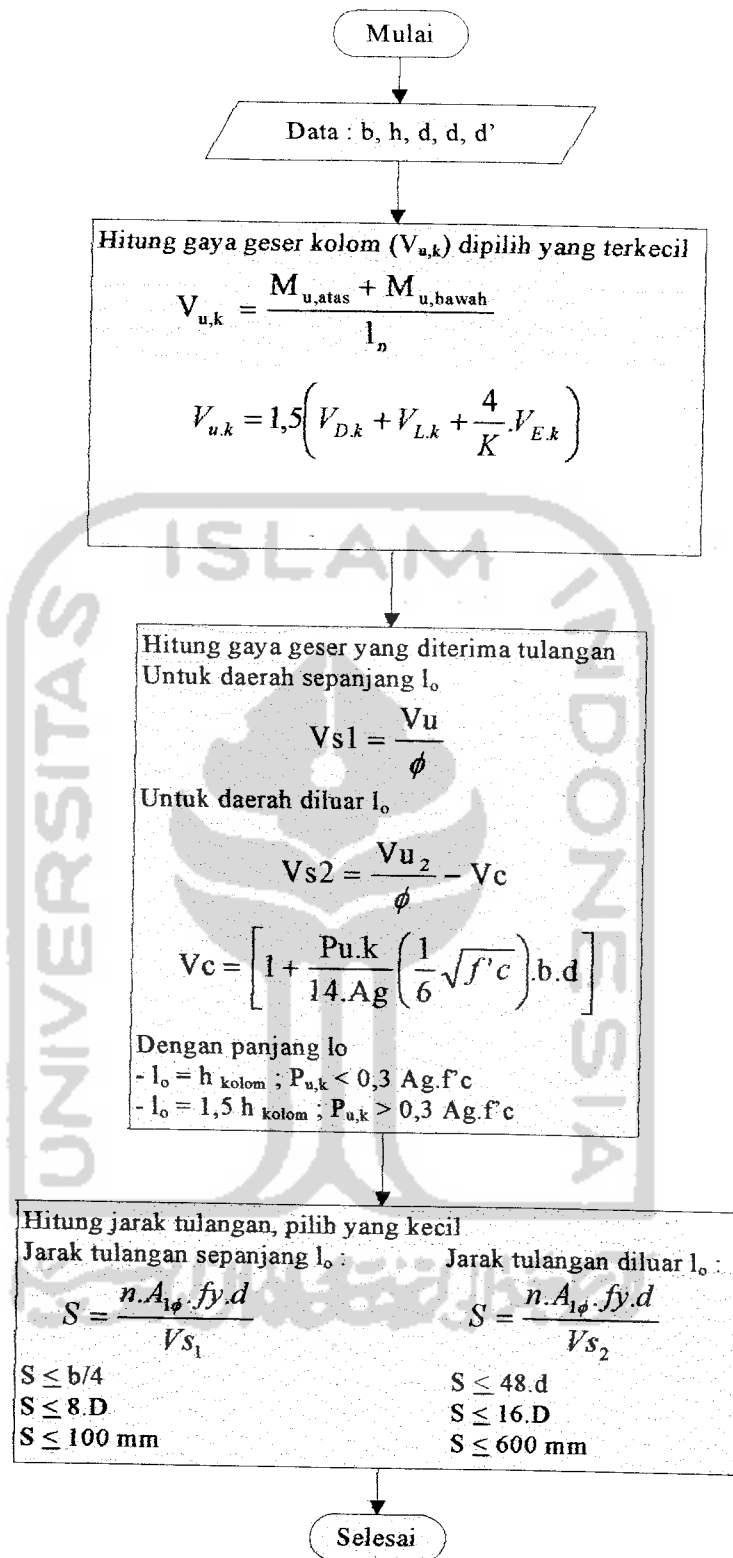
Jarak sengkang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$S = \frac{n \cdot A_1 \phi \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3.61)$$





Gambar 3.14 Flow Chart Diagram Interaksi Mn – Pn



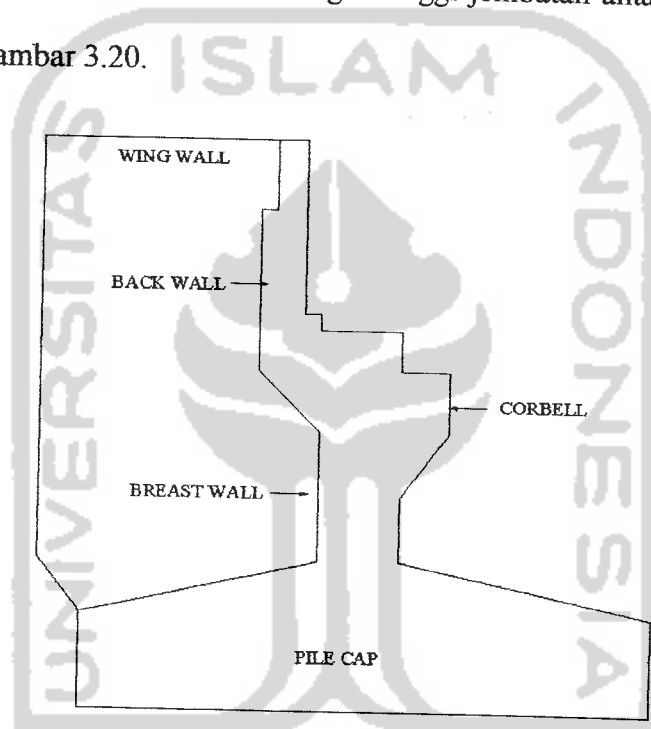
Gambar 3.15 Flow Chart Penulangan Geser Kolom

3.5 Struktur Bawah Jembatan

Perencanaan pada struktur bawah Jembatan Kretex II meliputi perencanaan kepala jembatan (*Abutment*) dan pondasi.

3.5.1 Perencanaan Kepala Jembatan (*Abutment*)

Bentuk struktur kepala jembatan pada perencanaan Jembatan Kretex II menggunakan tipe *T* terbalik sesuai dengan tinggi jembatan antara 5-12 m, seperti terlihat pada gambar 3.20.



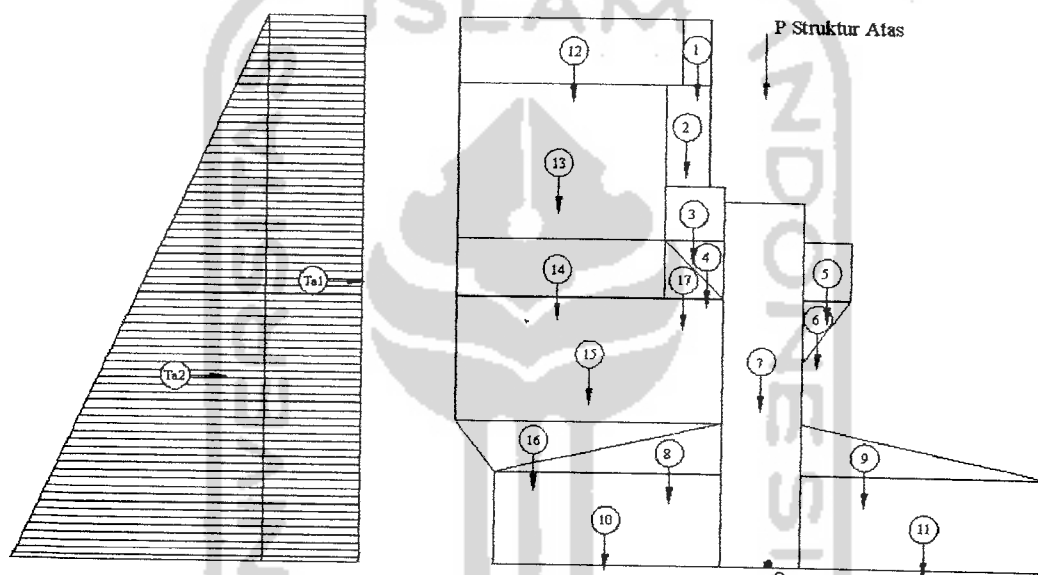
Gambar 3.16 Skets Kepala Jembatan

Gaya-gaya yang bekerja digolongkan dalam :

1. Beban struktur atas
 - a. Beban Mati struktur atas.
 - b. Beban hidup + kejut.

2. Beban struktur bawah
 - a. Beban mati akibat berat sendiri *abutment*.
 - b. Beban mati akibat berat di atas pondasi.
 - c. Beban tekanan tanah.

Beban-besan struktur atas dan beban struktur bawah yang bekerja pada abutment dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.17 Beban struktur atas dan struktur bawah yang bekerja pada *abutment*

3. beban-beban sekunder
 - a. Beban gempa.
 - b. Beban angin.
 - c. Beban rem dan traksi
 - d. Beban gesekan pada tumpuan

1. Stabilitas Pondasi

Menghitung keamanan terhadap penggulingan :

$$\text{Momen penahan guling} = \Sigma M_{VA} = -\frac{Bx}{2} \cdot \Sigma v + \Sigma Mv \quad (3.64)$$

$$\text{Angka aman guling fondasi, } SF = \left(\frac{\Sigma MVA}{\Sigma Mh} \right) > 1,5 \quad (3.64)$$

dengan :

Bx = lebar abutment arah x

ΣMv = jumlah momen dari beban vertikal

ΣMh = jumlah momen dari beban horizontal

Menghitung keamanan terhadap penggeseran adalah sebagai berikut :

$$\text{Gaya penahan geser, } \Sigma Hp = C \cdot Bx \cdot By + \Sigma V \cdot \tan \Phi \quad (3.65)$$

$$\text{Angka aman terhadap geser, } SF = \left(\frac{\Sigma Hp}{\Sigma H} \right) > 1,2 \quad (3.66)$$

dengan :

Bx = lebar *abutment* arah x

By = lebar *abutment* arah y

ΣH = jumlah gaya arah horizontal

ΣV = jumlah gaya arah vertikal

c = kohesi tanah

2. Pembesian *Abutment*

- a. Pembesian tulangan lentur *pile cap, breast wall, back wall, corbell* dan *wing wall*

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.67)$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \quad (3.68)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3.69)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (3.70)$$

$$\rho_{pertu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (3.71)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.87)$$

$$\rho_{min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} \quad (3.88)$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3.89)$$

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \quad (3.90)$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} = \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} \quad (3.91)$$

bor berdasar

dengan :

ut Terzaghi

n = jumlah banyak tiang

f. $N_q + 0,6$.

ΣH = jumlah gaya arah horizontal

bor

ΣV = jumlah gaya arah vertikal

ang tiang

M_x = momen arah x

ng bor

M_y = momen arah y

an tanah di

$P_{ijin} = \dots$

enurut Mey

Pada perencanaan pondasi tiang bor, perhitungan tegangan ultimit tiang pancang dihitung berdasarkan kekuatan bahan dan kekuatan tanah (metode Terzaghi, metode Meyerhoff, dan metode Bagement).

$P_{ijin} = \dots$

Dalam perhitungan daya dukung ijin tiang bor, hanya memperhitungkan daya dukung ujung tiang bor, untuk gesekan selimut tiang tidak diperhitungkan dikarenakan dari hasil penyelidikan tanah, tanahnya berupa pasir.

nurut Bage.

1. Daya dukung ijin tiang bor berdasarkan kekuatan bahan

$$\text{Daya dukung ijin, } P_{ijin} = A \cdot f - W \quad (3.102)$$

$$\text{Tegangan ijin, } f = 0,33 \cdot f_c \quad (3.103)$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \quad (3.104)$$

$$L_e = \text{Panjang efektif tiang bor}$$

$$\text{Berat Tiang, } W = A \cdot L_e \cdot B_J \quad (3.105)$$

a-rata

$$= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2$$

g bor = $\pi \cdot$

Efisiensi kelompok tiang bor menurut *BMS* :

$$E_f = \frac{(2.(nb + nt - 2).xt + 4.ds)}{(\lambda.ds.nb.nt)} \quad (3.112)$$

$$P_{ijin} \text{ yang dipakai} = P_{ijin} \cdot Eff \quad (3.113)$$

Sedangkan untuk daya dukung ijin lateral satu tiang bor adalah :

$$H_{ijin} = \frac{H l(nb.nt)}{SF} \quad (3.114)$$

dengan :

$$H = \frac{F(2.L_2)}{L_2 + L_d + L_a} \quad (3.115)$$

$$L_2 = \frac{M}{F} \quad (3.116)$$

nb = Jumlah baris tiang

nt = Jumlah tiang bor perbaris

3.5.2.2 Pembesian *bore pile*

1. Tulangan Aksial tekan lentur

$$P_{max} = P_{ijin}$$

Beban Ultimit : P_n = faktor beban ultimit. P_{max}

M_n = faktor beban ultimit. M_{max}

$$A_g = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \quad (3.117)$$

Plot nilai $\frac{\Phi.Pn}{(f'c.Ag)}$ dan $\frac{\Phi.Mn}{(f'c.Ag)}$ ke dalam diagram interaksi kolom lingkaran diperoleh rasio tulangan, ρ

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan, } A_s = \rho . A_g \quad (3.118)$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s}{A_{1\phi}} \quad (3.119)$$

2. Tulangan Geser *Bore pile*

$$V_u = \frac{Mu}{L} \quad (3.120)$$

d = tebal efektif

L = panjang efektif tiang bor

$$V_{c \max} = 0,2 . f'c . D . d \quad (3.121)$$

$$\Phi . V_{c \max} > V_u \text{ (Ok)}$$

$$\beta_1 = 1,4 - \frac{d}{2000} \quad (3.122)$$

$$\beta_2 = 1 + \frac{Pu}{14 . f'c . A_g} \quad (3.123)$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = \beta_1 . \beta_2 . \beta_3 . D . d . \sqrt{\frac{A_s . F'c}{b . d}} \quad (3.124)$$

$$V_c = V_{uc} + 0,6 . D . d \quad (3.125)$$

Jika $\Phi . V_c > V_u$ (hanya perlu tul geser min)

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan, } S = \frac{A_{1\phi} . f_y . d}{V_s} \quad (3.126)$$

BAB IV

ANALISA DAN DISAIN

4.1 Pendahuluan

Dalam suatu perencanaan/disain diperlukan analisis struktur agar diperoleh tegangan yang diperhitungkan agar tidak mengalami keruntuhan, setelah dilakukan analisis maka untuk mewujudkan perencanaan yang dapat dilaksanakan, maka dilakukan analisis menggunakan data yang berhubungan dengan struktur yang direncanakan. Pada bab ini akan dijelaskan tentang tahapan perencanaan sampai dengan gambar siap dilaksanakan.

4.2 Data Struktur

Struktur Jembatan Kretek II adalah berupa beton bertulang yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. struktur jembatan berupa pelengkung yang terdiri dari 4 bentang,
2. struktur atas berupa beton bertulang yang terdiri dari :
 - a. balok induk memanjang,
 - b. balok anak memanjang,
 - c. balok lintang
 - d. kolom, dan
 - e. gelagar lengkung.
3. struktur bawah berupa beton bertulang yang terdiri dari :
 - a. *abutment*, dan

b. pondasi.

untuk keperluan perhitungan maka diperlukan data bahan beton bertulang sebagai berikut :

1. *BJTP* (Baja Tulangan Polos) $U = 24$ atau $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 = 240 \text{ Mpa}$
2. *BJTD* (Baja Tulangan *Deform*) $U = 39$ atau $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2 = 390 \text{ Mpa}$
3. Mutu beton *K-300* $= f'_c = 0,83 \cdot k = 0,83 \cdot 300 = 249 \text{ kg/cm}^2 = 24,9 \text{ Mpa}$

4.3 Waktu Penelitian

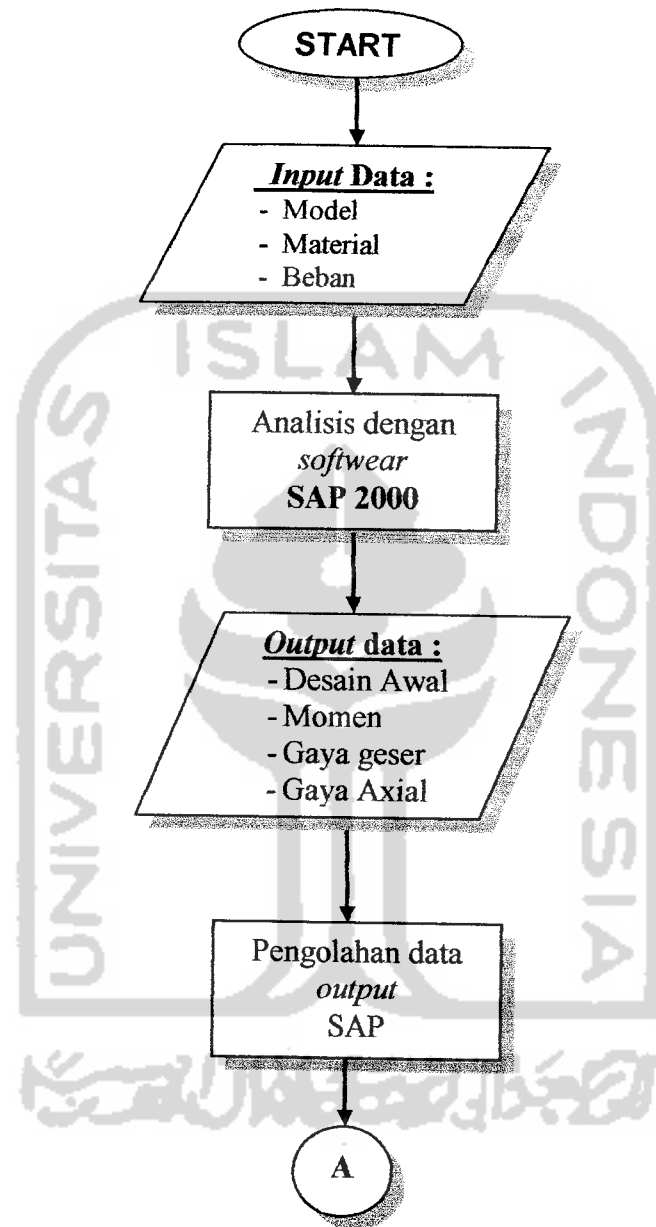
Waktu studi penelitian direncanakan dimulai pada akhir bulan September 2006 dan selesai pada bulan April 2007.

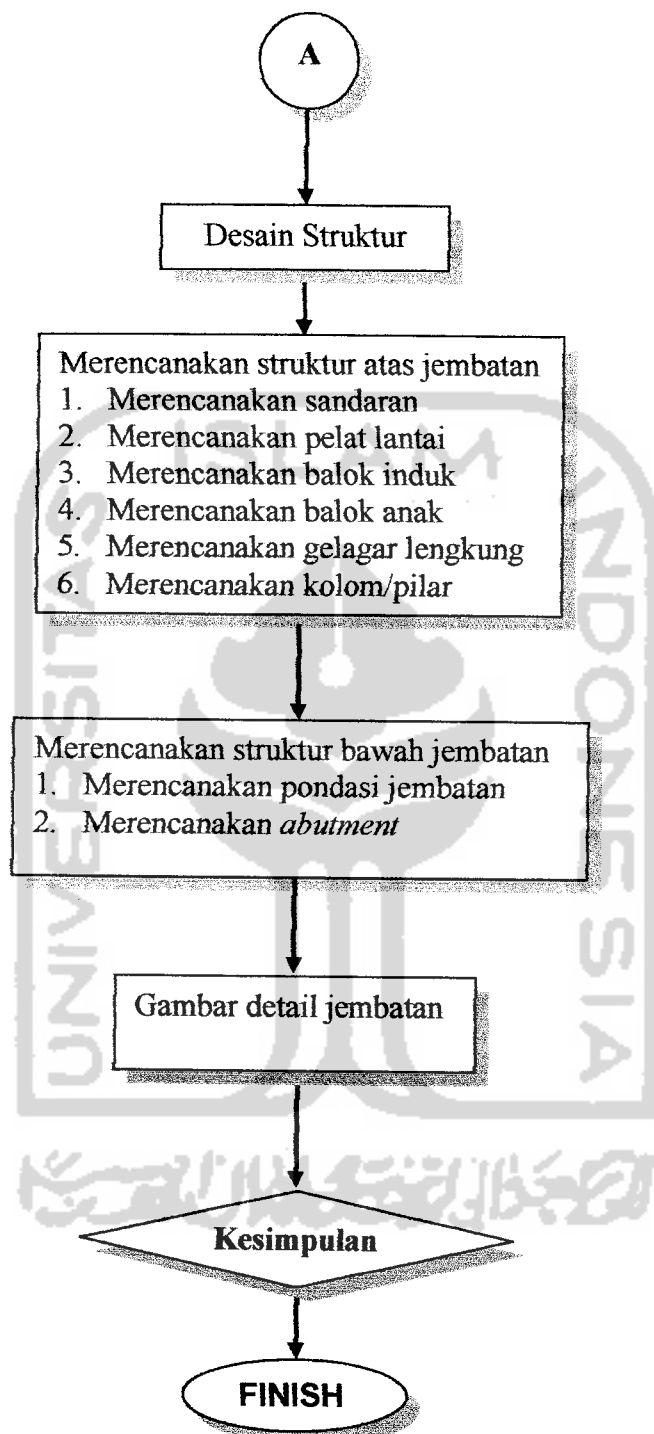
4.4 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan dari tugas akhir perencanaan Jembatan Kretek II ini adalah meliputi :

1. menentukan spesifikasi dan konfigurasi struktur jembatan,
2. menghitung beban-beban yang bekerja dengan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, 1992 (PPTJ-1992),
3. menganalisa struktur dengan program SAP 2000 dan *excel*,
4. merencanakan elemen-elemen struktur dengan beton bertulang,
5. pembahasan, dan
6. menyimpulkan hasil.

langkah-langkah penyelesaian tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 4.1.

FLOW CHART PERHITUNGAN JEMBATAN KRETEK II**Gambar 4.1.a** *Flow Chart* penulisan tugas akhir



Gambar 4.1.b Flow Chart penulisan tugas akhir

4.5 Pelaksanaan Penelitian dan Jadwal Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, sebagai berikut:

Nama : Aries Taven No. Mhs : 02511075

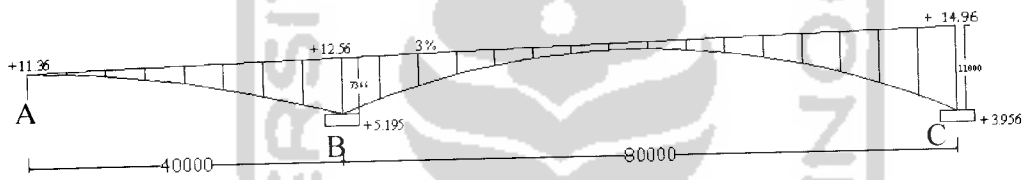
Jadwal penelitian ini meliputi 8 bulan efektif , yang apabila disusun adalah seperti berikut ini :

No	Kegiatan	Bulan					
		Sep.	Okt.	Nov.	Des.	Jan.	Feb.
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar Proposal		■				
5	Konsultasi Penyusunan TA			■			
6	Sidang – Sidang					■	
7	Pendadaran						■

BAB V
PERHITUNGAN KONSTRUKSI

5.1. Perencanaan Koordinat Lengkung Jembatan

Perencanaan koordinat gelagar lengkung Jembatan Kretek II direncanakan dengan rumus $h_n = \frac{4.f.x(L-x)}{L^2}$. Gelagar lengkung Jembatan Kretek II dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1. Lengkung Parabola

Tinggi kolom dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Tinggi Kolom

Titik	Tinggi Kolom (mm)
0	0
5	359
10	875
15	1549
20	2383
25	3378
30	4538
35	5866

Titik	Tinggi Kolom (mm)
120	11000
125	8781
130	6864
135	5245
140	3773
145	2777
150	1935
155	1344

40	7365	160	1000
45	5624	165	902
50	4172	170	1049
55	2999	175	1445
60	2093	180	2093
65	1445	185	2999
70	1049	190	4172
75	902	200	5624
80	1000	205	7365
85	1344	210	5866
90	1935	215	4538
95	2777	220	3378
100	3873	225	2383
105	5245	230	1549
110	6864	235	875
115	8781	240	359

5.1. Perencanaan *kantilever*

Perencanaan *kantilever* jembatan meliputi perencanaan tulangan sandaran jembatan, perencanaan tulangan geser dan perencanaan pelat trotoar.

5.2.1 Perencanaan Tulangan Tiang Sandaran

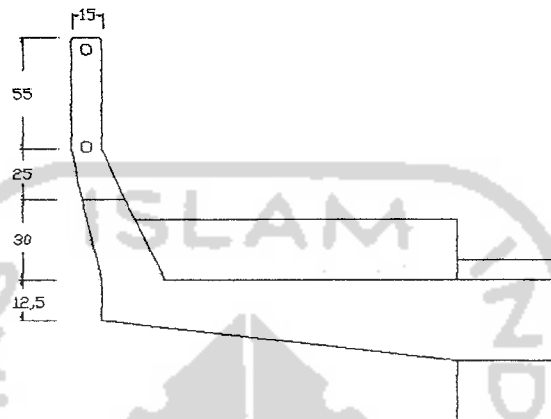
Sandaran merupakan suatu konstruksi pengaman bagi pemakai jembatan, sandaran ini direncanakan dari pipa besi bulat, sedangkan tiang sandaran (*railing*) berupa beton bertulang. Adapun data tiang sandaran adalah sebagai berikut.

Jarak antar tiang <i>railing</i>	= 2 m
Beban <i>railing</i>	= 0,1 Ton/m
Gaya pada tiang <i>railing</i>	= 0,2 Ton
Lengan	= 0,8 m
Mutu beton	= K - 300

Kuat tekan beton, f_c' = 24,9 Mpa

Tegangan leleh baja, f_y = 390 Mpa

Bentuk tiang sandaran dapat dilihat pada gambar 5.2



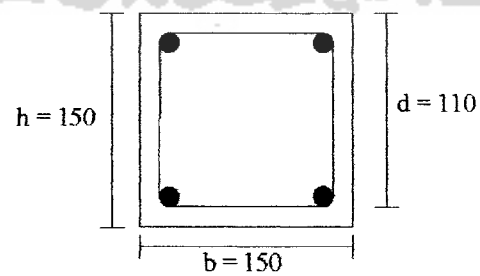
Gambar 5.2 Tiang Sandaran

Momen (M_u) = 0,16 Ton - m

Faktor beban *ultimit* = 2

Momen ultimit rencana (M_u) = $2 \times 0,16 = 0,32$ Ton - m

Diambil ukuran tiang sandaran 15 x 15 cm



Gambar 5.3 Penampang Tiang Sandaran

$$\text{Modulus elastis baja (} E_s \text{)} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\text{Faktor bentuk distribusi tegangan beton (} \beta_1 \text{)} = 0,85$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan lentur } \phi = 0,8$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } \phi = 0,6$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) =$$

$$= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 24,9}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,027957$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) =$$

$$= 0,75 \cdot 0,027957 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,027957 \cdot 390}{0,85 \cdot 24,9} \right) = 6,597664 \text{ Mpa}$$

$$M_u = 3200000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = h - p_b - \frac{1}{2} D = 150 - 30 - \frac{1}{2} 6,5 = 113,5 \text{ mm} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar tiang railing, } b = 150 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M}{\phi} = \frac{3200000}{0,8} = 4000000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{4000000}{150 \cdot 110^2} = 2,2038567 \text{ Mpa} < R_{max} \text{ (Ok)}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) =$$

$$= \frac{0,85 \cdot 24,9}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,2038567}{0,85 \cdot 24,9}} \right) = 0,00598$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,027957 = 0,02096775$$

$$\rho_{min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Ternyata : $\rho_{min} = 0,00090 < \rho = 0,00598 < \rho_{max} = 0,02096775$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,00598$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00598 \times 150 \times 110 = 98,67 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 10

$$A_{1\phi} = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s}{A_{1\phi}} = \frac{98,67}{78,54} = 1,26 = 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan **2 D 10**

Untuk tulangan tarik digunakan $A_s = 2 \text{ D } 10$

Untuk tulangan desak digunakan $A_s' = 2 \text{ D } 10$

5.2.2. Perencanaan Tulangan Geser Tiang Sandaran

Gaya geser rencana = 0,2 Ton

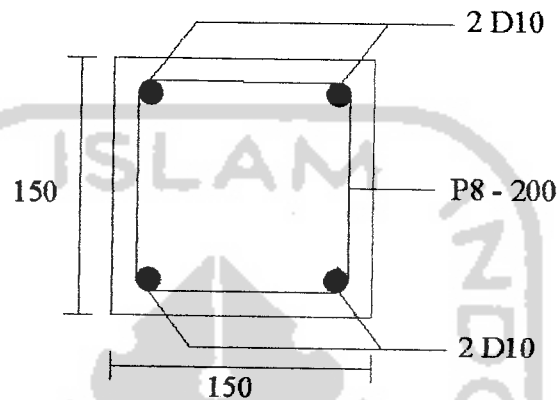
Gaya geser ultimit rencana (V_u) = 4000 N

$$\begin{aligned} V_c &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \right) \\ &= \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{24,9} \times 150 \times 110 \right) = 13722,47 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 13722,47 = 4116,6 \text{ N} > V_u = 4000 \text{ N (teoritis tidak$$

perlu sengkang)

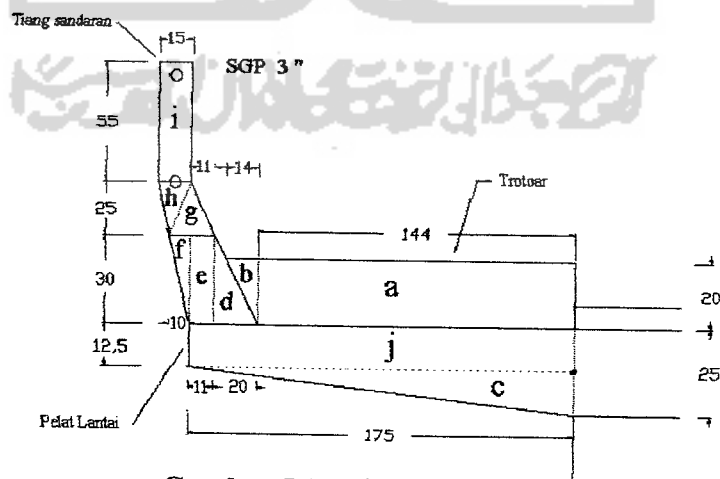
Secara teoritis tidak memerlukan tulangan geser tapi untuk mempermudah pemasangan tulangan, diperlukan tulangan sengkang dengan jarak 20 cm. Jadi sandaran memakai tulangan tarik $A_s = 2 D10$ dan desak $A_s' = 2 D10$, untuk tulangan geser digunakan P8 – 200 mm. Gambar tulangan dapat dilihat pada gambar 5.4



Gambar 5.4 Tulangan Sandaran

5.2.3. Perencanaan Pelat Trotoar

Beban yang diterima pelat trotoar adalah beban akibat berat sendiri, beban akibat tiang sandaran dan beban hidup, pelat trotoar dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5. Pelat Trotoar

Beban yang diterima pelat trotoar per meter panjang

Beban mati pada pelat trotoar :

Jarak antar tiang railing, $L = 2 \text{ m}$

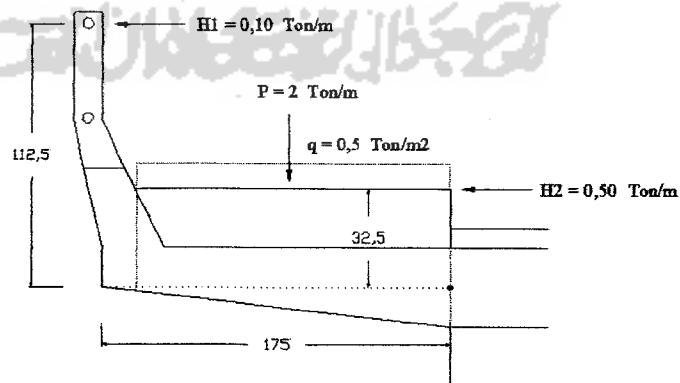
BJ Beton $= 2,5 \text{ Ton/m}^3$

Beban mati trotoar dan railing untuk panjang $L = 2 \text{ m}$

Tabel 5.2 Perhitungan Beban mati trotoar dan railing

No	b (m)	h (m)	Shape	L (m)	BJ Beton (Ton/m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
a	1,44	0,2	1	2	2,5	1,44	0,72	1,037
b	0,14	0,2	0,5	2	2,5	0,07	1,497	0,105
c	1,75	0,125	0,5	2	2,5	0,54688	0,583	0,319
d	0,2	0,3	0,5	2	2,5	0,15	1,583	0,237
e	0,11	0,3	1	2	2,5	0,165	1,705	0,281
f	0,1	0,3	0,5	2	2,5	0,075	1,793	0,134
g	0,21	0,25	0,5	0,15	2,5	0,010	1,755	0,017
h	0,15	0,25	0,5	0,15	2,5	0,007	1,825	0,013
i	0,55	0,15	1	0,15	2,5	0,031	1,825	0,056
j	1,75	0,125	1	2	2,5	1,09375	0,875	0,957
k	SGP 3"		0,063	4		0,252	1,33	0,335
					Qm	3,840	Mm	3,492
Beban Mati Trotoar dan Railing (Per m)					Qm	1,920	Mm	1,746

Beban hidup pada pelat trotoar :



Gambar 5.6 Beban hidup pada trotoar

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \\ &= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 24,9}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,027957\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{max} &= 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) = \\ &= 0,75 \cdot 0,027957 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,027957 \cdot 390}{0,85 \cdot 24,9} \right) = 6,597664 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$M_u = 71960000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = h - p_b - \frac{1}{2} D = 250 - 30 = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau selebar 1 m, } b = 1000 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M}{\phi} = \frac{71960000}{0,8} = 89950000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{89950000}{1000 \cdot 220^2} = 1,858 \text{ Mpa} < R_{max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 24,9}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,858}{0,85 \cdot 24,9}} \right) = 0,00499\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,027957 = 0,02096775$$

$$\rho_{min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

$$\text{Ternyata : } \rho_{min} = 0,00090 < \rho = 0,00499 < \rho_{max} = 0,02096775$$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,00499$

Luas tulangan pokok :

5.3. 1

$$A_s = p \cdot b \cdot d = 0,00499 \times 1000 \times 220 = 1098,65 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 16

$$A_{I\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (S)} = \frac{A_{I\phi} \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,06 \cdot 1000}{1098,65} = 183 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan **D16 – 180**

$$A_s = \frac{201,06 \cdot 1000}{180} = 1117 \text{ mm}^2$$

Tulangan Susut

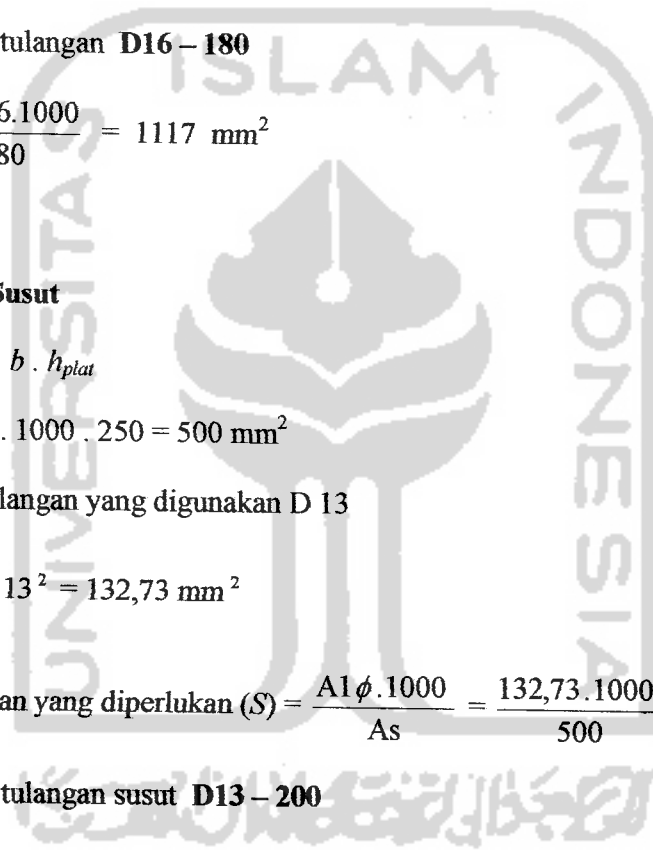
$$A_s = 0,002 \cdot b \cdot h_{plat} \\ = 0,002 \cdot 1000 \cdot 250 = 500 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D 13

$$A_{I\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (S)} = \frac{A_{I\phi} \cdot 1000}{A_s} = \frac{132,73 \cdot 1000}{500} = 265 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan susut **D13 – 200**



Sambungan
1,12

Tebal

Tebal

Tebal

Jarak :

Lebar

Lebar

Lebar

Mutu l

Mutu t

BJ betu

BJ aspi

BJ air

5.3.1 Menghitung beban-beban yang bekerja :

1. Beban Mati

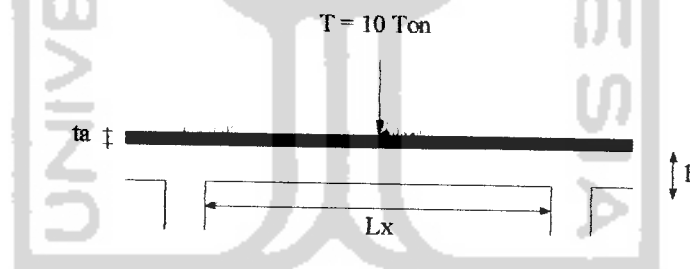
Tabel 5.4 Perhitungan beban mati pelat lantai jembatan

No	Jenis	Tebal (m)	Berat (Ton/m ³)	Beban (Ton/m ²)
1	Pelat	0,25	2,5	0,625
2	Lapisan aspal	0,1	2,2	0,22
3	Air hujan	0,1	1	0,1
Beban Mati :				0,945

2. Beban Hidup

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh *Truck* (beban T) yang besarnya beban hidup : $P = 10$ Ton

Bentang plat, $L_x = 2,06$ m



Gambar 5.8 Beban T pada lantai jembatan

5.3.2 Momen Pada Pelat Lantai Jembatan

Pelat lantai jembatan yang digunakan adalah plat (*one way slab*).

$$P = 10 \text{ Ton}$$

$$Q = 0,945 \text{ Ton/m}^2$$

$$L_x = 2,06 \text{ m}$$

Momen akibat beban mati :

Momen tumpuan = Momen lapangan

$$M_m = \frac{1}{10} \cdot Q \cdot Lx^2 = \frac{1}{10} \cdot 0,945 \cdot 2,06^2 = 0,401 \text{ Ton-m}$$

Momen akibat beban hidup :

$$M_0 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot Lx = \frac{1}{4} \cdot 10 \cdot 2,06 = 5,15 \text{ Ton-m}$$

$$M_h = \frac{5}{6} \cdot M_0 = \frac{5}{6} \cdot 5,15 = 4,292 \text{ Ton-m}$$

5.3.3 Momen Ultimit Rancangan Slab (*one way slab*)

- Faktor beban ultimit untuk beban mati dengan = 1,3
- Faktor beban ultimit untuk beban hidup = 2,0

Momen Tumpuan = Momen Lapangan

$$= 1,3 \cdot M_m + 2 \cdot M_h = 1,3 (0,401) + 2 (4,292) = 9,105 \text{ Ton-m}$$

5.3.4. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Jembatan

$$\text{Mutu beton} = K - 300$$

$$\text{Kuat tekan beton, } f_c' = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja, } f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal Pelat, } h = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan terhadap sisi luar beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis baja (} E_s \text{)} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\text{Faktor bentuk distribusi tegangan beton (} \beta_1 \text{)} = 0,85$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan lentur } \phi = 0,8$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } \phi = 0,6$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} =$$

$$= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 24,9 \left(\frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,027957$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) =$$

$$= 0,75 \cdot 0,027957 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,027957 \cdot 390}{0,85 \cdot 24,9} \right) = 6,597664 \text{ Mpa}$$

$$M_u = 91050000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = h - p_b - \frac{1}{2} D = 250 - 40 = 210 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau selebar 1 m, } b = 1000 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{M}{\phi} = \frac{91050000}{0,8} = 113812500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{113812500}{1000 \cdot 210^2} = 2,581 \text{ Mpa} < R_{max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 24,9}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,581}{0,85 \cdot 24,9}} \right) = 0,00708\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,027957 = 0,02096775$$

$$\rho_{min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Ternyata : $\rho_{min} = 0,00090 < \rho = 0,00708 < \rho_{max} = 0,02096775$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,00708$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00708 \times 1000 \times 210 = 1487 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 16$

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,06 \cdot 1000}{1487} = \\ &= 135,21 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D16 – 100**

$$A_s = \frac{201,06 \cdot 1000}{100} = 2010 \text{ mm}^2$$

Tulangan Susut

Untuk tulangan susut diambil 50% luas tulangan pokok

$$A_s = 50 \% \times 2010 = 1005 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D 13

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan } (s) = \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{132,73 \cdot 1000}{1005} = 132 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan susut **D13 – 130**

5.3.5. Kontrol Lendutan Pelat Lantai Jembatan

Mutu beton	=	K - 300
Kuat tekan beton, f_c'	=	24,9 Mpa
Tegangan leleh baja, f_y	=	390 Mpa
Tebal Pelat, h	=	250 mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton	=	40 mm
Modulus elastis baja (E_s)	=	200000 Mpa
Modulus elastis beton, $E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'}$	=	$4700 \times \sqrt{24,9} = 23452,953 \text{ Mpa}$
Tebal efektif pelat, $d = h - p_b$	=	$250 - 40 = 210 \text{ mm}$
Luas Tulangan pelat, A_s	=	2010 mm ²
Panjang bentang pelat, L_x	=	2,06 m = 2060 mm
Ditinjau pelat selebar, b	=	1 m = 1000 mm
Beban terpusat, P	=	13,84 Ton
Beban merata, Q	=	0,945 Ton/m
Lendutan total yang terjadi (δ_{tot}) harus <	$\frac{L_x}{240} = \frac{2060}{240}$	= 8,58 mm

Inersia brutto penampang pelat yang ditinjau =

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 250^3 = 1302083333 \text{ mm}^4$$

$$\delta_e = \frac{\frac{5}{384} \cdot 9,45 \cdot 2060^4}{23452,953.711205602} + \frac{\frac{1}{48} \cdot 138400 \cdot 2060^3}{23452,953.711205602} = 2,6 \text{ mm}$$

Rasio tulangan pelat lantai jembatan =

$$\rho = \frac{As}{(b.d)} = \frac{2010}{(1000.210)} = 0,0096$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun),

$$\zeta = 2$$

$$\lambda = \frac{\zeta}{(1 + 50 \cdot \rho)} = \frac{2}{(1 + 50 \cdot 0,0096)} = 1,353$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut =

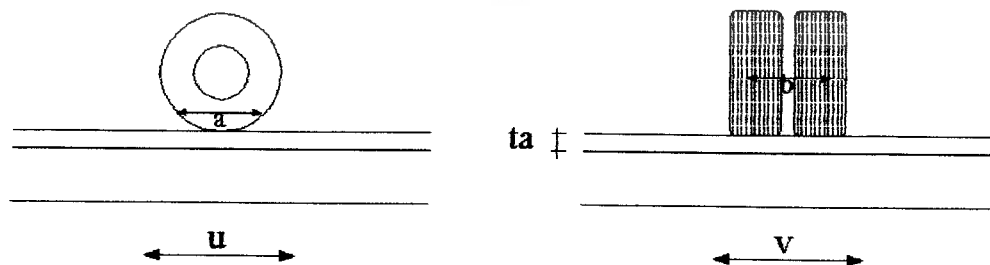
$$\delta_g = \frac{\frac{\lambda \cdot 5}{384} \cdot Q \cdot Lx^4}{Ec \cdot I_e} = \frac{1,353 \cdot 5}{384} \cdot 9,45 \cdot 2060^4}{23452,953.711205602} = 0,18 \text{ mm}$$

Lendutan total pada pelat lantai jembatan =

$$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g = 2,6 + 0,18 = 2,78 \text{ mm} < \frac{Lx}{240} = \frac{2060}{240} = 8,58 \text{ mm}$$

Aman (Ok)

5.3.6. Kontrol Tegangan Geser Pons



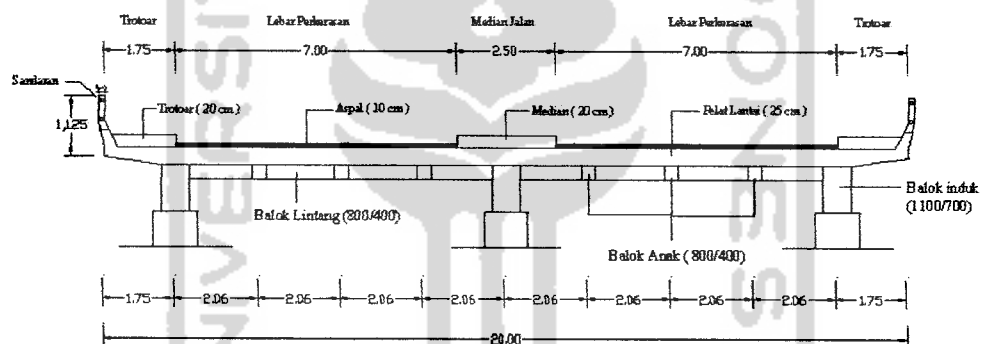
Gambar 5.10 Kontrol tegangan geser pons

5.4. Perencanaan Pembebanan Struktur Jembatan

Perencanaan pembebanan struktur jembatan meliputi beban mati, beban hidup, beban gempa, beban tekanan tanah, beban angin, beban rem dan traksi, beban akibat perbedaan temperatur, dan beban susut dan rangkai.

5.4.1 Perhitungan Pembebanan Struktur Jembatan

Perhitungan pembebanan struktur pada perencanaan Jembatan Kretek meliputi perencanaan beban mati, beban hidup, beban gempa, beban tekanan tanah, beban angin, beban rem dan traksi, beban akibat perbedaan temperatur, dan beban susut dan rangkai.



Gambar 5.11 Potongan melintang jembatan

Tebal pelat lantai	h : 0,25 m
Tebal lapisan aspal + <i>overlay</i>	t_a : 0,1 m
Tebal genangan air hujan	: 0,1 m
Lebar jalur lalu lintas	b_1 : 7 m
Lebar trotoar	b_2 : 1,75 m
Lebar median	b_3 : 2,5 m
Bentang jembatan tengah	L_1 : 80 m
Bentang jembatan tepi	L_2 : 40 m

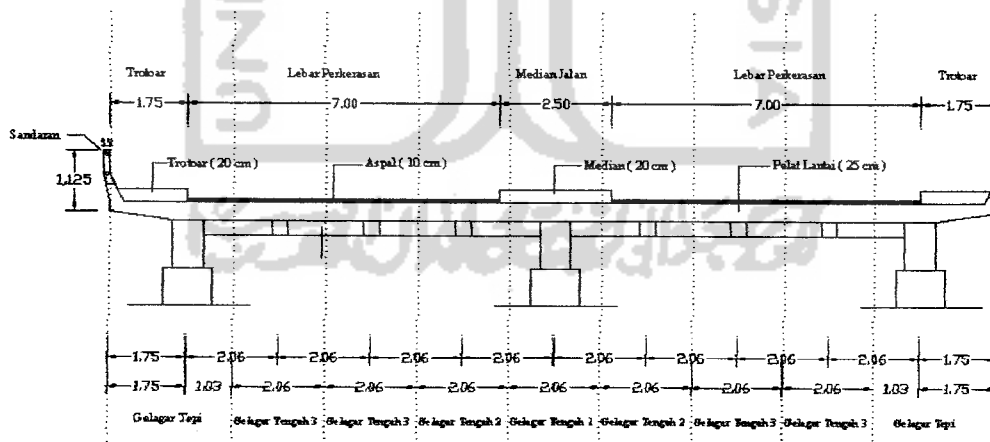
a. Beban Mati

Dalam menentukan besarnya beban mati digunakan nilai berat satuan sebagai berikut :

Tabel 5.5 Berat jenis bahan

Jenis Bahan	Berat	Satuan
Beton Bertulang	2,5	Ton/m ³
Beton Tidak Bertulang	2,4	Ton/m ³
Aspal	2,2	Ton/m ³
Air	1,00	Ton/m ³
Baja	7,85	Ton/m ³
Pasir Kering	1,72	Ton/m ³
Pasir Basah	1,88	Ton/m ³
Timbunan Tanah dipadatkan	1,76	Ton/m ³

Beban mati meliputi beban merata pada gelagar tengah jembatan, gelagar tepi jembatan dan pelat lantai. Pembagian distribusi beban mati gelagar dapat dilihat pada gambar 5.12.



Gambar 5.12. Distribusi beban mati gelagar

1. Beban merata gelagar tengah 1

a. Lapisan aspal	=	$0,1 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	4,532	kN/m
b. Genangan air hujan	=	$0,1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	2,06	kN/m
c. Pelat lantai	=	$0,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	12,875	kN/m
d. Median	=	$0,2 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	9,888	kN/m
				Total qd	= 29,355 kN/m

2. Beban merata gelagar tengah 2

a. Lapisan aspal	=	$0,1 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	4,532	kN/m
b. Genangan air hujan	=	$0,1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	2,06	kN/m
c. Pelat lantai	=	$0,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	12,875	kN/m
d. Median	=	$0,2 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,22 \text{ m}$	=	1,056	kN/m
				Total qd	= 20,523 kN/m

3. Beban merata gelagar tengah 3

a. Lapisan aspal	=	$0,1 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	4,532	kN/m
b. Genangan air hujan	=	$0,1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	2,06	kN/m
c. Pelat lantai	=	$0,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 2,06 \text{ m}$	=	12,875	kN/m
				Total qd	= 19,467 kN/m

4. Beban merata gelagar tepi

a. Lapisan aspal	=	$0,1 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 1,03 \text{ m}$	=	2,266	kN/m
b. Genangan air hujan	=	$0,1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \times 1,03 \text{ m}$	=	1,03	kN/m
c. Pelat lantai	=	$0,25 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 1,03 \text{ m}$	=	6,438	kN/m
d. Trotoar	=	$0,4 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 1,75 \text{ m}$	=	17,5	kN/m
e. Sandaran	=	$0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 1,75 \text{ m}$	=	0,98	kN/m
				Total qd	= 28,217 kN/m

b. Beban Hidup

Untuk perhitungan kekuatan gelagar-gelagar pada jembatan harus digunakan muatan *D*. Muatan *D* adalah susunan muatan pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari muatan terbagi rata sebesar q ton/m panjang jalur dan muatan garis P Ton (belum termasuk kejut) melintang jalur lalu lintas tersebut.

1. Beban hidup perjalur lalu lintas

a. Beban garis (P) = 12 Ton

b. Beban Merata (q)

$$q = 2,2 \text{ Ton/m} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

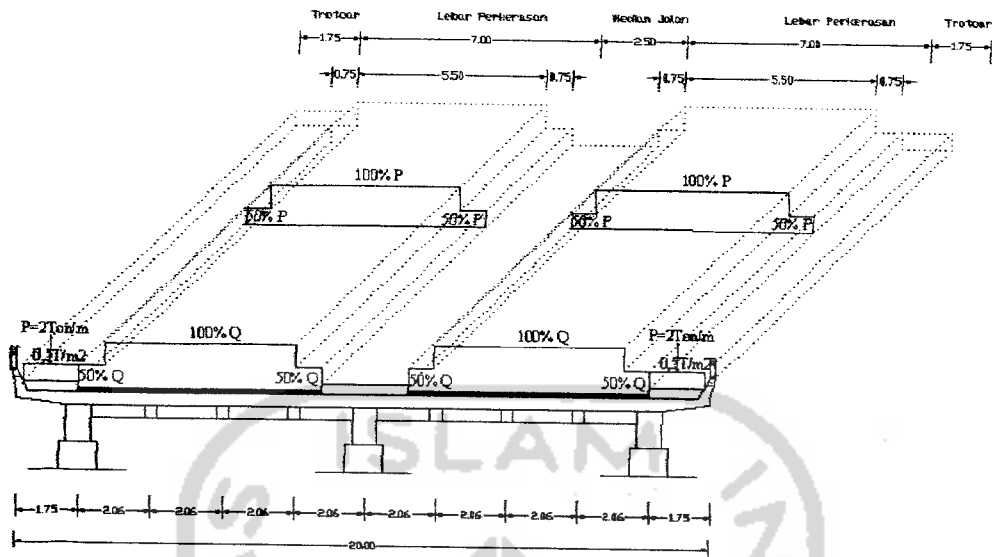
$$q = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (L - 30) \text{ Ton/m} \quad \text{untuk } 30 < L < 60 \text{ m}$$

$$q = 1,1 \cdot \left(1,0 + \frac{30}{L}\right) \text{ Ton/m} \quad \text{untuk } L > 60 \text{ m}$$

c. Faktor kejut (K) = $1 + \frac{20}{50 + L}$

2. Distribusi beban

Menurut PPPJRR untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 m, beban *D* sepenuhnya (100 %) dibebankan pada lebar jalur 5,5 m sedang lebar selebihnya dibebani separuh beban *D* (50 %). Beban hidup yang diterima gelagar dapat dilihat pada gambar 5.7.

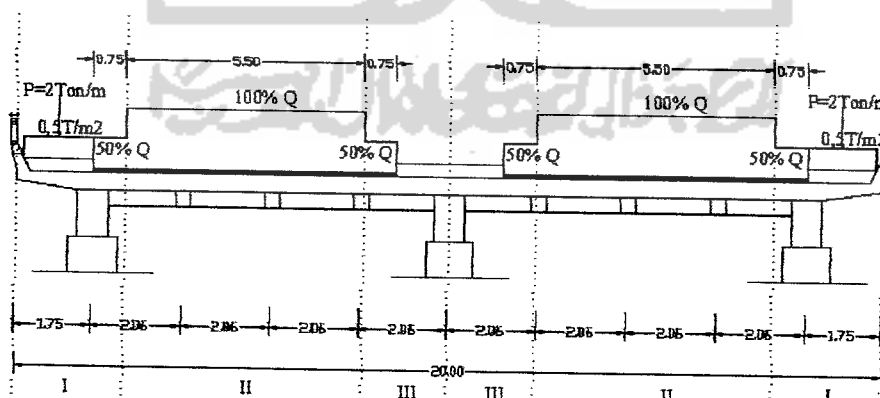


Gambar 5.13 Distribusi beban hidup gelagar

Beban hidup per meter lebar jembatan dapat di hitung sebagai berikut :

$$\text{Beban terbagi rata } Q = \frac{q_{\text{ton / meter}}}{2,75\text{meter}}$$

Angka pemabagi 2,75 meter di atas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu lintas (PPPJJR 1987,hal 8). Distribusi beban D dapat dilihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.14 Distribusi beban hidup gelagar

Distribusi beban D untuk tiap gelagar dapat dihitung sebagai berikut :

a. Beban jalur D merata untuk $L = 80 \text{ m}$ ($L > 60 \text{ m}$)

$$q = 1,1 \cdot \left(1,0 + \frac{30}{L}\right) = 1,1 \cdot \left(1,0 + \frac{30}{80}\right) = 1,51 \text{ Ton/m}$$

Beban hidup pada trotoar :

$$q' = 0,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$P' = 2 \text{ Ton/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup merata } q \text{ pada trotoar} &= (P' + b_2 \cdot q') \\ &= (2 + 1,75 \cdot 0,5) = 2,875 \text{ Ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bagian I} &= Q \ 50 \% + Q \text{ Trotoar} \\ &= \left(\frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2}\right) \times 50 \%\right) + Q \text{ Trotoar} \\ &= \left(\frac{1,51}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2}\right) \times 50 \%\right) + 2,875 \\ &= \left(\frac{1,51}{2,75} \times 0,75 \times 50 \%\right) + 2,875 \\ &= 0,206 \text{ Ton/m} + 2,875 \text{ Ton/m} = 3,08 \text{ Ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bagian II} &= Q \ 100 \% \\ &= \frac{q}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% \\ &= \frac{1,51}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% = 3,02 \text{ Ton/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bagian III} &= Q \ 50 \% \\ &= \frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2}\right) \times 50 \% \end{aligned}$$

b. Beban jalur D merata untuk $L = 40 \text{ m}$ ($L < 60 \text{ m}$)

$$q = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (L - 30) = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (40 - 30) = 2,02 \text{ Ton/m}$$

Beban hidup pada trotoar :

$$q' = 0,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$P' = 2 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Beban hidup merata } q \text{ pada trotoar} = (P' + b_2 \cdot q') = (2 + 1,75 \cdot 0,5) = 2,875$$

Ton/m

$$\text{Bagian I} = Q \text{ 50 \%} + Q \text{ Trotoar}$$

$$= \left(\frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \right) + Q \text{ Trotoar}$$

$$= \left(\frac{2,02}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \right) + 2,875$$

$$= \left(\frac{2,02}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \right) + 2,875$$

$$= 0,3 \text{ Ton/m} + 2,875 \text{ Ton/m} = 3,18 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Bagian II} = Q \text{ 100 \%}$$

$$= \frac{q}{2,75} \times 5,5 \times 100 \%$$

$$= \frac{2,02}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% = 4,04 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Bagian III} = Q \text{ 50 \%}$$

$$= \frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50 \%$$

$$= \frac{2,02}{2,75} \times \left(\frac{7-5,5}{2} \right) \times 50 \%$$

$$= \left(\frac{2,02}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \right) = 0,3 \text{ Ton/m}$$

Distribusi beban D untuk tiap gelagar dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{balok I} = \left(\frac{2,02}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \right) + \left(\frac{2,02}{2,75} \times 0,28 \times 100 \% \right) + 2,875$$

$$= 0,275 \text{ Ton/m} + 0,206 \text{ Ton/m} + 2,875 \text{ Ton/m} = 3,356 \text{ Ton/m}$$

$$\text{balok II} = \left(\frac{2,02}{2,75} \times 2,06 \times 100 \% \right) = 1,513 \text{ Ton/m}$$

$$\text{balok III} = \left(\frac{2,02}{2,75} \times 1,09 \times 100 \% \right) + \left(\frac{2,02}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \right) = 1,075 \text{ Ton/m}$$

Beban garis

$$P = 12 \text{ Ton}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1 + \frac{20}{50+L} = 1 + \frac{20}{50+40} = 1,222$$

$$\text{Bagian I} = P \ 50 \%$$

$$= \frac{P}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times K$$

$$= \frac{12}{2,75} \times \left(\frac{7-5,5}{2} \right) \times 50 \% \times 1,222$$

$$= \left(\frac{12}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \right) \times 1,222 = 1,999 \text{ Ton}$$

Bagian II = $P \cdot 100 \%$

$$= \frac{P}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% \times K$$

$$= \frac{12}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% \times 1,222$$

$$= 29,328 \text{ Ton}$$

Bagian III = $P \cdot 50 \%$

$$= \frac{P}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times K$$

$$= \frac{12}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times 1,222$$

$$= \left(\frac{12}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \right) \times 1,222 = 1,999 \text{ Ton}$$

5.4.2. Pembebanan Gempa

Struktur jembatan Kretek direncanakan tahan terhadap gempa, dimana wilayah Yogyakarta termasuk daerah gempa 3 dan dengan kondisi tanah dasar sedang. Besar beban gempa ditentukan oleh koefisien gempa rencana dan berat total struktur jembatan. Berat total struktur terdiri atas berat sendiri struktur jembatan, beban mati dan beban hidup yang bekerja. Diperkirakan waktu getar alami struktur jembatan rangka beton lengkung, $T = 0,1 - 1$ detik.

a. $T_{EQ} = C \cdot S \cdot I \cdot Wt$

Dimana :

- T_{EQ} = Gaya geser dasar akibat gempa,
 C = koefisien gempa dasar,
 I = faktor keutamaan struktur,
 S = faktor jenis struktur,
 W_t = berat total bangunan.

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk wilayah 3 diperoleh :

Koefisien gempa dasar, $c = 0,18$

Faktor keutamaan struktur, $I = 1,2$

Faktor jenis struktur, $S = 1$

b. W_t (berat bangunan)

1. Beban Mati

Berat pelat lantai dan tiang sandaran :

a. Berat pelat lantai = $0,25 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 16,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 24750 \text{ kN}$

b. Berat pelat trotoar

$$= ((0,325 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) + (0,5 \times 1,75 \text{ m} \times 0,125 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) \times 2) = 8137,5 \text{ kN}$$

c. Berat tiang sandaran

$$= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 1,125 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 330,75 \text{ kN}$$

d. Median jalan

$$= (0,2 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) = 300 \text{ kN}$$

Total = 33518,25 kN

Berat Balok

Berat balok = Luas x panjang x b_j x Σ balok

Perhitungan berat balok dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6. Tabel berat balok

No	Jenis	B _j (kN/m ³)	H (m)	B (m)	L (m)	Jml	Berat (kN)
1	Balok Induk	25	1	0,7	240	3	12600
2	Balok Anak	25	0,8	0,4	240	6	11520
3	Balok Lintang	25	0,8	0,4	16,5	94	12408
4	Balok Lengkung	25	0,9	1,6	40,5768	6	8764,5888
	Balok Lengkung	25	0,9	1,6	82,2117	6	17757,7272
Total Berat Balok							63050,316

Berat kolom

Berat kolom = Luas x tinggi x b_j x Σ kolom

Perhitungan berat kolom dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7. Tabel berat kolom

Kolom	B (m)	H (m)	B _j (kN/m ³)	TINGGI (m)	JML	Berat (kN)
K1	1,4	1,4	25	11	3	1617
K1	1,4	1,4	25	7,365	6	2165,31
K2	1,2	1,2	25	0,359	6	77,544
K2	1,2	1,2	25	0,875	6	189
K2	1,2	1,2	25	1,549	6	334,584
K2	1,2	1,2	25	2,383	6	514,728
K2	1,2	1,2	25	3,378	6	729,648
K2	1,2	1,2	25	4,538	6	980,208
K2	1,2	1,2	25	5,866	6	1267,056
K2	1,2	1,2	25	5,624	6	1214,784
K2	1,2	1,2	25	4,172	6	901,152
K2	1,2	1,2	25	2,999	6	647,784
K2	1,2	1,2	25	2,093	6	452,088

5.4.3. Beban Angin

Tekanan angin diambil sebesar = $0,15 \text{ Ton/m}^2$

a. Beban angin arah melintang jembatan

Gaya angin didistribusikan merata pada rangka struktur jembatan lengkung arah melintang jembatan. Lebar bidang kontak vertikal rata-rata untuk setiap elemen rangka jembatan adalah 1 m.

Gaya angin arah melintang jembatan, $A = 0,15 \text{ Ton/m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,15 \text{ Ton/m}$

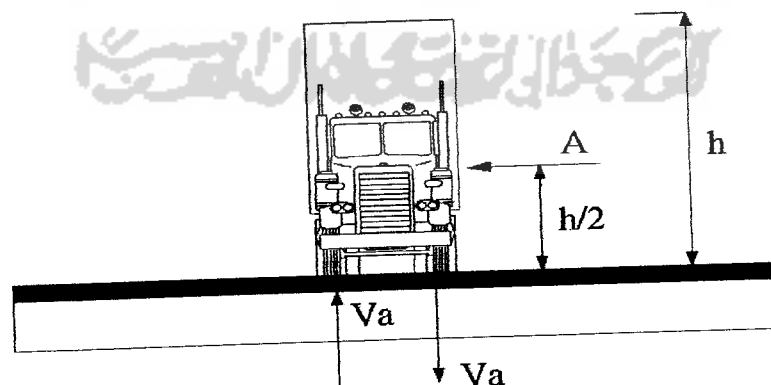
b. Beban angin arah memanjang jembatan

Untuk jembatan menerus yang mempunyai lebih dari 2 peletakan harus diperhitungkan beban angin pada arah memanjang jembatan yang besarnya 40 % beban angin arah melintang jembatan.

Gaya angin arah memanjang, $A = 40 \% \times 0,15 \text{ Ton/m} = 0,06 \text{ Ton/m}$

c. Beban angin pada lantai jembatan

Beban angin pada jembatan pada keadaan dengan beban hidup, maka luas bidang kontak diambil 100 % dari luas bidang sisi yang terkena angin.



Gambar 5.16 Beban angin pada jembatan

$$= 5 \% \times 265,6 \text{ Ton} = 13,28 \text{ Ton}$$

Pada daerah 50 % (selebar 0,75 m)

$$\begin{aligned} = Q \ 50 \% &= \frac{q}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \times L \\ &= \frac{1,51}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \times 80 &= 16,47 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} = P \ 100 \% &= \frac{P}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \\ &= \frac{12}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% &= 1,636 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Total beban hidup D tanpa kejut pada daerah 50 % = 18,106 Ton

$$\begin{aligned} R_m \text{ pada daerah } 50 \% &= 5 \% \times \text{Beban hidup D tanpa koefisien kejut} \\ &= 5 \% \times 18,106 \text{ Ton} = 0,91 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Lengan terhadap permukaan lantai jembatan = 1,8 m

Lengan terhadap penampang pelat lantai jembatan y

$$y = 1,8 + h/2 + t_a = 1,8 + 0,25/2 + 0,1 = 2,025 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat gaya rem } (M_{rm}) &= R_m \cdot y \\ &= (13,28 + 0,91) \times 2,025 = 28,735 \text{ Ton-m} \end{aligned}$$

Beban jalur D untuk bentang $L = 40 \text{ m}$

Beban hidup merata dan beban garis tanpa koefisien kejut :

Pada daerah 100 % (selebar 5,5 m)

$$= Q \ 100 \% = \frac{q}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% \times L$$

$$= \frac{2,02}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% \times 40 = 161,6 \text{ Ton}$$

$$= P \ 100 \% = \frac{P}{2,75} \times 5,5 \times 100 \%$$

$$= \frac{12}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% = 24 \text{ Ton}$$

$$\text{Total beban hidup D tanpa kejut pada daerah 100 \%} = 185,6 \text{ Ton}$$

$$\text{Rm pada daerah 100 \%} = 5 \% \times \text{Beban hidup D tanpa koefisien kejut}$$

$$= 5 \% \times 185,6 \text{ Ton} = 9,28 \text{ Ton}$$

$$\text{Pada daerah 50 \% (selebar 0,75 m)}$$

$$\begin{aligned} = Q \ 50 \% &= \frac{q}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \times L \\ &= \frac{2,02}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% \times 40 = 11,018 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$= P \ 100 \% = \frac{P}{2,75} \times 0,75 \times 50 \%$$

$$= \frac{12}{2,75} \times 0,75 \times 50 \% = 1,636 \text{ Ton}$$

$$\text{Total beban hidup D tanpa kejut pada daerah 50 \%} = 12,65 \text{ Ton}$$

$$\text{Rm pada daerah 50 \%} = 5 \% \times \text{Beban hidup D tanpa koefisien kejut}$$

$$= 5 \% \times 12,65 \text{ Ton} = 0,63 \text{ Ton}$$

$$\text{Lengan terhadap permukaan lantai jembatan} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Lengan terhadap penampang pelat lantai jembatan } y$$

$$y = 1,8 + h/2 + t_a = 1,8 + 0,25/2 + 0,1 = 2,025 \text{ m}$$

$$\text{Momen akibat gaya rem (} M_{rm} \text{)} = R_m \cdot y$$

$$= (9,28 + 0,63) \times 2,025 = 20,07 \text{ Ton-m}$$

5.5. Perencanaan Tulangan Balok / Gelagar

Pada perencanaan balok perhitungan dilakukan hingga elemen tengah bentang jembatan karena struktur simetris. Diambil sebagai contoh perhitungan adalah tulangan tumpuan pada balok tepi elemen 435.

5.5.1 Perhitungan tulangan tumpuan pada balok tepi elemen 435

Dari hasil Analisis struktur dengan *SAP 2000* didapat momen tumpuan (M_u) pada elemen 435 akibat beban mati, beban hidup dan beban gempa adalah

$$M_D = 728,7521 \text{ kNm}$$

$$M_I = 443,1213 \text{ kNm}$$

$$M_E = -71,6843 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{COMB 1} &= 1,3 M_D + 2 (M_{QL} + M_{PL}) \\ &= 1,3 (728,7521) + 2 (443,1213) = 1833,620 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COMB 2} &= 1,3 M_D + 2 (M_{QL} + M_{PL}) + 1 M_E \\ &= 1,3 (728,7521) + 2 (443,1213) + 1 (-71,6843) \\ &= 1761,936 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ pakai} = 1833,620 \text{ kNm}$$

$$f_c' = 20 \text{ Mpa}$$

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

$$f_c' = 20 \text{ Mpa} < 30 \text{ Mpa} \text{ maka } \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 24,5}{390} \times \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,028$$

$$M_1 = R_2 \times b \times d^2$$

$$= 1,4775 \times 700 \times 925^2 = 884,9332 \text{ kNm}$$

$$M_2 = (Mu/\phi) - M_1$$

$$= (1833,620/0,8) - 884,9332 = 1407,0918 \text{ kNm}$$

$$As' = \frac{M_2}{f_y \times (d - d')}$$

$$= \frac{332,3497 \times 10^6}{400 \times (625 - 60)} = 4171,0148 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan D 25

$$A_1 = 0,25 \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{As'}{A_1} = \frac{4171,0148}{490,87} = 8,497 \text{ batang} \rightarrow \text{Dipakai 9 D25}$$

Tulangan Tarik

$$\rho \text{ baru} = \gamma \times \rho = 0,40 \times 0,0105$$

$$= 0,0042$$

$$As = (\rho \text{ baru} \times b \times d) + As'$$

$$= (0,0042 \times 700 \times 925) + 4171,0148 = 6890,515 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan D 22

$$A_1 = 0,25 \times \pi \times 22^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{As}{A_1} = \frac{6890,515}{490,87} = 14,037 \text{ batang} \rightarrow \text{Dipakai 15 D25}$$

Kontrol Momen Tersedia M_g^-

$$\begin{aligned} A_s \text{ ada} &= 15 \times A_l \\ &= 15 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 7359 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ ada} &= 9 \times A_l \\ &= 9 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 4416 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'c \times a \times b \\ &= 0,85 \times 24,9 \times (0,85 c) \times 700 = 12593,18 c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times \frac{c-d'}{c} \times 600 \\ &= 4416 \times \frac{c-60}{c} \times 600 = 2649600 \frac{c-60}{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 7359 \times 390 = 2870010 \end{aligned}$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$12593,18 c + 2649600 \frac{c-60}{c} - 2870010 = 0$$

$$c = 121,4591 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times c = 0,85 \times 121,4591 = 103,2402 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-60}{c} \times 600 \\ &= \frac{121,4591-60}{121,4591} \times 600 = 303,6039 \text{ Mpa} < F_y \end{aligned}$$

$$\rightarrow f_s' \text{ pakai} = f_s' = 303,6039 \text{ Mpa}$$

$$M_n = (0,8 \times f'c \times a \times b \times (d - \frac{a}{2})) + (A_s' \times f_s' \times (d - d'))$$

$$= (0,8 \times 24,9 \times 103,2402 \times 700 \times (925 - \frac{103,2402}{2})) +$$

$$(4416 \times 330,6039 \times (925 - 60))$$

$$= 2495,5027 \text{ kNm}$$

$$0,8 Mn = 0,8 \times 2495,5027 \text{ kNm}$$

$$= 1996,4021 \text{ kNm} > Mu = 1833,620 \text{ kNm} \quad (\text{Aman!!!!})$$

$$\rho_{\text{ada}} = \frac{As_{\text{ada}}}{b \times d} = \frac{7359}{700 \times 925} = 0,01114$$

$$\rho'_{\text{ada}} = \frac{As'_{\text{ada}}}{b \times d} = \frac{4416}{700 \times 925} = 0,0068$$

$$\rho_{\text{ada}} - \rho'_{\text{ada}} = 0,01114 - 0,0068 = 0,00434 < \rho_{\text{max}} = 0,0210 \Rightarrow \text{Aman !!!}$$

Kontrol Momen Tersedia Mg^+

$$As_{\text{ada}} = 9 \times A_I$$

$$= 9 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 4416 \text{ mm}^2$$

$$As'_{\text{ada}} = 15 \times A_I$$

$$= 15 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 = 7359 \text{ mm}^2$$

$$Cc = 0,85 \times f'c \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 24,9 \times (0,85 c) \times 700 = 12593,18 c$$

$$Cs = As' \times \frac{c-d'}{c} \times 600$$

$$= 7359 \times \frac{c-75}{c} \times 600 = 4415400 \frac{c-75}{c}$$

$$Ts = As \times fy$$

$$= 4416 \times 390 = 1722240$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$12593,18 c + 4415400 \frac{c-75}{c} - 1722240 = 0$$

$$12593,18 c^2 + 4415400 (c-75) - 1722240 c = 0$$

$$12593,18 c^2 + 4415400 c - 331155000 - 1722240 c = 0$$

$$12593,18 c^2 + 2693160c - 331155000 = 0$$

$$c = 87,3103 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times c = 0,85 \times 87,3103 = 74,2137 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-75}{c} \times 600 \\ &= \frac{87,3103-75}{87,3103} \times 600 = 84,5969 \text{ Mpa} < F_y \end{aligned}$$

$$\rightarrow f_s' \text{ pakai} = f_s' = 84,5969 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (0,85 \times f_c \times a \times b \times (d - \frac{a}{2})) + (A_s' \times f_s' \times (d - d')) \\ &= (0,85 \times 24,9 \times 74,2137 \times 700 \times (925 - \frac{74,2137}{2})) + \\ &\quad (7359 \times 84,5969 \times (925 - 75)) \\ &= 1505,4437 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$0,8 M_n = 0,8 \times 1505,4437 = 1204,355 \text{ kNm}$$

5.5.2 Perhitungan Momen Kapasitas Balok

Contoh perhitungan momen kapasitas balok pada elemen 435.

Momen Kapasitas Negatif (Mpr⁻)

$$\text{Tarik} : A_l = 0,25 \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ ada} = 15 \times 490,87 = 7359 \text{ mm}^2$$

$$\text{Desak} : A_l = 0,25 \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$A_s' \text{ ada} = 9 \times 490,87 = 4416 \text{ mm}^2$$

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 24,9 \times (0,85 \times c) \times 700$$

$$= 12593,175 \cdot c$$

$$C_s = A_s' \text{ ada} \times \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$= 4416 \times \frac{c - 60}{c} \times 600$$

$$= 2649375 \times \frac{c - 60}{c}$$

$$T_s = 1,25 \times A_s \text{ ada} \times f_y$$

$$= 1,25 \times 7359 \times 390 = 3587512,5$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$12593,175c + 2649375 \cdot \frac{c - 60}{c} - 3587512,5 = 0$$

$$12593,175 c^2 - 938137,5 c - 158962500 = 0$$

$$c = 155,6226 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times c = 0,85 \times 155,6226 = 132,2792 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{c-60}{c} \times 600$$

$$= \frac{155,6226-60}{155,6226} \times 600 = 368,6711 \text{ Mpa} < f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_s' \text{ pakai} = f_s' = 368,6711 \text{ Mpa}$$

$$M_{pr} = \left\{ 0,85 \times f'c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right\} + \{ As' \text{ ada} \times f_s' \times (d - d') \}$$

$$= \left\{ 0,85 \times 24,9 \times 132,2792 \times 700 \times \left(925 - \frac{132,2792}{2} \right) \right\} +$$

$$\{ 4416 \times 368,6711 \times (925 - 60) \}$$

$$= 3091,3242 \text{ KNm}$$

$$0,8 Mn = 0,8 \times 3091,3242 = 2473,0594 \text{ Mpa}$$

Momen Kapasitas Positif (M_{pr}^+)

$$\text{Tarik} : A_t = 0,25 \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ ada} = 5 \times 490,87 = 2453 \text{ mm}^2$$

$$\text{Desak} : A_t = 0,25 \times \pi \times 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ ada} = 9 \times 490,87 = 4416 \text{ mm}^2$$

$$Cc = 0,85 \times f'c \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 24,9 \times (0,85 \times c) \times 700$$

$$= 12593,175 \cdot c$$

$$Cs = As' \text{ ada} \times \frac{c-d'}{c} \times 600$$

$$= 4416 \times \frac{c-75}{c} \times 600$$

$$= 2649375 \times \frac{c-75}{c}$$

$$Ts = 1,25 \times Asada \times fy$$

$$= 1,25 \times 2453 \times 390 = 1195898,438$$

$$Cc + Cs - Ts = 0$$

$$12593,175c + 2649375 \cdot \frac{c-75}{c} - 1195898,438 = 0$$

$$12593,175 c^2 + 1453476,56 c - 198703125 = 0$$

$$c = 80,5262 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times c = 0,85 \times 80,5262 = 68,4473 \text{ mm}$$

$$fs' = \frac{c-75}{c} \times 600$$

$$= \frac{80,5262 - 75}{80,5262} \times 600 = 41,1759 \text{ Mpa} < fy = 400 \text{ Mpa}$$

$$fs' \text{ pakai} = fs' = 41,1759 \text{ Mpa}$$

$$Mpr^{+-} = \left\{ 0,85 \times f'c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right\} + \left\{ As'ada \times fs' \times (d - d') \right\}$$

$$= \left\{ 0,85 \times 24,9 \times 68,4473 \times 700 \left(940 - \frac{68,4473}{2} \right) \right\} +$$

$$\left\{ 4416 \times 41,1759 \times (940 - 75) \right\}$$

$$= 1078,5299 \text{ KNm}$$

$$0,8 Mn = 0,8 \times 1078,5299 = 862,8239 \text{ kNm}$$

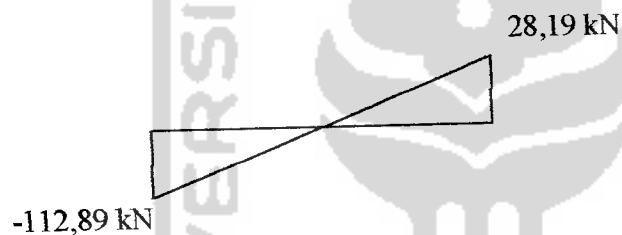
5.5.3. Perencanaan Tulangan Geser Balok

Sebagai contoh perhitungan perencanaan tulangan geser balok adalah pada balok elemen 148, meliputi perhitungan gaya geser balok, perhitungan tulangan geser di dalam sendi plastis, dan perhitungan tulangan geser di luar sendi plastis.

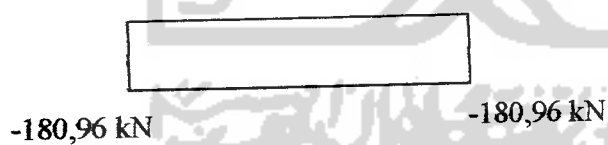
a. Perhitungan gaya geser rencana balok

Dari hasil analisis struktur dengan SAP 2000 didapat gaya geser akibat beban mati dan beban hidup sebagai berikut:

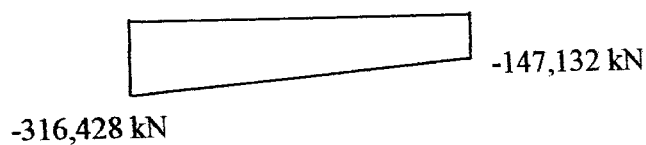
Beban Mati :



Beban Hidup :



Beban Kombinasi ($1,2 VD + VL$) :



Gamabr 5.18 Output SAP gaya geser balok

Dari hasil perhitungan momen kapasitas balok, didapat momen kapasitas negatif dan positif balok elemen 148 sebagai berikut :

$$Mpr^- = 2282,09 \text{ kNm}$$

$$Mpr^+ = 1078,52 \text{ kNm}$$

Gaya geser yang diperlukan :

$$Vu = Ve + Vg$$

$$Vu = \frac{(Mpr^-) + (Mpr^+)}{Lnetto} + (1,2 VD + VL)$$

$Lnetto$ = Bentang bersih balok, diukur dari muka kolom

$$Lnetto = L \text{ Balok} - (0,5 \text{ lebar kolom} + 0,5 \text{ lebar kolom})$$

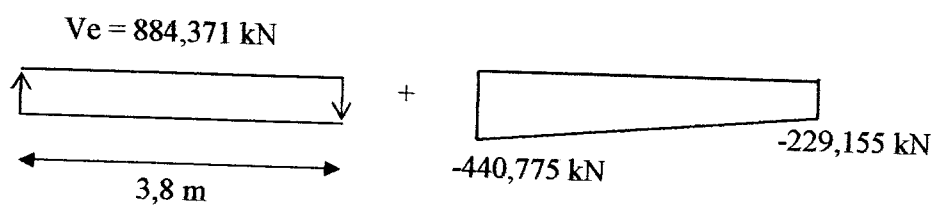
$$Lnetto = 5 \text{ m} - (0,5 \cdot 1,2 \text{ m} + 0,5 \cdot 1,2 \text{ m}) = 3,8 \text{ m}$$

$$Ve = \frac{(Mpr^-) + (Mpr^+)}{Lnetto}$$

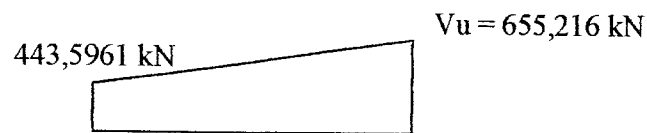
$$Ve = \frac{(2282,09 + 1078,52)}{3,8} = 884,3711 \text{ kN}$$

Menghitung Vu

$$Vu = Ve + Vg$$



V_u :



$$V_u \text{ rencana} = 655,216 \text{ kN}$$

$$b \text{ balok} = 700 \text{ mm}$$

$$h \text{ balok} = 1000 \text{ mm}$$

$$f_c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$f_y \text{ sengkang} = 390 \text{ Mpa}$$

$$d = 925 \text{ mm}$$

b. Perhitungan tulangan geser balok dalam sendi plastis

$$\text{Bila } V_e \geq 50 \% V_u \text{ maka } V_c = 0$$

$$844,371 \text{ kN} > 50 \% \cdot 655,216 \text{ kN}$$

$$844,371 \text{ kN} > 327,608 \text{ kN} \text{ maka } V_c = 0$$

$$V_{sI} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{V_u}{0,75}$$

$$= 1092,027 \text{ kN}$$

$$\text{Pakai D13} \longrightarrow A_1 \emptyset = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

dipakai sengkang 4 kaki

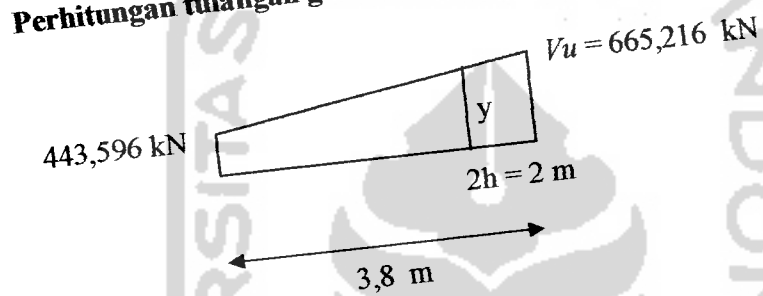
$$S = \frac{kaki \times A_1 \phi \times f_y \times d}{V_{s_1}} = \frac{4 \times 132,665 \times 390 \times 925}{1092,027 \times 1000}$$

$$= 175,303 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 170 \text{ mm}$$

Dipakai 2D13 -170

b. Perhitungan tulangan geser balok luar sendi plastis



$$y = 443,596 + \frac{(3,8 - 2)}{3,8} \times (665,216 - 443,596)$$

$$y = 543,837 \text{ kN}$$

$$V_{s_2} = \frac{y}{0,75} - V_c$$

$$V_{s_2} = \frac{y}{0,6} - \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times 350 \times 625 \times \frac{1}{1000} \right)$$

$$= \frac{543,837}{0,6} - \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{24,9} \times 700 \times 925 \times \frac{1}{1000} \right)$$

$$= 367,891 \text{ kN}$$

$$\text{Pakai D10} \longrightarrow A_1 \emptyset = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

dipakai sengkang 2 kaki

$$S = \frac{kaki \times A_1 \phi \times f_y \times d}{Vs_2} = \frac{2 \times 132,665 \times 390 \times 925}{367,891 \times 1000}$$

$$= 260,1798 \text{ mm}$$

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

Dipakai D13 -200



5.5.4 Perhitungan Grafik Interaksi Kolom

Contoh hitungan untuk membuat diagram Mn Vs Pn Untuk Ast 1%

Data bahan struktur yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$f'c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$fy = 390 \text{ Mpa}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$d' = 80 \text{ mm}$$

$$d = 1120 \text{ mm}$$

$$b = 1200 \text{ mm}$$

$$Y = h/2 = 1200/2 = 600 \text{ mm}$$

$$A_g = (1200 \cdot 1200) = 1440000 \text{ mm}^2$$

$$A_{sst} = 1\% \cdot A_g = 1\% \cdot 1440000 = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_s' = 0,5 \cdot A_{sst} = 0,5 \cdot 14400 = 7200 \text{ mm}^2$$

a. Kondisi beban sentris

$$P_n = (0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{sst}) + fy \cdot A_{sst})$$

$$P_n = (0,85 \cdot 24,9 \cdot (1440000 - 14400) + 390 \cdot 14400) \times 10^{-3}$$

$$P_n = 35788,824 \text{ kN}$$

$$M_n = 0$$

b. Dalam keadaan seimbang ($f_s = fy$)

$$d = h - d' = 1200 - 80 = 1120 \text{ mm}$$

$$cb = \frac{600}{600 + f_y} x d = \frac{600}{600 + 390} x 1120 = 678,7879 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot cb = 0,85 \cdot 678,7879 = 576,9697 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{xb - d'}{xb} x 600 = \frac{678,7879 - 80}{678,7879} x 600 = 529,2857 \text{ Mpa} > f_y = 390$$

Mpa

f_s pakai = 390 Mpa

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,85 \times 24,9 \times 576,9697 \times 1200 \cdot 10^{-3} = 14654 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f'_c) \cdot 10^{-3}$$

$$= 7200 (390 - 0,85 \cdot 24,9) \cdot 10^{-3} = 2655,612 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \cdot 10^{-3} = 7200 \cdot 390 \cdot 10^{-3} = 2808 \text{ KN}$$

$$P_{nb} = C_c + C_s - T_s$$

$$= 14654 + 2655,612 - 2808 = 14501 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = C_c \left(y - \frac{a}{2} \right) + C_s (y - d') + T_s (d - y)$$

$$= 14654 \left(600 - \frac{576,9697}{2} \right) + 2655,612 (600 - 80) + 2808 (1120 - 600) \cdot 10^{-3}$$

3

$$= 7405,982756 \text{ kNm}$$

c. Patah Desak ($c > cb$) atau ($c < cb$)

Ambil $c = 700 \text{ mm}$

$$f_s = \frac{c - d'}{c} x 600 = \frac{700 - 80}{700} x 600 = 631,4285714 \text{ Mpa} > f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$f's \text{ pakai} = 390 \text{ Mpa}$$

$$f_s = \frac{d-c}{c} x 600 = \frac{1120-700}{700} x 600 = 360 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$f_s \text{ pakai} = 360 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot c \\ &= 0,85 \cdot 700 = 595 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \times 24,9 \times 595 \times 1200 \cdot 10^{-3} = 15111,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c) \\ &= 7200 (390 - 0,85 \cdot 24,9) \cdot 10^{-3} = 2655,612 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 7200 \cdot 360 \cdot 10^{-3} = 2592 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_c + C_s - T_s \\ &= 15111,81 + 2655,612 - 2592 = 15175,422 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= C_c \left(y - \frac{a}{2} \right) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\ &= 15111,81 \left(600 - \frac{595}{2} \right) + 2655,612 (600 - 80) + 2592 (1120 - 600) \cdot 10^{-3} \\ &= 7300,080765 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Patah Tarik ($c > c_b$) atau ($c < c_b$)

Ambil $c = 250 \text{ mm}$

$$f's = \frac{c-d'}{c} x 600 = \frac{250-80}{250} x 600 = 408 \text{ Mpa} > f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$f's \text{ pakai} = 390 \text{ Mpa}$$

$$f_s = f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$f_s \text{ pakai} = 390 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot c \\ &= 0,85 \cdot 250 = 212,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \times 24,9 \times 212,5 \times 1200 \cdot 10^{-3} = 5397,075 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f'_c) \\ &= 7200 (390 - 0,85 \cdot 24,9) \cdot 10^{-3} = 2655,612 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 7200 \cdot 390 \cdot 10^{-3} = 2808 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_c + C_s - T_s \\ &= 15397,075 + 2655,612 - 2808 = 5244,687 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= C_c \left(y - \frac{a}{2} \right) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\ &= 15397,075 \left(600 - \frac{212,5}{2} \right) + 2655,612 (600 - 80) + 2808 (1120 - 600) \cdot 10^{-3} \\ &= 5505,884021 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kondisi momen murni

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{7200 \cdot 390}{0,85 \cdot 24,9 \cdot 1200} = 110,559 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \cdot 10^{-6} \\ &= 7200 \cdot 390 \cdot (1120 - 110,559 / 2) = 2989,733919 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$P_n = 0$$

5.5.5 Perhitungan Tulangan Balok Lengkung

Perhitungan tulangan pada balok lengkung dihitung sebagai perhitungan kolom dikarenakan adanya gaya aksial yang besar. Sebagai contoh perhitungan adalah balok lengkung elemen 14 dan 371. Dari analisis struktur dengan *SAP* 2000 didapat gaya aksial dan momen pada balok lengkung elemen 14 dan 371 adalah :

a. Gaya aksial

$$\begin{aligned}
 P_D &= 2810,25 \text{ kN} \\
 P_L &= 2331,15 \text{ kN} \\
 P_E &= 0,5985 \text{ kN} \\
 P_U &= 1,3 P_D + 2 P_L + 1 P_E \\
 &= 1,3 \cdot 2810,25 + 2 \cdot 2331,15 + 1 \cdot 0,5985 = 8316,22 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dari hasil analisis struktur didapat momen akibat beban hidup, mati dan gempa adalah :

b. Momen arah x

$$\begin{aligned}
 M_{DX} &= 429,453 \text{ kNm} \\
 M_{LX} &= 640,2796 \text{ kNm} \\
 M_{EX} &= 0,22080829 \text{ kNm} \\
 M_{UK} &= 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} + 1 M_{EX} \\
 &= 1,3 \cdot 429,43 + 2 \cdot 640,2796 + 1 \cdot 0,2208 = 1839,06 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Momen arah y

$$M_{DY} = 636,411 \text{ kNm}$$

$$M_{LY} = 2,94883 \text{ kNm}$$

$$M_{EY} = -2,43189 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{UK} &= 1,3 M_{DY} + 2 M_{LY} + 1 M_{EY} \\ &= 1,3 \cdot 636,411 + 2 \cdot 2,94883 + 1 \cdot -2,43189 = 830,8 \text{ kNm} \end{aligned}$$

d. Perhitungan tulangan

Data bahan struktur yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$f_c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$b = 1600 \text{ mm}$$

$$A_g = 1600 \times 1000 = 1600000 \text{ mm}^2$$

1. Arah X

$$M_{UKx} = 1839,06 \text{ kNm}$$

$$P_{Ukx} = 8316,22 \text{ kN}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ukx}}{\phi} = \frac{1839,06}{0,65} = 2829,32308 \text{ kNm}$$

$$P_{nx} = \frac{P_{ukx}}{\phi} = \frac{8316,22}{0,65} = 12794,1846 \text{ kN}$$

Dari nilai M_n dan P_n , plotkan ke grafik M_n - P_n didapatkan $r = 1 \%$

$$A_s \text{ total} = r \cdot b \cdot h = 1 \% \cdot 1600 \cdot 1000 = 16000 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan $D = 25 \text{ mm}$

$$A_{1\emptyset} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{stotal}}{A_{1\emptyset}} = \frac{16000}{490,625} = 32,611465$$

n pakai = 34 buah

Pakai **34D25**

2. Arah Y

$$M_{UK y} = 830,8 \text{ kNm}$$

$$P_{UK y} = 8316,22 \text{ kN}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uky}}{\emptyset} = \frac{830,8}{0,65} = 1278,153846 \text{ kNm}$$

$$P_{ny} = \frac{P_{uky}}{\emptyset} = \frac{8316,22}{0,65} = 12794,1846 \text{ kN}$$

Dari nilai M_n dan P_n , plotkan ke grafik M_n - P_n didapatkan $r = 1 \%$

$$A_s \text{ total} = r \cdot b \cdot h = 1 \% \cdot 1600 \cdot 1000 = 16000 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan $D = 25 \text{ mm}$

$$A_{1\emptyset} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{stotal}}{A_{1\emptyset}} = \frac{16000}{490,625} = 32,611465$$

n pakai = 34 buah

Pakai **34 D25**

5.5.6 Perhitungan Tulangan Geser Balok Lengkung

Contoh dari perhitungan tulangan geser diambil pada balok lengkung elemen 13 dan 372. Dari hasil analisis struktur didapat gaya geser maksimum akibat beban mati, beban hidup dan beban gempa balok lengkung elemen 13 dan 372 adalah :

$$V_D = 294,3155 \text{ kN}$$

$$V_L = 339,1927 \text{ kN}$$

$$V_E = -44,2622 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{UK} &= 1,5 (V_D + V_L + V_E) = 1,5 \cdot (294,3155 + 339,1927 + (-44,2622)) = \\ &= 883,868 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Data bahan struktur yang digunakan :

$$f_c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$b = 1600 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$d' = 80 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 1000 - 80 = 920 \text{ mm}$$

b. Perhitungan tulangan geser balok lengkung dalam sendi plastis

$$V_{Sl} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{V_u}{0,6}$$

$$= \frac{883,868}{0,6}$$

$$= 1473,113 \text{ kN}$$

Pakai tulangan sengkang D13

$$A_1\phi = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,732 \text{ mm}^2$$

dipakai sengkang 4 kaki

$$S = \frac{\text{kaki} \times A_1\phi \times f_y \times d}{V_{s_1}} = \frac{4 \times 132,732 \times 390 \times 925}{1473,113 \times 1000}$$

$$= 129,316 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

Dipakai 2 D13 -100

b. Perhitungan tulangan geser balok lengkung luar sendi plastis

$$Puk = 9362,52 \text{ kN}$$

$$Ag = b \cdot h = 1600 \cdot 1000 = 1600000 \text{ mm}^2$$

$$V_c = \left(1 + \frac{Puk}{14 \cdot Ag}\right) \times \left(\frac{1}{6}\right) \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$= \left(1 + \frac{9362,52}{14 \cdot 1600000}\right) \times \left(\frac{1}{6}\right) \times \sqrt{24,9} \times 1600 \times 920 \times 10^{-3}$$

$$= 1735,894 \text{ kN}$$

$$V_{s_2} = \frac{Vuk}{\phi} - V_c = \frac{883,868}{0,6} - 1735,894 = -262,781 \text{ kN}$$

Pakai tulangan sengkang D13 dengan sengkang 4 kaki

Dipakai 2 D13 -200

5.6 Perhitungan Tulangan Kolom

5.6.1 Kelangsingan Kolom

Dimensi kolom disesuaikan dengan tinggi kolom, sehingga memenuhi syarat kelangsingan.

a. tinggi kolom 11 m

Syarat tidak langsing $\frac{k.l}{r} < 22$

Ukuran kolom :

$$b = 1400 \text{ mm}$$

$$h = 1400 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 1,4^3 \cdot 1,4 = 0,32013 \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 1,4 \cdot 1,4 = 1,96 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{0,32013}{1,96}} = 0,404 \text{ m}$$

$$\frac{k.l}{r} = \frac{0,5 \times 11}{0,404} = 13,61 < 22 \quad \text{OK}$$

b. Tinggi kolom 8,781 m

Ukuran kolom :

$$b = 1200 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h = \frac{1}{12} \cdot 1,2^3 \cdot 1,2 = 0,1728 \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{0,1728}{1,44}} = 0,346 \text{ m}$$

$$\frac{kl}{r} = \frac{0,5 \times 8,781}{0,346} = 12,689 < 22 \quad \text{OK}$$

5.6.2 Menghitung Momen Rencana Kolom

Sebagai contoh perhitungan adalah kolom elemen 41 dan 2. Dari analisis struktur dengan SAP 2000 didapat gaya aksial dan momen pada kolom elemen 41 dan 2 adalah :

a. Gaya aksial

$$P_D = 232,85 \text{ kN}$$

$$P_L = 104,09 \text{ kN}$$

$$P_E = 1,86076 \text{ kN}$$

$$P_u = 1,3 P_D + 2 P_L + 1 P_E$$

$$= 1,3 \cdot 232,85 + 2 \cdot 104,09 + 1 \cdot 1,86076 = 512,74 \text{ kN}$$

dari hasil analisis struktur didapat momen akibat beban hidup, mati dan gempa adalah :

b. Momen arah x

Momen kolom bawah

$$M_{DX} = 484,5538 \text{ kNm}$$

$$M_{LX} = 204,8167 \text{ kNm}$$

$$M_{EX} = -10,585 \text{ kNm}$$

Momen maksimum kolom bawah

$$M_{UK \max 1} = 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX}$$

$$= 1,3 \cdot 484,5538 + 2 \cdot 204,8167 = 1039,55 \text{ kNm}$$

$$M_{UK \max 2} = 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} + 1 M_{EX}$$

$$= 1,3 \cdot 484,5538 + 2 \cdot 204,8167 + (1 \cdot -10,585) = 1028,96 \text{ kNm}$$

$$M_{uk \max \text{ pakai}} = 1039,53 \text{ kNm}$$

Momen kolom atas

$$M_{DX} = -423,4 \text{ kNm}$$

$$M_{LX} = -153,965 \text{ kNm}$$

$$M_{EX} = 9,217656 \text{ kNm}$$

Momen maksimum kolom atas

$$M_{UK \max 1} = 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX}$$

$$= 1,3 \cdot -423,4 + 2 \cdot -153,965 = -860,94 \text{ kNm}$$

$$M_{UK \max 2} = 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} + 1 M_{EX}$$

$$= 1,3 \cdot -423,4 + 2 \cdot -153,965 + (1 \cdot 9,217656) = -851,73 \text{ kNm}$$

$$M_{uk \max \text{ pakai}} = -860,94 \text{ kNm}$$

Momen yang digunakan adalah $M_{uk \max \text{ pakai}} = 860,94 \text{ kNm}$

c. Momen arah y

Momen kolom bawah

$$M_{DY} = 22,15596 \text{ kNm}$$

$$M_{LY} = -16,6145 \text{ kNm}$$

$$M_{EY} = -1,40446 \text{ kNm}$$

Momen maksimum kolom bawah

$$\begin{aligned} M_{UK \max} &= 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} + 1 M_{EX} \\ &= 1,3 \cdot 484,5538 + 2 \cdot -16,6145 + (1 \cdot -1,40446) = 5,83063 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen kolom atas

$$M_{DY} = 28,08438 \text{ kNm}$$

$$M_{LY} = 149,4598 \text{ kNm}$$

$$M_{EY} = 1,406366 \text{ kNm}$$

Momen maksimum kolom atas

$$\begin{aligned} M_{UK \max} &= 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} + 1 M_{EX} \\ &= 1,3 \cdot 28,08438 + 2 \cdot 149,4598 + (1 \cdot 1,406366) = 336,83 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen yang digunakan adalah, $M_{uky} \text{ pakai} = 5,83063 \text{ kNm}$

d. Perhitungan tulangan

Data bahan struktur yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 f'c &= 24,9 \text{ Mpa} \\
 fy &= 390 \text{ Mpa} \\
 h &= 1200 \text{ mm} \\
 b &= 1200 \text{ mm} \\
 Ag &= 1200 \times 1200 = 1440000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

1. Arah X

$$\begin{aligned}
 M_{UK\ x} &= 860,94 \text{ kNm} \\
 P_{UK\ x} &= 512,74 \text{ kN} \\
 M_{nx} &= \frac{M_{ukx}}{\phi} = \frac{860,94}{0,65} = 1324,52308 \text{ kNm} \\
 P_{nx} &= \frac{P_{ukx}}{\phi} = \frac{512,74}{0,65} = 788,83077 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari nilai Mn dan Pn, plotkan ke grafik Mn-Pn didapatkan $r = 1\%$

$$A_s \text{ total} = r \cdot b \cdot h = 1\% \cdot 1200 \cdot 1200 = 14400 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan D = 25 mm

$$A_{1\phi} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{stotal}}{A_{1\phi}} = \frac{14400}{490,625} = 29,350318$$

n pakai = 30 buah

Pakai 30 D25

2. Arah Y

$$M_{UK\ y} = 336,83 \text{ kNm}$$

$$P_{UK\ y} = 512,74 \text{ kN}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uky}}{\emptyset} = \frac{5,83}{0,65} = 8,96923 \text{ kNm}$$

$$P_{ny} = \frac{P_{uky}}{\emptyset} = \frac{512,74}{0,65} = 788,83077 \text{ kN}$$

Dari nilai M_n dan P_n , plotkan ke grafik M_n - P_n didapatkan $r = 1\%$

$$A_s \text{ total} = r \cdot b \cdot h = 1\% \cdot 1200 \cdot 1200 = 14400 \text{ mm}^2$$

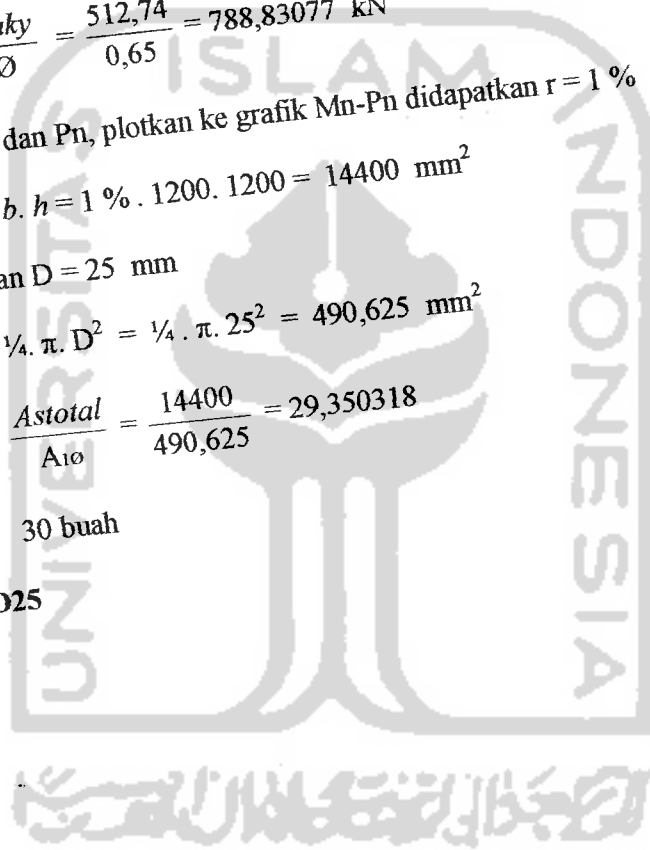
Pakai tulangan $D = 25 \text{ mm}$

$$A_{1\emptyset} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 = 490,625 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ total}}{A_{1\emptyset}} = \frac{14400}{490,625} = 29,350318$$

n pakai = 30 buah

Pakai 30 D25



5.6.5 Perhitungan Geser Kolom

Dari hasil analisis struktur didapat momen kolom bawah akibat beban mati, beban hidup dan beban gempa pada elemen kolom 151 dan 444 adalah sebagai berikut :

$$M_{DX} = 773,6482 \text{ kNm}$$

$$M_{LX} = 848,7059 \text{ kNm}$$

$$M_{EX} = -0,5107 \text{ kNm}$$

Momen maksimum kolom bawah

$$\begin{aligned} M_{UK \max 1} &= 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} \\ &= 1,3 \cdot 773,648 + 2 \cdot 848,7059 = 2703,15 \text{ kNm} \\ &= 1,3 \cdot 773,648 + 2 \cdot 848,7059 + (1 \cdot -0,5107) = 2702,64 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{uk \max \text{ pakai}} = 2703,15 \text{ kNm}$$

Momen kolom atas

$$M_{DX} = -726,717 \text{ kNm}$$

$$M_{LX} = -790,915 \text{ kNm}$$

$$M_{EX} = 0,574615 \text{ kNm}$$

Momen maksimum kolom atas

$$\begin{aligned} M_{UK \max 1} &= 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} \\ &= 1,3 \cdot -726,717 + 2 \cdot -790,915 = -2526,56 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{UK \max 2} &= 1,3 M_{DX} + 2 M_{LX} + 1 M_{EX} \\ &= 1,3 \cdot -726,717 + 2 \cdot -790,915 + (0,574615) = -2525,98 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{uk \max \text{ pakai}} = -2526,56 \text{ kNm}$$

$$Vu_1 = \frac{(Mu_{bawah} + Mu_{atas})}{L} = \frac{(2703,15 + 2526,56)}{3,378} = 1548,16755 \text{ kN}$$

Dari hasil analisis struktur didapat gaya geser maksimum akibat beban mati , beban hidup dan beban gempa pada elemen 151 dan 444 adalah sebagai berikut :

$$V_{DX} = 558,5207 \text{ kNm}$$

$$V_{LX} = 596,042 \text{ kNm}$$

$$V_E = 48,92008 \text{ kN}$$

Gaya geser kolom maksimum

$$Vu_2 = 1,5 (V_D + V_L + V_E)$$

$$Vu_2 = 1,5 \cdot (558,521 + 596,024 + 48,92008) = 1805,224 \text{ kN}$$

$$Vu \text{ Pakai} = 1548,167 \text{ kN}$$

5.6.6 Perhitungan Tulangan Geser Kolom

$$V_{UK} = 1548,167 \text{ kN}$$

Data bahan struktur yang digunakan :

$$f'_c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$b = 1200 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$d' = 80 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 1200 - 80 = 1120 \text{ mm}$$

b. Perhitungan tulangan geser kolom dalam sendi plastis

$$\begin{aligned} V_{s1} &= \frac{V_u}{\phi} = \frac{V_u}{0,6} \\ &= \frac{1548,167,}{0,6} \\ &= 2580,279 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pakai tulangan sengkang D13

$$A_s \phi = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

dipakai sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} S &= \frac{\text{kaki} \times A_s \phi \times f_y \times d}{V_{s1}} = \frac{4 \times 132,73 \times 390 \times 1120}{2580,279 \times 1000} \\ &= 89,878 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 80 \text{ mm}$$

Dipakai 2 D13 -80

b. Perhitungan tulangan geser kolom luar sendi plastis

$$P_u k = 210,780 \text{ kN}$$

$$A_g = b \cdot h = 1200 \cdot 1200 = 1440000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_u k}{14 \times A_g} \right) \times \left(\frac{1}{6} \right) \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= \left(1 + \frac{210,78}{14 \times 1440000} \right) \times \left(\frac{1}{6} \right) \times \sqrt{24,9} \times 1200 \times 1120 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$= 1129,444 \text{ kN}$$

$$V_{s2} = \frac{V_{uk}}{\phi} - V_c = = \frac{1548,167}{0,6} - 1129,444 = 1450,835 \text{ kN}$$

Pakai tulangan sengkang D13

$$A_1\phi = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

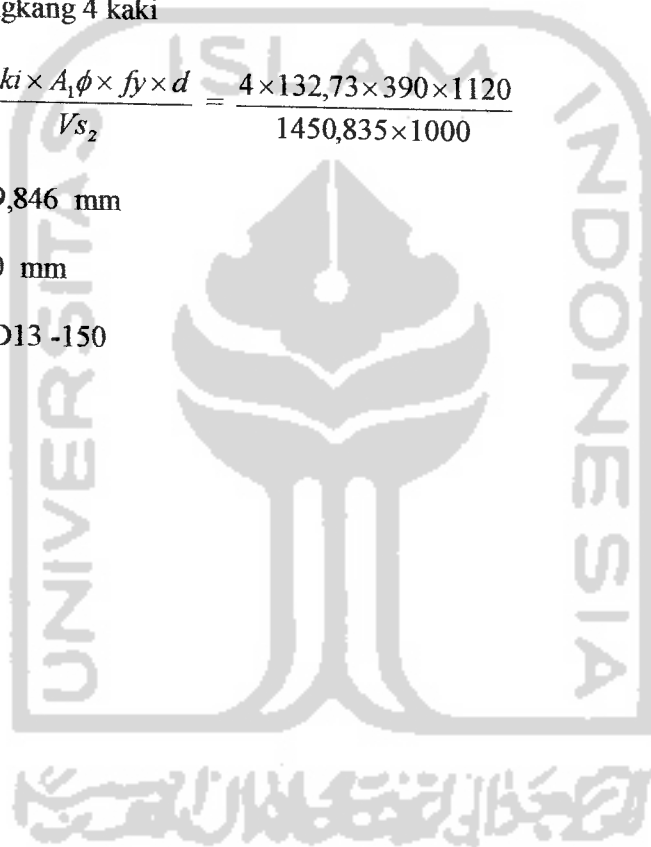
dipakai sengkang 4 kaki

$$S = \frac{\text{kaki} \times A_1\phi \times f_y \times d}{V_{s2}} = \frac{4 \times 132,73 \times 390 \times 1120}{1450,835 \times 1000}$$

$$= 159,846 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Dipakai 2 D13 -150



5.7 PERHITUNGAN KONSTRUKSI BAGIAN BAWAH

Konstruksi bagian bawah merupakan pendukung konstruksi bagian atas jembatan.

Konstruksi bagian bawah terdiri dari :

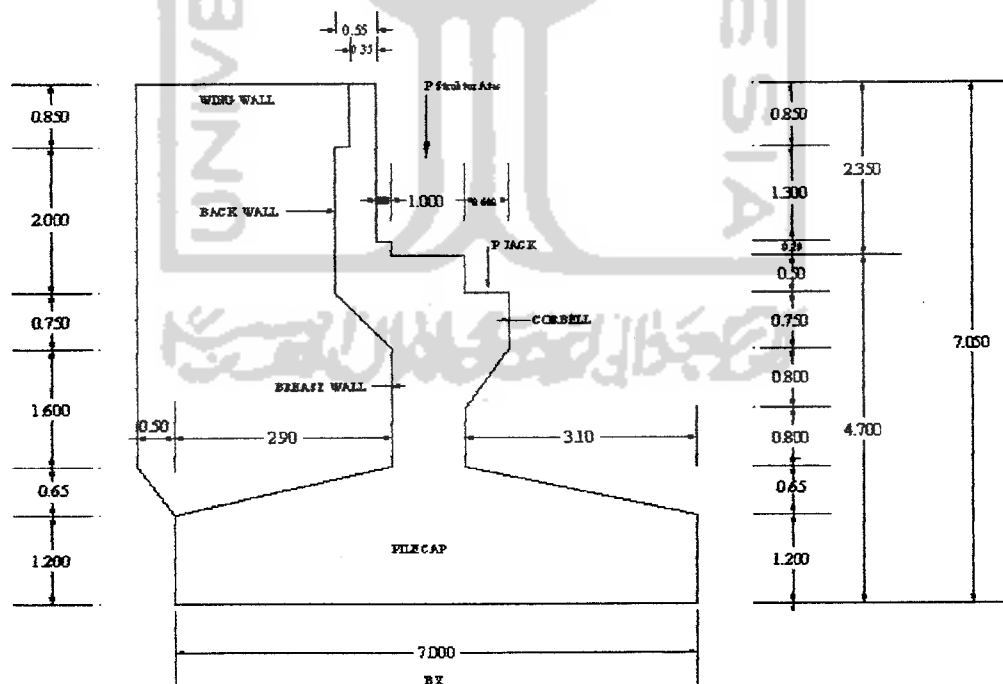
1. Kepala jembatan (*abutment*), dan
2. Pondasi

5.7.1 PERHITUNGAN KEPALA JEMBATAN (*abutment*)

5.7.1.1 Input Data Struktur Bawah :

1. Dimensi *Abutment*

Dimensi *abutment* yang direncanakan pada jembatan Krettek ini dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 5.19 Gambar dimensi penampang *abutment*

$$\begin{aligned} \text{Tebal Wing wall} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Lebar abutment arah x, } B_x &= 7 \text{ m} \\ \text{Lebar abutment arah y, } B_y &= 19 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Data Tanah

$$\begin{aligned} \text{Berat volume, } \gamma &= 1,76 \text{ Ton/m}^3 \\ \text{Sudut gesek, } \phi &= 35 \text{ derajat} \end{aligned}$$

5.7.1.2 PERHITUNGAN BEBAN PADA ABUTMENT

1. BEBAN STRUKTUR ATAS

1.1 BEBAN MATI (M)

Tabel 5.8 Perhitungan beban mati struktur atas

No	Beban Mati	Parameter Volume			n	Berat Sat (ton/m ³)	Beban Ton
		b(m)	t(m)	L (m)			
1	Aspal	7	0,1	40	2	2,2	123,2
2	Air hujan	20	0,1	40	1	1	80
3	Slab	20	0,25	40	1	2,5	500
4	Trotoar	1,75	0,2	40	2	2,2	61,6
5	Sandaran	0,15	1,125	40	2	2,5	33,75
6	Balok Induk	0,7	1	40	3	2,5	210
7	Balok Anak	0,4	0,8	40	6	2,5	192
8	Median	2,5	0,2	40	1	2,5	50
9	Balok Lintang	0,4	0,8	15,1	8	2,5	96,64
Total beban mati =							1347,19

$$\begin{aligned} \text{Beban mati struktur atas pada abutment} &= \frac{1}{2} \times \text{Total beban mati} = \\ &= \frac{1}{2} \times 1347,19 = 673,595 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\text{Eksentrisitas beban terhadap Fondasi} = -\frac{B_x}{2} + 2,9 + \frac{1}{2} = -0,1 \text{ m}$$

$$\text{Momen akibat beban srutur atas} = -0.1 \cdot 673,595 = -67,3595 \text{ Ton} - \text{m}$$

1.2 BEBAN HIDUP + KEJUT (H + K)

1.2.1. Beban Merata q

$$\text{Lebar prkerasan 1 jalur, } b_1 = 7 \text{ m}$$

$$\text{untuk panjang bentang, } L = 40 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata, } q &= 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (L - 30) = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (40 - 30) \\ &= 2,01667 \text{ Ton/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban hidup merata per meter lebar jembatan} = \frac{q}{2,75} \text{ ton/m}^2$$

Beban hidup pada trotoar :

$$q' = 0,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$P' = 2 \text{ Ton/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup merata } q \text{ pada trotoar} &= (P' + b_2 \cdot q') \times 2 \times L = \\ &= (2 + 1,75 \cdot 0,5) \times 2 \times 40 = 230 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup merata } q \text{ pada jalan} &= \\ &= \left(\left(\frac{q}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \times L \right) + \left(\frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{Lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times L \right) \right) \times 2 = \\ &= \left(\left(\frac{2,01667}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \times 40 \right) + \left(\frac{2,01667}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 40 \right) \right) \times 2 = \\ &= 366,63 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup pada } abutment \text{ akibat beban merata } q &= 230 + 366,63 \\ &= 596,67 \text{ Ton} \end{aligned}$$

1.2.2 Beban Garis P + Kejut

Besar muatan garis, P = 12 Ton

$$\text{Beban hidup garis per meter lebar jembatan} = \frac{P}{2,75} = \frac{12}{2,75} = 4,364 \text{ Ton/m}$$

Beban hidup pada *abutment* akibat beban garis :

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% + \frac{P}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times 2 = \\ &= \frac{12}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% + \frac{12}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times 2 = 54,55 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Koefisien kejut :

$$= 1 + \frac{20}{50 + L} = 1 + \frac{20}{50 + 40} = 1,222$$

Beban hidup pada *abutment* akibat beban garis P + Kejut :

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% + \frac{P}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times 2 \times K = \\ &= \frac{12}{2,75} \times 5,5 \times 100 \% + \frac{12}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50 \% \times 2 \times 1,222 = 66,66 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Beban hidup + Kejut (H + K) pada *Abutment* =

$$= 596,67 \text{ Ton} + 66,66 \text{ Ton} = 663,333 \text{ Ton}$$

Eksentrisitas beban terhadap Fondasi :

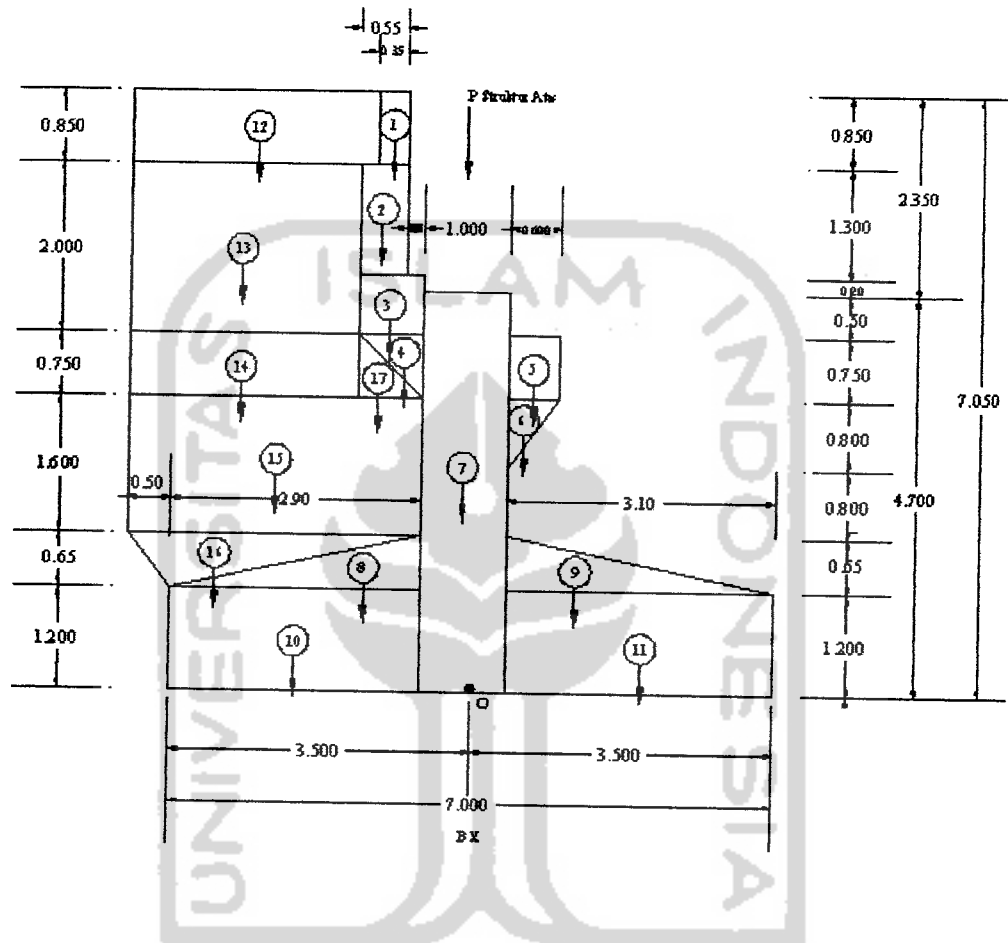
$$= -\frac{Bx}{2} + 2,9 + \frac{1}{2} = -0,1 \text{ m}$$

Momen akibat beban hidup + kejut (H + K) =

$$= -0,1 \cdot 663,333 = -66,333 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

2. BEBAN STRUKTUR BAWAH

2.1. BEBAN MATI (M) AKIBAT BERAT SENDIRI *ABUTMENT*



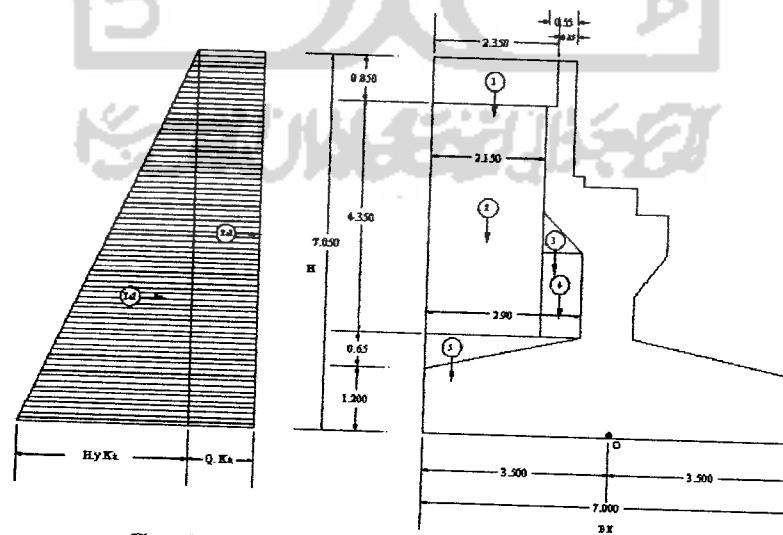
Gambar 5.20 Penampang *abutment* untuk perhitungan berat sendiri

Tabel 5.9 Perhitungan berat sendiri abutment

2 x Tebal wing wall = 0,5 x 2 = 1 m

No	PARAMETER BERAT BAGIAN BETON				BJ (Ton/m ³)	Lebar By (m)	BERAT (Ton)	LENGAN (m)	MOMEN (Ton-m)	
	b	h	shape	direc						
1	0,35	0,85	1	-1	2,5	19	14,1313	0,975	-13,778	
2	0,55	1,3	1	-1	2,5	19	33,9625	1,075	-36,5097	
3	0,75	0,7	1	-1	2,5	19	24,9375	0,975	-24,3141	
4	0,75	0,75	0,5	-1	2,5	19	13,3594	0,85	-11,3555	
5	0,6	0,75	1	1	2,5	19	21,375	0,7	14,9625	
6	0,6	0,8	0,5	1	2,5	19	11,4	0,6	6,84	
7	1	4,7	1	-1	2,5	19	223,25	0,1	-22,325	
8	2,9	0,65	0,5	-1	2,5	19	44,7688	1,567	-70,1526	
9	3,1	0,65	0,5	1	2,5	19	47,8563	1,433	68,57801	
10	2,9	1,2	1	-1	2,5	19	165,3	2,05	-338,865	
11	3,1	1,2	1	1	2,5	19	176,7	1,95	344,565	
12	2,85	1,35	1	-1	2,5		9,61875	2,575	-24,7683	
13	2,65	2	1	-1	2,5		13,25	2,675	-35,4438	
14	2,65	0,75	1	-1	2,5		4,96875	2,675	-13,2914	
15	3,4	1,6	1	-1	2,5		13,6	2,3	-31,28	
16	3,4	0,65	0,5	-1	2,5		2,7625	2,867	-7,92009	
17	0,75	0,75	0,5	-1	2,5		0,70313	1,1	-0,77344	
	Lateral stop block		0,2	1						
W ABUTMENT =							822,944	MBS =	-195,831	0

2.2. BEBAN MATI (M) AKIBAT BERAT TANAH DI ATAS FONDASI



Gambar 5.21 Berat tanah di atas pondasi

Tabel 5.10 Perhitungan berat tanah di atas pondasi

No	PARAMETER BERAT BAGIAN TANAH				BJ (Ton/m ³)	Lebar By (m)	BERAT (Ton)	LENGAN (m)	MOMEN (Ton-m)
	b	h	shape	direc					
1	2,35	0,85	1	-1	1,76	19	66,7964	2,325	-155,30163
2	2,15	4,35	1	-1	1,76	19	312,7476	2,425	-758,41293
3	0,75	0,75	0,5	-1	1,76	19	9,405	1,1	-10,3455
4	0,75	1,6	1	-1	1,76	19	40,128	0,975	-39,1248
5	2,9	0,65	0,5	-1	1,76	19	31,5172	2,533	-79,833068
W tanah =							460,5942	Mwt =	-1043,0179

Beban mati akibat berat sendiri abutment dan berat tanah =
 $= W (\text{abutment}) + W \text{ tanah} = 822,94 + 460,5942 = 1283,538 \text{ Ton}$

Momen akibat beban mati berat sendiri abutment dan berat tanah =
 $= M_{bs} + M_{wt} = -195,831 + (-1043,0179) = -1238,849 \text{ Ton-m}$

2.2. BEBAN TEKANAN TANAH (T_a)

Sudut gesek dalam, Φ = 35 derajat

Koefisien tekanan tanah aktif, K_a = $\tan^2 (45 - \Phi/2)$

$$K_a = \tan^2 (45 - 35/2) = 0,27099005$$

Beban merata, Q = 2,2 Ton/m²

Berat tanah, γ = 1,76 Ton/m³

Lebar B_y = 19 m

H = 7,05

Gaya Horizontal Tekanan Tanah :

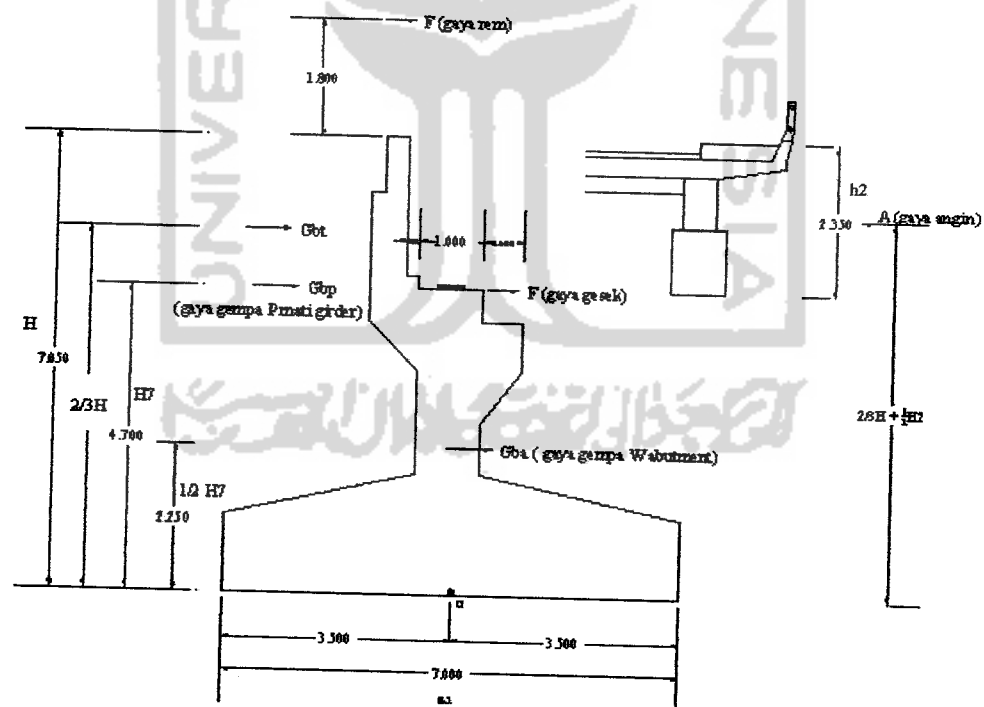
Tabel 5.11 Perhitungan gaya horizontal tekanan tanah

No	Gaya horizontal tekanan tanah	Besar (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
1	$Ta1 = Q \cdot Ka \cdot H$	79,85806	3,525	281,4997
2	$Ta2 = 1/2 \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot Ka$	225,1997	2,35	529,2193
	Ta =	305,0578	M Ta =	810,719

Gaya Horizontal akibat tekanan tanah, $Ta = 305,0578$ Ton

Momen akibat Gaya Horizontal Tekanan Tanah = 810,719 Ton - m

3. BEBAN - BEBAN SEKUNDER



Gambar 5.22 Beban-beban sekunder yang bekerja pada *abutment*

3.1. BEBAN GEMPA (Gb)

Diperkirakan waktu getar alami struktur jembatan rangka beton lengkung,

$$T = 0,1 - 1 \text{ detik.}$$

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk wilayah 3 diperoleh :

$$\text{Koefisien gempa dasar, } C_g = 0,18$$

$$\text{Faktor keutamaan struktur, } I = 1,2$$

$$\text{Faktor jenis struktur, } K = 1$$

$$\text{Beban gempa, } G_b = C_g \cdot I \cdot S \cdot W_t = 0,18 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot W_t = 0,216 \cdot W_t$$

Distribusi gaya gempa arah memanjang jembatan :

Tabel 5.12 Perhitungan beban gempa pada abutment

No	Beban Mati Akibat	Wt (Ton)	Beban Gempa	CxIxSxWt (Ton)	Lengan thd O		Momen (Ton-m)
					URAIAN	(m)	
1	P struktur atas	673,595	Gbp	145,49652	h7	4,7	683,8336
2	W abutment	822,9438	Gba	177,75585	1/2.h7	2,35	417,7262
3	W tanah	460,5942	Gbt	99,4883472	2/3.H	4,7	467,5952
			Gb =	422,7407172		Mgb =	1569,155

3.2. BEBAN ANGIN (A)

$$\text{Tekanan angin diambil sebesar } = 0,15 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Luas bidang kontak vertikal jembatan} = h \cdot \frac{L}{2} = 2,35 \cdot \frac{40}{2} = 47 \text{ m}^2$$

$$\text{Gaya angin, } A = 0,15 \cdot 47 = 7,05 \text{ Ton}$$

$$\text{Lengan terhadap fondasi} = \frac{2}{3} \cdot H + \frac{1}{2} \cdot H \cdot 2 = \frac{2}{3} \cdot 7,05 + \frac{1}{2} \cdot 2,35 = 5,875 \text{ m}$$

$$\text{Momen akibat gaya angin, } M_a = 7,05 \cdot 5,875 = 41,41875 \text{ Ton-m}$$

3.3 BEBAN REM DAN TRAKSI (Rm)

Gaya rem memanjang jembatan diperhitungkan sebesar 5 % beban D (beban hidup tanpa koefisien kejut) :

$$Rm = 5 \% \times \text{Beban hidup } D \text{ tanpa koefisien kejut}$$

$$\text{Beban hidup pada abutment akibat beban merata } q = 596,67 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban hidup pada abutment akibat beban garis} = 54,55 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban } D \text{ tanpa koefisien kejut} = 366,67 + 54,55 = 651,22 \text{ Ton}$$

$$Rm = 5 \% \times 651,22 = 32,56 \text{ Ton}$$

$$\text{Lengan terhadap Fondasi} = H + 1,8 = 7,05 + 1,8 = 8,85 \text{ m}$$

$$\text{Momen akibat gaya rem, } M_{rm} = 32,56 \cdot 8,85 = 288,156 \text{ Ton-m}$$

3.4. BEBAN GESEKAN PADA TUMPUAN (F)

$$\text{Koefisien gesek pada tumpuan yang berupa elastomer} = 0,18$$

Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau terhadap beban mati saja.

$$\text{Beban mati struktur atas} = 673,595 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban gesek} = \text{Koefisien gesek} \times \text{Beban mati} =$$

$$F = 0,18 \cdot 673,595 = 121,247 \text{ Ton}$$

$$\text{Lengna terhadap Fondasi, } h_7 = 4,7 \text{ m}$$

$$\text{Momen akibat gaya gesek, } M_f = 569,861 \text{ Ton-m}$$

4. KOMBINASI PEMBEBANAN

Tabel 5.13 Kombinasi pembebanan pada perhitungan *abutment*

NO	KOMBINASI PEMBEBANAN	Kekuatan yang digunakan dalam % kekuatan ijin
I	$M + (H + K) + Ta$	100%
II	$M + F + A + Ta$	125%
III	$M + (H + K) + Ta + Rm + F + A$	140%
IV	$M + Ta + Gb$	150%

Tabel 5.14 Kombinasi pembebanan I ($M + (H + K) + Ta$)

KOMBINASI I : $M + (H + K) + Ta$ < 100 %

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas				
	W (abutment) + W (tanah)			673,595	-67,3595
H+K	Beban hidup + kejut pada abutment			1283,53795	-1238,8492
Ta	Gaya horizontal akibat tekanan tanah	305,0577809	810,719003	663,333	-66,333
		305,0577809	810,719003	2820,46595	-1372,5417

Tabel 5.15 Kombinasi pembebanan II ($M + F + A + Ta$)

KOMBINASI II : $M + F + A + Ta$ < 125 %

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas				
	W (abutment) + W (tanah)			673,595	-67,3595
F	Beban gesekan pada tumpuan	121,247	569,861	1283,53795	-1238,849203
A	Beban angin	7,05	41,41875		
Ta	beban akibat tekanan tanah	305,0577809	810,719003		
		433,3547809	1421,998753	1957,13295	-1306,208703

Tabel 5.16 Kombinasi pembebanan III (M + (H + K) + Rm + F + A)

KOMBINASI III : M + (H + K) + Rm + F + A < 140 %

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas			673,595	-67,3595
	W (abutment) + W (tanah)			1283,53795	-1238,8492
H+K	Beban hidup + kejut pada abutment			663,333	-66,333
Ta	Beban akibat tekanan tanah	305,0577809	810,719003		
Rm	Beban Rem	32,56	288,156		
F	Beban gesekan pada tumpuan	121,247	569,861		
A	Beban angin	7,05	41,41875		
		465,9147809	1710,154753	2620,46595	1372,54170

Tabel 5.17 Kombinasi pembebanan IV (M + Gb + Ta)

KOMBINASI IV : M + Gb + Ta < 150 %

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas			673,595	-67,3595
	W (abutment) + W (tanah)			1283,53795	-1238,849203
Gb	Beban Gempa	422,7407172	1569,155123		
Ta	beban akibat tekanan tanah	305,0577809	810,719003		
		727,7984981	2379,874126	1957,13295	-1306,208703

4.5. EKSENTRISITAS FONDASI

$$\text{Eksentrisitas fondasi} = ex = \frac{(\sum Mv + \sum Mh)}{\sum V}$$

Untuk $ex < \frac{Bx}{6} = \frac{7}{6} = 1,1667$ maka tidak terjadi tarik (masuk kern)

Tabel 5.18 Perhitungan eksentrisitas pondasi

KOMBINASI	$\sum Mv$	$\sum Mh$	$\sum V$	ex	
KOMBINASI I	-1372,541703	810,7190031	2620,46595	-0,214398016	Masuk kern (OK)
KOMBINASI II	-1306,208703	1421,998753	1957,13295	0,059163099	Masuk kern (OK)
KOMBINASI III	-1372,541703	1710,154753	2620,46595	0,12883703	Masuk kern (OK)
KOMBINASI IV	-1306,208703	2379,874126	1957,13295	0,54859095	Masuk kern (OK)

4.6. STABILITAS FONDASI

Letak titik guling A (ujung fondasi) terhadap pusat fondasi = $\frac{Bx}{2} = \frac{7}{2} = 3,5$ m

$$\text{Momen penahan guling} = \Sigma M_{VA} = -\frac{Bx}{2} \cdot \Sigma v + \Sigma Mv$$

$$\text{Angka aman guling fondasi, } SF = \left(\frac{\Sigma M_{VA}}{\Sigma Mh} \right) > 1,5$$

Tabel 5.19 Perhitungan stabilitas pondasi terhadap guling

KOMBINASI	ΣM_{VA}	SF	
KOMBINASI I : 100 %	-10544,17253	13,0059521	AMAN (OK)
KOMBINASI II : 125 %	-8156,174028	7,16963887	AMAN (OK)
KOMBINASI III : 140 %	-10544,17253	8,6318747	AMAN (OK)
KOMBINASI IV : 150 %	-8156,174028	5,1407177	AMAN (OK)

4.7. STABILITAS GESER

$$\text{Berat Volume, } \gamma = 1,76 \text{ T/m}^3$$

$$\text{Sudut gesek, } \Phi = 35 \text{ derajat}$$

$$C = 0,06$$

$$\tan \Phi = 0,70021$$

$$Bx = 7 \text{ m}$$

$$By = 19 \text{ m}$$

$$\text{Gaya penahan geser, } \Sigma H_p = C \cdot Bx \cdot By + \Sigma V \cdot \tan \Phi$$

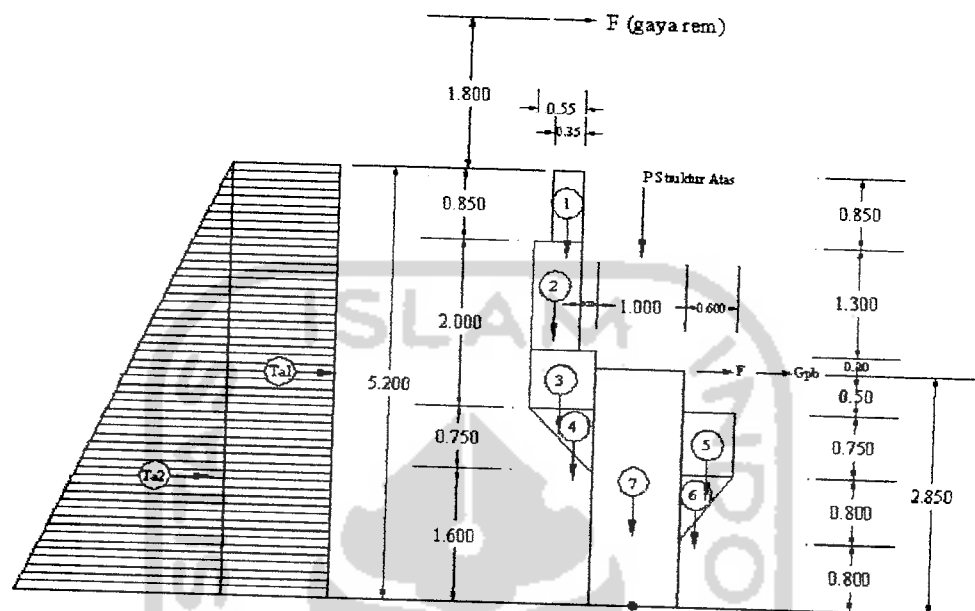
$$\text{Angka aman terhadap geser, } SF = \left(\frac{\Sigma H_p}{\Sigma H} \right) > 1,2$$

Tabel 5.20 Perhitungan stabilitas pondasi terhadap geser

KOMBINASI	ΣH	ΣH_p	SF	
KOMBINASI I : 100 %	305,0577809	1842,85002	6,04098676	AMAN (OK)
KOMBINASI II : 125 %	433,3547809	1378,37925	3,9758972	AMAN (OK)
KOMBINASI III : 140 %	465,9147809	1842,85002	5,53747193	AMAN (OK)
KOMBINASI IV : 150 %	727,7984981	1378,37925	2,84085345	AMAN (OK)

5.7.1.3 PERHITUNGAN BREAST WALL

1. TINJAUAN POTONGAN BAGIAN BREAST WALL



Gambar 5.23 Potongan bagian breast wall

Ditinjau potongan *Breast Wall* selebar 1 m (tegak lurus bidang gambar)

1.1. Gaya dan Momen Akibat Berat Sendiri

Tabel 5.21 Perhitungan momen akibat berat sendiri breast wall

No	Parameter Berat Bagian Beton				BJ Beton (Ton/m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton - m)
	b	h	Shape	Direc				
1	0,35	0,85	1	-1	2,5	0,744	0,875	-0,651
2	0,55	1,3	1	-1	2,5	1,788	0,975	-1,743
3	0,75	0,7	1	-1	2,5	1,313	0,875	-1,148
4	0,75	0,75	0,5	-1	2,5	0,703	0,75	-0,527
5	0,6	0,75	1	1	2,5	1,125	0,8	0,900
6	0,8	0,8	0,5	1	2,5	0,600	0,7	0,420
7	1	2,85	1	1	2,5	7,125	0	0,000
Lateral stop block						0,2	1	
						1	0	0
V =						14,397	Mv =	-2,749

$$h7 = 2,85 \text{ m}$$

$$H = 5,2 \text{ m}$$

1.2. Gaya dan Momen Akibat Tekanan Tanah

$$\text{Sudut gesek dalam, } \Phi = 35 \text{ derajat}$$

$$\text{Koefisien tekanan tanah aktif, } K_a = \tan^2 (45 - \Phi/2)$$

$$K_a = \tan^2 (45 - 35/2) = 0,27099005$$

$$\text{Beban merata, } Q = 2,2 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Berat tanah, } \gamma = 1,76 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Ditinjau lebar} = 1 \text{ m}$$

Tabel 5.22 Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah pada *breast wall*

No	Gaya Horizontal Tekanan Tanah	Besar	Lengan	Momen
		(Ton)	(m)	(Ton-m)
1	Ta1 = Q. Ka. H	3,1001262	2,6	8,060328
2	Ta2 = 1/2. H ² . γ . Ka	6,4482624	1,73333333	11,17699
		H = 9,5483886	Mh =	19,23732

1.3. Gaya dan Momen Akibat Gempa (Gp)

$$\text{Beban gempa, } G_p = C_g \cdot I \cdot S \cdot W_t = 0,216 \cdot W_t$$

$$\text{Lebar } breast \text{ wall, } B_y = 19 \text{ m}$$

$$\text{Ditinjau selebar 1 m (tegak lurus gambar)}$$

Tabel 5.23 Perhitungan gaya dan momen akibat gempa pada *breast wall*

No	BEBAN MATI	Wt (Ton)	Beban gempa	CxIxSxWt	Lengan thd O		Momen (Ton-m)
	AKIBAT			(Ton)	URAIAN	m	
1	P str Ats	35,4523684	Gbp	7,657712	h7	2,85	21,824478
2	Berat sendiri V	14,397	Gba	3,109725	1/2*h7	1,425	4,4313581
				H = 10,76744		Mh =	26,255836

1.4. Gaya gesek (F) dan Gaya Rem (Rm)

Lebar *breast wall*, $B_y = 19 \text{ m}$

Ditinjau selebar 1 m (tegak lurus gambar)

Tabel 5.24 Perhitungan gaya dan momen akibat gaya gesek dan rem

No	GAYA-GAYA SEKUNDER	BESAR (Ton)	LENGAN (m)	MOMEN (Ton-m)
1	Gaya gesek pada tumpuan (F)	6,381421	2,85	18,18705
2	Gaya Rem (Rm)	1,713684	7	11,99579

2. KOMBINASI BEBAN PADA POTONGAN *BREAST WALL*

Tabel 5.25 Kombinasi pembebanan I pada *breast wall*

KOMBINASI I : $M + (H + K) + Ta$

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas				
	Berat sendiri V			35,45236842	0
H+K	Beban hidup + kejut			14,397	-2,749
Ta	Gaya horizontal akibat tekanan tanah	10,76743658	19,2373163	34,91226316	0
		10,76743658	19,2373163	84,761506	-2,74937

Tabel 5.26.a Kombinasi pembebanan II pada *breast wall*

KOMBINASI II : $M + F + Ta$

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas				
	Berat sendiri V			35,4523684	0
F	Beban gesekan pada tumpuan	6,381421053	18,18705	14,396875	-2,74937
Ta	Gaya horizontal akibat tekanan tanah	10,76743658	19,23731627		
		17,14885763	37,42436627	49,849243	-2,74937

Tabel 5.26.b Kombinasi pembebanan III pada *breast wall*

KOMBINASI III : $M + (H + K) + Ta + Rm + F$

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas				
	Berat sendiri V			35,45236842	0
H+K	Beban hidup + kejut pada abutment			14,396875	-2,749375
Ta	Gaya horizontal akibat tekanan tanah	10,76743658	19,23731627	34,91226316	0
Rm	Beban Rem	1,713684211	11,99578947		
F	Beban gesekan pada tumpuan	6,381421053	18,18705		
		18,86254184	49,42015575	84,76150658	-2,749375

Tabel 5.27 Kombinasi pembebanan IV pada *breast wall*

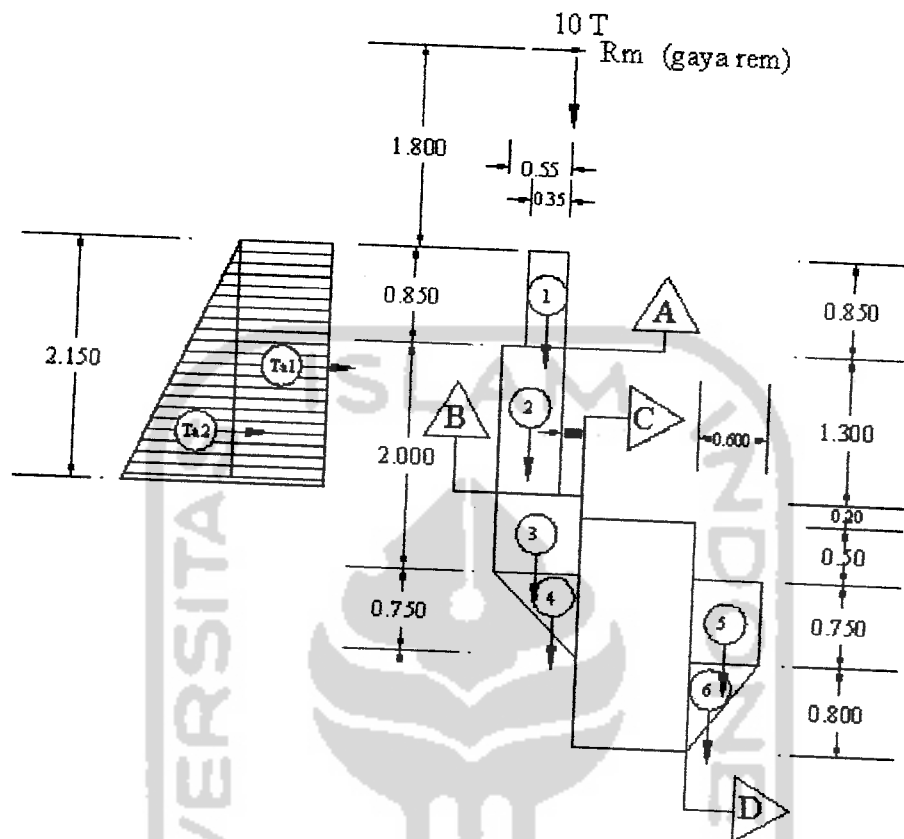
KOMBINASI IV : $M + Gb + Ta$

KOMBINASI BEBAN		ARAH HORIZONTAL		ARAH VERTIKAL	
		GAYA H (Ton)	MOMEN Mh (Ton-m)	GAYA V (Ton)	MOMEN Mv (Ton-m)
M	Beban Mati struktur atas				
	Berat sendiri V			35,45236842	0
Gb	Beban Gempa	10,76743658	26,25583613	14,396875	-2,749375
Ta	beban akibat tekanan tanah	10,76743658	19,23731627		
		21,53487316	45,4931524	49,84924342	-2,749375

GAYA DAN MOMEN PADA POTONGAN BREAST WALL**Tabel 5.28** Gaya dan momen pada potongan *breast wall*

KOMBINASI	Gaya dan Momen		
	Geser H (Ton)	Aksial V (Ton)	Momen M (Ton-m)
Kombinasi I	10,76743658	84,7615066	16,48794127
Kombinasi II	17,14885763	49,8492434	34,67499127
Kombinasi III	18,86254184	84,7615066	46,67078075
Kombinasi IV	21,53487316	49,8492434	42,7437774

5.7.1.4 PERHITUNGAN BACK WALL DAN CORBELL



Gambar 5.24 Potongan *back wall* dan *corbell*

Sudut gesek dalam, Φ = 35 derajat

Koefisien tekanan tanah aktif, K_a = $\tan^2(45 - \Phi/2)$

$$K_a = \tan^2(45 - 35/2) = 0,27099005$$

Beban merata, Q = 2,2 Ton/m²

Berat tanah, γ = 1,76 Ton/m³

Ditinjau lebar = 1 m

1. TINJAUAN POTONGAN - A

Ditinjau Back Wall selebar 1 m (tegak lurus bidang gambar)

1.1. Gaya dan Momen akibat Berat Sendiri

Tabel 5.29 Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri *back wall* pot. A

No	Parameter Berat Bagian Beton				BJ Beton (Ton/m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton - m)
	b	h	Shape	Direc				
1	0,35	0,85	1	-1	2,5	0,744	0	0,000
						Va = 0,744	Ma = 0,000	

1.2. Gaya dan Momen Akibat Tekanan Tanah

Tabel 5.30 Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah pada *back wall*

No	Gaya Horizontal Tekanan Tanah	Ha = 0,85 m		
		Besar (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
1	Ta1 = Q. Ka. Ha	0,506751	0,425	0,2153693
2	Ta2 = ½. Ha ² . y. Ka	0,172295	0,283333333	0,0488171
		Ha = 0,679047	Ma = 0,2641864	

1.3. Gaya dan Momen Akibat Beban Hidup

Akibat beban hidup Truck = 10 Ton

Lengan = 0,175 m

Ma = 1,75 Ton-m

1.4. Gaya dan Momen Akibat Beban gempa

Tabel 5.31 Perhitungan gaya dan momen akibat gempa pada *back wall*

No	W (Ton)	Koefisien CgxlxS	Gb (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
			Ha = 0,16065	Ma = 0,06827625	

1.5. Gaya dan Momen Akibat Gaya Rem (Rm)

$$\text{Gaya Rem, } R_m = 1,713684 \text{ Ton}$$

$$\text{Lengan} = 2,65 \text{ m}$$

$$\text{Momen Akibat gaya rem, } M_a = 4,541263 \text{ Ton-m}$$

2. TINJAUAN POTONGAN - B

Ditinjau Back Wall selebar 1 m (tegak lurus bidang gambar)

2.1. Gaya dan Momen akibat Berat Sendiri

Tabel 5.32 Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri *back wall* pot. B

No	Parameter Berat Bagian Beton				BJ Beton (Ton/m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton - m)
	b	h	Shape	Direc				
1	0,35	0,85	1	-1	2,5	0,744	0,1	-0,074
2	0,55	1,3	1	-1	2,5	1,7875	0,275	-0,49156
Vb =						2,531	Mb =	-0,566

2.2. Gaya dan Momen Akibat Tekanan Tanah

Tabel 5.33 Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah pada *back wall*

No	Gaya Horizontal Tekanan Tanah	Ha = 2,15 m		
		Besar (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
1	Ta1 = Q. Ka. Ha	1,281783	1,075	1,3779167
2	Ta2 = ½. Ha ² . y. Ka	1,102333	0,716666667	0,7900055
Hb =		2,384116	Mb =	2,1679222

2.3. Gaya dan Momen Akibat Beban Hidup

Akibat beban hidup Truck, V_a = 10 Ton

Lengan = 0,275 m

M_b = 2,75 Ton-m

2.4. Gaya dan Momen Akibat Gaya Rem (R_m)

Gaya Rem, R_m = 1,713684 Ton

Lengan = 3,95 m

Momen Akibat gaya rem, M_b = 6,769053 Ton-m

2.5. Gaya dan Momen Akibat Beban gempa

Tabel 5.34 Perhitungan gaya dan momen akibat gempa pada *back wall*

No	W (Ton)	Koefisien $C_g \times I_x / S$	G _b (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
1	0,744	0,216	0,16065	1,725	0,27712125
2	1,788	0,216	0,3861	0,65	0,250965
			H _b = 0,54675	M _b = 0,52808625	

3. TINJAUAN POTONGAN - C

3.1. Gaya dan Momen akibat Berat Sendiri

Tabel 5.35 Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri *back wall* pot. C

No	Parameter Berat Bagian Beton			BJ Beton (Ton/m ³)	Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton - m)
	b	h	Shape				
1	0,35	0,85	1	2,5	0,744	0,375	0,279
2	0,55	1,3	1	2,5	1,7875	0,475	0,849
3	0,75	0,7	1	2,5	1,3125	0,375	0,492
4	0,75	0,75	0,5	2,5	0,703125	0,25	0,176
				V _c =	4,547	M _c =	1,796

3.2. Gaya dan Momen Akibat Beban Hidup

Akibat beban hidup Truck, $V_a = 10 \text{ Ton}$
 Lengan $= 0,2 \text{ m}$
 $M_c = 2 \text{ Ton-m}$

4. TINJAUAN POTONGAN - D

4.1. Gaya dan Momen akibat Berat Sendiri

Tabel 5.36 Perhitungan gaya dan momen akibat berat sendiri *back wall* pot. D

No	Parameter Berat Bagian Beton			BJ Beton	Berat	Lengan	Momen
	b	h	Shape	(Ton/m ³)	(Ton)	(m)	(Ton - m)
5	0,6	0,75	1	2,5	1,125	0,3	0,338
6	0,6	0,8	0,2	2,5	0,24	0,2	0,048
					$V_a = 1,365$	$M_a = 0,386$	

4.2. Gaya dan Momen Akibat Beban Mati dan Hidup

Jarak antara balok $= 2,06 \text{ m}$

Saat penggantian elatomerik (ditinjau corbell selebar 1 m tegak lurus bidang gambar)

Reaksi/m 1 buah balok akibat beban mati struktur atas, $P_m = 36,332 \text{ Ton}$

Reaksi/m 1 buah balok akibat beban hidup struktur atas, $P_h = 35,778479 \text{ Ton}$

Lengan terhadap potongan D $= 0,3 \text{ m}$

Momen akibat beban mati, $M_{dm} = 10,89959547 \text{ Ton-m}$

Momen akibat beban hidup, $M_{dh} = 10,73354369 \text{ Ton-m}$

5. KOMBINASI GAYA

Tabel 5.37 Kombinasi gaya dan momen *back wall* pot. A

5.1. Kombinasi Gaya dan momen Potongan A

NO	KOMBINASI	AKSIAL	GESER	MOMEN
		(Ton)	(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	10,744	0,679046867	2,01418639
II	M+F+A+Ta	0,744	2,392731078	4,80544955
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	10,744	2,392731078	6,55544955
IV	M+Ta+Gb	0,744	0,839696867	0,33246264

Tabel 5.38 Kombinasi gaya dan momen *back wall* pot. B

5.2. Kombinasi Gaya dan momen Potongan B

NO	KOMBINASI	AKSIAL	GESER	MOMEN
		(Ton)	(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	12,531	2,384116262	4,352
II	M+F+A+Ta	2,531	4,097800472	8,371
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	12,531	4,097800472	11,121
IV	M+Ta+Gb	2,531	2,930866262	2,130

Tabel 5.39 Kombinasi gaya dan momen *back wall* pot. C

5.3. Kombinasi Gaya dan momen Potongan C

NO	KOMBINASI	GESER	MOMEN
		(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	14,547	3,796
II	M+F+A+Ta	4,547	1,796
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	14,547	3,796
IV	M+Ta+Gb	4,547	1,796

Tabel 5.40 Kombinasi gaya dan momen *back wall* pot. D

5.4. Kombinasi Gaya dan momen Potongan D

NO	KOMBINASI	GESER	MOMEN
		(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	73,475	22,019
II	M+F+A+Ta	37,697	36,717
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	73,475	22,019
IV	M+Ta+Gb	37,697	36,717

6. GAYA DAN MOMEN RENCANA *BACK WALL* DAN *CORBELL*

Tabel 5.41 Kombinasi gaya dan momen rencana *back wall* pot. A

6.1 Gaya dan Momen Rencana Potongan A

NO	KOMBINASI		AKSIAL	GESER	MOMEN
			(Ton)	(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	100%	10,744	0,67904687	2,01418639
II	M+F+A+Ta	125%	0,595	1,914	3,844
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	140%	7,674	1,709	4,682
IV	M+Ta+Gb	150%	0,496	0,560	0,222

Tabel 5.42 Kombinasi gaya dan momen rencana *back wall* pot. B

6.2 Gaya dan Momen Rencana Potongan B

NO	KOMBINASI		AKSIAL	GESER	MOMEN
			(Ton)	(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	100%	12,531	2,384	4,352
II	M+F+A+Ta	125%	2,025	3,278	6,697
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	140%	8,951	2,927	7,944
IV	M+Ta+Gb	150%	1,688	1,954	1,420

Tabel 5.43 Kombinasi gaya dan momen rencana *back wall* pot. C

6.3. Gaya dan Momen Rencana Potongan C

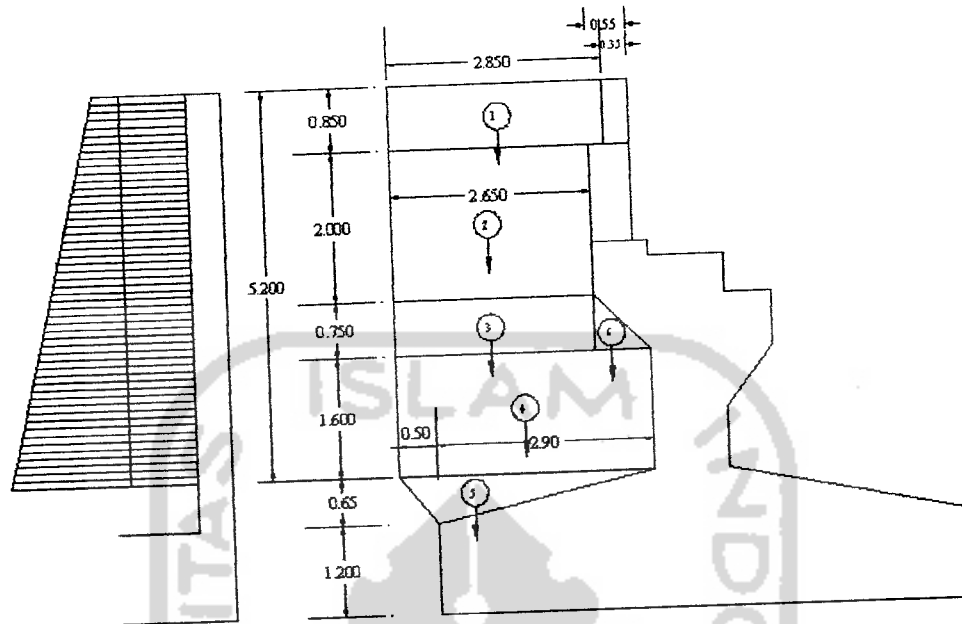
NO	KOMBINASI		GESER	MOMEN
			(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	100%	14,547	3,796
II	M+F+A+Ta	125%	3,638	1,437
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	140%	10,391	2,711
IV	M+Ta+Gb	150%	3,031	1,197

Tabel 5.44 Kombinasi gaya dan momen rencana *back wall* pot. D

6.4. Gaya dan Momen Rencana Potongan D

NO	KOMBINASI		GESER	MOMEN
			(Ton)	(Ton-m)
I	M+(H+K)+Ta	100%	73,475	22,019
II	M+F+A+Ta	125%	30,158	29,374
III	M+(H+K)+Ta+Rm+F+A	140%	52,482	15,728
IV	M+Ta+Gb	150%	25,131	24,478

5.7.1.5 PERHITUNGAN WING WALL



Gambar 5.25 Potongan wing wall

Luas Wing Wall

Tabel 5.45 Perhitungan luas wing wall

No	Parameter berat bagian beton			Luas (m ²)
	b	h	Shape	
1	2,85	0,85	1	2,4225
2	2,65	2	1	5,3
3	2,65	0,75	1	1,9875
4	3,4	1,6	1	5,44
5	3,4	0,65	0,5	1,105
6	0,75	0,75	0,5	0,28125
A =				16,53625
H =				5,2

$$\text{Lebar ekuivalen, } B = \frac{A}{H} = \frac{16,53625}{5,2} = 3,180048 \text{ m}$$

$$\text{Sudut gesek dalam, } \Phi = 35 \text{ derajat}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien tekanan tanah aktif, } K_a &= \tan^2 (45 - \Phi/2) \\ K_a &= \tan^2 (45 - 35/2) = 0,27099005 \\ \text{Beban merata, } Q &= 2,2 \text{ Ton/m}^2 \\ \text{Berat tanah, } \gamma &= 1,76 \text{ Ton/m}^3 \\ \text{Ditinjau lebar} &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Beban merata akibat tekanan tanah pada wing wall :

$$q = Q \cdot K_a + \frac{1}{2} \cdot H \cdot \gamma \cdot K_a = 2,2 \cdot 0,27099005 + \frac{1}{2} \cdot 5,2 \cdot 1,76 \cdot 0,27099005 =$$

$$q = 1,836228579 \text{ Ton/m}^2$$

$$L_y = H = 5,2 \text{ m}$$

$$L_x = B = 3,180048 \text{ m}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5,2}{3,180048} = 1,635195$$

Dari tabel momen plat :

$$C_x = 0,05835$$

$$C_y = 0,036$$

$$\text{Momen Tumpuan, } M_t = C_x \cdot q \cdot L_x^2 = 0,05835 \cdot 1,836228579 \cdot 3,180048^2 =$$

$$M_t = 1,083515116 \text{ Ton-m}$$

$$\text{Momen Lapangan, } M_l = C_y \cdot q \cdot L_x^2 = 0,036 \cdot 1,836228579 \cdot 3,180048^2 =$$

$$M_l = 0,668492616 \text{ Ton-m}$$

5.7.2 PERHITUNGAN FONDASI ABUTMENT DAN ABUTMENT

1. DATA FONDASI TIANG BOR ABUTMENT

Jumlah baris, nb	= 8
Jumlah tiang bor perbaris, nt	= 3
Jarak antara baris, xb	= 2,43 m
Jarak antara bore pile dalam satu baris, xt	= 2,5 m
Diamter tiang bor, ds	= 0,8 m
Panjang efektif tiang tiang bor, Le	= 25 m
Mutu beton, K	= 350 Mpa
Kuat tekan beton, f_c	= 25 Mpa
Ukuran Pile Cap :	
B_x	= 7 m
B_y	= 19 m

2. GAYA YANG DITERIMA TIANG BOR

Jumlah bor - pile, $n = 24$ buah

x max = 2,5 m	
X1 = 2,5	X1 ² = 100
X2 = 0	X2 ² = 0
X3 = Tidak ada	X3 ² = Tidak ada
X4 = Tidak ada	X4 ² = Tidak ada
X5 = Tidak ada	X5 ² = Tidak ada
$\Sigma X^2 = 100 \text{ m}^2$	

2.1. GAYA AKSIAL PADA TIANG BOR

Gaya aksial yang diterima satu tiang bor :

$$P_{1,2} = \frac{\sum v}{n} \pm \frac{\sum v \cdot ex \cdot X_{max}}{\sum X^2}$$

Tabel 5.46 Gaya aksial yang diterima satu tiang bor

KOMBINASI PEMBEBANAN	$\sum V$	ex	P1	P2	Pmax
	(Ton)	(m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)
Kombinasi I	2620,466	-0,2144	95,140514	123,2316	123,2316
Kombinasi II	1957,133	0,059163	84,441958	78,65245	84,44196
Kombinasi III	2620,466	0,128837	117,62641	100,7458	117,6264
Kombinasi IV	1957,133	0,548591	108,38884	54,70557	108,3888

2.2. GAYA LATERAL PADA TIANG BOR

Gaya lateral yang diterima satu tiang bor, $Ph = \frac{\sum H}{n}$

Tabel 5.47 Gaya lateral yang diterima satu tiang bor

KOMBINASI PEMBEBANAN	$\sum H$	Hmax
	(Ton)	(Ton)
Kombinasi I	305,0578	12,71074
Kombinasi II	433,3548	18,05645
Kombinasi III	465,9148	19,41312
Kombinasi IV	727,7985	30,32494

3. DAYA DUKUNG IJIN TIANG BOR BERDASARKAN KEKUATAN BAHAN

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan beton, } f_c &= 25 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan ijin, } f &= 0,33 \cdot f_c = 0,33 \cdot 25 = 825 \text{ Ton/m}^2 \\ \text{Luas tampang tiang bor, } A &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2 \\ \text{Panjang efektif, } L_e &= 25 \text{ m} \\ \text{Berat Tiang, } W &= A \cdot L_e \cdot 2,4 = 0,5026548 \cdot 25 \cdot 2,4 = 30,16 \\ \text{Ton} \\ \text{Daya dukung ijin, } P_{ijin} &= A \cdot f - W = 0,5026548 \cdot 825 - 30,16 = \\ P_{ijin} &= 384,5 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4. DAYA DUKUNG IJIN TIANG BOR BERDASARKAN KEKUATAN TANAH

4.1. DAYA DUKUNG TIANG MENURUT TERZAGHI (DATA PENGUJIAN LAB)

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot C \cdot N_c + y \cdot D_f \cdot N_q + 0,6 \cdot y \cdot R \cdot N_g$$

$$D_f = \text{Kedalaman tiang bor} = 25 \text{ m}$$

$$R = \text{Jari-jari penampang tiang} = 0,4 \text{ m}$$

Parameter kekuatan tanah di ujung tiang bor (*end bearing*):

$$y = 1,76 \text{ T/m}^3 \quad \Phi = 40^\circ \quad C = 0,06$$

Dari grafik diperoleh nilai faktor daya dukung :

$$N_c = 95,7 \quad N_q = 81,3 \quad N_g = 100,4$$

$$Q_{ult} = 1,3. C. N_c + y. D_f. N_q + 0,6. y. R. N_g$$

$$Q_{ult} = 1,3. 0,06. 95,7 + 1,76. 25. 81,3 + 0,6. 1,76. 0,4. 100,4 = 3627,07 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang bor, } P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF}$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$SF = 2$$

$$P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF} = \frac{0,5026548 \cdot 3627,07}{2} = 911,58 \text{ Ton}$$

4.2. DAYA DUKUNG TIANG BOR MENURUT MEYERHOFF (DATA PENGUJIAN SPT)

$$Q_{ult} = 40. N$$

$$N = \text{Nilai SPT} = 50$$

$$Q_{ult} = 40. N = 40. 50 = 2000 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang bor, } P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF}$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$SF = 4$$

$$P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF} = \frac{0,5026548 \cdot 2000}{4} = 251 \text{ Ton}$$

4.3. DAYA DUKUNG TIANG BOR MENURUT BAGEMENT (DATA PENGUJIAN CPT)

$$P_{ijin} = A \cdot \frac{q_c}{3} + K \cdot L \cdot \frac{q_f}{4} =$$

$$q_c = \text{Nilai konus rata-rata} = 0 \text{ Ton/m}^2$$

$$q_f = \text{Nilai hambatan lekat rata-rata} = 0 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$K = \text{Keliling penampang tiang bor} = \pi \cdot ds = \pi \cdot 0,8 = 2,5132741 \text{ m}$$

$$L = \text{Panjang tiang bor} = 25 \text{ m}$$

$$P_{ijin} = 0 \text{ Ton}$$

Daya dukung ijin tiang bor terkecil = 251 Ton

Efisiensi kelompok tiang bor menurut BMS :

$$Eff = \frac{(2 \cdot (nb + nt - 2) \cdot xt + 4 \cdot ds)}{(\lambda \cdot ds \cdot nb \cdot nt)} = \frac{(2 \cdot (8 + 3 - 2) \cdot 2,5 + 4 \cdot 0,8)}{(\lambda \cdot 0,8 \cdot 8 \cdot 3)} = 0,799$$

$$P_{ijin} \cdot Eff = 251 \cdot 0,799 = 200 \text{ Ton}$$

Diambil daya dukung ijin tiang, $P_{ijin} = 160 \text{ Ton}$

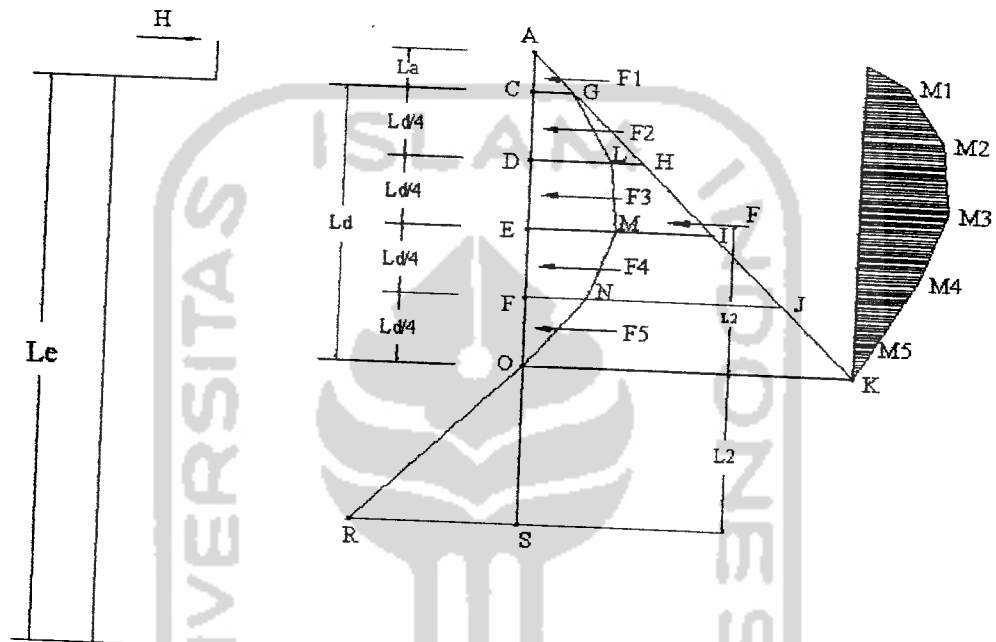
5. DAYA DUKUNG LATERAL IJIN TIANG BOR

$$L_a = 1,2 \text{ m}$$

$$B_y = 19 \text{ m}$$

$$y = 1,76 \text{ m}$$

$$\Phi = 40 \text{ derajat}$$



Gambar 5.26 BMD tiang pondasi bor abutment

$$\text{Panjang efektif tiang bor, } l_e = 25 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Jepitan tiang, } L_d = 1/3 \cdot l_e = 8,333 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien tekanan tanah pasih, } K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{40}{2} \right) = 4,599$$

Diagram Tekanan Tanah Pasif efektif :

Tabel 5.48 Perhitungan tekanan tanah pasif pada tiang bor *abutment*

Bagian	Kedalaman H (m)	H.y.Kp (Ton/m ²)	Bagian	Tekanan (Ton/m ²)
OK	La + Ld = 9,533	77,16239	O	0
FJ	La + 3/4. Ld = 7,44975	60,30006	FN = 1/4.FJ	15,07502
EI	La + 1/2. Ld = 5,3665	43,43774	EM = 1/2. EI	21,71887
DH	La + 1/4. Ld = 3,28325	26,57541	DL = 3/4.DH	19,93156
CG	La = 1,2	9,713088	CG	9,713088

Tabel 5.49 Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah

KODE	Tegangan - 1 (Ton/m ²)	Tegangan - 2 (Ton/m ²)	Lebar (m)	Besar Gaya (Ton)	Lengan Thd. O (m)	Momen (Ton-m)
F1	0	15,07501611	1,2	90,45009666	8,733	789,9007
F2	15,0750161	21,71886948	2,08325	383,2543108	7,291375	2794,451
F3	21,7188695	19,93156011	2,08325	433,8412872	5,208125	2259,5
F4	19,9315601	9,713088	2,08325	308,7860659	3,124875	964,9179
F5	9,713088	0	2,08325	101,1739529	1,3888333	140,5138
			F =	1317,505713	M =	6949,283

$$L_2 = \frac{M}{F} = \frac{6949,283}{1317,506} = 5,27 \text{ m}$$

$$\text{Gaya lateral, } \Sigma Ms = 0$$

$$H = \frac{F(2.L_2)}{L_2 + L_d + L_a} = \frac{1317,506(2.5,27)}{5,27 + 8,333 + 1,2} = 939 \text{ Ton}$$

$$\text{Jumlah baris tiang, } nb = 8 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tiang bor perbaris, } nt = 3 \text{ buah}$$

$$\text{Angka Aman, } SF = 2$$

$$\text{Daya Dukung ijin lateral satu tiang bor, } H_{ijm} = \frac{H/(nb.nt)}{SF}$$

$$H_{ijm} = \frac{939/(8.3)}{2} = 20 \text{ Ton}$$

6. MOMEN MAKSIMUM AKIBAT GAYA LATERAL

6.1. PERHITUNGAN DENGAN CARA BENDING MOMENT DIAGRAM (BMD)

Tabel 5.50 Perhitungan bending moment diagram pada tiang bor abutment

Lengan yh (m)	Momen Mh = H.yh (Ton-m)	Lengan yf (m)	MOMEN AKIBAT GAYA F (Ton-m)				
			F1	F2	F3	F4	F5
0,8	751,2	0,4	90,4501	383,2543	433,8413	308,7861	101,174
1,841625	1729,286	1,441625	36,18004	130,3951	153,3017		
3,924875	3685,458	3,524875	318,8253	552,509	173,5365		
6,008125	5641,629	5,608125	507,2554	1350,924	625,4364	123,5144	
8,091375	7597,801	7,691375	695,6856	2149,338	1529,236	445,1537	40,46958
10,17463	9553,973	9,774625	884,1158	2947,753	2433,036	1088,432	145,8549
12,25788	11510,14	11,85788	1072,546	3746,167	3336,836	1731,711	356,6255

KEDE	BMD H.yh-Σ(Fi.yfi) (Ton-m)
M1	715,0199613
M2	1445,58903
M3	2640,58683
M4	3034,499516
M5	2737,917831
M6	2054,781122
M7	1266,259094

Momen maksimum, $M_{max} = 3034,4995$ Ton-m

Jumlah Baris tiang, $nb = 8$ buah

Jumlah tiang bor perbaris, $nt = 3$ buah

Angka aman, $SF = 2$

Momen maksimum yang diijinkan untuk satu tiang bor akibat gaya lateral :

$$M_{max\ ijin} = \frac{M_{max}/(nb.nt)}{SF} = \frac{3034,4995/(8.3)}{2} = 63,22 \text{ Ton-m}$$

7. KONTROL GAYA PADA TIANG BOR TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN

7.1. TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN AKSIAL

Tabel 5.51 Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin aksial tiang bor *abutment*

KOMBINASI PEMBEBANAN		Pmax (Ton)	P ijin (Ton)	Keterangan
Kombinasi - I :	100%	123,2316	160	AMAN
Kombinasi - II :	125%	84,44196	200	AMAN
Kombinasi - III :	140%	117,6264	224	AMAN
Kombinasi - IV :	150%	108,3888	240	AMAN

7.2. TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN LATERAL

Tabel 5.52 Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin lateral tiang bor *abutment*

KOMBINASI PEMBEBANAN		Hmax (Ton)	H ijin (Ton)	Keterangan
Kombinasi - I :	100%	12,71074	20	AMAN
Kombinasi - II :	125%	18,05645	25	AMAN
Kombinasi - III :	140%	19,41312	28	AMAN
Kombinasi - IV :	150%	30	30	AMAN

8. PEMBESIAN BORE PILE

Beban maksimum pada bore pile :

$$P_{max} = P_{ijin} = 160 \text{ Ton}$$

$$M_{max} = 63,22 \text{ Ton-m}$$

Faktor beban ultimit = 1,5

$$\text{Beban Ultimit : } P_u = 1,5 \cdot 160 = 2400000 \text{ N}$$

$$M_u = 1,5 \cdot 63,22 = 948300000 \text{ Nmm}$$

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$D = 800 \text{ mm}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \pi \cdot 800^2 = 502654,82 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{(f'_c \cdot A_g)} = \frac{2400000}{(25 \cdot 502654,82)} = 0,191$$

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{(f'_c \cdot A_g \cdot D)} = \frac{948300000}{(25 \cdot 502654,82 \cdot 800)} = 0,094$$

Plot nilai $\frac{\Phi \cdot P_n}{(f'_c \cdot A_g)}$ dan $\frac{\Phi \cdot M_n}{(f'_c \cdot A_g)}$ ke dalam diagram interaksi kolom lingkaran diperoleh :

Rasio tulangan, $\rho = 0,7\%$

Luas tulangan yang diperlukan, $A_s = \rho \cdot A_g = 0,007 \cdot 502654,82 = 3519 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan $\emptyset 19$

$$A_{1\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s}{A_{1\phi}} = \frac{3519}{283,53} = 12 \longrightarrow \text{Digunakan tulangan 12D19}$$

5.7.3 PEMBESIAN ABUTMENT

5.7.3.1 PEMBESIAN PILE CAP

1. MOMEN RENCANA

Tabel 5.53 Momen rencana pile cap

KOMBINASI PEMBEBANAN	FAKTOR KEKUATAN	P max (Ton)	P max Rencana
Kombinasi - I	100 %	123,2316	123,2316
Kombinasi - II	125 %	84,44196	67,5536
Kombinasi - III	140 %	117,6264	84,018857
Kombinasi - IV	150 %	108,3888	72,2586666

Gaya reaksi maksimum (rencana) tiang bor, $P_{max} = 123,2316$ Ton

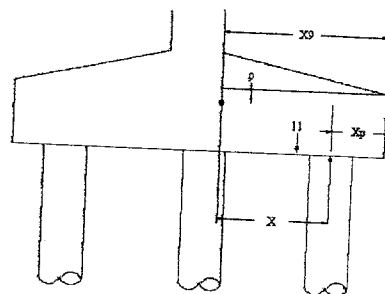
Jumlah baris tiang bor = 8 buah

Jarak pusat tiang bor ke tepi luar pile cap, $X_p = \left(\frac{Bx - (nt-1)xt}{2} \right)$

$$X_p = \left(\frac{(7 - (3-1)2,5)}{2} \right) = 1 \text{ m}$$

Lengan terhadap sisi depan breast wall, $X = b_9 - X_p = 3,1 - 1 = 2,1$ m

$$M_p = 8 \cdot (123,2316 \cdot 2,1) = 2070,291 \text{ Ton-m}$$



Gambar 5.27 Lengan terhadap sisi depan

Tabel 5.54 Perhitungan berat dan momen pada pile cap

No	PARAMETER BERAT BAGIAN BETON				Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
	B	H	Lebar	BJ			
9	3,1	0,36	19	2,5	26,505	1,033	27,37967
11	3,1	1,2	19	2,5	176,7	1,55	273,885
Wbs =					203,205	Mbs =	301,2647

Momen rencana Pile Cap ;

$$Mr = Mp - Mbs = 2070,291 - 301,2647 = 1769,026 \text{ Ton-m}$$

Untuk lebar pile cap = 19 m

$$Mr = 93,107 \text{ Ton - m/m}$$

Gaya geser rencana Pile Cap :

$$Vr = nb \cdot P_{max} - Wt = 8.123,2316 - 203,205 = 782,648 \text{ Ton}$$

Untuk lebar pile cap = 19 m

$$Vr = 41,192 \text{ Ton / m}$$

2. PEMBESIAN PILE CAP

INPUT DATA MATERIAL :

Mutu beton	= K - 300
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 Mpa
Tegangan leleh baja, f_y	= 390 Mpa
Modulus elastis baja (E_s)	= 200000 Mpa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

Faktor beban ultimit = 1,5

Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ = 0,8

Faktor reduksi kekuatan geser ϕ = 0,6

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) =$$

$$= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,028069$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) =$$

$$= 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390}{0,85 \cdot 25} \right) = 6,6241 \text{ Mpa}$$

Tulangan Lentur

Momen rencana = 93,107 Ton - m

Momen ultimit rencana, $M_u = 1,5 \cdot 93,107 = 1396605000 \text{ Nmm}$

Tebal efektif pelat, $d =$ = 1950 mm

Ditinjau selebar 1 m, $b = 1000 \text{ mm}$

$$Mn = \frac{M}{\phi} = \frac{1396605000}{0,8} = 1745756250 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{1745756250}{1000.1950^2} = 0,459 \text{ Mpa} < R_{\max} \text{ (Ok)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85.f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.Rn}{0,85.f_c'}} \right) =$$

$$= \frac{0,85.25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.0,459}{0,85.25}} \right) = 0,001188$$

$$\rho_{\max} = 0,75. \rho_b = 0,75. 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Ternyata : $\rho_{\min} = 0,00090 < \rho = 0,00118 < \rho_{\max} = 0,02096775$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,001188$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00118 \times 1000 \times 1950 = 2316,25 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 25

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 25^2 = 490 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} = \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{490 \cdot 1000}{2316,25} =$$

$$= 211,55 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan **D25 – 180**

Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser rencana} = 41,192 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 1,5 \cdot 41,192 = 617880 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f'_c}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 1950 = 1625000 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 1625000 = 975000 \text{ N} > V_u \text{ maka tidak perlu tulangan geser}$$

5.7.3.2. PEMBESIAN BREAST WALL**1. TULANGAN AKSIAL TEKAN LENTUR**

Gaya aksial dan momen pada *breast wall* :

Tabel 5.55 Gaya aksial dan momen pada *breast wall*

Kombinasi	P (Ton)	M(Ton-m)	Faktor beban Ult.	Pu (N)	Mu (Nmm)
Kombinasi I	84,762	16,488	1,5	1271430	247320000
Kombinasi II	49,849	34,675	1,5	747735	520125000
Kombinasi III	84,762	46,671	1,5	1271430	700065000
Kombinasi IV	49,849	42,744	1,5	747735	641160000

$$\text{Luas penampang } breast \text{ wall, } A_g = 1 \text{ m}^2 = 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tebal } breast \text{ wall, } h = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif, } d = 900 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat tekan beton, } f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja, } f_y = 390 \text{ Mpa}$$

Kombinasi	P/(f'c. Ag)	M/(f'c. Ag. h)
Kombinasi I	0,051	0,0099
Kombinasi II	0,030	0,021
Kombinasi III	0,051	0,029
Kombinasi IV	0,030	0,026

Plot ke Diagram Interaksi diperoleh rasio tulangan kurang dari rasio minimum,
 $\rho < 1\%$

Maka diambil rasio tulangan minimum, $\rho = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897$

Luas Tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035897 \cdot 1000 \cdot 900 = 3230,76 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D 25 mm

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 25^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{490,87 \cdot 1000}{3230,76} = \\ &= 151,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D25 – 150

2. TULANGAN GESER

Perhitungan geser *bore pile* didasarkan atas momen dan gaya aksial untuk kombinasi beban yang menentukan dalam perhitungan tulangan aksial tekan dan lentur.

Ditinjau <i>Breast Wall</i> selebar,	= 1000 mm
Panjang <i>breast wall</i> , L	= 1600 mm
Tebal <i>breast wall</i>	= 1000 mm
Luas tulangan <i>breast wall</i> , A_s	= 3231 mm ²
Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	= 0,75

$$P_u = 1271430 \text{ N}$$

$$M_u = 700065000 \text{ Nmm}$$

$$F'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$V_u = \frac{M_u}{L} = \frac{700065000}{1600} = 437541 \text{ N}$$

$$\text{Tebal efektif } \textit{Breast Wall}, d = 900 \text{ mm}$$

$$V_{c \max} = 0,2 \cdot F'_c \cdot b \cdot d = 0,2 \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 900 = 4500000 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot V_{c \max} = 0,75 \cdot 4500000 = 3375000 \text{ N} > V_u \text{ (Ok)}$$

$$\beta_1 = 1,4 - \frac{d}{2000} = 1,4 - \frac{900}{2000} = 0,95 < 1 \text{ maka diambil } = 1$$

$$\beta_2 = 1 + \frac{P_u}{14 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} = 1 + \frac{1271430}{14 \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 900} = 1,004$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{\frac{A_s \cdot F'_c}{b \cdot d}} = 1 \cdot 1,004 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 900 \cdot \sqrt{\frac{3231 \cdot 25}{1000 \cdot 900}} =$$

$$V_{uc} = 270703,24 \text{ N}$$

$$V_c = V_{uc} + 0,6 \cdot b \cdot d = 270703,24 + 0,6 \cdot 1000 \cdot 900 = 810703,24 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 810703,24 = 608027,43 \text{ N}$$

Geser pada beton sepenuhnya dipikul oleh tulangan geser, sehingga :

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berpenampang = 5 Diameter = 13

$$A_1 \phi = 5 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 663,66 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{663,66 \cdot 390 \cdot 900}{437541} = \\ &= 532,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 – 200

5.7.3.3. PEMBESIAN BACK WALL DAN CORBELL

INPUT DATA MATERIAL :

Mutu beton = K - 300

Kuat tekan beton, f_c' = 25 Mpa

Tegangan leleh baja, f_y = 390 Mpa

Modulus elastis baja (E_s) = 200000 Mpa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

Faktor beban ultimit = 1,5

Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ = 0,8

Faktor reduksi kekuatan geser ϕ = 0,6

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \\ &= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,028069 \end{aligned}$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) =$$

$$= 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390}{0,85 \cdot 25} \right) = 6,6241 \text{ Mpa}$$

1. PERHITUNGAN PEMBESIAN BACK WALL POT. – A

1.1. Tulangan Lentur

Momen rencana = 4,682 Ton - m

Momen ultimit rencana, $M_u = 1,5 \cdot 4,682 = 70230000 \text{ Nmm}$

Tebal efektif pelat, $d = 300 \text{ mm}$

Ditinjau selebar 1 m, $b = 1000 \text{ mm}$

$$M_n = \frac{M}{\phi} = \frac{70230000}{0,8} = 87787500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{87787500}{1000 \cdot 300^2} = 0,975 \text{ Mpa} < R_{max} \text{ (Ok)}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) =$$

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,975}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,00256$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Ternyata : $\rho_{min} = 0,00090 < \rho = 0,00256 < \rho_{max} = 0,02096775$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,00256$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = p \cdot b \cdot d = 0,00256 \times 1000 \times 300 = 768 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 16$

$$A_{1\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_{1\phi} \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,06 \cdot 1000}{768} = \\ &= 261,797 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 – 200

1.2. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser rencana} = 1,914 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 1,5 \cdot 1,914 = 28710 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f'c}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 300 = 250000 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 250000 = 150000 \text{ N} > V_u \text{ maka tidak perlu tulangan geser}$$

2. PERHITUNGAN PEMBESIAN BACK WALL POT. – B

2.1. Tulangan Lentur

$$\text{Momen rencana} = 7,944 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$\text{Momen ultimit rencana, } Mu = 1,5 \cdot 7,944 = 119160000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau selebar 1 m, } b = 1000 \text{ mm}$$

$$Mn = \frac{M}{\phi} = \frac{119160000}{0,8} = 148950000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{148950000}{1000 \cdot 300^2} = 0,5958 \text{ Mpa} < R_{\max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,5958}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,00155 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

$$\text{Ternyata : } \rho_{\min} = 0,00090 < \rho = 0,00155 < \rho_{\max} = 0,02096775$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan } \rho = 0,00155$$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00155 \times 1000 \times 500 = 775,21 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 16

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,06 \cdot 1000}{775,21} = \\ &= 259,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D16 – 200**

2.2. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser rencana} = 3,278 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 1,5 \cdot 3,278 = 49170 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f'c}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 500 = 416666,67 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 416666,67 = 250000 \text{ N} > V_u \text{ maka tidak perlu tulangan geser}$$

3. PERHITUNGAN PEMBESIAN BACK WALL POT. – C

3.1. Tulangan Lentur

$$\text{Momen rencana} = 3,796 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$\text{Momen ultimit rencana, } M_u = 1,5 \cdot 3,796 = 56940000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = 500 \text{ mm}$$

Ditinjau selebar 1 m, $b = 1000 \text{ mm}$

$$M_n = \frac{M}{\phi} = \frac{56940000}{0,8} = 71175000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{71175000}{1000 \cdot 500^2} = 0,2847 \text{ Mpa} < R_{\max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,2847}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,000735\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Ternyata : $\rho_{min} = 0,00090 > \rho = 0,00256 < \rho_{max} = 0,02096775$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = \rho_{min} = 0,00090$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0009 \times 1000 \times 500 = 450$$

Dipakai tulangan $\emptyset 16$

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,06 \cdot 1000}{450} = \\ &= 446,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D16 – 200**

3.2. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser rencana} = 14,547 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 1,5 \cdot 14,547 = 218205 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f_c'}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 500 = 4166666,67 \text{ N}$$

$\Phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 4166666,67 = 250000 \text{ N} > V_u$ maka tidak perlu tulangan geser

4. PERHITUNGAN PEMBESIAN BACK WALL POT. – D

4.1. Tulangan Lentur

$$\text{Momen rencana} = 29,374 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$\text{Momen ultimit rencana, } Mu = 1,5 \cdot 29,374 = 440610000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = 1500 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau selebar 1 m, } b = 1000 \text{ mm}$$

$$Mn = \frac{M}{\phi} = \frac{440610000}{0,8} = 550762500 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{550762500}{1000 \cdot 1500^2} = 0,245 \text{ Mpa} < R_{\max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,245}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,000632 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

$$\text{Ternyata : } \rho_{\min} = 0,00090 > \rho = 0,00256 < \rho_{\max} = 0,02096775$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan } \rho = \rho_{\min} = 0,00090$$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0009 \times 1000 \times 1500 = 1350 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 25

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 25^2 = 490 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{490 \cdot 1000}{1350} = \\ &= 363,61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D25 – 200

4.2. Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser rencana} = 73,475 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 1,5 \cdot 73,475 = 1102125 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f'_c}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 1500 = 1250000 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 1250000 = 750000 \text{ N} < V_u \text{ maka perlu tulangan geser}$$

$$\phi \cdot V_s = V_u - \phi \cdot V_c = 1102125 - 750000 = 352125 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{352125}{0,6} = 586875 \text{ N}$$

Untuk tulangan geser digunakan sengkang Diameter = 16 mm

Jumlah/m = 4 buah sengkang

= 1 buah tulangan sorong

$$\text{Luas tulangan sengkang, } A_{v1} = 8 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 1608 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan geser sorong, } A_{v2} = 1 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan geser total} = 1608 + 201,06 = 1810 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} = \frac{A_1 \phi \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{1810 \cdot 390 \cdot 1500}{586875} =$$

1804mm

Digunakan tulangan 4D16 – 200

5. PEMBESIAN WING WALL

Input Data Material :

Mutu beton	= K - 300
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 Mpa
Tegangan leleh baja, f_y	= 390 Mpa
Modulus elastis baja (E_s)	= 200000 Mpa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

Faktor beban ultimit = 1,5

Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ = 0,8

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \\ &= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,028069 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{max} &= 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) = \\ &= 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390}{0,85 \cdot 25} \right) = 6,6241 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

5.1. PEMBESIAN WING WALL SISI DALAM

Momen rencana = 1,0835 Ton - m

Momen ultimit rencana, M_u = 1,5 · 1,0835 = 16252500 Nmm

Tebal efektif pelat, d = 450 mm

Ditinjau selebar 1 m, b = 1000 mm

$$M_n = \frac{M}{\phi} = \frac{16252500}{0,8} = 20315625 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{20315625}{1000.450^2} = 0,1003 \text{ Mpa} < R_{\max} (\text{Ok})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85.f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.Rn}{0,85.f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85.25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.0,1003}{0,85.25}} \right) = 0,000256 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75. \rho_b = 0,75. 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

$$\text{Ternyata : } \rho_{\min} = 0,00090 > \rho = 0,000256 < \rho_{\max} = 0,02096775$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan } \rho = \rho_{\min} = 0,00090$$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0009 \times 1000 \times 450 = 405$$

Dipakai tulangan $\emptyset 13$

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{132,73 \cdot 1000}{405} = \\ &= 327,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D13 - 200**

5.2. PEMBESIAN WING WALL SISI LUAR

$$\text{Momen rencana} = 0,688 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$\text{Momen ultimit rencana, } Mu = 1,5 \cdot 0,688 = 10320000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat, } d = 450 \text{ mm}$$

Ditinjau selebar 1 m, $b = 1000 \text{ mm}$

$$Mn = \frac{M}{\phi} = \frac{10320000}{0,8} = 12900000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{12900000}{1000 \cdot 450^2} = 0,064 \text{ Mpa} < R_{\max} (\text{Ok})$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,064}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,000163 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = \rho_{\min} = 0,00090$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0009 \times 1000 \times 450 = 405 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 13$

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} = \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{132,73 \cdot 1000}{405}$$

$$= 327,73 \text{ mm} \quad \text{Digunakan tulangan D13 - 200}$$

5.8. PERHITUNGAN PONDASI PILAR DAN PILE CAP PILAR

5.8.1. PONDASI PILAR 1

1. INPUT DATA PONDASI TIANG BOR

Jumlah baris, nb	= 9
Jumlah tiang bor perbaris, nt	= 5
Jarak antara baris, xb	= 2,75 m
Jarak antara bore pile dalam satu baris, xt	= 1,5 m
Diamter tiang bor, ds	= 0,8 m
Panjang efektif tiang bor, Le	= 25 m
Mutu beton, K	= 350 Mpa
Kuat tekan beton, $f'c$	= 25 Mpa
Tegangan leleh baja tulangan, fy	= 390 Mpa
Ukuran Pile Cap :	
Bx	= 8 m
By	= 24 m

2. GAYA YANG DITERIMA TIANG BOR

Jumlah bor - pile, $n = 45$ buah

$X_{max} = (m)$	3		
$X_1 =$	3	$X_1^2 =$	162
$X_2 =$	1,5	$X_2^2 =$	40,5
$X_3 =$	tak ada	$X_3^2 =$	tak ada
$X_4 =$	tak ada	$X_4^2 =$	tak ada
		$\Sigma X^2 =$	202,5 m ²

Ymax = (m)	11		
Y1 =	2,75	Y1 ² =	75,625
Y2 =	5,5	Y2 ² =	302,5
Y3 =	8,25	Y3 ² =	680,625
Y4 =	11	Y4 ² =	1210
		ΣY ² =	2268,75 m ²

2.1. GAYA AKSIAL PADA TIANG BOR

Gaya aksial yang diterima satu tiang bor :

$$P = \frac{\Sigma v}{n} + \frac{Mx \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma Y^2} =$$

Tabel 5.56 Gaya aksial yang diterima satu tiang bor

Kombinasi	P	Mx	My	Pmax
Kombinasi 1 (M+(H+K)+TT)	7833,54	1070,78	606,366	192,88203
Kombinasi 2 (M+F+Ah+TT)	4393,97	1421,92	809,63	122,63474
Kombinasi 3 (M+(H+K)+TT+Rm+F+A)	7881,32	1861,69	949,76	207,32593
Kombinasi 4 (M+Gb+TT)	4043,93	562	9562,69	144,55559

note : Gaya Aksial dan Momen diatas diambil dari perhitungana SAP 2000

2.2. GAYA LATERAL PADA TIANG BOR

Beban Mati Struktur Atas

Tabel 5.57 Perhitungan beban mati pada struktur atas

No	Beban Mati	Parameter Volume			n	Berat Sat (ton/m ³)	Beban Ton
		b(m)	t(m)	L (m)			
1	Aspal	7	0,1	60	2	2,2	184,8
2	Air hujan	20	0,1	60	1	1	120
3	Slab	20	0,25	60	1	2,5	750
4	Trotoar	1,75	0,2	60	2	2,2	92,4
5	Sandaran	0,15	1,125	60	2	2,5	50,625
6	Balok Induk	0,7	1	60	3	2,5	315
7	Balok Anak	0,4	0,8	60	6	2,5	288
8	Median	2,5	0,2	60	1	2,5	75
9	Balok Lintang	0,4	0,8	15,1	12	2,5	144,96
Total beban mati =							2020,785

Beban Mati Struktur Bawah

Tabel 5.58 Perhitungan beban mati pada struktur bawah

KET	PARAMETER BETON			shape	BJ (Ton/m ³)	JUMLAH	VOLUME (m ³)	BERAT (Ton)
	b	h	L					
KOLOM	1,4	1,4	7,365	1	2,5	3	14,4354	108,2655
PILE CAP								
1	8	1,5	24	1	2,5	1	288	720
2	1,4	1	24	1	2,5	1	33,6	84
3	3,3	1	24	0,5	2,5	2	39,6	198
								1110,2655

BEBAN HIDUP

Beban Merata q

Lebar prkerasan 1 jalur, $b_1 = 7 \text{ m}$

untuk panjang bentang, $L = 60 \text{ m}$

$$\text{Beban merata, } q = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (L - 30) = 2,2 - \frac{1,1}{60} \cdot (40 - 30) =$$

2,01667Ton/m

$$\text{Beban hidup merata per meter lebar jembatan} = \frac{q}{2,75} \text{ ton/m}^2$$

Beban hidup pada trotoar :

$$q' = 0,5 \text{ Ton/m}^2$$

$$P' = 2 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Beban hidup merata } q \text{ pada trotoar} = (P' + b_2 \cdot q') \times 2 \times L =$$

$$= (2 + 1,75 \cdot 0,5) \times 2 \times 60 = 345 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban hidup merata } q \text{ pada jalan} =$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\left(\frac{q}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \times L \right) + \left(\frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{Lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times L \right) \right) \times 2 \\
&= \\
&= \left(\left(\frac{2,01667}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \times 60 \right) + \left(\frac{2,01667}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 60 \right) \right) \times 2 = \\
&= 517 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

Beban hidup pada *abutment* akibat beban merata $q = 345 + 517 = 862 \text{ Ton}$

Beban Garis P

Besar muatan garis, $P = 12 \text{ Ton}$

$$\text{Beban hidup garis per meter lebar jembatan} = \frac{P}{2,75} = \frac{12}{2,75} = 4,364 \text{ Ton/m}$$

Beban hidup pada *abutment* akibat beban garis :

$$\begin{aligned}
&= \frac{P}{2,75} \times 5,5 \times 100\% + \frac{P}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 2 = \\
&= \frac{12}{2,75} \times 5,5 \times 100\% + \frac{12}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 2 = 54,55 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

BEBAN GEMPA (G_b)

Diperkirakan waktu getar alami struktur jembatan rangka beton lengkung,

$$T = 0,1 - 1 \text{ detik.}$$

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk wilayah 3 diperoleh :

$$\text{Koefisien gempa dasar, } C_g = 0,18$$

$$\text{Faktor keutamaan struktur, } I = 1,2$$

$$\text{Faktor jenis struktur, } K = 1$$

Beban gempa , $G_b = C_g \cdot I \cdot S \cdot W_t = 0,18 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot W_t = 0,216 \cdot W_t$

Distribusi gaya gempa arah memanjang jembatan :

Tabel 5.59 Perhitungan gaya gempa pada pilar 1

No	Beban Mati Akibat	Wt	Beban	CxIxSxWt
		(Ton)	Gempa	(Ton)
1	P struktur atas	2020,785	Gbp	436,48956
2	P struktur bawah	1110,266	Gba	239,817348
				Gb = 676,306908

BEBAN REM DAN TRAKSI (Rm)

Gaya rem memanjang jembatan diperhitungkan sebesar 5 % beban D (beban hidup tanpa koefisien kejut) :

$$R_m = 5 \% \times \text{Beban hidup } D \text{ tanpa koefisien kejut}$$

$$\text{Beban hidup pada abutment akibat beban merata } q = 862 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban hidup pada abutment akibat beban garis} = 54,55 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban } D \text{ tanpa koefisien kejut} = 862 + 54,55 = 917 \text{ Ton}$$

$$R_m = 5 \% \times 917 = 45,85 \text{ Ton}$$

BEBAN GESEKAN PADA TUMPUAN (F)

$$\text{Koefisien gesek pada tumpuan yang berupa elastomer} = 0,18$$

Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau terhadap beban mati saja.

$$\text{Beban mati struktur atas} = 2020,785 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban gesek} = \text{Koefisien gesek} \times \text{Beban mati} =$$

$$F = 0,18 \cdot 2020,785 = 363,74 \text{ Ton}$$

BEBAN ALIRAN AIR DAN HANYUTAN

Kecepatan aliran diambil, $V_a = 3$ m/det

Koefisien aliran, $k = 1,4$

Tekanan aliran, $P = 0,5 \cdot cd \cdot Va^2 = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3^2 = 6,3 \text{ ton/m}^2$

Luas bidang kontak aliran $= 1,96 \text{ m}^2$

Gaya akibat aliran air, $Ah = 6,3 \cdot 1,96 = 12,35 \text{ Ton}$

KOMBINASI PEMBEBANAN

Tabel 5.60 Kombinasi pembebanan I gaya horizontal

KOMBINASI I

KOMBINASI BEBAN		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
H+K	Beban hidup + kejut	
TT	Gaya horizontal akibat tekanan tanah	
		0

Tabel 5.61 Kombinasi pembebanan II gaya horizontal

KOMBINASI II

KOMBINASI BEBAN		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
F	Beban gesekan pada tumpuan	363,74
Ah	Beban aliran dan hanyutan	12,35
TT	beban akibat tekanan tanah	
		376,09

Tabel 5.62 Kombinasi pembebanan III gaya horizontal

KOMBINASI III

		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
H+K	Beban hidup + kejut	
Ta	Beban akibat tekanan tanah	
Rm	Beban Rem	45,85
F	Beban gesekan pada tumpuan	363,74
A	Beban angin	
		409,59

Tabel 5.63 Kombinasi pembebanan IV gaya horizontal

KOMBINASI IV

		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
Gb	Beban Gempa	676,307
Ta	beban akibat tekanan tanah	
		676,307

Gaya lateral yang diderita satu tiang bor, $Ph = \frac{\Sigma H}{n}$

Tabel 5.64 Gaya leteral yang diterima satu tiang bor pada pilar 1

KOMBINASI PEMBEBANAN	ΣH (Ton)	Phmax (m)
Kombinasi - I :	0	0
Kombinasi - II :	376,09	8,358
Kombinasi - III :	409,59	9,102
Kombinasi - VI :	676,307	15,02904444

3. DAYA DUKUNG IJIN TIANG BOR BERDASARKAN KEKUATAN BAHAN

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan beton, } f_c &= 25 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan ijin, } f &= 0,33 \cdot f_c = 0,33 \cdot 25 = 825 \text{ Ton/m}^2 \\ \text{Luas tampang tiang bor, } A &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2 \\ \text{Panjang efektif, } L_e &= 25 \text{ m} \\ \text{Berat Tiang, } W &= A \cdot L_e \cdot 2,4 = 0,5026548 \cdot 25 \cdot 2,4 = 30,16 \text{ Ton} \\ \text{Daya dukung ijin, } P_{ijin} &= A \cdot f - W = 0,5026548 \cdot 825 - 30,16 = \\ P_{ijin} &= 384,5 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4. DAYA DUKUNG IJIN TIANG BOR BERDASARKAN KEKUATAN TANAH

4.1. DAYA DUKUNG TIANG MENURUT TERZAGHI (DATA PENGUJIAN LAB)

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot C \cdot N_c + y \cdot D_f \cdot N_q + 0,6 \cdot y \cdot R \cdot N_g$$

$$D_f = \text{Kedalaman tiang bor} = 25 \text{ m}$$

$$R = \text{Jari - jari penampang tiang} = 0,4 \text{ m}$$

Parameter kekuatan tanah di ujung tiang bor (*end bearing*):

$$y = 1,76 \text{ T/m}^3 \quad \Phi = 40^\circ \quad C = 0,06$$

Dari grafik diperoleh nilai faktor daya dukung :

$$N_c = 95,7 \quad N_q = 81,3 \quad N_g = 100,4$$

$$Q_{ult} = 1,3. C. N_c + y. Df. N_q + 0,6. y. R. N_g$$

$$Q_{ult} = 1,3. 0,06. 95,7 + 1,76. 25. 81,3 + 0,6. 1,76. 0,4. 100,4 = 3627,07 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang bor, } P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF}$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$SF = 2$$

$$P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF} = \frac{0,5026548 \cdot 3627,07}{2} = 911,58 \text{ Ton}$$

4.2. DAYA DUKUNG TIANG BOR MENURUT MEYERHOFF (DATA PENGUJIAN SPT)

$$Q_{ult} = 40. N$$

$$N = \text{Nilai SPT} = 50$$

$$Q_{ult} = 40. N = 40. 50 = 2000 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang bor, } P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF}$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$SF = 4$$

$$P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF} = \frac{0,5026548 \cdot 2000}{4} = 251 \text{ Ton}$$

4.3. DAYA DUKUNG TIANG BOR MENURUT BAGEMENT (DATA PENGUJIAN CPT)

$$P_{ijin} = A \cdot \frac{qc}{3} + K \cdot L \cdot \frac{qf}{4} =$$

$$qc = \text{Nilai konus rata-rata} = 0 \text{ Ton/m}^2$$

$$qf = \text{Nilai hambatan lekat rata-rata} = 0 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$K = \text{Keliling penampang tiang bor} = \pi \cdot ds = \pi \cdot 0,8 = 2,5132741 \text{ m}$$

$$L = \text{Panjang tiang bor} = 25 \text{ m}$$

$$P_{ijin} = 0 \text{ Ton}$$

Daya dukung ijin tiang bor terkecil = 251 Ton

Diambil daya dukung ijin tiang, $P_{ijin} = 200 \text{ Ton}$

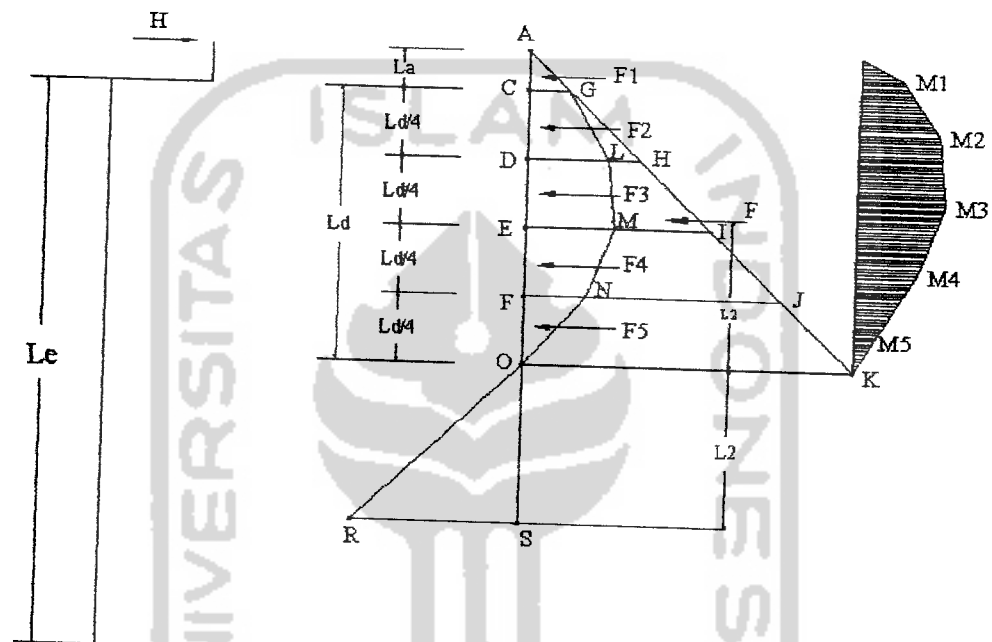
5. DAYA DUKUNG LATERAL IJIN TIANG BOR

$$L_a = 1,5 \text{ m}$$

$$B_y = 24 \text{ m}$$

$$y = 1,76 \text{ m}$$

$$\Phi = 40 \text{ derajat}$$



Gambar 5.28 BMD tiang pondasi bor pilar 1

$$\text{Panjang efektif tiang bor, } l_e = 25 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Jepitan tiang, } L_d = 1/3 \cdot l_e = 8,333 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien tekanan tanah pasih, } K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{40}{2} \right) = 4,599$$

Diagram Tekanan Tanah Pasif efektif :

Tabel 5.66 Perhitungan tekanan tanah pasif pada tiang bor pilar 1

Bagian	KEDALAMAN H (m)	H.g.Kp (Ton/m ²)	Bagian	Tekanan (Ton/m ²)
OK	La + Ld = 9,833333333	79,59180123	O	0
FJ	La + 3/4.Ld = 7,75	62,72913147	FN=1/4xFJ	15,68228287
EI	La + 1/2.Ld = 5,666666667	45,86646172	EM=1/2xEI	22,93323086
DH	La + 1/4.Ld = 3,583333333	29,00379197	DL=3/4xDH	21,75284398
CG	La = 1,5	12,14112222	CG	12,14112222

Tabel 5.67 Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah

Kode	Teg-1 (Ton/m ²)	Teg-2 (Ton/m ²)	Lebar (m)	Besar gaya (Ton)	Lengan thd. O (m)	Momen (Ton-m)
F1	0	15,68228287	1,5	117,6171215	8,8333	1038,95124
F2	15,68228287	22,93323086	2,08333	402,2449347	7,291667	2933,035982
F3	22,93323086	21,75284398	2,08333	465,4799463	5,20833	2424,37472
F4	21,75284398	12,14112222	2,08333	353,0621479	3,125	1103,319212
F5	12,14112222	0	2,08333	126,4700231	1,38889	175,6528099
				F = 1464,87417	M =	7675,334

$$L_2 = \frac{M}{F} = \frac{7675,334}{1464,87417} = 4,22 \text{ m}$$

$$\text{Gaya lateral, } \Sigma Ms = 0$$

$$H = \frac{F(2.L_2)}{L_2 + L_d + L_a} = \frac{1464,87417(2.4,22)}{4,22 + 8,333 + 1,5} = 79,578398 \text{ Ton}$$

$$\text{Jumlah baris tiang, } nb = 9 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tiang bor perbaris, } nt = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Angka Aman, } SF = 2$$

$$\text{Daya Dukung ijin lateral satu tiang bor, } H_{ijin} = \frac{H/(nb.nt)}{SF}$$

$$H_{ijin} = \frac{879,578398/(8.3)}{2} = 10 \text{ Ton}$$

6. MOMEN MAKSIMUM AKIBAT GAYA LATERAL

6.1. PERHITUNGAN DENGAN CARA BENDING MOMENT DIAGRAM (BMD)

Tabel 5.68 Perhitungan bending moment diagram pada tiang bor pilar 1

Lengan yh (m)	Momen Mh = H . Yh (Ton-m)	Lengan yf (m)	Momen Akibat Gaya F (Ton-m)				
			F1	F2	F3	F4	F5
1	879,7583983	0,5	117,6171215	402,2449347	465,4799463	353,0621479	126,47002
2,0416667	1796,173397	2,04167	58,80856076	240,1349564	201,1224673		
4,125	3629,003393	4,125	485,1706262	821,250075	232,7399731		
6,2083333	5461,83339	6,20833	730,2062961	1659,260356	950,3548903	176,531074	
8,2916667	7294,663386	8,29167	975,2419659	2497,270636	1920,104778	720,8352187	63,235012
10,375	9127,493383	10,375	1220,277636	3335,280917	2889,854666	1456,38136	258,20963
12,458333	10960,32338	12,45833	1465,313306	4173,291197	3859,604554	2191,927502	521,68885

Kode	BMD H.yh-Σ(Fi.yfi) (Ton-m)
M1	820,9498376
M2	1354,915973
M3	2089,842719
M4	1945,480774
M5	1117,975775
M6	-32,51082698
M7	-1251,502025

Momen maksimum, $M_{max} = 2089,8427$ Ton-m

Jumlah Baris tiang, $nb = 9$ buah

Jumlah tiang bor perbaris, $nt = 5$ buah

Angka aman, $SF = 2$

Momen maksimum yang diijinkan untuk satu tiang bor akibat gaya lateral :

$$M_{max\ ijin} = \frac{M_{max}/(nb.nt)}{SF} = \frac{2089,9498/(9.5)}{2} = 23,22 \text{ Ton - m}$$

7. KONTROL GAYA PADA TIANG BOR TERHADAP DAYA DUKUNG

IJIN

7.1. TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN AKSIAL

Tabel 5.69 Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin aksial tiang bor pilar 1

KOMBINASI PEMBEBANAN	Pmax (Ton)	Pijin (Ton)	Keterangan
Kombinasi - I : 100 %	192,8820304	200	AMAN
Kombinasi - II : 125 %	122,634738	250	AMAN
Kombinasi - III : 140 %	207,325934	280	AMAN
Kombinasi - VI : 150 %	144,5555946	300	AMAN

7.2. TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN LATERAL

Tabel 5.70 Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin lateral tiang bor pilar 1

KOMBINASI PEMBEBANAN	Hmax (Ton)	H ijin (Ton)	Keterangan
Kombinasi - I : 100%	0	10	AMAN
Kombinasi - II : 125%	8,358	12,5	AMAN
Kombinasi - III : 140%	9,102	14	AMAN
Kombinasi - IV : 150%	15	15	AMAN

8. PEMBESIAN BORE PILE

8.1. Tulangan Aksial Tekan Lentur

Beban maksimum pada *bore pile* :

$$P_{max} = P_{ijin} = 200 \text{ Ton}$$

$$M_{max} = 23,22047465 \text{ Ton-m}$$

$$\text{Faktor beban ultimit} = 1,5$$

$$\text{Beban Ultimit : } P_u = 1,5 \cdot 200 = 3000000 \text{ N}$$

$$M_u = 1,5 \cdot 23,2204 = 348307119,8 \text{ Nmm}$$

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

$$D = 800 \text{ mm}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \pi \cdot 800^2 = 502654,82 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\Phi \cdot P_n}{(f'c \cdot A_g)} = \frac{3000000}{(25 \cdot 502654,82)} = 0,2387$$

$$\frac{\Phi \cdot M_n}{(f'c \cdot A_g \cdot D)} = \frac{348307119,8}{(25 \cdot 502654,82 \cdot 800)} = 0,034647$$

Plot nilai $\frac{\Phi \cdot P_n}{(f'c \cdot A_g)}$ dan $\frac{\Phi \cdot M_n}{(f'c \cdot A_g \cdot D)}$ ke dalam diagram interaksi kolom lingkaran diperoleh Rasio tulangan, $\rho = 0,7\%$

Luas tulangan yang diperlukan, $A_s = \rho \cdot A_g = 0,007 \cdot 502654,82 = 3519 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan $\emptyset 19$

$$A_{1\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s}{A_{1\phi}} = \frac{3519}{283,53} = 12 \longrightarrow \text{Digunakan tulangan } 12D19$$

8.2 Tulangan Geser

Perhitungan geser *bore pile* didasarkan atas momen dan gaya aksial untuk kombinasi beban yang menentukan dalam perhitungan tulangan aksial tekan dan lentur.

$$\text{Panjang bore pile, } L = 25000 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter bore pile, } D = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan bore pile, } A_s = 3519 \text{ mm}^2$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \phi = 0,75$$

$$P_u = 3000000 \text{ N}$$

$$M_u = 348307119,8 \text{ Nmm}$$

$$F'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$V_u = \frac{M_u}{L} = \frac{348307119,8}{25000} = 13932,28 \text{ N}$$

$$\text{Tebal efektif, } d = 750 \text{ mm}$$

$$V_{c \max} = 0,2 \cdot F'_c \cdot D \cdot d = 0,2 \cdot 25 \cdot 800 \cdot 750 = 3000000 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_{c \max} = 0,75 \cdot 3000000 = 2250000 \text{ N} > V_u \text{ (Ok)}$$

$$\beta_1 = 1,4 - \frac{d}{2000} = 1,4 - \frac{750}{2000} = 1,025$$

$$\beta_2 = 1 + \frac{P_u}{14 \cdot f'_c \cdot A_g} = 1 + \frac{3000000}{14 \cdot 25 \cdot 502654,8246} = 1,017$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot D \cdot d \cdot \sqrt{\frac{A_s \cdot F'_c}{b \cdot d}} = 1,025 \cdot 1,017 \cdot 1 \cdot 800 \cdot 750 \cdot \sqrt{\frac{3519 \cdot 25}{800 \cdot 750}} =$$

$$V_{uc} = 239497 \text{ N}$$

$$V_c = V_{uc} + 0,6 \cdot D \cdot d = 239497 + 0,6 \cdot 800 \cdot 750 = 599497 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 599497 = 449622,75 \text{ N} > V_u \text{ (hanya perlu tul geser min)}$$

Geser pada beton sepenuhnya dipikul oleh tulangan geser, sehingga :

$$V_s = V_u = 13932,28 \text{ N}$$

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berpenampang = 2 Diameter = 13

$$A_{l\phi} = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_{l\phi} \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \cdot 390 \cdot 750}{13932,28} = \\ &= 5573 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 – 150

9. PEMBESIAN PILE CAP

9.1. MOMEN RENCANA

Tabel 5.71 Gaya axial maks. pada pile cap pilar 1

KOMBINASI PEMBEBANAN	FAKTOR KEKUATAN	Pmax (Ton)	Pmax rencana
Kombinasi - I :	100 %	192,8820304	192,8820304
Kombinasi - II :	125 %	122,634738	98,10779044
Kombinasi - III :	140 %	207,325934	148,0899529
Kombinasi - VI :	150 %	144,5555946	96,37039641

Gaya reaksi maksimum (rencana) tiang bor, $P_{max} = 192,8820304$ Ton

Jumlah baris tiang bor = 9 buah

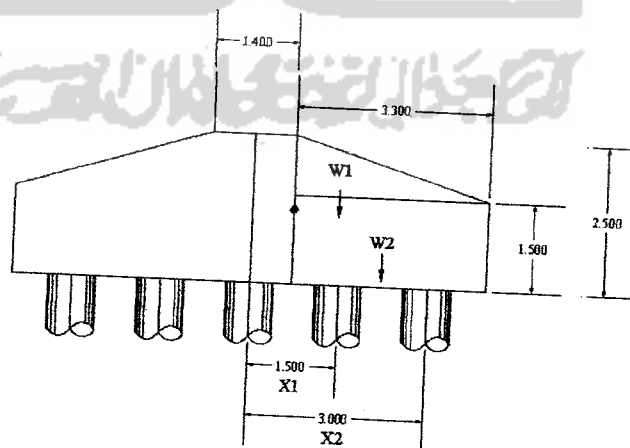
Jarak pusat tiang bor ke tepi luar pile cap, $X_p = \left(\frac{(Bx - (nt - 1).xt)}{2} \right)$

$$X_p = \left(\frac{(8 - (5 - 1)1,5)}{2} \right) = 1 \text{ m}$$

Lengan tiang bor terhadap sisi luar pier, $X = 1,5 + 3 = 4,5$ m

$$M_p = nb \cdot \Sigma P_{max} \cdot X =$$

$$M_p = 9 \cdot (192,8820304 \cdot 4,5) = 7811,722 \text{ Ton-m}$$



Gambar 5.29 Lengan tiang bor terhadap sisi luar pier 1

Tabel 5.72 Berat dan momen pada pile cap pilar 1

No	Parameter Berat Bagian Beton				Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
	b	h	Lebar	Bj			
W1	3,3	1	24	2,5	198	1,1	217,8
W2	3,3	1,5	24	2,5	297	1,65	490,05
				Wbs = (Ton)	495	Mbs = (T-m)	707,85

Momen rencana Pile Cap ;

$$Mr = Mp - Mbs = 7811,722 - 707,85 = 7103,872233 \text{ Ton-m}$$

Untuk lebar pile cap = 24 m

$$Mr = 295,9946764 \text{ Ton-m/m}$$

Gaya geser rencana Pile Cap :

$$Vr = nb \cdot P_{max} - Wt = 9.192,8820304 - 495 = 1240,938274 \text{ Ton}$$

Untuk lebar pile cap = 24 m

$$Vr = 51,7057614 \text{ Ton/m}$$

9.2. PEMBESIAN PILE CAP

INPUT DATA MATERIAL :

Mutu beton	= K - 300
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 Mpa
Tegangan leleh baja, f_y	= 390 Mpa
Modulus elastis baja (E_s)	= 200000 Mpa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

Faktor beban ultimit = 1,5

Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ = 0,8

Faktor reduksi kekuatan geser ϕ = 0,6

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) =$$

$$= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,028069$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) =$$

$$= 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390}{0,85 \cdot 25} \right) = 6,6241 \text{ Mpa}$$

Tulangan Lentur

Momen rencana = 295,9946764 Ton - m

Momen ultimit rencana, M_u = 1,5 . 295,9946764 = 4439920145 Nmm

Tebal efektif pelat, d = 2400 mm

Ditinjau selebar 1 m, b = 1000 mm

$$Mn = \frac{M}{\phi} = \frac{4439920145}{0,8} = 5549900182 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{5549900182}{1000 \cdot 2400^2} = 0,96352 \text{ Mpa} < R_{\max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,96352}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,002529279 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

Ternyata : $\rho_{\min} = 0,00090 < \rho = 0,002529279 < \rho_{\max} = 0,02096775$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,002529279$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,002529279 \times 1000 \times 2400 = 6070,270609 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 32

$$A_{1\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 32^2 = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_{1\phi} \cdot 1000}{A_s} = \frac{804,25 \cdot 1000}{6070,270609} = \\ &= 132,49 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan **D32 – 130**

Tulangan Geser

$$\text{Gaya geser rencana} = 51,70576141 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya geser ultimit rencana, } V_u = 1,5 \cdot 51,70576141 = 775586,4212 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f'c}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 2400 = 2000000 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 2000000 = 1200000 \text{ N} > V_u \text{ (hanya perlu tul geser min)}$$

Geser pada beton sepenuhnya dipikul oleh tulangan geser, sehingga :

$$V_s = V_u = 775586,4212 \text{ N}$$

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berpenampang = 2 Diameter = 16

$$A_1 \phi = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 502,65 \text{ mm}^2$$

Untuk jarak Aras Y diambil 400 mm → digunakan **D16 – 400**

Jarak tulangan geser yang diperlukan arah X :

$$S = \frac{A_1 \phi \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{502,65 \cdot 390 \cdot 2400}{775586,4212} = 606,61 \text{ mm} \rightarrow \text{digunakan } \mathbf{D16 - 500}$$

00

Digunakan tulangan **D16 – 500 mm**

400 mm

5.8.2 PONDASI PILAR 2

1. INPUT DATA PONDASI TIANG BOR

Jumlah baris, nb	= 11
Jumlah tiang bor perbaris, nt	= 5
Jarak antara baris, xb	= 2,0625 m
Jarak antara bore pile dalam satu baris, xt	= 1,5 m
Diamter tiang bor, ds	= 0,8 m
Panjang efektif tiang bor, Le	= 25 m
Mutu beton, K	= 350 Mpa
Kuat tekan beton, $f'c$	= 25 Mpa
Tegangan leleh baja tulangan, fy	= 390 Mpa
Ukuran Pile Cap :	
Bx	= 8 m
By	= 22,625 m

2. GAYA YANG DITERIMA TIANG BOR

Jumlah bor - pile, $n = 55$ buah

$X_{max} = (m)$	3		
$X_1 =$	3	$X_1^2 =$	198
$X_2 =$	1,5	$X_2^2 =$	49,5
$X_3 =$	tak ada	$X_3^2 =$	tak ada
$X_4 =$	tak ada	$X_4^2 =$	tak ada
		$\sum X^2 =$	247,5 m ²

Ymax = (m)	10,3125		
Y1 =	2,0625	Y1 ² =	42,53906
Y2 =	4,125	Y2 ² =	170,1563
Y3 =	6,1875	Y3 ² =	382,8516
Y4 =	8,25	Y4 ² =	680,625
Y5 =	10,3125		1063,4766
		$\Sigma Y^2 =$	2339,648 m ²

2.1. GAYA AKSIAL PADA TIANG BOR

Gaya aksial yang diterima satu tiang bor :

$$P = \frac{\Sigma v}{n} + \frac{Mx.X}{\Sigma X^2} + \frac{My.Y}{\Sigma Y^2} =$$

Tabel 5.73 Gaya aksial yang diterima satu tiang bor

Kombinasi	P	Mx	My	Pmax
Kombinasi 1 (M+(H+K)+TT)	8518,23	455,16	863,82	164,20147
Kombinasi 2 (M+F+Ah+TT)	5423,427	1689,72	890,351	123,01363
Kombinasi 3 (M+(H+K)+TT+Rm+F+A)	8591,23	1710,19	986,25	181,28087
Kombinasi 4 (M+Gb+TT)	5463,23	670,1	13573,49	167,28193

note : Gaya Aksial dan Momen diatas diambil dar perhitunga SAP 2000

2.2. GAYA LATERAL PADA TIANG BOR

Beban Mati Struktur Atas

Tabel 5.74 Perhitungan beban mati pada struktur atas pilar 2

No	Beban Mati	Parameter Volume			n	Berat Sat (ton/m ³)	Beban Ton
		b(m)	t(m)	L (m)			
1	Aspal	7	0,1	80	2	2,2	246,4
2	Air hujan	20	0,1	80	1	1	160
3	Slab	20	0,25	80	1	2,5	1000
4	Trotoar	1,75	0,2	80	2	2,2	123,2
5	Sandaran	0,15	1,125	80	2	2,5	67,5
6	Balok Induk	0,7	1	80	3	2,5	420
7	Balok Anak	0,4	0,8	80	6	2,5	384
8	Median	2,5	0,2	80	1	2,5	100
9	Balok Lintang	0,4	0,8	15,1	16	2,5	193,28
Total baban mati =							2694,38

Beban Mati Struktur Bawah

Tabel 5.75 Perhitungan beban mati pada struktur bawah pilar 2

KET	PARAMETER			shape	BJ (Ton/m ³)	JUMLAH	VOLUME (m ³)	BERAT (Ton)
	b	h	L					
KOLOM	1,4	1,4	11	1	2,5	3	21,56	161,7
PILE CAP								
1	8	1,5	22,625	1	2,5	1	271,5	678,75
2	1,4	1	22,625	1	2,5	1	31,675	79,1875
3	3,3	1	22,625	0,5	2,5	2	37,33125	186,65625
								1106,2938

BEBAN HIDUP

Beban Merata q

Lebar prkerasan 1 jalur, $b_1 = 7 \text{ m}$

untuk panjang bentang, $L = 80 \text{ m}$

Beban merata, $q = 1,1 \cdot \left(1 + \frac{30}{L}\right) = 1,1 \cdot \left(1 + \frac{30}{80}\right) = 1,5125 \text{ Ton/m}$

Beban hidup merata per meter lebar jembatan = $\frac{q}{2,75} \text{ ton/m}^2$

Beban hidup pada trotoar :

$q' = 0,5 \text{ Ton/m}^2$

$P' = 2 \text{ Ton/m}$

Beban hidup merata q pada trotoar = $(P' + b_2 \cdot q') \times 2 \times L =$

= $(2 + 1,75 \cdot 0,5) \times 2 \times 80 = 460 \text{ Ton}$

Beban hidup merata q pada jalan =

$$= \left(\left(\frac{q}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \times L \right) + \left(\frac{q}{2,75} \times \left(\frac{\text{Lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times L \right) \right) \times 2$$

=

$$= \left(\left(\frac{1,5125}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \times 80 \right) + \left(\frac{1,5125}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 80 \right) \right) \times 2 =$$

= 517 Ton

Beban hidup pada *abutment* akibat beban merata $q = 460 + 517 = 977$ Ton

Beban Garis P

Besar muatan garis, $P = 12$ Ton

$$\text{Beban hidup garis per meter lebar jembatan} = \frac{P}{2,75} = \frac{12}{2,75} = 4,364 \text{ Ton/m}$$

Beban hidup pada *abutment* akibat beban garis :

$$= \frac{P}{2,75} \times 5,5 \times 100\% + \frac{P}{2,75} \times \left(\frac{\text{lebar perkerasan} - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 2 =$$

$$= \frac{12}{2,75} \times 5,5 \times 100\% + \frac{12}{2,75} \times \left(\frac{7 - 5,5}{2} \right) \times 50\% \times 2 = 54,55 \text{ Ton}$$

BEBAN GEMPA (G_b)

Diperkirakan waktu getar alami struktur jembatan rangka beton lengkung,

$$T = 0,1 - 1 \text{ detik.}$$

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk wilayah 3 diperoleh :

$$\text{Koefisien gempa dasar, } C_g = 0,18$$

$$\text{Faktor keutamaan struktur, } I = 1,2$$

Faktor jenis struktur, $K = 1$

Beban gempa, $G_b = C_g \cdot I \cdot S \cdot W_t = 0,18 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot W_t = 0,216 \cdot W_t$

Distribusi gaya gempa arah memanjang jembatan :

Tabel 5.76 Perhitungan gaya gempa pada pilar 2

No	Beban Mati Akibat	Wt (Ton)	Beban Gempa	$C_x I_x S_x W_t$ (Ton)
1	P struktur atas	2694,38	Gbp	581,98608
2	P struktur bawah	1106,294	Gba	238,95945
			Gb =	820,94553

BEBAN REM DAN TRAKSI (Rm)

Gaya rem memanjang jembatan diperhitungkan sebesar 5 % beban D (beban hidup tanpa koefisien kejut) :

$$R_m = 5 \% \times \text{Beban hidup D tanpa koefisien kejut}$$

$$\text{Beban hidup pada abutment akibat beban merata } q = 977 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban hidup pada abutment akibat beban garis} = 54,55 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban } D \text{ tanpa koefisien kejut} = 977 + 54,55 = 1031,55 \text{ Ton}$$

$$R_m = 5 \% \times 1031,55 = 51,57 \text{ Ton}$$

BEBAN GESEKAN PADA TUMPUAN (F)

$$\text{Koefisien gesek pada tumpuan yang berupa elastomer} = 0,18$$

Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau terhadap beban mati saja.

$$\text{Beban mati struktur atas} = 2694,38 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban gesek} = \text{Koefisien gesek} \times \text{Beban mati} =$$

$$F = 0,18 \cdot 2694,38 = 484,988 \text{ Ton}$$

BEBAN ALIRAN AIR DAN HANYUTAN

Kecepatan aliran diambil, $V_a = 3$ m/det

Koefisien aliran, $k = 1,4$

Tekanan aliran, $P = 0,5 \cdot cd \cdot Va^2 = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3^2 = 6,3$ ton/m²

Luas bidang kontak aliran = 1,96 m²

Gaya akibat aliran air, $Ah = 6,3 \cdot 1,96 = 12,35$ Ton

KOMBINASI PEMBEBANAN

Tabel 5.77 Kombinasi pembebanan I gaya horizontal

KOMBINASI I

KOMBINASI BEBAN		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
H+K	Beban hidup + kejut	
TT	Gaya horizontal akibat tekanan tanah	
		0

Tabel 5.78 Kombinasi pembebanan II gaya horizontal

KOMBINASI II

KOMBINASI BEBAN		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
F	Beban gesekan pada tumpuan	484,988
Ah	Beban aliran dan hanyutan	12,35
TT	beban akibat tekanan tanah	
		497,336

Tabel 5.79 Kombinasi pembebanan III gaya horizontal

KOMBINASI III

		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
H+K	Beban hidup + kejut	
Ta	Beban akibat tekanan tanah	
Rm	Beban Rem	51,57
F	Beban gesekan pada tumpuan	484,988
A	Beban angin	
		536,558

Tabel 5.80 Kombinasi pembebanan IV gaya horizontal

KOMBINASI IV

		GAYA H (Ton)
M	Beban Mati struktur atas	
	Beban Mati struktur bawah	
Gb	Beban Gempa	820,945
Ta	beban akibat tekanan tanah	
		820,945

Gaya aksial yang diderita satu tiang bor, $Ph = \frac{\Sigma H}{n}$

Tabel 5.81 Gaya lateral yang diterima satu tiang bor pada pilar 2

KOMBINASI PEMBEBANAN	ΣH (Ton)	Phmax (m)
Kombinasi - I :	0	0
Kombinasi - II :	497,336	9,0425
Kombinasi - III :	536,558	9,7556
Kombinasi - VI :	820,945	14,92627273

3. DAYA DUKUNG IJIN TIANG BOR BERDASARKAN KEKUATAN BAHAN

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan beton, } f^c &= 25 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan ijin, } f &= 0,33 \cdot f^c = 0,33 \cdot 25 = 825 \text{ Ton/m}^2 \\ \text{Luas tampang tiang bor, } A &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2 \\ \text{Panjang efektif, } L_e &= 25 \text{ m} \\ \text{Berat Tiang, } W &= A \cdot L_e \cdot 2,4 = 0,5026548 \cdot 25 \cdot 2,4 = 30,16 \\ &\text{Ton} \\ \text{Daya dukung ijin, } P_{ijin} &= A \cdot f - W = 0,5026548 \cdot 825 - 30,16 = \\ P_{ijin} &= 384,5 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4. DAYA DUKUNG IJIN TIANG BOR BERDASARKAN KEKUATAN TANAH

4.1. DAYA DUKUNG TIANG MENURUT TERZAGHI (DATA PENGUJIAN LAB)

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot C \cdot N_c + y \cdot D_f \cdot N_q + 0,6 \cdot y \cdot R \cdot N_g$$

$$D_f = \text{Kedalaman tiang bor} = 25 \text{ m}$$

$$R = \text{Jari - jari penampang tiang} = 0,4 \text{ m}$$

Parameter kekuatan tanah di ujung tiang bor (*end bearing*):

$$y = 1,76 \text{ T/m}^3 \quad \Phi = 40^\circ \quad C = 0,06$$

Dari grafik diperoleh nilai faktor daya dukung :

$$N_c = 95,7 \quad N_q = 81,3 \quad N_g = 100,4$$

$$Q_{ult} = 1,3. C. N_c + y. D_f. N_q + 0,6. y. R. N_g$$

$$Q_{ult} = 1,3. 0,06. 95,7 + 1,76. 25. 81,3 + 0,6. 1,76. 0,4. 100,4 = 3627,07$$

Ton/m²

$$\text{Daya dukung ijin tiang bor, } P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF}$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$SF = 2$$

$$P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF} = \frac{0,5026548 \cdot 3627,07}{2} = 911,58 \text{ Ton}$$

4.2. DAYA DUKUNG TIANG BOR MENURUT MEYERHOFF (DATA PENGUJIAN SPT)

$$Q_{ult} = 40. N$$

$$N = \text{Nilai SPT} = 50$$

$$Q_{ult} = 40. N = 40. 50 = 2000 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang bor, } P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF}$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$SF = 4$$

$$P_{ijin} = \frac{A \cdot Q_{ult}}{SF} = \frac{0,5026548 \cdot 2000}{4} = 251 \text{ Ton}$$

4.3. DAYA DUKUNG TIANG BOR MENURUT BAGEMENT (DATA
PENGUJIAN CPT

$$P_{ijin} = A \cdot \frac{qc}{3} + K \cdot L \cdot \frac{qf}{4} =$$

$$qc = \text{Nilai konus rata-rata} = 0 \text{ Ton/m}^2$$

$$qf = \text{Nilai hambatan lekat rata-rata} = 0 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Luas tampang tiang bor, } A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,8^2 = 0,5026548 \text{ m}^2$$

$$K = \text{Keliling penampang tiang bor} = \pi \cdot ds = \pi \cdot 0,8 = 2,5132741 \text{ m}$$

$$L = \text{Panjang tiang bor} = 25 \text{ m}$$

$$P_{ijin} = 0 \text{ Ton}$$

Daya dukung ijin tiang bor terkecil = 251 Ton

Diambil daya dukung ijin tiang, $P_{ijin} = 200 \text{ Ton}$

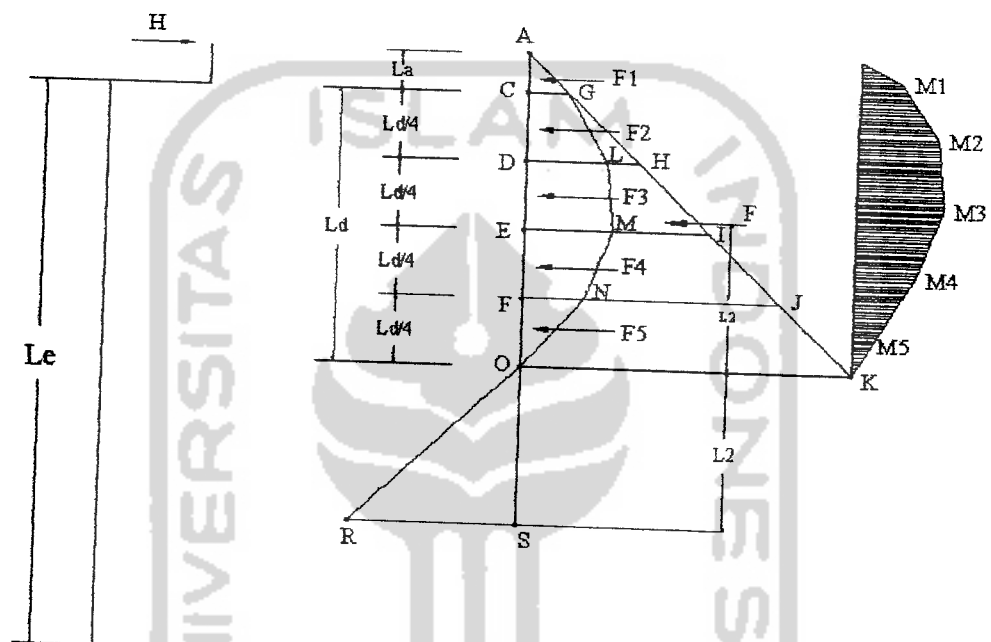
5. DAYA DUKUNG LATERAL IJIN TIANG BOR

$$L_a = 1,5 \text{ m}$$

$$B_y = 22,25 \text{ m}$$

$$y = 1,76 \text{ m}$$

$$\Phi = 40 \text{ derajat}$$



Gambar 5.30 BMD tiang pondasi bor pilar 2

$$\text{Panjang efektif tiang bor, } l_e = 25 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Jepitan tiang, } L_d = 1/3 \cdot l_e = 8,333 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien tekanan tanah pasih, } K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{40}{2} \right) = 4,599$$

Diagram Tekanan Tanah Pasif efektif :

Tabel 5.82 Perhitungan tekanan tanah pasif pada tiang bor pilar 2

Bagian	KEDALAMAN H (m)	H.g.Kp (Ton/m ²)	Bagian	Tekanan (Ton/m ²)
OK	La + Ld = 9,833333333	79,59180123	O	0
FJ	La + 3/4.Ld = 7,75	62,72913147	FN=1/4xFJ	15,68228287
EI	La + 1/2.Ld = 5,666666667	45,86646172	EM=1/2xEI	22,93323086
DH	La + 1/4.Ld = 3,583333333	29,00379197	DL=3/4xDH	21,75284398
CG	La = 1,5	12,14112222	CG	12,14112222

Tabel 5.83 Perhitungan gaya dan momen akibat tekanan tanah

Kode	Teg-1 (Ton/m ²)	Teg-2 (Ton/m ²)	Lebar (m)	Besar gaya (Ton)	Lengan thd. O (m)	Momen (Ton-m)
F1	0	15,68228287	1,5	117,6171215	8,8333	1038,95124
F2	15,68228287	22,93323086	2,08333	402,2449347	7,291667	2933,035982
F3	22,93323086	21,75284398	2,08333	465,4799463	5,20833	2424,37472
F4	21,75284398	12,14112222	2,08333	353,0621479	3,125	1103,319212
F5	12,14112222	0	2,08333	126,4700231	1,38889	175,6528099
			F=	1464,87417	M =	7675,334

$$L_2 = \frac{M}{F} = \frac{7675,334}{1464,87417} = 4,22 \text{ m}$$

$$\text{Gaya lateral, } \Sigma Ms = 0$$

$$H = \frac{F(2.L_2)}{L_2 + L_d + L_a} = \frac{1464,87417(2.4,22)}{4,22 + 8,333 + 1,5} = 879,578398$$

Ton

$$\text{Jumlah baris tiang, } nb = 11 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tiang bor perbaris, } nt = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Angka Aman, } SF = 2$$

$$\text{Daya Dukung ijin lateral satu tiang bor, } H_{ijm} = \frac{H/(nb.nt)}{SF}$$

$$H_{ijm} = \frac{879,578398/(11.5)}{2} = 10 \text{ Ton}$$



6. MOMEN MAKSIMUM AKIBAT GAYA LATERAL

6.1. PERHITUNGAN DENGAN CARA BENDING MOMENT DIAGRAM

(BMD)

Tabel 5.84 Perhitungan bending moment diagram pada tiang bor pilar 2

Lengan yh (m)	Momen Mh = H . Yh (Ton-m)	Lengan yf (m)	Momen Akibat Gaya F (Ton-m)				
			F1	F2	F3	F4	F5
1	879,7583983	0,5	117,6171215	402,2449347	465,4799463	353,0621479	126,47002
2,0416667	1796,173397	2,04167	58,80856076				
4,125	3629,003393	4,125	240,1349564	201,1224673			
6,2083333	5461,83339	6,20833	485,1706262	821,250075	232,7399731		
8,2916667	7294,663386	8,291667	730,2062961	1659,260356	950,3548903	176,531074	
10,375	9127,493383	10,375	975,2419659	2497,270636	1920,104778	720,8352187	63,235012
12,458333	10960,32338	12,45833	1220,277636	3335,280917	2889,854666	1456,38136	258,20963
			1465,313306	4173,291197	3859,604554	2191,927502	521,68885

Kode	BMD H.yh-Σ(Fi.yfi) (Ton-m)
M1	820,9498376
M2	1354,915973
M3	2089,842719
M4	1945,480774
M5	1117,975775
M6	-32,51082698
M7	-1251,502025

Momen maksimum, $M_{max} = 2089,8427$ Ton-m

Jumlah Baris tiang, $nb = 11$ buah

Jumlah tiang bor perbaris, $nt = 5$ buah

Angka aman, $SF = 2$

Momen maksimum yang diijinkan untuk satu tiang bor akibat gaya lateral :

$$M_{max\ ijin} = \frac{M_{max}/(nb.nt)}{SF} = \frac{2089,9498/(11.5)}{2} = 18,998\ 57017 \text{ Ton - m}$$

7. KONTROL GAYA PADA TIANG BOR TERHADAP DAYA DUKUNG

IJIN

7.1. TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN AKSIAL

Tabel 5.85 Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin lateral tiang bor pilar 2

KOMBINASI PEMBEBANAN	Pmax (Ton)	Pijin (Ton)	Keterangan
Kombinasi - I : 100 %	192,8820304	200	AMAN
Kombinasi - II : 125 %	122,634738	250	AMAN
Kombinasi - III : 140 %	207,325934	280	AMAN
Kombinasi - VI : 150 %	144,5555946	300	AMAN

7.2. TERHADAP DAYA DUKUNG IJIN LATERAL

Tabel 5.86 Kontrol gaya terhadap daya dukung ijin aksial tiang bor pilar 2

KOMBINASI PEMBEBANAN	Hmax (Ton)	H ijin (Ton)	Keterangan
Kombinasi - I : 100%	0	10	AMAN
Kombinasi - II : 125%	9,0425	12	AMAN
Kombinasi - III : 140%	9,7556	14	AMAN
Kombinasi - IV : 150%	14,92627273	15	AMAN

8. PEMBESIAN BORE PILE

8.1. Tulangan Aksial Tekan Lentur

Beban maksimum pada bore pile :

$$P_{max} = P_{ijin} = 200 \text{ Ton}$$

$$M_{max} = 18,99857017 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$\text{Faktor beban ultimit} = 1,5$$

$$\text{Beban Ultimit : } Pu = 1,5 \cdot 200 = 3000000 \text{ N}$$

$$Mu = 1,5 \cdot 12,647735 = 18,9716025 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$f'c = 25 \text{ Mpa}$$

$$D = 800 \text{ mm}$$

$$Ag = \frac{1}{4} \pi \cdot 800^2 = 502654,82 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\Phi \cdot Pn}{(f'c \cdot Ag)} = \frac{3000000}{(25 \cdot 502654,82)} = 0,2387$$

$$\frac{\Phi \cdot Mn}{(f'c \cdot Ag \cdot D)} = \frac{348307119,8}{(25 \cdot 502654,82 \cdot 800)} = 0,02834$$

Plot nilai $\frac{\Phi \cdot Pn}{(f'c \cdot Ag)}$ dan $\frac{\Phi \cdot Mn}{(f'c \cdot Ag \cdot D)}$ ke dalam diagram interaksi kolom lingkaran

diperoleh Rasio tulangan, $\rho = 0,7\%$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan, } As = \rho \cdot Ag = 0,007 \cdot 502654,82 = 3519 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $\emptyset 19$

$$A_{1\phi} = \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{As}{A_{1\phi}} = \frac{3519}{283,53} = 12 \longrightarrow \text{Digunakan tulangan } 12D19$$

8.2 Tulangan Geser

Perhitungan geser *bore pile* didasarkan atas momen dan gaya aksial untuk kombinasi beban yang menentukan dalam perhitungan tulangan aksial tekan dan lentur.

$$\text{Panjang bore pile, } L = 25000 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter bore pile, } D = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan bore pile, } A_s = 3519 \text{ mm}^2$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \phi = 0,75$$

$$P_u = 3000000 \text{ N}$$

$$M_u = 284978552,6 \text{ Nmm}$$

$$F'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$V_u = \frac{M_u}{L} = \frac{284978552,6}{25000} = 11400 \text{ N}$$

$$\text{Tebal efektif, } d = 750 \text{ mm}$$

$$V_{c \max} = 0,2 \cdot F'_c \cdot D \cdot d = 0,2 \cdot 25 \cdot 800 \cdot 750 = 3000000 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_{c \max} = 0,75 \cdot 3000000 = 2250000 \text{ N} > V_u \text{ (Ok)}$$

$$\beta_1 = 1,4 - \frac{d}{2000} = 1,4 - \frac{750}{2000} = 1,025$$

$$\beta_2 = 1 + \frac{P_u}{14 \cdot f'_c \cdot A_g} = 1 + \frac{3000000}{14 \cdot 25 \cdot 502654,8246} = 1,017$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot D \cdot d \cdot \sqrt{\frac{A_s \cdot F'_c}{b \cdot d}} = 1,025 \cdot 1,017 \cdot 1 \cdot 800 \cdot 750 \cdot \sqrt{\frac{3519 \cdot 25}{800 \cdot 750}} =$$

$$V_{uc} = 239497 \text{ N}$$

$$V_c = V_{uc} + 0,6 \cdot D \cdot d = 239497 + 0,6 \cdot 800 \cdot 750 = 599497 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 599497 = 449622,75 \text{ N} > V_u \text{ (hanya perlu tul geser min)}$$

Geser pada beton sepenuhnya dipikul oleh tulangan geser, sehingga :

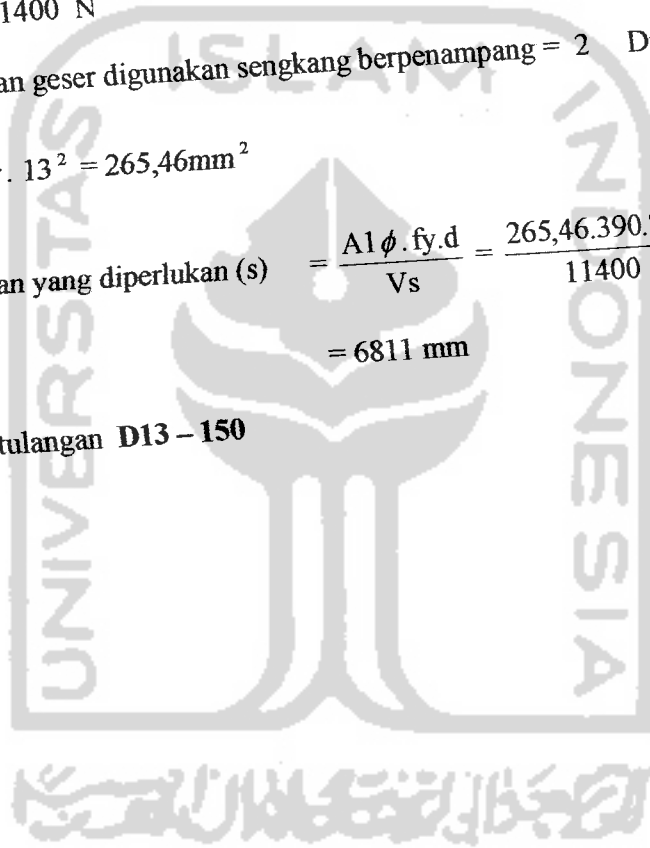
$$V_s = V_u = 11400 \text{ N}$$

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berpenampang = 2 Diameter = 13

$$A_1 \phi = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} &= \frac{A_1 \phi \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \cdot 390 \cdot 750}{11400} = \\ &= 6811 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D13 – 150



9. PEMBESIAN PILE CAP

9.1. MOMEN RENCANA

Tabel 5.87 Gaya axial maks. pada pile cap pilar 2

KOMBINASI PEMBEBANAN	FAKTOR KEKUATAN	P _{MAX} (Ton)	P _{Max} rencana
Kombinasi - I :	100	164,2014711	164,2014711
Kombinasi - II :	125	123,0136303	98,41090424
Kombinasi - III :	140	181,280865	129,4863322
Kombinasi - VI :	150	167,2819339	111,5212893

Gaya reaksi maksimum (rencana) tiang bor, $P_{max} = 164,2014711$ Ton

Jumlah baris tiang bor = 11 buah

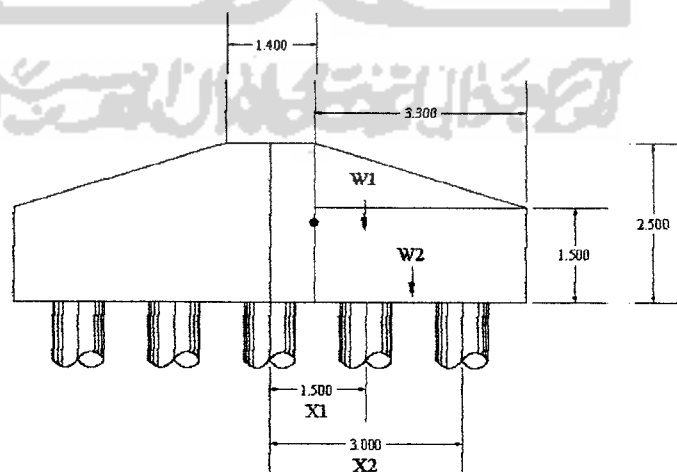
Jarak pusat tiang bor ke tepi luar pile cap, $X_p = \left(\frac{(Bx - (nt - 1).xt)}{2} \right)$

$$X_p = \left(\frac{(8 - (5 - 1).1,5)}{2} \right) = 1 \text{ m}$$

Lengan tiang bor terhadap sisi luar pier, $X = 1,5 + 3 = 4,5$ m

$$M_p = nb. \Sigma P_{max}. X =$$

$$M_p = 11. (164,2014711. 4,5) = 8127,972818 \text{ Ton-m}$$



Gambar 5.31 Lengan tiang bor terhadap sisi luar pier 2

Tabel 5.88 Berat dan momen pada pile cap pilar 2

No	Parameter Berat Bagian Beton				Berat (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton-m)
	b	h	Lebar	Bj			
W1	3,3	1	22,625	2,5	186,65625	1,1	205,32188
W2	3,3	1,5	22,625	2,5	279,984375	1,65	461,97422
				Wbs = (Ton)	466,640625	Mbs = (T-m)	667,2961

Momen rencana Pile Cap :

$$Mr = Mp - Mbs = 8127,972818 - 667,2961 = 7460,676724 \text{ Ton-m}$$

Untuk lebar pile cap = 22,625 m

$$Mr = 329,7536674 \text{ Ton - m/m}$$

Gaya geser rencana Pile Cap :

$$Vr = nb \cdot P_{max} - Wt = 11.164,2014711 - 466,64 = 1339,575557 \text{ Ton}$$

Untuk lebar pile cap = 22,625 m

$$Vr = 59,20775942 \text{ Ton / m}$$

9.2. PEMBESIAN PILE CAP

INPUT DATA MATERIAL :

Mutu beton	= K - 300
Kuat tekan beton, f_c'	= 25 Mpa
Tegangan leleh baja, f_y	= 390 Mpa
Modulus elastis baja (E_s)	= 200000 Mpa

Faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

Faktor beban ultimit = 1,5

Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ = 0,8

Faktor reduksi kekuatan geser ϕ = 0,6

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) =$$

$$= 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,028069$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) =$$

$$= 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1/2 \cdot 0,75 \cdot 0,028069 \cdot 390}{0,85 \cdot 25} \right) = 6,6241 \text{ Mpa}$$

Tulangan Lentur

Momen rencana = 329,7536674 Ton - m

Momen ultimit rencana, M_u = 1,5 . 329,7536674 = 4946305011 Nmm

Tebal efektif pelat, d = 2400 mm

Ditinjau selebar 1 m, b = 1000 mm

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{4946305011}{0,8} = 6182881263 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{6182881263}{1000.2400^2} = 1,07341688 \text{ Mpa} < R_{\max} \text{ (Ok)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,07341688}{0,85 \cdot 25}} \right) = 0,00282562 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,028069 = 0,021052$$

$$\rho_{\min} = 25 \% \cdot \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

$$\text{Ternyata : } \rho_{\min} = 0,00090 < \rho = 0,00282562 < \rho_{\max} = 0,02096775$$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,00282562$

Luas tulangan pokok :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00282562 \times 1000 \times 2400 = 6781,481 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø 32

$$A_1 \phi = \frac{1}{4} \pi \cdot 32^2 = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan (s)} = \frac{A_1 \phi \cdot 1000}{A_s} = \frac{804,25 \cdot 1000}{6781,481} =$$

$$= 118,534 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan **D32 – 110**

Tulangan Geser

Gaya geser rencana = 59,20775942

Ton

Gaya geser ultimit rencana, $V_u = 1,5 \cdot 59,20775942 = 888116,3913$ N

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{f'c}) \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot (\sqrt{25}) \cdot 1000 \cdot 2400 = 2000000 \text{ N}$$

$\Phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 2000000 = 1200000 \text{ N} > V_u$ (hanya perlu tul geser min)

Geser pada beton sepenuhnya dipikul oleh tulangan geser, sehingga :

$$V_s = V_u = 888116,3913 \text{ N}$$

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berpenampang = 2 Diameter = 16

$$A_1 \phi = 2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 = 502,65 \text{ mm}^2$$

Untuk jarak Arah Y diambil 400 mm → digunakan **D16 – 400**

Jarak tulangan geser yang diperlukan arah X :

$$S = \frac{A_1 \phi \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{502,65 \cdot 390 \cdot 2400}{888116,3913} = 529,75 \text{ mm} \rightarrow \text{digunakan } \mathbf{D16 - 500}$$

00

Digunakan tulangan **D16 – 500 mm**

400 mm

BAB VI

PEMBAHASAN

6.1 Umum

Dalam perencanaan/disain Jembatan Kretek II ini menggunakan struktur beton bertulang, spesifikasi bahan yang dipakai pada penulisan Tugas Akhir ini, untuk beton dipakai $K - 300$ atau $f'c = 24,9$ Mpa, untuk baja tulangan dipakai mutu baja tulangan $U - 39$ atau $f_y = 390$ Mpa untuk baja tulangan ulir atau *deform* dan $U - 24$ atau $f_y = 240$ Mpa untuk baja tulangan polos.

Pada penulisan Tugas Akhir ini digunakan program *SAP 2000* untuk mencari momen, geser dan aksial yang terjadi pada struktur. Hasil-hasil tersebut difaktorkan yang digunakan sebagai perhitungan perencanaan.

6.2 Balok

Pada perencanaan balok Jembatan Kretek II dibagi menjadi 2 bagian yaitu struktur balok lengkung dan balok induk. Balok direncanakan menggunakan tulangan rangkap, agar memenuhi persyaratan *SK - SNI* bahwa untuk struktur tahan gempa harus direncanakan tulangan desak $\geq 0,5$ tulangan tarik.

6.2.1 Balok Induk

Perencanaan dimensi balok induk berdasarkan momen dan gaya geser terbesar pada gelagar. Dimana momen terbesar pada elemen 550 dan 660 sehingga diperoleh dimensi yang seragam pada sepanjang bentang. Berdasarkan perhitungan pada bab 5 diperoleh dimensi yang aman terhadap momen dan geser adalah balok dengan dimensi (1000 x 700) mm², yang digunakan pada gelagar balok induk tepi dan tengah.

Untuk memudahkan pekerjaan di lapangan menggunakan tulangan Ø 25 dengan $f_y = 390$ Mpa dan untuk tulangan geser menggunakan tulangan Ø 13 dengan $f_y 390$ Mpa. Penggunaan tualangan *deform* pada sengkang balok induk dimaksudkan untuk mendapatkan jarak antar sengkang yang tidak terlalu rapat. Penulangan minimum balok dengan dimensi (1000x700) mm² diperoleh 8D25 untuk tulangan tarik dan 5D25 untuk tulangan desak dengan ρ penulangan min = 0,00358974. Dari hasil analisis struktur dengan program *SAP* 2000 dengan perhitungan seperti pada bab 5 dapat diperoleh hasil tulangan seperti pada tabel 6.1 dan 6.2.

Tabel 6.1 Tabel perhitungan tulangan balok induk tepi

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				TULANGAN GESER	
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Desak	Tarik	Desak		
124 dan 435	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	9 D 25	5 D 25	2D13-75	2D13-100
136 dan 434	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	11 D 25	6 D 25	2D13-100	2D13-200
135 dan 433	1000 / 700	12 D 25	7 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150	2D13-200
134 dan 451	1000 / 700	11 D 25	7 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
149 dan 450	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-180	D13-200
148 dan 449	1000 / 700	11 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-170	D13-200

147 dan 455	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150	D13-190
146 dan 454	1000 / 700	13 D 25	7 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-190	D13-200
319 dan 460	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-80	2D13-130
318 dan 459	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100	2D13-160
314 dan 471	1000 / 700	9 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-90	2D13-140
313 dan 470	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-80	D13-120
305 dan 475	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75	2D13-100
304 dan 474	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-80	2D13-130
248 dan 408	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120	2D13-200
247 dan 407	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-170	D13-200
272 dan 419	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
292 dan 418	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
291 dan 396	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
290 dan 395	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	13-200
289 dan 394	1000 / 700	9 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
299 dan 382	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
298 dan 381	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-170	D13-200
297 dan 380	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-160	D13-200

Tabel 6.2 Tabel perhitungan tulangan balok induk tengah

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				TULANGAN GESER	
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Desak	Tarik	Desak		
550 dan 660	1000 / 700	17 D 25	11 D 25	10 D 25	5 D 25	2D13-65	2D13-90
554 dan 659	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	12 D 25	7 D 25	2D13-100	2D13-170
553 dan 658	1000 / 700	14 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150	D13-180
652 dan 669	1000 / 700	12 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100	2D13-170
559 dan 668	1000 / 700	16 D 25	10 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-190	D13-200
558 dan 667	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-170	D13-200
557 dan 672	1000 / 700	17 D 25	11 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-180	D13-200
556 dan 671	1000 / 700	15 D 25	10 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-190	D13-200
612 dan 675	1000 / 700	12 D 25	7 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-80	2D13-130
611 dan 674	1000 / 700	9 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-80	2D13-120
609 dan 681	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-80	2D13-120
608 dan 680	1000 / 700	12 D 25	7 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75	2D13-190
604 dan 684	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70	2D13-100
603 dan 683	1000 / 700	12 D 25	7 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70	2D13-100
581 dan 651	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100	2D13-160
580 dan 650	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-170	D13-200
584 dan 657	1000 / 700	9 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
595 dan 656	1000 / 700	9 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200

594 dan 647	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	9 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
593 dan 646	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	9 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
592 dan 645	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
600 dan 640	1000 / 700	9 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
599 dan 639	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200
598 dan 638	1000 / 700	8 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-200	D13-200

Pemasangan tulangan pada balok induk dibuat tulangan menerus untuk mengantisipasi beban bergerak di atas jembatan. selain itu tidak terdapat penulangan lapangan geser hal ini disebabkan karena besarnya dimensi balok (1000x700) mm² dan kolom (1200x1200) mm². Sehingga tulangan terpasang pada balok induk pada jembatan Kretek II dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6.3 Tabel tulangan terpasang balok induk tepi

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				Tulangan Geser
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		
		Tarik	Desak	Tarik	Desak	
124 dan 435	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	11 D 25	6 D 25	2D13-75
136 dan 434	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	11 D 25	6 D 25	2D13-75
135 dan 433	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150
134 dan 451	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150
149 dan 450	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150
148 dan 449	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150
147 dan 455	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150
146 dan 454	1000 / 700	15 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-150
319 dan 460	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75
318 dan 459	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75
314 dan 471	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75
313 dan 470	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75
305 dan 475	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75
304 dan 474	1000 / 700	12 D 25	6 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-75
248 dan 408	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
247 dan 407	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
272 dan 419	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
292 dan 418	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
291 dan 396	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
290 dan 395	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120

289 dan 394	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
299 dan 382	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
298 dan 381	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120
297 dan 380	1000 / 700	10 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-120

Tabel 6.4 Tabel tulangan terpasang balok induk tengah

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				Tulangan Geser
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		
		Tarik	Desak	Tarik	Desak	
550 dan 660	1000 / 700	17 D 25	11 D 25	12 D 25	7 D 25	2D13-65
554 dan 659	1000 / 700	14 D 25	9 D 25	12 D 25	7 D 25	2D13-100
553 dan 658	1000 / 700	14 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
652 dan 669	1000 / 700	14 D 25	9 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
559 dan 668	1000 / 700	16 D 25	10 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
558 dan 667	1000 / 700	16 D 25	10 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
557 dan 672	1000 / 700	17 D 25	11 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
556 dan 671	1000 / 700	17 D 25	11 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
612 dan 675	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
611 dan 674	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
609 dan 681	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
608 dan 680	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
604 dan 684	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
603 dan 683	1000 / 700	13 D 25	8 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-70
581 dan 651	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
580 dan 650	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
584 dan 657	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
595 dan 656	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
594 dan 647	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	9 D 25	5 D 25	2D13-100
593 dan 646	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	9 D 25	5 D 25	2D13-100
592 dan 645	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
600 dan 640	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
599 dan 639	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100
598 dan 638	1000 / 700	11 D 25	5 D 25	8 D 25	5 D 25	2D13-100

6.2.2 Balok Anak

Balok anak direncanakan di antara balok induk tengah dan balok induk tepi dengan jarak antar balok anak 2,06 m dengan dimensi (800x400) mm².

Untuk memudahkan pekerjaan di lapangan menggunakan tulangan \emptyset 19 dengan $f_y = 390$ Mpa dan untuk tulangan geser menggunakan tulangan \emptyset 10 dengan f_y 390 Mpa. Penggunaan tulangan *deform* pada sengkang balok anak dimaksudkan untuk mendapatkan jarak antar sengkang yang tidak terlalu rapat. Perencanaan penulangan pada balok anak digunakan penulangan minimum dengan ρ penulangan min = 0,00358974. Dari hasil analisis struktur dengan program *SAP* 2000 dengan perhitungan seperti pada bab 5 dapat diperoleh hasil tulangan seperti pada tabel 6.5.

Tabel 6.5 Tabel tulangan balok anak

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				TULANGAN GESER	
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Desak	Tarik	Desak		
SEMUA BALOK ANAK	800 / 400	6 D19	4 D 19	6 D19	4 D 19	2 D10-140	2D10-200

6.2.3 Balok Lintang

Balok lintang pada Jembatan Kretek II menggunakan dimensi (800x400) mm² dengan menggunakan tulangan \emptyset 22 dengan $f_y = 390$ Mpa dan untuk tulangan geser menggunakan tulangan \emptyset 10 dengan f_y 390 Mpa. Dari hasil analisis struktur

dengan program *SAP* 2000 dengan perhitungan seperti pada bab 5 dapat diperoleh hasil tulangan seperti pada tabel 6.6, 6.7, dan 6.8.

Tabel 6.6 Tabel tulangan balok lintang atas jenis 1

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				TULANGAN GESER	
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Desak	Tarik	Desak		
9	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
10	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
11	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
16	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
17	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
18	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
19	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
20	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
21	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
22	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
23	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
24	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
27	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
28	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
30	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
31	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
32	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
33	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
34	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
35	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
36	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
38	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
39	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
40	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
41	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
42	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
43	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
44	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
45	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
46	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
47	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
48	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
51	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
52	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180

952	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
953	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
954	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
955	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
956	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
957	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
958	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
959	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
960	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
961	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
962	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
963	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
964	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
965	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
968	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
969	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180
970	800 / 400	9 D 22	6 D 22	6 D 22	4 D 22	2D10-100	2D10-180

Tabel 6.7 Tabel tulangan balok lintang atas jenis 2

Elemen	Ukuran Balok	TULANGAN POKOK				TULANGAN GESER	
		Tulangan Tumpuan		Tulangan Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Desak	Tarik	Desak		
8	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
29	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
37	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
49	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
50	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
69	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
70	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
77	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
78	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
85	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
86	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
89	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
90	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
101	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
102	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
111	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
112	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
113	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170
114	800 / 400	12 D 22	8 D 22	7 D 22	4 D 22	2D10-90	2D10-170

6.2.4 Balok Lengkung

Balok lengkung pada Jembatan Kretek II merupakan struktur utama yang menahan beban-beban yang bekerja pada struktur di atasnya. Sehingga direncanakan lebih kuat dari struktur utama lainnya. Dimensi balok lengkung adalah (1000x1600) mm², dimensi balok lengkung tengah direncanakan samadengan balok lengkung tepi.

Untuk memudahkan pekerjaan di lapangan menggunakan tulangan Ø 25 dengan $f_y = 390$ Mpa dan untuk tulangan geser menggunakan tulangan Ø 13 dengan $f_y 390$ Mpa. Perencanaan penulangan balok lengkung dianggap sebagai kolom hal ini dikarenakan adanya gaya aksial yang besar. Dari hasil perhitungan seperti pada bab 5 dapat diperoleh tulangan seperti pada tabel 6.9 dan 6.10.

Tabel 6.9 Tulangan balok lengkung tepi

Elemen	Ukuran Balok	Tulangan Pokok	TULANGAN GESER	
			Tumpuan	Lapangan
20 dan 365	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
19 dan 366	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
164 dan 367	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
533 dan 368	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
532 dan 369	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
15 dan 370	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
14 dan 371	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
13 dan 372	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
213 dan 354	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
214 dan 342	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
215 dan 343	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
216 dan 344	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
217 dan 345	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200

577 dan 628	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
576 dan 617	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
575 dan 616	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
565 dan 613	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200
564 dan 614	1000x1600	68D25	2 D13-100	2D13-200

6.3 Kolom

Kolom-kolom pada Jembatan Kretek II direncanakan tiap jarak 5 m dengan ketinggian bervariasi setiap kolom. Dimensi kolom disesuaikan dengan tingginya untuk mendapatkan angka kelangsingan yang aman, serta berdasarkan keamanan terhadap geser. Dimensi kolom direncanakan lebih besar dari dimensi balok induk untuk mendapatkan kekakuan yang baik. Pada penulisan Tugas Akhir ini direncanakan dimensi kolom yang bervariasi, yaitu (1400x1400) mm² untuk kolom yang berfungsi sebagai pilar 1 dan 2 dan untuk kolom lainnya digunakan ukuran (1200x1200) mm². Khusus untuk dua kolom dari tepi jembatan dengan tinggi 0,359 m dan 0,875 m dan 3 kolom di tengah bentang dengan tinggi 1,049 m, 0,902 dan 1 m, direncanakan monolit dengan balok lengkung dan induk sehingga kolom tersebut ditiadakan.

Perhitungan tulangan kolom menggunakan *SK-SNI* dengan menggunakan tulangan pokok Ø 25 dengan $f_y = 390$ Mpa dan untuk tulangan geser menggunakan tulangan Ø 13 dengan $f_y 390$ Mpa. Penggunaan tulangan *deform* pada sengkang kolom dimaksudkan untuk mendapatkan jarak antar sengkang yang tidak terlalu rapat. Perhitungan tulangan kolom digunakan tulangan minimum untuk kolom

dengan ρ penulangan 1 % dari grafik $M_n - P_n$. Dari hasil perhitungan seperti pada bab 5 dapat diperoleh tulangan seperti pada tabel 6.11 dan 6.12.

Tabel 6.11 Tulangan kolom tepi

Elemen	Ukuran Kolom	Tinggi Kolom	Tulangan Pokok	TULANGAN GESER	
				Tumpuan	Lapangan
128 dan 440	1200x1200	0,359	60D25	2D13-60	2D13-100
137 dan 438	1200x1200	0,875	60D25	2D13-100	2D13-200
321 dan 436	1200x1200	1,549	68D25	2D13-50	2D13-80
535 dan 446	1200x1200	2,383	72D25	2D13-60	2D13-80
151 dan 444	1200x1200	3,378	72D25	2D13-80	2D13-150
153 dan 442	1200x1200	4,538	68D25	2D13-100	2D13-200
155 dan 453	1200x1200	5,866	68D25	2D13-100	2D13-200
12 dan 457	1400x1400	7,365	80D25	2D13-100	2D13-200
41 dan 2	1200x1200	5,624	60D25	2D13-100	2D13-200
309 dan 462	1200x1200	4,172	60D25	2D13-100	2D13-200
311 dan 467	1200x1200	2,999	60D25	2D13-100	2D13-200
301 dan 465	1200x1200	2,093	60D25	2D13-60	2D13-100
303 dan 472	1200x1200	1,445	60D25	2D13-40	2D13-50
307 dan 414	700x700	1,049	52D25	2D13-30	2D13-30
274 dan 412	700x700	0,902	20D25	2D13-60	2D13-80
275 dan 411	700x700	1	20D25	2D13-70	2D13-80
278 dan 416	1200x1200	1,344	60D25	2D13-50	2D13-70
281 dan 401	1200x1200	1,935	60D25	2D13-60	2D13-90
283 dan 398	1200x1200	2,777	60D25	2D13-80	2D13-90
285 dan 393	1200x1200	3,873	60D25	2D13-100	2D13-200
287 dan 389	1200x1200	5,245	60D25	2D13-100	2D13-200
294 dan 386	1200x1200	6,864	60D25	2D13-100	2D13-200
296 dan 385	1200x1200	8,781	60D25	2D13-100	2D13-200
1	1400x1400	11	80D25	2D13-100	2D13-200

6.4 Pondasi

Pondasi merupakan struktur yang menghubungkan antara tanah dengan struktur di atasnya, dalam perencanaan ini terdiri dari dua jenis pondasi, yaitu pondasi pilar dan *abutment*.

1. Pondasi Pilar

Untuk menghindari terjadinya overlap dari dimensi ketiga pilar, maka dalam perencanaan ini digunakan pondasi gabungan. Selain menerima gaya vertikal, pondasi juga memikul momen dari arah X dan arah Y yang cukup besar. Sehingga pondasi direncanakan menggunakan tiang bor untuk mendapatkan kuat dukung yang lebih aman.

a. Pile cap

Pile cap merupakan struktur balok beton bertulang yang didesain khusus untuk mengikat dan mempersatukan pondasi, juga berfungsi sebagai tempat dudukan kolom atau pilar serta untuk menyebarkan beban vertikal dan beban horizontal dari setiap momen guling pada semua tiang bor dalam kelompok tersebut. Pile cap pada pilar 1 direncanakan memakai ukuran (8000×24000) mm², dengan ketebalan 2500 mm, berdasarkan perhitungan dipakai tulangan lentur dan bagi D32-130 untuk bagian bawah pile cap dan D16-200 untuk tulangan bagian atas pile cap. Untuk keamanan terhadap geser maka dipakai tulangan geser minimum D13-400/300. Sedangkan pile cap pada pilar 2 direncanakan memakai ukuran (8000×22625) mm², dengan ketebalan

2500 mm, berdasarkan perhitunagan dipakai tulangan lentur dan bagi D32-110 untuk bagian bawah pile cap dan D16-200 untuk tulangan bagian atas pile cap. untuk keamanan terhadap geser maka dipakai tulangan geser minimum D13-400/300.

b. Tiang Bor

Pada perencanaan ini digunakan tiang bor diameter 800 mm dengan panjang 25 m. Dari hasil perhitungan diperoleh tulangan pokok 12D19 dan tulangan geser D13 – 150, sedangkan jumlah tiang bor yang digunakan pada pilar 1 sebanyak 45 tiang bor dan pada pilar 2 sebanyak 55 tiang bor.

2. *Abutment*

Untuk mendapatkan kuat dukung tanah yang baik pada kedalaman 30 m, maka *abutment* didukung oleh pondasi tiang bor, dimana tinggi *abutment* itu sendiri direncanakan 7,05 m dan tiang bor direncanakan panjang nya 25 m.

a. Telapak *Abutment*

Telapak *abutment* dianggap sebagai kantilever yang menerima beban dari bawah, dengan dimensi $(7000 \times 19000) \text{mm}^2$, didapatkan tulangan pokok D25-180, tulangan bagi D16-200 untuk bagian bawah dan untuk bagian bagian atas didapatkan tulangan pokok D16-200 dan tulangan bagi D13-200, sedangkan untuk tulangan geser D16-600.

b. *Breast Wall*

Dimensi *breast wall* direncanakan dengan ukuran (1000x19000)mm², dari hasil perhitungan diperoleh tulangan pokok D25-150, tulangan bagi D16-200 dan tulangan geser D13-200.

c. *Back Wall dan Corbell*

Dari hasil hitungan diperoleh untuk potongan A tulangan pokok D16 200, bagi D13-200, dan tulangan geser D13-450, potongan B tulangan pokok D16-200, tulangan bagi D13-200, dan tulangan geser D13-450, potongan C tulangan pokok D16-200, tulangan bagi D13-200, dan tulangan geser D13-450, potongan D tulangan pokok D25-200, tulangan bagi 4D16 dan untuk tulangan geser 4D16-200.

d. *Wing wall*

Wing wall direncanakan dengan tebal 0,5 m, dari hasil hitungan diperoleh tulangan pokok D13-200 untuk *wing wall* sisi dalam dan D13-200 untuk *wing wall* sisi luar.

6.5 Pelat

Elemen struktur yang memakai pelat dalam perencanaan ini adalah trotoar dan lantai jembatan. Trotoar dalam perencanaan ini merupakan pelat kantilever dengan tebal pelat 250 mm, dari hasil analisis diperoleh penulangan lentur D16-180 dan penulangan susut D13-200, sedangkan pada perencanaan pelat lantai pembebanan diasumsikan pelat hanya ditumpu pada kedua sisi pelat sehingga tidak

terdapat penulangan tumpuan Y, untuk penulangan pokok arah arah x menggunakan tulangan D16-100 dan untuk tulangan arah y menggunakan tulangan susut D13-130.

6.6 Tiang Sandaran

Tiang sandaran direncanakan memakai ukuran $(150 \times 150) \text{ mm}^2$, dengan tulangan tarik As 2D10 dan tulangan tekan As' 2D10. Tulangan geser menggunakan P8-200.

6.7 Perhitungan volume beton

Kebutuhan beton balok induk dengan jumlah 3 buah berdimensi $(1000 \times 700) \text{ mm}^2$ dan panjang bentang 240 m adalah 504 m^3 , balok anak dengan jumlah 6 buah berdimensi $(800 \times 400) \text{ mm}^2$ dan panjang bentang 240 m kebutuhan betonnya adalah $460,8 \text{ m}^3$, sedangkan kebutuhan beton untuk balok lintang yang mempunyai dimensi $(800 \times 400) \text{ mm}^2$ panjang bentang 16,5 m dengan jumlah 94 buah adalah $496,32 \text{ m}^3$.

Balok lengkung berdimensi $(1000 \times 1600) \text{ mm}^2$ mempunyai panjang 40,5768 m berjumlah 6 buah dan 80,2117 m berjumlah 6 buah sehingga volume beton untuk balok lengkung adalah $1159,5696 \text{ m}^3$.

Pada Jembatan Kretek II ini digunakan beton dengan kombinasi balok lengkung sehingga membentuk kolom dengan tinggi yang bervariasi, begitu pula dengan dimensinya, dari hasil perhitungan diperoleh untuk dimensi kolom $(1400 \times$

1400)mm² sebanyak 3 buah dengan tinggi 11 m dan 6 buah untuk tinggi 7,365 adalah 151,2924 m³, dan kolom berdimensi (1200 x1200) mm² adalah 571,104 m³, sedangkan kolom berdimensi (700 x700) mm² adalah 8,67594m³ dan total seluruh volume beton untuk kolom adalah 731,0723.

Pelat lantai jembatan dengan tebal 0,25 m dengan lebar 16,5 m dengan panjang bentang 240 m volume betonnya adalah 990 m³, dan pelat trotoar volume betonnya adalah 295,74 m³, dan median volume betonnya adalah 120 m³ sedangkan volume beton tiang sandaran adalah 5,94 m³.

Kebutuhan beton untuk *abutment* dengan jumlah 2 buah sepanjang 19 m adalah 654,7032 m³, tiang bor pile *abutment* volume betonnya adalah 376,991 m³ sedangkan pondasi pilar 1 dengan jumlah 2 buah dan pondasi pilar 2 dengan jumlah 1 buah volume betonnya adalah 3626,047 m³. Jadi kebutuhan beton seluruhnya adalah 9421,183 m³.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan :

1. dari hasil perhitungan didapat ukuran untuk balok induk memanjang adalah $1000 \times 700 \text{ mm}^2$, kolom $1200 \times 1200 \text{ mm}^2$, balok anak dan lintang $800 \times 400 \text{ mm}^2$, balok lengkung $1600 \times 1000 \text{ mm}^2$, tiang sandaran $150 \times 150 \text{ mm}^2$ dan tebal pelat lantai jembatan 250 mm,
2. untuk struktur atas jembatan balok induk menggunakan tulangan pokok D25 dan tulangan geser D13, balok anak menggunakan tulangan pokok D19 dan tulangan geser D10, balok lintang menggunakan tulangan pokok D22 dan tulangan geser D10, balok lengkung menggunakan tulangan pokok D25 dan tulangan geser D13, kolom menggunakan tulangan pokok D25 dan tulangan geser D13, pelat lantai jembatan menggunakan tulangan pokok D16 dan tulangan susut D13, dan tiang sandaran menggunakan tulangan pokok D10 dan tulangan geser P8,
3. untuk struktur bawah jembatan *abutment* menggunakan tulangan D25, D16, dan D13,

4. tiang bor pile *abutment* dan pilar menggunakan tulangan pokok D19 dan tulangan geser D13 dengan diameter tiang bore pile 800 mm dan panjang bore pile 25 m,
5. pile cap pada pilar 1 dipakai ukuran (8000x24000) mm² dengan ketebalan 2500 mm, dan pile cap pada pilar 2 digunakan ukuran (8000x22625) mm² dengan ketebalan 2500 mm,
- 6 total volume beton jembatan seluruhnya adalah 9421,183 m³, dan
7. adanya pemakaian tulangan minimum pada balok dan kolom.

7.2 Saran

Dengan memperhatikan hal-hal tersebut di atas, maka dapat diberikan beberapa saran antara lain sebagai berikut ini :

1. Perlu dilakukan perhitungan sampai tahap akhir yaitu RAB pada tugas akhir ini, sehingga penghematan dari segi biaya dapat diketahui dengan jelas.
2. Perlu dilakukan *redesain* untuk Tugas Akhir ini dengan peningkatan spesifikasi bahan yang lain atau mendesain ulang jembatan ini dengan bentuk dan tipe yang lain misalnya dengan gelagar lengkung atas atau dengan struktur beton masif, sehingga diketahui sejauh mana efisiensi bahan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboe, Kadir. 2000. *Struktur Beton 1*. Jogjakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
- Bowles Joseph, 1986. *Analisa dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga
- Braja, 1990, *Jembatan*, Jakarta: Erlangga
- DPU. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Lampiran A Persyaratan Tahan Gempa: Bridge Management System*
- DPU. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 1 Persyaratan Umum Perencanaan: Bridge Management System*
- DPU.1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 2 Beban Jembatan: Bridge Management System*
- DPU.1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 6 Perencanaan Beton Struktural: Bridge Management System*
- DPU.1992. *Bridge Design Manual Section 4 Design Of Earthquake Resistant Bridge Structures: Bridge Management System*
- Hary Christadi Hardiyatmo. 2003. *Teknik Pondasi 2*. Jogjakarta: Beta Offset
- Kusuma, Gideon dan Takim Andriono. 1993. *Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa*. Jakarta: Erlangga
- Peck, Hanson Tohrnburn, 1973 *Dept Foundation*. Jakarta: Erlangga
- Purwanto, Edi. 2002. *Pondasi Dalam (Deep Fondation)*. Jogjakarta. Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
- RSNI. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta
- SNI. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta
- Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita
- S.P. Bindra.1992. *Principle And Practice Of Bridge Engineering*, Dhopat and Son, Inc, New Delhi
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar. 2000. *Jembatan*. Jogjakarta: Beta Offset