

SKRIPSI

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN PADA BANGUNAN GEDUNG
B PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG TAHAP I**



Disusun Oleh:

JOSE MANUEL FREITAS BELO

11.21.092

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN PADA BANGUNAN GEDUNG B PROGRAM
TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS
BRAWIJAYA MALANG TAHAP I**

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang*

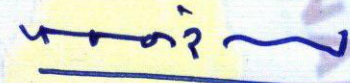
**Disusun Oleh :
JOSE MANUEL FREITAS BELO
1121092**

Disetujui Oleh :

Pembimbing I


(Ir. A. Agus Santosa, MT)

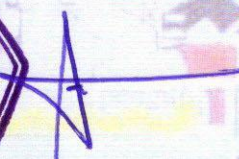
Pembimbing II


(Ir. H. Sudirman Indra, Msc)

Mengetahui

Ketua Prodi Teknik Sipil S-1




(Ir. A. Agus Santosa, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2016

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN PADA BANGUNAN GEDUNG B PROGRAM
TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS
BRAWIJAYA MALANG TAHAP I**

SKRIPSI

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi

Jenjang Strata Satu (S-1)

Pada hari: Rabu

Tanggal : Februari 2016

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil*

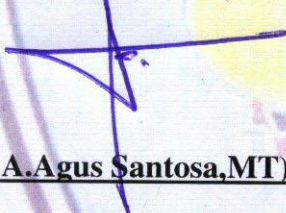
Disusun Oleh :

JOSE MANUEL FREITAS BELO

1121092

Disahkan Oleh :

Ketua



(Ir. A. Agus Santosa, MT)

Sekretaris



(Ir. Munasih, MT)

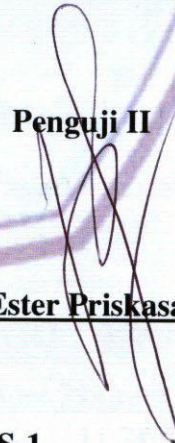
Anggota penguji:

Penguji I



(Ir. Bambang Wedyantadji, MT)

Penguji II



(Ir. Ester Priskasari, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2016

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jose Manuel Freitas Belo
NIM : 11.21.092
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “ Studi Perencanaan Struktur Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Pada Bangunan Gedung B Program Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang Tahap I “ adalah benar-benar tulisan saya, dan bukan merupakan plagiasi baik sebagian atau seluruhnya.

Malang, Februari 2016

Yang Membuat Pernyataan



(Jose Manuel Freitas Belo)

11.21.092

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO :

1. Jadilah seperti karang di lautan yang kuat dihantam ombak dan kerjakanlah hal yang bermanfaat untuk diri sendiri dan orang lain, karena hidup hanyalah sekali. Ingat hanya kepada allah apapun dan dimanapun kita berada kepada Dia-lah tempat memintah dan memohon.
2. Sukses datang dengan kemauan yang keras dan kesabaran
3. Usaha dan doa adalah kunci keberhasilan hidup.

PERSEMBAHAN:

Kupersembahkan skripsi ini pada:

1. Tuhan Yang Maha Esa,
2. Ayah, ibu, kakak, adikku dan segenap keluargaku tercinta yang terus mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT dan Ir. H. Sudirman Indra, MSc yang telah mengarahkan serta membimbing sampai selesainya skripsi ini.
4. Teman-teman Teknik Sipil '11 yang terus memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

ABSTRAKSI

**“ STUDI PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN PADA BANGUNAN GEDUNG B TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG TAHAP I”. Jose Manuel Freitas Belo, 11.21.092.
Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang.
Pembimbing I : Ir. A. Agus Santosa, MT, Pembimbing II : Ir. H. Sudirman Indra, Msc**

Indonesia yang semakin rawan akan terjadinya gempa merupakan salah satu pendorong para ilmuwan-ilmuwan sipil dalam mengeluarkan peraturan-peraturan baru dalam perencanaan struktur agar tahan terhadap gaya akibat gempa. Struktur diharapkan mampu memberikan kapasitas tertentu untuk tetap bertahan dan berperilaku daktil pada saat terjadi gempa kuat.

SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012 yang merupakan peraturan baru dalam bidang sipil memberikan sistem dan tata cara tersendiri dalam merencanakan struktur tahan gempa dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sehingga peraturan ini sangat diperlukan sosialisasinya dalam masyarakat, baik dari kalangan akademisi, konsultan maupun pelaksana agar apa yang diharapkan dalam standarisasi dapat tercapai dengan baik.

Sehubungan dengan hal di atas, penulis mencoba merencanakan ulang Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang tahap I, yang meliputi : balok, kolom, hubungan balok kolom. Dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) seperti yang terdapat dalam SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012. Hal ini terkait karena selain bertempat di Malang yang merupakan daerah gempa sedang juga karena struktur itu sendiri tergolong gedung bertingkat tinggi sehingga dalam pelaksanaan harus direncanakan ketahanannya terhadap gaya gempa. Sedangkan untuk analisa pembebanannya menggunakan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1987, untuk analisa statiknya menggunakan STAAD Pro 2004.

Dengan sistem ini struktur diharapkan mempunyai ketahanan yang kuat terhadap momen khusus yang disebabkan oleh gaya gempa. Selain itu SRPMK juga mengharuskan agar struktur mempunyai pola keruntuhan yang aman saat struktur tersebut harus runtuh, yaitu diharapkan agar komponen baloknya hancur terlebih dahulu dari komponen lainnya seperti kolom ataupun hubungan balok kolom. Sehingga sebelum runtuh struktur mampu memberikan waktu plastisitas yang cukup untuk keamanan tersebut.

Untuk mencapai kondisi di atas diperlukan detail penulangan yang benar dan harus diselesaikan dengan sistem yang ada terutama pada bagian sendi plastis yang kemungkinan mengalami plastisitas terlebih dahulu apabila terjadi gempa kuat.

Kata Kunci : Struktur Tahan Gempa, SRPMK

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan Berkah-Nya, sehingga TUGAS AKHIR ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam penyelesaian gelar strata satu (S-1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebanyak – banyaknya kepada :

1. Bapak Dr.Ir.Lalu Mulyadi, MTA., selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir.H. Sudirman Indra, Msc. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Dosen Pembimbing pada tugas akhir ini.
4. Bapak Ir.H. Sudirman Indra, Msc. selaku dosen pembimbing pada tugas akhir ini.
5. Kedua Orang Tua saya yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materi, serta doa sehingga terselesaikan proposal skripsi ini.
6. Teman-Teman yang telah memberi semangat, dukungan dan doa untuk penyelesaian tugas akhir ini.
7. Dan semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya tugas akhir ini, Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan anda semua.

Penyusun menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Demikian jika ada kekurangan dalam hal isi maupun sistematis penulisannya maka penyusun sangat mengharapkan segala masukan dan koreksi guna penyempurnaan tugas akhir ini. Dan akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Februari 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN i

LEMBAR PENGESAHAN ii

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI iii

MOTO DAN PERSEMBAHAN iv

ABSTRAKSI v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI vii

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR GAMBAR xiii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 2

1.3. Maksud Dan Tujuan 3

1.4. Lingkup Pembahasan 3

BAB II LANDASAN TEORI 5

2.1. Pendahuluan 5

2.2. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa 5

2.2.1. Pengertian Daktilitas 6

2.2.2 Pengertian Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) 8

2.2.3. Wilayah Gempa 9

2.2.4. Pengaruh arah Pembebanan gempa 13

2.2.5. Kategori resiko bangunan gedung dan faktor keutaman gempa 14

2.2.6. Kategori desain Seismik 17

2.2.3. Parameter sistem struktur penahan gaya seismik 19

2.3. Periode Alami Struktur 20

2.3.1. Perhitungan Koefisien Respons seismik 22

2.4. Respons Spektra 24

2.4.1. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)	26
2.4.2. parameter percepatan spektra desain	28
2.5. Gaya dasar Seismik	30
2.6. Simpangan Antar lantai (story drift)	31
2.7 Kombinasi pembebanan	31
2.8 Perencanaan Struktur tahan gempa	34
2.8.1. Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa (SRPMB)	34
2.8.2. Sistem Rangka Beton Bertulang pemikul Momen Menengah (SRPMM)	35
2.3.1. Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	40
2.9. Perencanaan Balok Dengan tulangan tekan dan Tarik (Rangkap)	48
2.9.1. Balok T Tulangan Rangkap	48
2.9.2. Perencanaan Balok Terhadap Geser	52
2.9.3. Pemutusan Tulangan Balok	54
2.10. Perencanaan struktur Dengan Sistem Rangkap Pemikul Momen Khusus	55
2.10.1. Perencanaan Komponen Lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	55
2.10.2. Persyaratan Kuat Geser pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	60
2.10.3. Perencanaan Komponen Terkena Beban Lentur dan Aksial pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	62
2.3.1. Hubungan Balok Kolom (HBK) pada sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	65
BAB III DATA PERENCANAAN	68
3.1. Data Perencanaan	68
3.2. Tahapan Perencanaan	68
3.2.1. Analisa Pembebanan	69
3.2.2. Analisa Statika	70
3.2.3. Desain Beton Bertulang	70
3.3. Bagan Alir	70
3.4. Perencanaan Dimensi Plat, Balok dan Kolom	72
a. Dimensi Balok	72
b. Dimensi Kolom	73
c. Dimensi Plat	74
3.5. Perhitungan Pembebanan	74

a. Beban Mati (Dead Load).....	74
b. Beban Hidup (Live Load)	79
c. Beban Gempa	79
3.6. Menentukan Kategori Desain Seismik	84
3.6.1. Menentukan Nilai S_s dan S_1	84
3.6.2. Menentukan Kategori Resiko bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	84
3.6.3. Menentukan Koefisien Situs, F_a dan F_v	85
3.6.4. Menentukan Nilai S_{DS} dan S_{D1}	86
3.6.5. Menentukan Nilai S_{MS} dan S_{M1}	86
3.6.6. Menentukan Nilai T_0 dan T_s	86
3.6.7. Menentukan Nilai S_a	87
3.6.8. Menentukan Perkiraan Periode Fundamental Alami	88
3.6.9. Batasan Penggunaan Prosedur Analisis Gaya Lateral Ekvivalen	90
3.7.0. Menentukan Faktor R , C_d , dan Ω_0	90
3.7.1 Menghitung Nilai Base Shear	91
3.7.2. Menghitung Gaya Gempa Lateral, F_x	91
3.7.3 Simpangan antarlantai (Story drift)	92
3.7.4. Kombinasi Pembebanan	94
BAB IV PERHITUNGAN PENULANGAN.....	95
4.1. Perhitungan Penulangan balok	95
4.1.1. Perhitungan Tulangan Lentur balok	95
4.1.2. Penulangan Geser Balok	115
4.2. Perhitungan Penulangan kolom	127
4.2.1. Perhitungan Penulangan Lentur kolom 16D32.....	127
4.2.2. Perhitungan Penulangan Lentur kolom 20D32.....	140
4.2.3. Perhitungan Penulangan Lentur kolom 28D32.....	154
4.2.4. Perhitungan Penulangan Lentur kolom 32D32.....	169
4.2.5. Perhitungan Penulangan Lentur kolom 36D32.....	185
4.2.6. Perhitungan Penulangan Lentur kolom 44D32.....	202
4.2.7. Perhitungan Penulangan Geser kolom	226
4.3. Persyaratan "Strong Columns Weak Beams"	234
4.4. Perhitungan Pertemuan balok-kolom	235
4.5. Perhitungan Pendetailan Tulangan	240

BAB IV KESIMPULAN	243
5.1. Kesimpulan	243
5.2. Saran	244

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa	14
2.2 Faktor Keutamaan gempa	17
2.3 Kategori Desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	18
2.4 Kategori Desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....	18
2.5 Faktor R , C_d , Ω_0	19
2.6 Nilai parameter periode pendekatan C_r dan x	21
2.7 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	22
2.8 Klasifikasi Situs	25
2.9 Koefisien Situs F_a	27
2.10 Koefisien Situs F_v	27
3.1 Perbandingan dimensi balok dengan rumus empiris dan data proyek	74
3.2 Perbandingan dimensi kolom dengan rumus empiris dan data proyek	74
4.1 Diagram Interaksi Kolom 16D32	139
4.2 Diagram Interaksi Kolom 20D32	153
4.3 Diagram Interaksi Kolom 28D32	168
4.4 Diagram Interaksi Kolom 32D32	184
4.5 Diagram Interaksi Kolom 36D32	200
4.6 Diagram Interaksi Kolom 44D32	223

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peta Respons Spektra Percepatan 0.2 detik (S_s) di Batuan Dasar (S_B)	10
Gambar 2.2. Peta Respons Spektra Percepatan 1 detik (S_s) di Batuan Dasar (S_B)	11
Gambar 2.3. Desain Spektra Indonesia	12
Gambar 2.4. Arah Pembebanan gempa Horizontal	14
Gambar 2.5. Spektrum Respon Desain	30
Gambar 2.6. Geser desain untuk Rangka Momen Menengah.....	38
Gambar 2.7. Contoh penulangan transversal pada kolom	46
Gambar 2.8. Persyaratan penulangan Komponen Lentur Pada SRPMK.....	57
Gambar 2.9. Tipikal sambungan lewatan.....	58
Gambar 2.10. Sambungan lewatan dan sengkang tertutup pada SRPMK	59
Gambar 2.11. Penulangan transversal untuk Komponen Lentur pada SRPMK	59
Gambar 2.12. Geser Desain untuk Balok dan Kolom	61
Gambar 2.13. Tulangan Transversal pada Kolom	64
Gambar 2.14. Luas efektif dari HBK	67
Gambar 4.1. Peninjauan pada balok 358	96
Gambar 4.2. Lebar efektif balok T	97
Gambar 4.3. Penampang balok dan diagram regangan-tegangan momen negative tumpuan kiri	98
Gambar 4.4. Penampang balok dan diagram regangan-tegangan momen positif tumpuan kiri yang sudah dihitung ulang	103
Gambar 4.5. Penampang balok dan diagram tegangan momen positif lapangan yang sudah di hitung ulang	105
Gambar 4.6. Penampang balok dan diagram tegangan momen negative tumpuan kanan	108
Gambar 4.7. Penampang balok dan diagram regangan-tegangan momen positif tumpuan kanan yang sudah dihitung ulang	111

Gambar 4.8. Detail panjang penulangan kait	114
Gambar 4.9. Desain gaya geser gempa akibat goyangan gempa ke kiri	117
Gambar 4.10. Desain gaya geser gempa akibat goyangan gempa ke kanan	118
Gambar 4.11. Tulangan geser pada daerah sendi plastis	120
Gambar 4.12. Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis	122
Gambar 4.13. Tulangan geser pada daerah sendi plastis kiri	123
Gambar 4.14. Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis kiri	124
Gambar 4.15. Penulangan geser pada balok	125
Gambar 4.16. Penulangan Torsi pada balok	126
Gambar 4.17. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 16D32	128
Gambar 4.18. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 16D32 ..	130
Gambar 4.19. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 16D32	133
Gambar 4.20. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 16D32	135
Gambar 4.21. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 16D32	136
Gambar 4.22. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 20D32	141
Gambar 4.23. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 20D32 ..	144
Gambar 4.24. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 20D32	146
Gambar 4.25. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 20D32	149
Gambar 4.26. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 20D32	150
Gambar 4.27. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 28D32	155
Gambar 4.28. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 28D32 ..	158
Gambar 4.29. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 28D32	161

Gambar 4.30. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 28D32	164
Gambar 4.31. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 28D32	165
Gambar 4.32. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 32D32	170
Gambar 4.33. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 32D32 ..	173
Gambar 4.34. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 32D32	176
Gambar 4.35. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 32D32	179
Gambar 4.36. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 32D32	181
Gambar 4.37. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 36D32	186
Gambar 4.38. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 36D32 ..	189
Gambar 4.39. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 36D32	192
Gambar 4.40. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 36D32	196
Gambar 4.41. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 36D32	197
Gambar 4.42. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 44D32	203
Gambar 4.43. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 1,25 fy	207
Gambar 4.44. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 44D32 ..	211
Gambar 4.45. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 44D32	214
Gambar 4.46. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 44D32	218
Gambar 4.47. Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 44D32	220
Gambar 4.48. Diagram Interaksi Kolom	224
Gambar 4.49. Tulangan geser pada daerah sendi plastis Kolom	230

Gambar 4.50. Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis Kolom	231
Gambar 4.51. Tulangan geser pada daerah sambungan lewatan tulangan vertical kolom	233
Gambar 4.52. Detail penulangan Longitudinal dan Transversal kolom	235
Gambar 4.53. Analisa geser dari hubungan balok kolom	235
Gambar 4.54. Luas efektif untuk (aj) HBK	236
Gambar 4.55. Penulangan Hubungan Balok kolom	239
Gambar 4.56. Pendetailan tulangan Joint 360	242

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk tiap tahun khususnya wilayah perkotaan, mengakibatkan meningkat pula kebutuhan tempat tinggal sementara maupun tempat tinggal yang ditempati selamanya, seperti apartemen, rumah susun, dan hotel. Dengan semakin minimnya lahan di kota – kota besar maka alternatif pilihan yang paling tepat adalah membangun gedung bertingkat.

Indonesia sendiri merupakan salah satu negara rawan gempa di dunia. Hal ini disebabkan posisi Indonesia yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik besar di dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik.

Berhubung sampai saat ini belum ada teknologi yang dapat memprediksi baik waktu, tempat, dan intensitas gempa, diperlukan suatu zonasi rawan gempa untuk standar acuan dasar di seluruh Indonesia bagi perencanaan bangunan tahan gempa sesuai dengan zonasi rawan gempa yang ada. Zonasi rawan gempa disusun berdasarkan statistik dan letak biografis kejadian gempa sehingga dapat diperkirakan bagaimana kejadian gempa bumi yang akan terjadi di suatu wilayah.

Terdapat beberapa pendekatan untuk mengantisipasi terjadinya agar tidak menimbulkan dampak yang besar. *Pertama*, pendekatan structural yakni desain mengikuti kaidah-kaidah yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada. Selain itu, pembuatan zonasi kegempaan yang telah disusun berdasarkan statistic dan peta rawan bencana gempa harus diperbaharui secara berkala. Informasi potensi gempa ini dimasukkan dalam perencanaan

bangunan tahan gempa pada suatu wilayah. *Kedua*, intensif melakukan sosialisasi kepada masyarakat mengenai pemahaman dan pelatihan penyelamatan dampak gempa.

Sehubungan dengan hal diatas, penulis ingin melakukan perencanaan ulang pada Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Tahap I Universitas Brawijaya pada wilayah gempa berat dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), sesuai dengan SNI 03-2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Kedua SNI ini merupakan dasar utama dalam perencanaan struktur dengan sistem struktur penahan gaya seismik. Peraturan pembebanan yang digunakan adalah SNI 1727-2012.

Dengan Pedoman Standar Nasional Indonesia ini, diharapkan struktur mampu bertahan dari beban gravitasi dan beban gempa tanpa mengalami kegagalan struktur. Dan apabila terjadi kegagalan struktur, kegagalan yang pertama kali terjadi adalah pada struktur balok sehingga dapat memberikan tanda dan waktu bagi penghuni gedung untuk menyelamatkan diri sebelum kegagalan kolom terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penulisan Skripsi ini adalah :

1. Berapakah dimensi balok dan kolom yang diperlukan agar mampu memikul beban gempa ?
2. Berapakah jumlah tulangan yang diperlukan balok dan kolom agar mampu memikul beban gempa ?
3. Bagaimana rencana pendetailan pada hubungan balok dan kolom?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan ini adalah agar dapat merencanakan struktur portal beton bertulang tahan gempa pada gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Tahap I dengan Sistem Rangka Pemikul Momen yang mampu menahan beban gempa rencana pada kategori desain seismik yang berlaku pada wilayah gempa berat berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-2847-2013.

Dari uraian di atas, diambil kesimpulan bahwa maksud dan tujuan penulis adalah:

1. Mengetahui dimensi balok dan kolom yang diperlukan agar mampu memikul beban gempa rencana pada wilayah kota Malang.
2. Mengetahui jumlah tulangan yang diperlukan kolom dan balok agar mampu memikul beban gempa rencana pada wilayah kota Malang.
3. Mengetahui jumlah tulangan yang diperlukan pada hubungan balok kolom.

1.4 Lingkup Pembahasan

Bahasan yang akan dibahas pada studi perencanaan struktur pada Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I Malang meliputi beberapa hal sebagai berikut :

1. Perencanaan struktur atas portal beton bertulang.
2. Pendimensian balok dan kolom.
3. Perhitungan tulangan balok dan kolom.
4. Perhitungan tulangan hubungan balok dan kolom.
5. Pendetailan penulangan Kolom dan Balok.
6. Pembebanan Gempa menggunakan Beban gempa rencana sesuai SNI 03-1726-2012

7. Perencanaan Struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dengan analisis gempa dinamis
8. Analisa struktur menggunakan program bantu komputer yaitu STAAD-Pro
9. Pedoman Perencanaan berdasarkan referensi yang ada, antara lain:
 - Tata cara perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2012
 - Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2013.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pendahuluan

Filosofi dasar dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah terdapatnya komponen struktur yang diperbolehkan untuk mengalami kelelehan. Komponen struktur yang leleh tersebut merupakan komponen yang menyerap energi gempa selama bencana gempa terjadi. Agar memenuhi konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa tersebut, maka pada saat gempa kelelehan yang terjadi hanya pada balok. Oleh karena itu kolom dan sambungan harus dirancang sedemikian rupa agar kedua komponen struktur tidak mengalami kelelehan ketika gempa terjadi dengan konsep dasar *strong column, weak beam*.

2.2 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan-peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah:

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan

harus dapat tetap berjalan (*servicable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.

2. Pada saat terjadi gempa sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Struktur yang direncanakan diharapkan mampu bertahan oleh beban bolak-balik memasuki perilaku inelastik tanpa mengurangi kekuatan yang berarti. Karena itu, selisih energi beban gempa harus mampu disebarkan dan diserap oleh struktur yang bersangkutan dalam bentuk kemampuan berdeformasi secara inelastis. Kemampuan ini yang disebut sebagai kemampuan daktilitas struktur.

2.2.1 Pengertian Daktilitas

Pengertian daktilitas secara umum dapat diartikan sebagai kemampuan suatu elemen struktur untuk berdeformasi baik rotasi ataupun translasi pada saat menyerap energi dari luar sistem tanpa mengalami kegagalan/putus. Untuk lebih jelasnya, daktilitas akan diuraikan pada poin di bawah ini:

- a) Daktilitas material

Adalah kemampuan suatu material baik baja, beton, maupun kayu dalam mengembangkan regangannya dari pertama kali leleh hingga akhirnya putus. Atau, daktilitas bisa juga kita artikan seberapa plastis material tersebut. Semakin panjang kemampuannya meregang setelah melewati batas elastisitasnya (plastis), maka semakin daktil material tersebut.

b) Daktilitas struktur

Juga dapat diartikan sebagai kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan.

Daktilitas inilah yang menjadi dasar dari perencanaan bangunan tahan gempa. Lebih tepatnya adalah, sambungan balok ke kolom inilah yang direncanakan sebagai elemen struktur yang mengalami leleh (kondisi plastis) ketika struktur balok menyerap beban gempa. Semakin daktil suatu struktur, maka kuat ultimate dari struktur tersebut semakin tinggi dan kemampuan berdeformasinya semakin besar.

Namun yang perlu diperhatikan adalah, seberapa besar kemampuan struktur tersebut dalam memikul beban tambahan setelah

mengalami leleh dan akhirnya putus. Struktur tahan gempa yang baik adalah struktur dengan kemampuan daktilitas yang tinggi agar dapat memberikan tanda-tanda kerusakan ketika gempa terjadi sehingga tersedia banyak waktu untuk menyelamatkan diri sebelum akhirnya keruntuhan terjadi. Maka dari itulah struktur balok direncanakan agar mengalami leleh sesuai konsep *weak beam strong column*.

Perencanaan bangunan gedung pada tugas akhir ini adalah struktur diharapkan mampu berperilaku daktil dengan tingkat daktilitas penuh ($\mu_m = 5,2$), oleh karena itu struktur direncanakan terhadap beban siklis gempa kuat sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis dengan kapasitas pemencaran energi yang diperlukan. Untuk mendapatkan suatu struktur yang mampu berperilaku daktil dengan daktilitas penuh, maka dalam skripsi ini perencanaan struktur “Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer” direncanakan dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen Khusus (SRPMK).

2.2.2 Pengertian Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

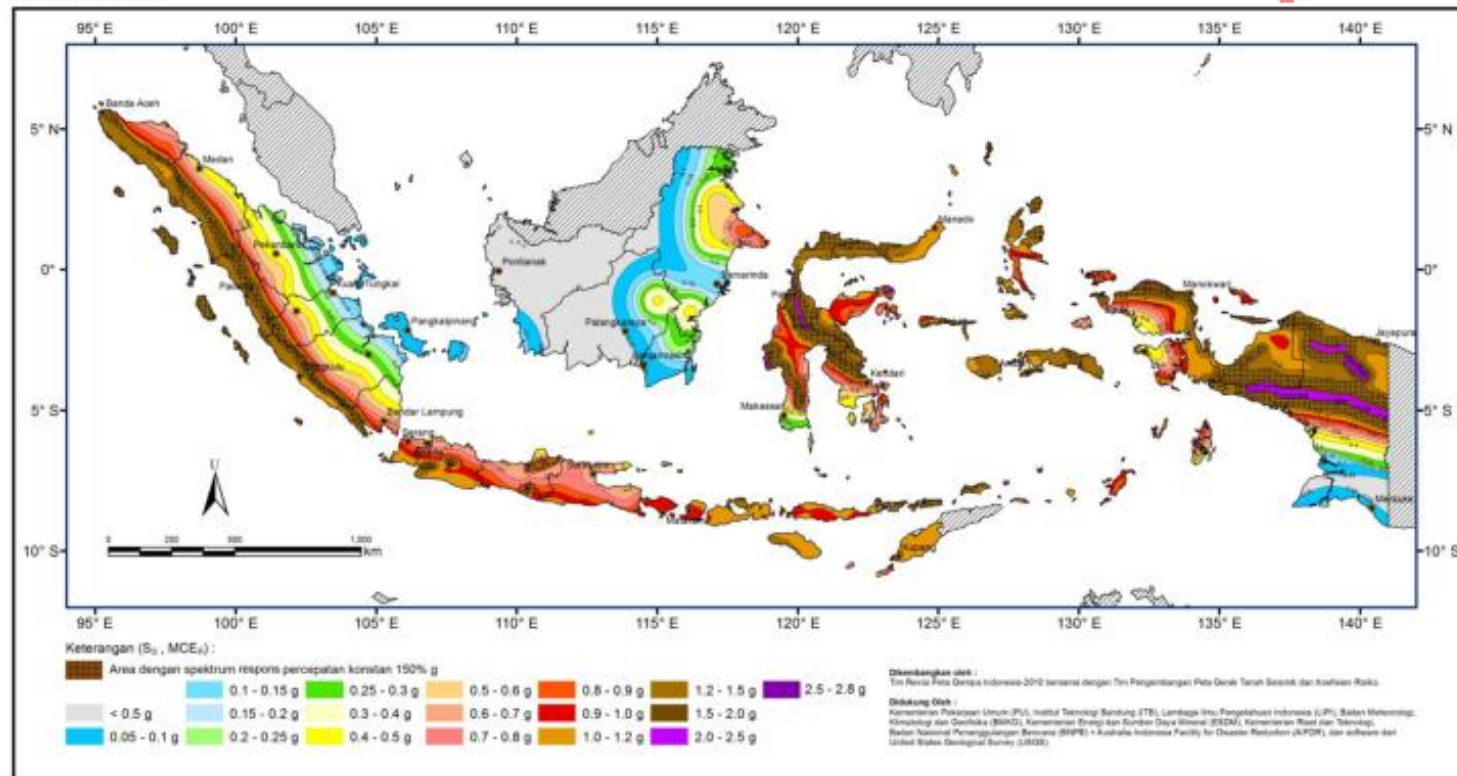
Yang dimaksud dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menurut buku “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa” oleh Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Ada 3 jenis Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).
2. Sistem Rangka Pemikul Momen (Menengah) (SRPMM).
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

2.2.3 Wilayah gempa

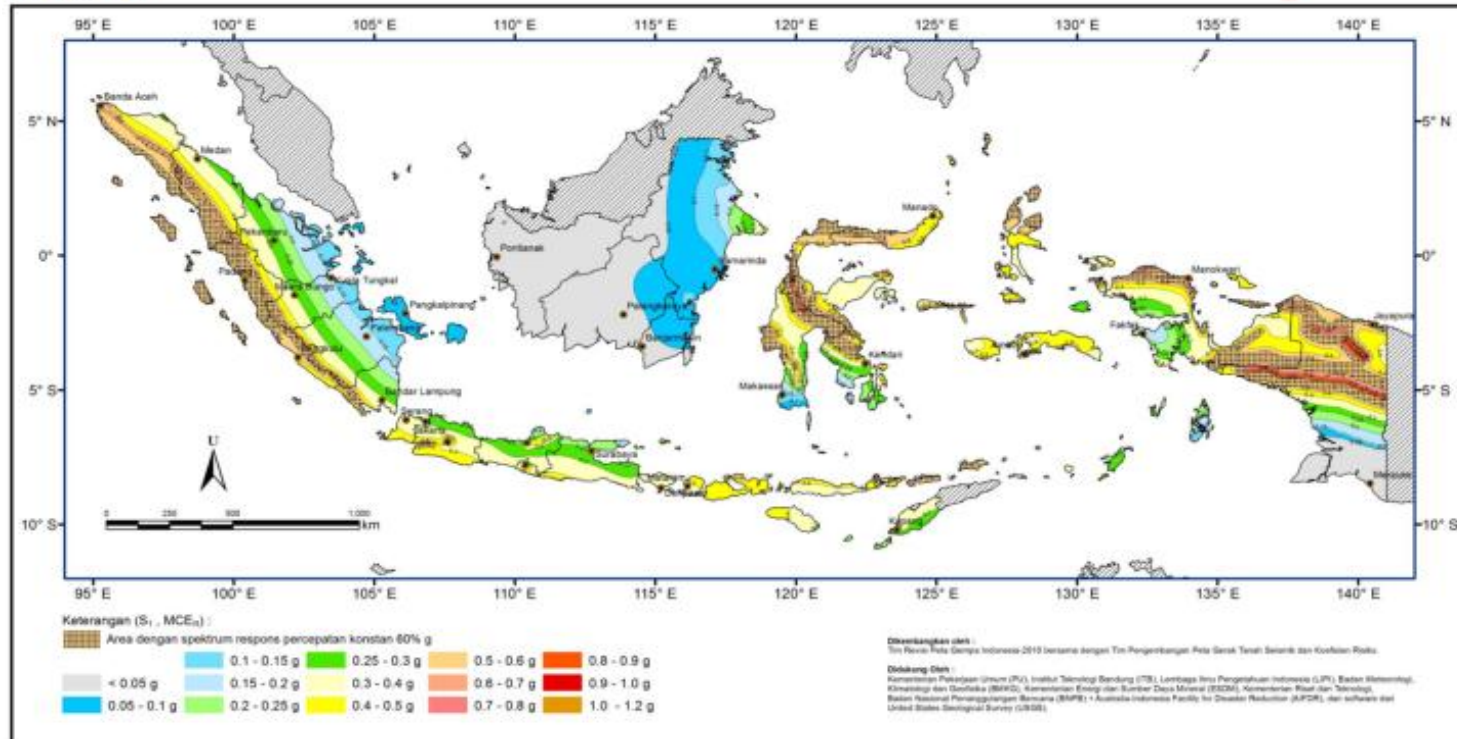
Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 14, wilayah gempa ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Pada Peta wilayah gempa SNI 03-1726-2012, wilayah gempa dibagi berdasarkan percepatan maksimum batuan dasar dan respon spektra di batuan dasar. Pada SNI 03-1726-2012 ini, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun. Untuk klasifikasi wilayah gempa, peta gempa terbaru ini menggunakan warna-warna yang menunjukkan parameter S_s dan S_1 untuk setiap besaran spektrum respon percepatan. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar dibawah ini.

SNI 1726:2012



Gambar 2.1 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik (S_S) di batuan dasar S_B untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berdasarkan SNI-03-1726-2012 hal. 134

SNI 1726:2012

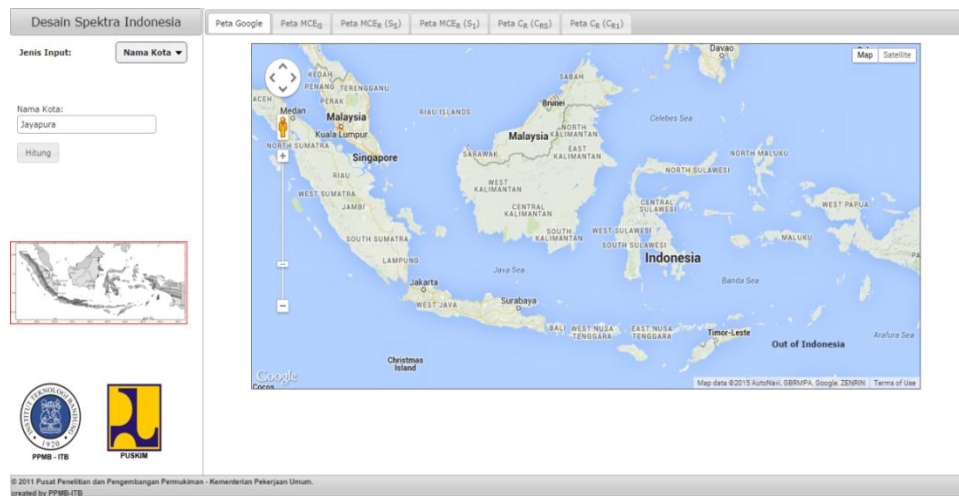


Gambar 2.2 Peta respons spektra percepatan 1 detik (S_1) di batuan dasar S_B untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berdasarkan

SNI-03-1726-2012

Di dalam peta zonasi gempa ini, setiap warna mewakili besaran parameter percepatan batuan dasar mulai dari yang terendah hingga yang paling tinggi. Daerah yang tidak memiliki warna (Daerah abu-abu) adalah daerah yang tidak terpengaruh oleh gempa karena berada jauh dari lempeng benua yang merupakan pusat gempa bumi terjadi. Untuk mengetahui nilai percepatan batuan pada tiap-tiap kota yang ingin direncanakan maupun lokasi yang lebih akurat dari peta diatas, bisa dilakukan analisa menggunakan program bantu **Desain Spektra Indonesia** yang bisa diakses pada situs:

<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/>



Gambar 2.3 Desain Spektra Indonesia

Selain nilai percepatan batuan, dalam program bantu Desain Spektra Indonesia ini juga dapat diketahui nilai parameter, faktor amplifikasi hingga periode getar untuk tiap-tiap daerah yang ditinjau.

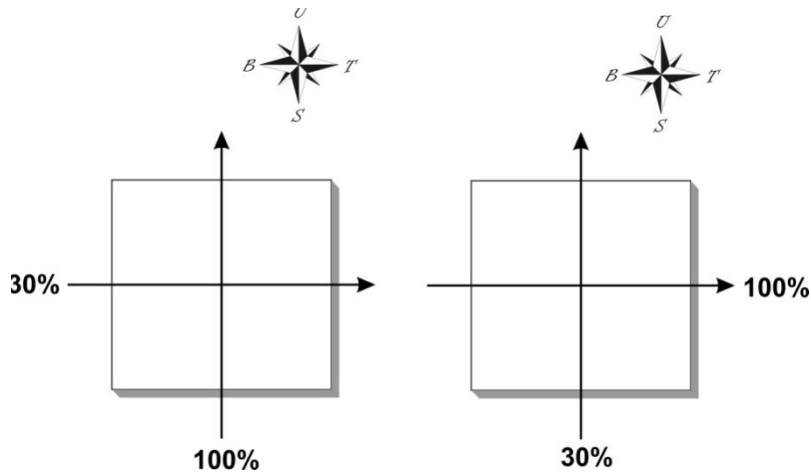
2.2.4 Pengaruh Arah Pembebanan Gempa

Arah pembebanan menentukan resiko gempa terbesar yang mungkin terjadi pada struktur. Di dalam menentukan arah pembebanan gempa, digunakan arah utama pembebanan yang paling kritis sehingga memberikan pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistemstruktur gedung secara keseluruhan.

Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi secara bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak luruh pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

- **Pengaruh Gempa Horisontal**

Pengaruh gempa horisontal adalah pengaruh gempa yang bekerja dalam dua arah sumbu yang saling tegak lurus dimana arah sumbu utamanya berlaku 100% dari beban gempa rencana ditambah dengan 30% beban gempa rencana dari arah yang saling tegak lurus dengan arah sumbu utamanya. Beban gempa horisontal adalah beban gempa yang paling berpengaruh dalam pembebanan gempa karena menyebabkan kerusakan struktur terbesar. Hal ini dikarenakan arah beban gempa ini saling tegak lurus terhadap struktur gedung yang berdiri secara vertikal diatas tanah dan menyebabkan beban geser lateral (V) itu sendiri.



Gambar 2.4 Arah pembebanan gempa horisontal

2.2.5 Kategori risiko bangunan gedung dan faktor keutamaan gempa

Kategori risiko bangunan gedung adalah kategori yang membedakan tiap-tiap gedung berdasarkan fungsinya dari resiko kerugian yang diterima akibat kegagalan struktur baik kerugian materi maupun kerugian jiwa serta dampaknya. Kategori risiko ini juga menjadi pertimbangan dalam penentuan kategori desain seismik.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan , maupun perikanan	I

- Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Ruko dan kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen - Pusat perbelanjaan - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk dalam kategori IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan, atau tempat pembuangan	III

bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting , termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi, dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Menara	IV

Sumber: SNI 03-1726-2012 Pasal 4.1

Dari hasil Tabel 2.1 diatas, didapatkan kategori resiko gedung yang akan direncanakan dan faktor keutamaan gempunya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 03-1726-2012 Pasal 4.1

Nilai I_e pada tabel diatas akan dipergunakan dalam rumus untuk menentukan koefisien respon seismik yang akan dibahas pada subbab selanjutnya.

2.2.6 Kategori desain Seismik

Kategori desain seismik adalah kategori yang menentukan jenis sistem rangka yang akan digunakan pada perencanaan sesuai dengan nilai S_{DS} , S_{D1} dan kategori resiko gedungnya.

Nilai S_{DS} dan S_{D1} sendiri didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \text{ dan } S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Dimana S_{MS} dan S_{M1} dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \text{ dan } S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

Nilai F_a dan F_v dapat dilihat pada tabel 2.9 dan 2.10

Tabel 2.3 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$S_{DS} \geq 0,5$	D	D

Sumber: SNI 03-1726-2012 pasal 6.5

Tabel 2.4 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$S_{D1} \geq 0,20$	D	D

Sumber: SNI 03-1726-2012 pasal 6.5

2.2.7 Parameter sistem struktur penahan gaya seismik

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 7.2.1, pemilihan sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter-parameter berikut:

- Faktor koefisien modifikasi respons (R)
- Faktor kuat lebih sistem (C_d)
- Faktor pembesaran defleksi (Ω_0)
- Faktor batasan tinggi sistem struktur
-

Tabel 2.5 Faktor koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem Ω_0 , faktor pembesaran defleksi (C_d), dan batasan tinggi sistem struktur untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Pasal SNI 1726 dimana persyaratan pendetailan ditetapkan	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) ^c				
					Katgori desain seismik				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	5.2.5.5 dan 7.2	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang	7.2	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI

pemikul momen menengah									
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	7.2	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 03-1726-2012 hal. 36

Keterangan:

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diijinkan

2.3 Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran.

Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari.

Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.2, terdapat dua nilai batas untuk periode bangunan, yaitu nilai minimum periode bangunan ($T_{a \text{ minimum}}$) dan nilai maksimum periode bangunan ($T_{a \text{ maksimum}}$).

Nilai minimum periode bangunan ($T_{a \text{ minimum}}$) ditentukan oleh rumus:

$$T_{a \text{ minimum}} = C_r h_n^x$$

Di mana:

$T_{a \text{ minimum}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan

H_n = Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_r = Ditentukan dari tabel 2.6

x = Ditentukan dari tabel 2.6

Tabel 2.6 Nilai Parameter periode pendekatan C_r dan x

Tipe Struktur	C_r	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangkadari defleksi jika gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka Beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 03-1726-2012

Nilai maksimum periode bangunan ($T_{a \text{ maksimum}}$) ditentukan oleh rumus:

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}}$$

$T_{a \text{ maksimum}}$ = Nilai batas atas periode bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.7

Tabel 2.7 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektra Desain Pada 1 Detik S_{D1}	Koefisien (C_u)
0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

Sumber: SNI 03-1726-2012

2.3.1 Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.1.1, perhitungan koefisien respons seismik (C_s) Harus ditentukan sesuai dengan rumus sebagai berikut:

$$C_{s(max)} = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I}}$$

Di mana:

S_{DS} = adalah parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

R = adalah faktor modifikasi respons berdasarkan Tabel 2.5

I = adalah faktor keutamaan Gempa yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.2

Nilai C_s yang dihitung pada persamaan di atas tidak perlu melebihi nilai berikut ini:

$$C_{S(hitung)} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)}$$

Nilai C_s yang dihitung tidak kurang dari nilai berikut ini:

$$C_{S(minimum)} = 0.044 S_{DS} I \geq 0.01$$

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I} \right)}$$

Di mana:

S_{D1} = adalah parameter percepatan respons spektrum desain pada periode 1 detik

S_1 = adalah parameter percepatan respons spektrum desain yang dipetakan

T = adalah periode struktur dasar (detik)

2.4 Respons spektra

Respons spektra adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons spektra merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 6.3, respons spektra desain harus ditentukan dan dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spectra berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 6.3 adalah:

- Parameter percepatan batuan dasar

Parameter S_s (Percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik seperti yang ada pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

- Parameter kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs S_A , S_B , S_C , S_D , S_E dan S_F berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 5.3 dapat dilihat pada tabel 2.8

Tabel 2.8 Klasifikasi situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 s/d 750	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350d 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 s/d 350	15 s/d 50	50 s/d 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w > 40\%$, dan Kuat geser $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikutii pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $IP > 75$) - Lapisan lempung lunak / medium kaku dengan		

	ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa
--	--

Sumber: SNI 03-1726-2012

Catatan, N/A = tidak dapat dipakai

2.4.1 Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 6.2, faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Di mana:

S_{MS} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{M1} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

F_a = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek

F_v = Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik

Koefisien situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel 2.9 dan 2.10

Tabel 2.9 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik S_S				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1$	$S_S \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,7	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber: SNI 03-1726-2012

Tabel 2.10 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

SF	SS ^b
----	-----------------

Sumber: SNI 03-1726-2012

Keterangan :

- Nilai-nilai Fa maupun Fv yang tidak terdapat pada tabel dapat dilakukan proses interpolasi linier
- SS merupakan yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

2.4.2 Parameter percepatan spektra desain

Parameter percepatan spektral desain adalah parameter yang akan dimasukkan dalam perencanaan koefisien respons seismik dan kategori desain seismik. Parameter ini dapat ditentukan setelah mengetahui Parameter percepatan respon spektral MCE (S_M) pada getaran periode pendek dan 1 detiknya. Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan respons spektra desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respons spektra desain pada periode 1 detik

- Prosedur pembuatan respons spektra desain berdasarkan SNI 03-1726-2012**

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Di mana:

S_{DS} = Parameter percepatan respons spektra desain pada periode pendek

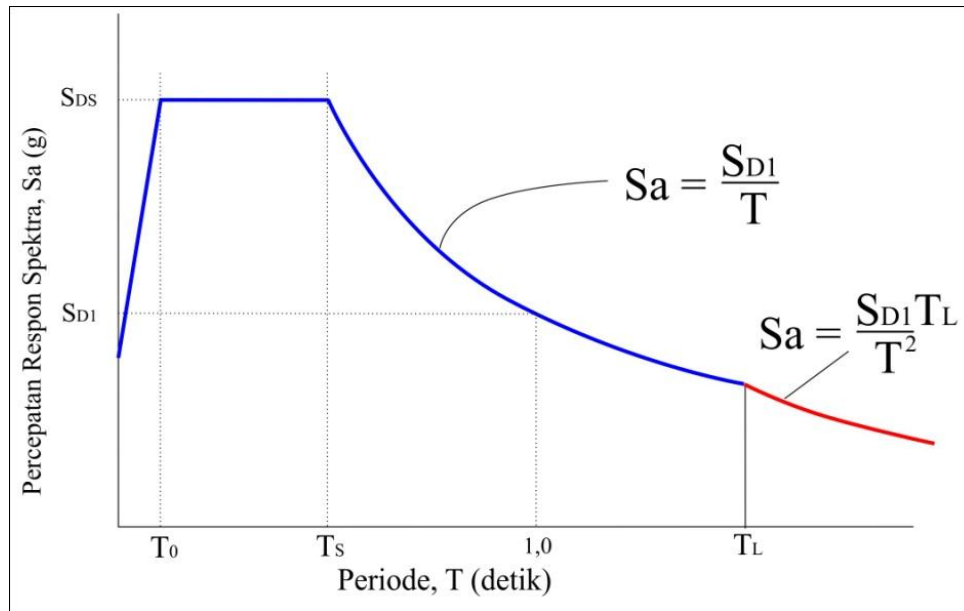
S_{D1} = Parameter percepatan respons spektra desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 2.5 Spektrum respon desain

Sumber: SNI 1726 2012 Pasal 6.4

2.5 Gaya Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012, Geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$V = C_s W_t$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W_t = berat total gedung

2.6 Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Simpangan antar lantai adalah pergeseran posisi (defleksi) antara pusat massa sebuah lantai dengan lantai yang berada di atas atau di bawahnya akibat dari penyerapan beban yang dialami oleh struktur.

Berdasarkan SNI 1726-2012, simpangan antar lantai hanya ada kinerja batas ultimate saja tanpa mempertimbangkan kinerja batas layannya.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.12.1, Simpangan antar lantai ini tidak boleh melebihi dari batas-batas yang ditentukan. Untuk semua struktur lainnya yang termasuk dalam kategori resiko gedung I dan II, batas simpangan antar lantai ultimitnya (Δ_u) tidak boleh melebihi dari $0,020 h_{sx}$.

$$\Delta \leq \Delta_u$$

Tujuan dari pemberian batasan ini adalah agar struktur tidak terlalu kaku (Rigid) dan tidak terlalu melentur. Struktur yang terlalu kaku tidak memberikan adanya tanda-tanda kerusakan struktur dan struktur yang terlalu melentur memberikan efek yang tidak nyaman pada penghuni.

2.7 Kombinasi pembebanan

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.4, faktor-faktor beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal adalah sbb:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,2 DL + 1 LL $\pm$ 0,3 EX $\pm$ 1 EY
4. 1,2 DL + 1 LL $\pm$ 1 EX $\pm$ 0,3 EY
5. 0,9 DL $\pm$ 0,3 EX $\pm$ 1 EY
6. 0,9 DL $\pm$ 1 EX $\pm$ 0,3 EY

dimana:

DL = Beban mati

LL = Beban Hidup

EX = Beban gempa arah-x

EY = Beban Gempa arah-y

Akan tetapi, pada kombinasi yang terdapat beban gempa di dalam persamaannya harus didesain berdasarkan pengaruh beban seismik yang ditentukan seperti berikut ini:

- Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3) dan (4), E harus didefinisikan sebagai:

$$E = E_h + E_v$$

- Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (5) dan (6), E harus didefinisikan sebagai:

$$E = E_h - E_v$$

Di mana:

E = Pengaruh beban seismik

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal yang akan didefinisikan selanjutnya

E_v = Pengaruh beban seismi vertikal yang akan didefinisikan selanjutnya

E_h adalah pengaruh gaya seismik horizontal. Pengaruh beban seismik E_h harus ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$E_h = \rho Q E$$

Dimana:

Q = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p

ρ = Faktor redudansi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3

E_v adalah pengaruh gaya seismik vertikal. Pengaruh beban seismik E_v harus ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$E_v = 0,2 S_{DS} DL$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

DL = Pengaruh beban mati

2.8 Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Yang dimaksudkan dengan struktur tahan gempa disini adalah struktur beton bertulang yang mampu memikul beban gempa sesuai desain seismik yang berlaku pada daerah gempa rencana. Untuk Struktur beton bertulang khususnya Sistem Rangka Pemikul Momen, Penentuan jenis sistem rangka yang digunakan harus berdasarkan Kategori Desain Seismik B, C, D, E atau F untuk memenuhi keamanan serta keefisienan struktur yang akan direncanakan sesuai SNI 03-1726-2013 pasal 7.2.1 tentang pemilihan sistem struktur.

Sistem rangka pemikul momen yang berlaku untuk kategori desain seismik ada 3 jenis yaitu sistem rangka beton bertulang pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka beton bertulang pemikul momen menengah (SRPMM), dan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK).

2.8.1 Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem rangka beton bertulang pemikul momen biasa adalah struktur rangka beton bertulang yang hanya diperbolehkan untuk memikul desain seismik dengan kategori B. Kategori B itu sendiri adalah kategori desain seismik yang dibatasi pada parameter respons percepatan periode pendek dengan nilai $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ serta termasuk dalam risiko bangunan gedung kategori I, II dan III.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.2 tentang Rangka Momen Biasa, persyaratan yang harus dipenuhi adalah pasal 21.2.2 dimana Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus

sepanjang kedua muka atas dan bawah. Tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan. Selain itu, persyaratan yang harus dipenuhi adalah pasal 21.2.3 tentang persyaratan Kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c_1 harus didesain untuk geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur.

2.8.2 Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka beton bertulang pemikul momen menengah adalah struktur rangka beton bertulang yang hanya diperbolehkan untuk memikul desain seismik dengan kategori B dan C. Kategori C itu sendiri adalah kategori desain seismik yang dibatasi pada parameter respons percepatan periode pendek dengan nilai $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$ serta termasuk dalam risiko bangunan gedung kategori I, II dan III.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3 tentang Rangka Momen Menengah, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan SRPMM. Adapun persyaratan pada SNI 03-2847-2013 yang harus dipenuhi dalam perencanaan SRPMM ini adalah sebagai berikut:

1. Detail tulangan (Pasal 21.3.2)

pada komponen struktur rangka harus memenuhi 21.3.4 bila gaya tekan aksial terfaktor, P_u , untuk komponen struktur yang tidak melebihi $A_g f'_c/10$. Bila P_u lebih besar, detail tulangan rangka harus memenuhi 21.3.5.

2. Kekuatan geser (Pasal 21.3.3)

ϕV_n balok yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- a) Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor (Gambar 2.6);
- b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.

ϕV_n kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- a) Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi (Gambar 2.6);
- b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh Ω_o .

3. Balok (Pasal 21.3.4)

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

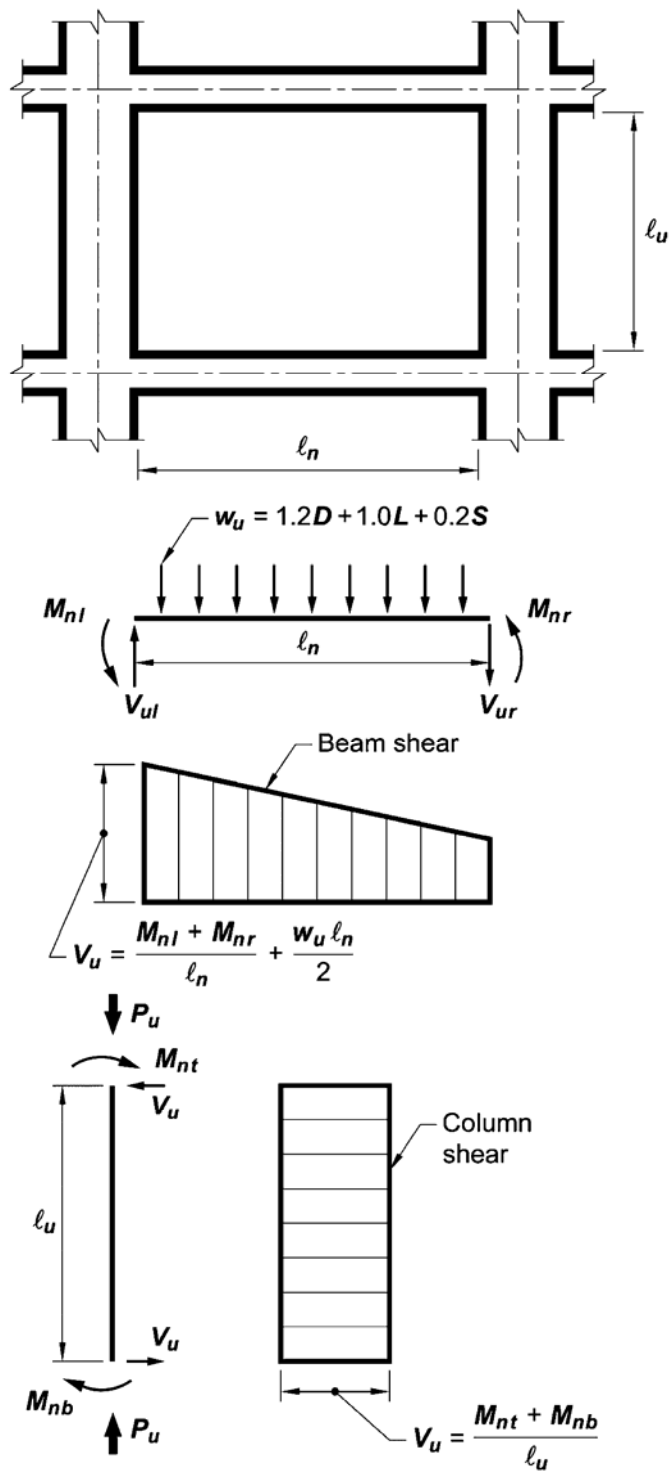
Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- a) $d/4$;
- b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
- c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
- d) 300 mm.

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok.

4. Kolom (Pasal 21.3.5)

Kolom harus ditulangi secara spiral sesuai dengan 7.10.4 atau harus memenuhi 21.3.5.2 hingga 21.3.5.4. Subpasal 21.3.5.5 berlaku untuk semua kolom, dan 21.3.5.6 berlaku untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus



Gambar 2.6 Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah

Pasal yang harus dipenuhi dalam penulangan kolom pada perencanaan struktur rangka momen menengah adalah:

- Pasal 21.3.5.2, Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_o sepanjang panjang l_o diukur dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):
 - a) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - b) 24 kali diameter batang tulangan begel;
 - c) Setengah dimensi penampang kolom terkecil;
 - d) 300 mm.

Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari (e), (f), dan (g):

- e) Seperenam bentang bersih kolom;
 - f) Dimensi penampang maksimum kolom;
 - g) 450 mm.
- Pasal 21.3.5.3, Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o/2$ dari muka joint.
 - Pasal 21.3.5.4, Di luar panjang l_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.1.
 - Pasal 21.3.5.5, Tulangan transversal joint harus memenuhi 11.10.
 - Pasal 21.3.5.6 Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_o seperti didefinisikan dalam 21.3.5.2 sepanjang tinggi penuh di bawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $A_g f'_c / 10$.

Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $A_g f'_c / 10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f'_c / 4$. Tulangan transversal ini harus menerus di atas dan di bawah kolom seperti yang disyaratkan dalam 21.6.4.6(b).

2.8.3 Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus adalah struktur rangka beton bertulang yang hanya diperbolehkan untuk memikul desain seismik dengan kategori B, C, D, E dan F. Kategori D itu sendiri adalah kategori desain seismik yang dibatasi pada parameter respons percepatan periode pendek dengan nilai $S_{DS} > 0,50$ serta termasuk dalam risiko bangunan gedung kategori I, II dan III. Desain seismik kategori E adalah kategori dengan nilai $S_1 \geq 0,75$ serta termasuk dalam risiko bangunan gedung kategori I, II dan III. Sedangkan desain seismik kategori F adalah kategori dengan nilai $S_1 \geq 0,75$ serta termasuk dalam risiko bangunan gedung kategori IV.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5 tentang Komponen struktur lentur rangka momen khusus dan Pasal 21.6 tentang komponen struktur rangka momen khusus yang dikenai beban lentur dan aksial, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan SRPMK. Adapun persyaratan pada SNI 03-2847-2013 yang harus dipenuhi dalam perencanaan SRPMK ini adalah sebagai berikut:

1. Pasal 21.5.1.1, Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, **P_u** , tidak boleh melebihi **$A_g f'_c / 10$** .
2. Pasal 21.5.1.2, Bentang bersih untuk komponen struktur, ℓ_n , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya. **$\ell_n \geq 4h$** .

3. Pasal 21.5.1.3, Lebar komponen, **b_w** , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
4. Pasal 21.5.1.4, Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2 , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan lebih kecil dari (a) dan (b):
 - a) Lebar komponen struktur penumpu, c_2 dan
 - b) 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1 .
5. Pasal 21.5.2.1, Pada sebarang penampang komponen struktur lentur, kecuali seperti diberikan dalam 10.5.3, untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diberikan oleh Pers. (10-3) tetapi tidak kurang dari **$1,4b_wd/f_y$** , dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.
6. Pasal 21.5.2.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.
7. Pasal 21.5.2.3, Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan
8. Pasal 21.5.3.1, Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut:

- a) Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;
 - b) Sepanjang panjang-panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.
9. Pasal 21.5.3.2, Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b) dan (c):
- a) $d/4$;
 - b) enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal yang disyaratkan oleh 10.6.7; dan
 - c) 150 mm
10. Pasal 21.5.3.3, Bila sengkang tertutup diperlukan, batang tulangan lentur utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus mempunyai tumpuan lateral yang memenuhi pasal 7.10.5.3 atau pasal 7.10.5.4. Spasi batang tulangan lentur yang tertumpu secara transversal tidak boleh melebihi 350 mm. Tulangan kulit yang disyaratkan oleh pasal 10.6.7 tidak perlu tertumpu secara lateral.
11. Pasal 21.5.3.4, Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen struktur.

12. Pasal 21.5.3.5, sengkang atau pengikat yang diperlukan untuk menahan geser harus berupa sengkang sepanjang panjang komponen struktur dalam pasal 21.5.3.1.
13. Pasal 21.3.5.6 sengkang pada komponen struktur lentur diijinkan terbentuk dari dua potong tulangan: sebuah sengkang yang mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya dan ditutup oleh pengikat silang. Pengikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan memanjang yang sama harus mempunyai kait 90 derajatnya pada posisi komponen struktur lentur yang berlawanan. Jika batang tulangan memanjang yang diamankan oleh pengikat silang dikekang oleh slab hanya pada satu sisi komponen struktur rangka lentur, kait pengikat silang 90 derajat harus ditempatkan pada sisi tersebut.
14. Pasal 21.5.4.1, Gaya geser desain harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tribuari terfaktor sepanjang bentangnya.
15. Pasal 21.5.4.2, Tulangan transversal sepanjang panjang yang diidentifikasi dalam 21.5.3.1 harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:
- a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung sesuai dengan pasal 21.5.4.1 mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut;

- b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$.

16. Pasal 21.6.1, Persyaratan dari subpasal ini berlaku untuk komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial terfaktor, P_u , akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi $A_g f'_c / 10$. Komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi-kondisi dari pasal 21.6.1.1. dan pasal 21.6.1.2.
17. Pasal 21.6.1.1, Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
18. Pasal 21.6.1.2, Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4
19. Pasal 21.6.3.1, Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g .
20. Pasal 21.6.3.2, Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
21. Pasal 21.6.4.1 Tulangan transversal yang disyaratkan dalam 21.6.4.2 sampai 21.6.4.4 harus dipasang sepanjang panjang ℓ_o dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari (a), (b), dan (c):
- a) Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi;
 - b) Seperenam bentang bersih komponen struktur; dan

c) 450 mm.

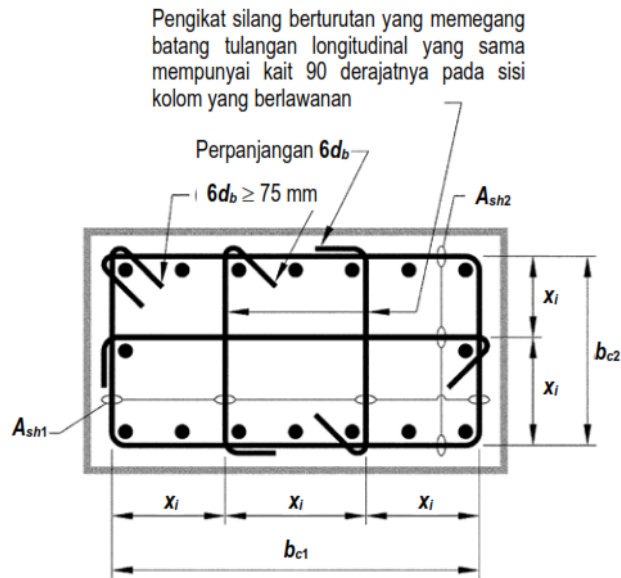
22. Pasal 21.6.4.2, Tulangan transversal harus disediakan dengan salah satu dari spiral tunggal atau saling tumpuk yang memenuhi 7.10.4, sengkang bulat, atau sengkang persegi dengan atau tanpa pengikat silang. Pegikat silang yang berurutan harus diseling ujung-ujungnya sepanjang tulangan longitudinal. Spasi pengikat silang atau kaki-kaki sengkang persegi, h_x , dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat (Gambar 2.7).

23. Pasal 21.6.4.3, Spasi tulangan transversal sepanjang panjang ℓ_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c);

- a) Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- c) S_o , seperti didefinisikan pada rumus dibawah ini:

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$$

Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.



Dimensi x_i dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm. Rumus h_x yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

Gambar 2.7 Contoh penulangan transversal pada kolom

24. Pasal 21.6.4.4, Jumlah tulangan transversal yang disyaratkan dalam (a) atau (b) harus disediakan kecuali bila jumlah yang lebih besar disyaratkan oleh 21.6.5.

a) Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan di bawah ini:

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right)$$

Dan tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan di bawah ini:

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

b) Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} , tidak boleh kurang dari yang diisyaratkan oleh persamaan di bawah ini:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

dan

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

25. Pasal 21.6.4.5, Di luar panjang ℓ_o , yang ditetapkan dalam pasal 21.6.4.1, kolom harus mengandung tulangan spiral atau sengkang yang memenuhi pasal 7.10 dengan spasi pusat ke pusat, s , tidak melebihi yang lebih kecil dari enam kali diameter batang tulangan kolom longitudinalnya terkecil dan 150 mm, kecuali bila jumlah tulangan transversal yang lebih besar disyaratkan oleh pasal 21.6.3.2 atau 21.6.5
26. Pasal 21.6.4.6, Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tak menerus, seperti dinding, harus memenuhi (a) dan (b):
- Tulangan transversal seperti yang disyaratkan dalam 21.6.4.2 hingga 21.6.4.4 harus disediakan sepanjang tinggi keseluruhannya pada semua tingkat di bawah diskontinuitas jika gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini berhubungan dengan pengaruh gempa, melebihi $A_g f'_c / 10$. Bilamana gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $A_g f'_c / 10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f'_c / 4$.
 - Tulangan transversal harus menerus ke dalam komponen struktur tak menerus paling sedikit sejarak sama dengan ℓ_d , dimana ℓ_d ditentukan sesuai dengan pasal 21.7.5 untuk batang tulangan kolom longitudinal terbesar. Bilamana ujung bawah kolom berhenti pada suatu dinding, tulangan

transversal perlu harus menerus ke dalam dinding paling sedikit ℓ_d dari batang tulangan kolom longitudinal terbesar di titik pemutusan. Bilamana kolom berhenti pada fondasi tapak (footing), setempat, atau penutup tiang fondasi, tulangan transversal perlu harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam fondasi tapak, setempat, atau penutup tiang fondasi.

27. Pasal 21.6.4.7, Bila selimut beton di luar tulangan transversal pengekan yang ditetapkan dalam 21.6.4.1, 21.6.4.5, dan 21.6.4.6 melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan harus disediakan. Selimut beton untuk tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 300 mm.

2.9 Perencanaan Balok Dengan Tulangan Tekan dan Tarik (Rangkap)

2.9.1 Balok T Tulangan Rangkap

Perencanaan balok T tulangan rangkap adalah proses menentukan dimensi tebal dan lebar flens. Lebar dan tinggi efektif balok, dan luas tulangan baja tarik. Balok T juga didefinisikan sebagai balok yang menyatu dengan plat, dimana plat tersebut mengalami tekanan.

Dengan nilai $M_{D\ b}$, $M_{L\ b}$, $M_{E\ b}$, dimana kombinasi untuk M_u balok :

$$= 1,4M_{D\ b}$$

$$= 1,2M_{D\ b} + 1,6M_{L\ b}$$

$$= 1,2M_{D\ b} + 1,0M_{L\ b} \pm 1,0M_{E\ b}$$

$$= 0,9M_{D\ b} \pm 1,0M_{E\ b}$$

Dari keempat kombinasi di atas maka diambil nilai M_u yang paling besar. Balok persegi memiliki tulangan rangkap apabila momen yang harus ditahan cukup besar dan $A_s \text{ perlu} > A_s \text{ Maks}$.

Untuk tulangan maksimum ada persyaratan bahwa balok atau komponen struktur lain yang menerima beban lentur murni harus bertulang lemah (under reinforced) SNI 2847-2013 memberikan batasan tulangan tarik maksimum sebesar 75% dari yang diperlukan pada keadaan regang seimbang. $A_s \text{ maks} = 0,75 \rho_b$.

$$A_s \text{ maks} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Untuk tulangan minimum agar menghindari terjadinya kahancuran getas pada balok, maka SNI 2847-2013 pada halaman 76 juga mengatur jumlah minimum tulangan yang harus terpasang pada balok, yaitu :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \cdot b_w \cdot d \text{ dan tidak lebih kecil dari } A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d$$

Langkah-langkah perencanaan balok T tulangan rangkap

➤ Dapatkan nilai $M_{D b}$, $M_{L b}$, $M_{E b}$, dimana kombinasi untuk M_u balok :

$$= 1,4M_{D b}$$

$$= 1,2M_{D b} + 1,6M_{L b}$$

$$= 1,2M_{D b} + 1,0M_{L b} \pm 1,0M_{E b}$$

$$= 0,9M_{D b} \pm 1,0M_{E b}$$

1. Tentukan tulangan tarik dan tekan

2. Hitung nilai $d' = \text{tebal selimut beton} + \text{diameter sengkang} + \frac{1}{2} \times$

diameter tulangan tarik. Setelah itu hitung $d = h - d'$.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 8.12.2, lebar plat efektif yang diperhitungkan bekerja sama dengan rangka menahan momen lentur ditentukan sebagai berikut :

- a. Jika balok mempunyai plat dua sisi.

Lebar efektif diambil nilai terkecil dari :

$$b_{\text{eff}} < \frac{1}{4} \text{ dari bentang balok (panjang balok)}$$

$$< b_w + 8h_{f_{\text{kiri}}} + 8h_{f_{\text{kanan}}}$$

$$< b_w + \frac{1}{2} \text{ jarak bersih ke badan di sebalahnya.}$$

- b. Jika balok hanya mempunyai plat satu sisi.

Lebar efektif diambil nilai terkecil dari :

$$- b_{\text{eff}} < \frac{1}{12} \text{ dari bentang balok (panjang balok) } L$$

$$- b_{\text{eff}} < b_w + (6 \times h_{f_{\text{kiri}}}) + (6 \times h_{f_{\text{kanan}}})$$

$$- b_{\text{eff}} < b_w + \frac{1}{2} \text{ jarak bersih ke badan di sebalahnya.}$$

3. Mencari letak garis netral

Analisa balok bertulang rangkap dimana tulangan tekan sudah leleh.

Misalkan tulangan tarik dan tulangan leleh.

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

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = A_s' \cdot f_y$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$\sum H = 0 \rightarrow C_c + C_s = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y = f_y (A_s - A_s')$$

$$\text{Sehingga nilai } a = \frac{f_y (A_s - A_s')}{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b} \cdot b \cdot d$$

Dengan nilai tersebut kita kontrol tegangan yang terjadi apakah tulangan tekan leleh apa belum. Jika leleh, perhitungan dapat dilanjutkan dan jika belum leleh nilai a kita hitung kembali dengan persamaan lain.

$$\text{Tinggi garis netral } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{f_y (A_s - A_s')}{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$\text{Dari diagram regangan } \frac{\epsilon'_s}{\epsilon'_c} = \frac{(c-d')}{c} \rightarrow \epsilon'_s = \frac{(c-d')}{c} \epsilon'_c$$

Jika $\epsilon'_s < \epsilon_y = f_y / \epsilon_s \rightarrow$ berarti tulangan tekan belum leleh maka perhitungan diulang.

Jika $\epsilon'_s > \epsilon_y = f_y / \epsilon_s \rightarrow$ berarti tulangan tekan belum leleh maka perhitungan dilanjutkan.

$$M_n = C_c \cdot z_1 + C_s \cdot z_2 \text{ dimana : } z_1 = d - \frac{a}{2} \text{ dan } z_2 = z - z'$$

Analisis balok bertulang rangkap dimana tulangan tekan belum leleh.

Ini terjadi jika nilai $\epsilon'_s > \epsilon_y = f_y / \epsilon_s$

Untuk itu dicari nilai a dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\sum H = 0, \text{ maka } C_c + C_s = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y$$

$$f_s' = \epsilon'_s \cdot \epsilon_s, \text{ dimana : } \epsilon'_s = \frac{(c-d')}{c} \epsilon'_c$$

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} \epsilon'_c \cdot \epsilon_s = \frac{(c-d')}{c} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} \cdot 600$$

$$\text{Maka } 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot x + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

Dengan substitusi nilai $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 \cdot A_s' \cdot c - A_s \cdot f_y \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d = 0$$

Dengan rumus ABC nilai x dapat dihitung :

$$c_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Selanjutnya dapat dihitung dengan nilai-nilai :

$$f_s' = \frac{(c - d')}{c} \cdot 600$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \text{dimana } a = \beta_1 \cdot x$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$z_1 = d - \frac{a}{2} \text{ dan } z_2 = d - d'$$

$$M_n = C_c \cdot z_1 + C_s \cdot z_2$$

2.9.2 Perencanaan Balok Terhadap Geser

Komponen struktur yang mengalami lentur akan mengalami juga kehancuran geser, selain kehancuran tarik/tekan. Sehingga dalam perencanaan struktur yang mengalami lentur selain direncanakan tulangan lentur, juga harus direncanakan tulangan geser.

Kuat geser pada struktur yang mengalami lentur SNI 2847-2013 adalah :

$$\phi V_u \geq V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

V_c = kuat geser nominal yang disediakan oleh beton pada penampang yang ditinjau.

V_s = kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser pada penampang yang ditinjau.

V_n = kuat geser nominal pada penampang yang ditinjau.

Gaya geser terfaktor (V_u) ditinjau pada penampang sejarak (d) dari muka tumpuan dan untuk penampang yang jaraknya kurang dari d dapat direncanakan sama dengan pada penampang yang sejarak d .

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.11.3.1 adalah :

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana :

b_w = lebar badan balok

d = jarak dari serat terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal

Ada 2 keadaan :

Bila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$, maka harus dipasang tulangan geser minimum dengan luas tulangan :

$$A_v = \frac{0,35 b_w \cdot s}{f_y}$$

Dan bila $V_u > \phi V_c$, maka harus dipasang tulangan geser, sedangkan besar gaya geser yang disumbangkan oleh tulangan adalah :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

Dimana :

A_v = luas tulangan geser dalam daerah sejarak s .

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

s = spasi tulangan geser dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal.

Sedangkan untuk spasi sengkang adalah :

$$s \leq \frac{1}{2} d$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Sedangkan bila $V_s > 0,33\sqrt{f'_c} b_w \cdot d$, maka spasi tulangan adalah :

$$s \leq \frac{1}{4} d$$

$$s \leq 300 \text{ mm}$$

Dalam hal ini V_s tidak boleh lebih besar dari $0,66\sqrt{f'_c} b_w \cdot d$

2.9.3 Pemutusan Tulangan Balok

Dalam desain ini akan dicari jarak penghentian tulangan lentur dari muka kolom sejarak l_d . Agar diperoleh panjang penghentian terbesar. Panjang penyaluran l_d dalam kondisi tarik pada SNI 2847-2013 pasal 14.2.(2) dihitung dengan rumus tersebut di pasal 12.2.2

$$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) db$$

Dimana :

ψ_t, ψ_e, λ dimabil dari tabel SNI 2847-2013 halaman 112.

Penyaluran batang ulir yang berbeda dalam kondisi tekan.

- 1) Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan, l_d harus ditentukan dari 12.3.2 dan faktor modifikasi yang sesuai dari 12.3.3, tetapi l_d tidak boleh kurang dari 200 mm.
- 2) Untuk tulangan batang tulangan ulir dan kawat, l_d harus diambil sebesar yang terbesar dari $(0,24f_y/\lambda\sqrt{f'_c})d_b$ dan $(0,043f_y)d_b$, dengan λ seperti diberikan dalam 12.2.4(d) dan konstanta 0,043 mempunyai satuan mm^2/N .
- 3) Panjang l_d dalam 12.3.2 diizinkan untuk dikalikan dengan faktor yang sesuai untuk :
 - a) Tulangan yang melebihi dari yang diperlukan oleh analisis.....(**As perlu)/(As terpasang**)
 - b) Tulangan dilingkupi tulangan spiral tidak kurang dari berdiameter 6 mm dan tidak lebih dari spasi 100 mm atau dalam pengikat berdiameter 13 yang memenuhi 7.10.5 dan berspasi pusat ke pusat tidak lebih dari 100 mm.....**0,75**

2.10 Perencanaan Struktur Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.10.1 Perencanaan Komponen Lentur Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Kuat lentur pada komponen lentur adalah M_u harus ditentukan dengan kombinasi sebagai berikut :

$$M_u = 1,4 M_D$$

$$M_u = 1,2 M_D + 1,6 M_L$$

$$M_u = 1,2 M_D + 1,0 M_L \pm 1,0 M_E$$

$$M_{ub} = 0,9 M_{Db} \pm M_{Eb}$$

Dimana :

M_D = Momen lentur komponen portal akibat beban mati tak terfaktor

M_{Lb} = Momen lentur komponen portal akibat beban hidup tak terfaktor

M_{Eb} = Momen lentur komponen portal akibat beban gempa tak terfaktor

Selain penentuan kuat lentur, tiap komponen-komponen struktur yang menerima beban lentur dalam SRPMK sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 21.6.1.1 sampai dengan 21.6.1.2 harus memenuhi kondisi berikut :

1. Gaya tekan aksial terfaktor $P_u \leq A_g \cdot f'_c / 10$
2. $b_w/h \geq 0,4$
3. $b_w \geq 300 \text{ mm}$

dimana :

A_g = luas bruto penampang (mm^2)

d = tinggi efektif penampang (mm)

b_w = lebar badan (mm)

h = tinggi total komponen struktur (mm)

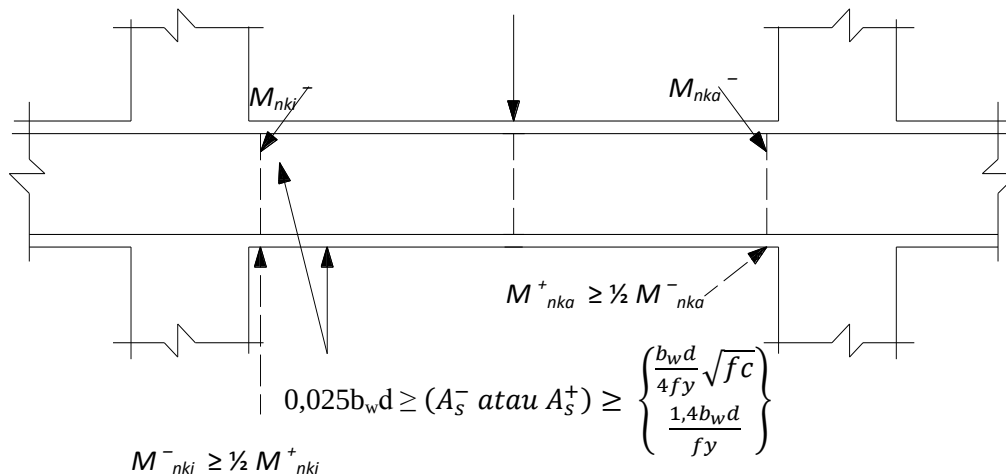
Persyaratan penulangan untuk komponen lentur pada SRPMK menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 dan Pasal 21.5.2.2 adalah sebagai berikut :

- a. Tulangan minimal baik atas maupun bawah harus sedikitnya :

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d \text{ dan } \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y}$$

- b. Rasio tulangan $\rho \leq 0,025$

- c. Kekuatan momen positif pada muka joint $\geq \frac{1}{2}$ kuat momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut.
- d. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.
- e. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.



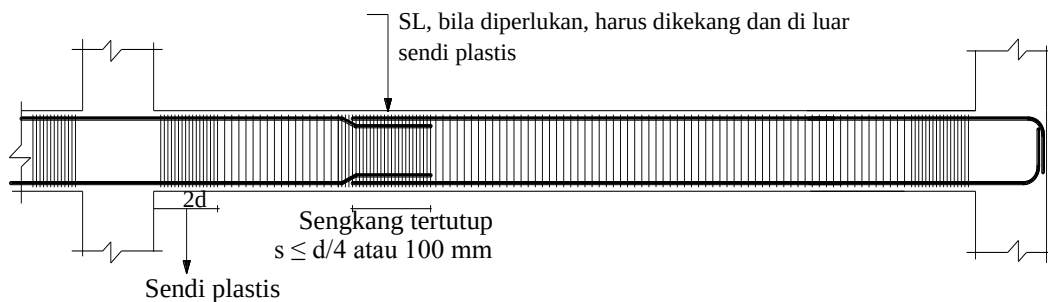
Gambar 2.8 Persyaratan Penulangan Komponen Lentur Pada SRPMK

Sementara untuk sambungan lewatan (SL) harus diletakkan di luar daerah sendi plastis. Bila dipakai SL, maka sambungan itu harus didesain sebagai SL tarik dan harus dikekang sebaik-baiknya. Menurut SNI 2847-2013 persyaratannya adalah :

- a. SL diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan.

- b. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatkan tidak boleh melebihi $d/4$ dan 100 mm.

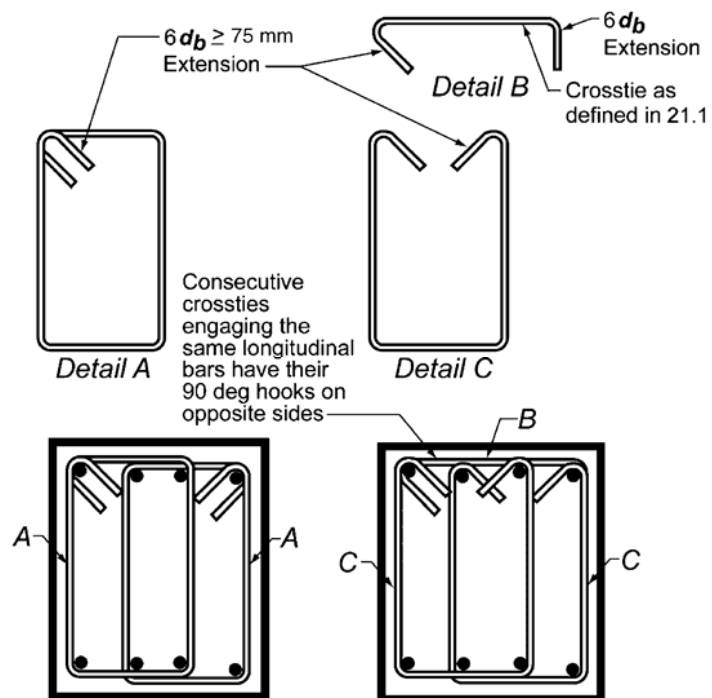
SL tidak boleh digunakan dalam Joint, dalam jarak $2d$ dari muka joint, di lokasi kemungkinan terjadi sendi plastis dan di daerah momen maksimum



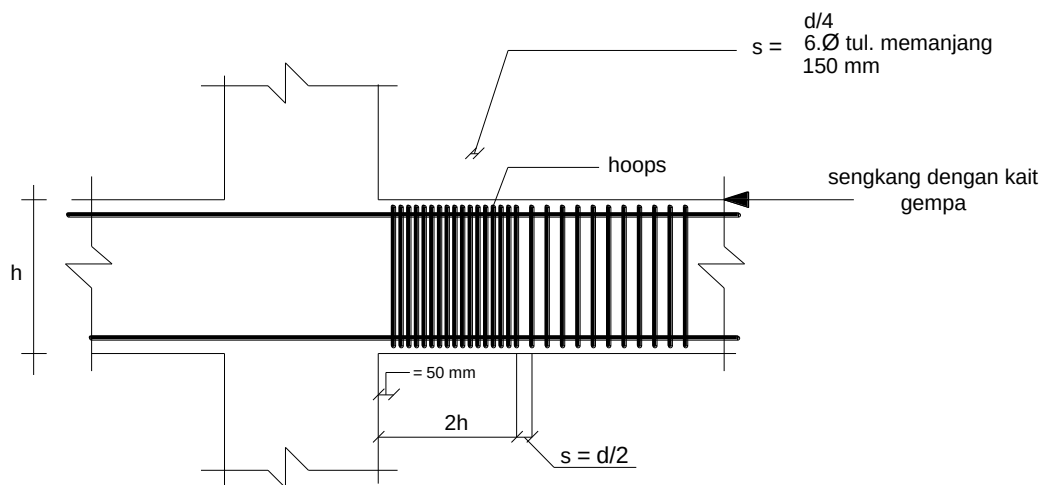
Gambar 2.9 Tipikal Sambungan Lewatan (SL)

Pengekangan yang cukup disyaratkan harus ada di ujung-ujung komponen lentur yang kemungkinan besar akan terjadi sendi plastis untuk menjamin kemampuan daktilitas struktur tersebut, bila terkena beban bolak-balik. Persyaratan tulangan pengekan disyaratkan di SNI 2847-2013 :

- a. Hoops diperlukan sepanjang $2d$ dari muka kolom pada dua ujung komponen lentur, dengan meletakkan hoops pertama sejarak 50 mm dari muka kolom.
- b. Hoops juga diperlukan sepanjang $2 \times d$ di dua sisi potongan yang momen leleh mungkin timbul berkenaan dengan lateral displacement inelastic dari rangka.
- c. Hoops disyaratkan s harus tidak melebihi $d/4$, 6 x tulangan memanjang terkecil, dan 150 mm, spasi batang tulangan lentur tidak melebihi 350 mm.
- d. Dimana hoops tidak disyaratkan, begel dengan hoops gempap di dua ujung harus dipasang dengan $s \leq d/2$ sepanjang komponen.
- e. Tulangan transversal harus pula dipasang untuk menahan gaya geser (V_e).



Gambar 2.10 Sambungan Lewatan dan Sengkang Tertutup pada SRPMK



Gambar 2.11 Penulangan Transversal Untuk Komponen Lentur pada SRPMK

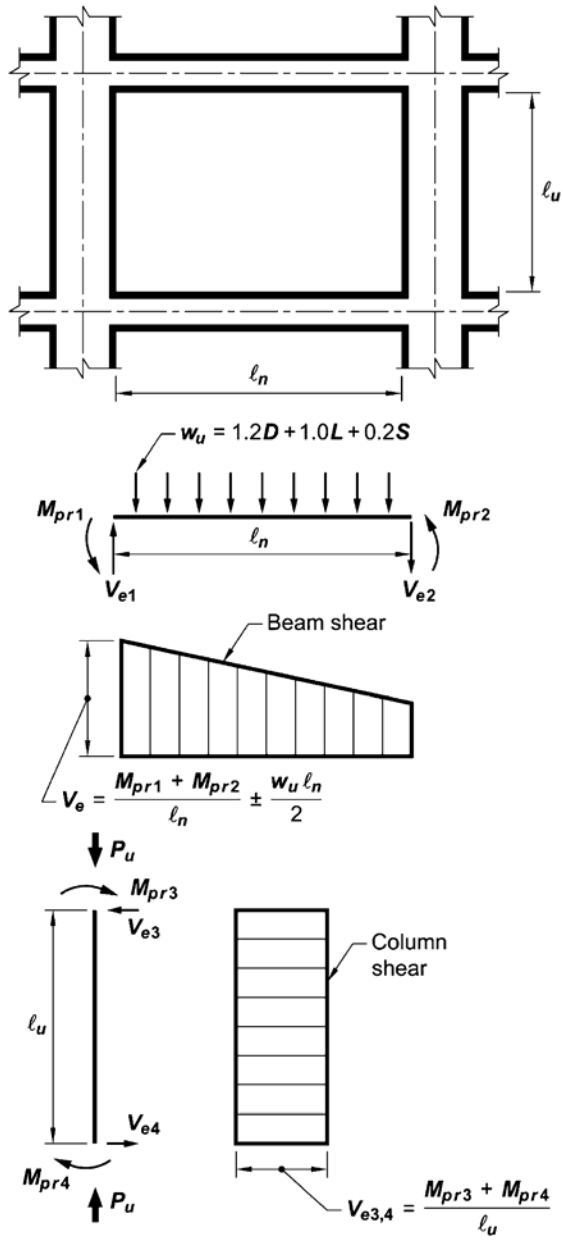
2.10.2 Persyaratan Kuat Geser Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Tulangan geser pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kegagalan getas oleh geser mendahului kegagalan oleh lentur. Kebutuhan tulangan geser harus dibandingkan dengan kebutuhan tulangan pengekangan untuk dipakai yang lebih banyak agar memenuhi kebutuhan keduanya.

Pada komponen struktur yang menerima beban lentur harus didesain dengan gaya geser dengan memakai momen maksimum yang mungkin terjadi (M_{pr}). M_{pr} merupakan momen kapasitas balok dengan tegangan tulang sebesar $f_s = 1,25 f_y$ dan $\phi = 1$, ditambah dengan beban gravitasi di balok.

Bila gaya geser akibat saja $\geq 0,5$ maksimum kuat geser rencana, dan gaya aksial tekan terfaktor termasuk efek gempa kurang dari $A_g f'_c/20$ maka kontribusi kuat geser beton V_c boleh diambil sama dengan nol.

Untuk komponen struktur yang kena beban aksial dan lentur pada SRPMK, gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka HBK di tiap ujung komponen kolom oleh M_{pr} maksimum terkait dengan beban-beban aksial terfaktor yang bekerja pada komponen struktur yang bersangkutan V_e yang didapat tak perlu lebih besar dari gaya melintang HBK yang diperoleh dari M_{pr} komponen transversal dan tak boleh lebih kecil dari hasil analisa struktur.



Gambar 2.12 Geser Desain Untuk Balok dan Kolom

2.10.3 Perencanaan Komponen Terkena Beban Lentur dan Aksial Pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan prinsip “Capacity Design” dimana kolom harus diberi cukup kekuatan, sehingga kolom-kolom tidak leleh lebih dahulu sebelum balok.

Goyangan lateral memungkinkan terjadinya sendi plastis di ujung-ujung kolom akan menyebabkan kerusakan berat, karena itu harus dihindarkan. Oleh sebab itu kolom-kolom selalu didesain 20% lebih kuat dari balok-balok di suatu Hubungan Balok Kolom (HBK).

Komponen rangka yang termasuk dalam klasifikasi komponen struktur yang terkena beban lentur dan aksial dalam SRPMK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Beban aksial tekan terfaktor $\leq A_g \cdot f_c/10$.
- b. Dimensi terkecil penampang ≥ 300 mm.
- c. Ratio dimensi terkecil penampang terhadap dimensi tegak lurus $\geq 0,4$.
- d. Ratio tulangan (ρ_g) tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06
- e. SL hanya diijinkan di sekitar tengah panjang komponen, harus sebagai sambungan tarik, yang harus dikenai tulangan transversal sepanjang penyalurannya.

Kuat lentur komponen strukturnya dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Dimana :

$\sum M_{nc}$ = jumlah momen di muka HBK sesuai dengan desain kuat lentur.

$\sum M_{nb}$ = jumlah momen di muka HBK sesuai dengan desain kuat lentur nominal balok-balok.

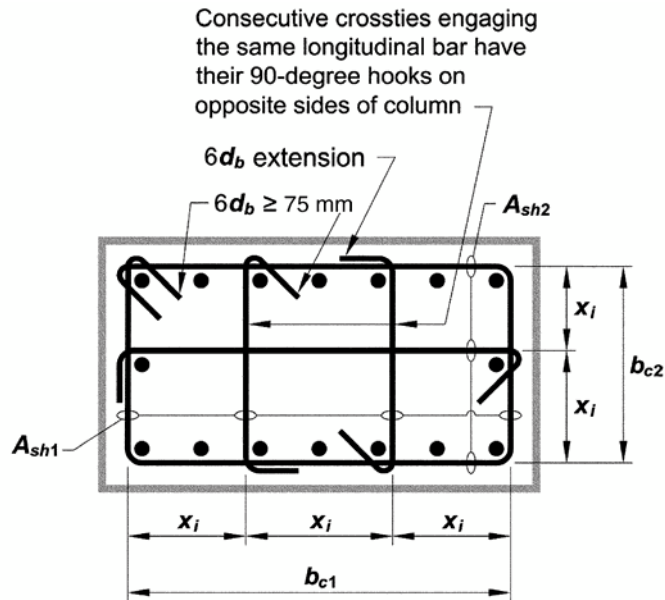
Persyaratan Tulangan Transversal (TT) di SNI 2847-2013 adalah sebagai berikut :

- a. Ratio Volumerik tulangan spiral atau sengkang cincin tidak boleh kurang dari $\rho_s = 0,12 f'_c / f_{yh}$.
- b. Total luas penampang tulangan hoops persegi panjang untuk pengekangan harus tidak boleh kurang dari nilai dua persamaan ini :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

- c. Tulangan transversal harus berupa sengkang tunggal atau tumpuk.



The dimension x_i from centerline to centerline of tie legs is not to exceed 350 mm. The term h_x used in equation 21-2 is taken as the largest value of x_i .

Gambar 2.13 Tulangan Transversal pada Kolom

- d. Perlu dipasang sepanjang l_o dari muka HBK dikena ujung kolom dimana lentur leleh kemungkinan dapat terjadi l_o harus tak boleh lebih kecil dari :
- Tinggi penampang komponen struktur pada HBK.
 - $1/6$ panjang bentah bersih.
 - 450 mm

- e. Spasi tulangan transversal sepanjang panjang l_o tidak boleh melebihi $\frac{1}{4}$ dimensi komponen struktur minimum, $6 \times \emptyset$ tulangan longitudinal, $100 \text{ mm} \leq s_o \leq 150 \text{ mm}$.
- f. Spasi pengikat sengkang atau kaki-kaki sengkang persegi, h_x dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat.
- g. Tulangan vertikal tidak boleh berjarak bersih lebih dari 150 mm dari tulangan yang didukung secara lateral. Bila TT untuk pengekanan tidak lagi disyaratkan maka sisa panjang kolom harus terpasang tulangan hoops dengan jarak s tak melebihi $6 \times$ diameter tulangan memanjang atau 150 mm.

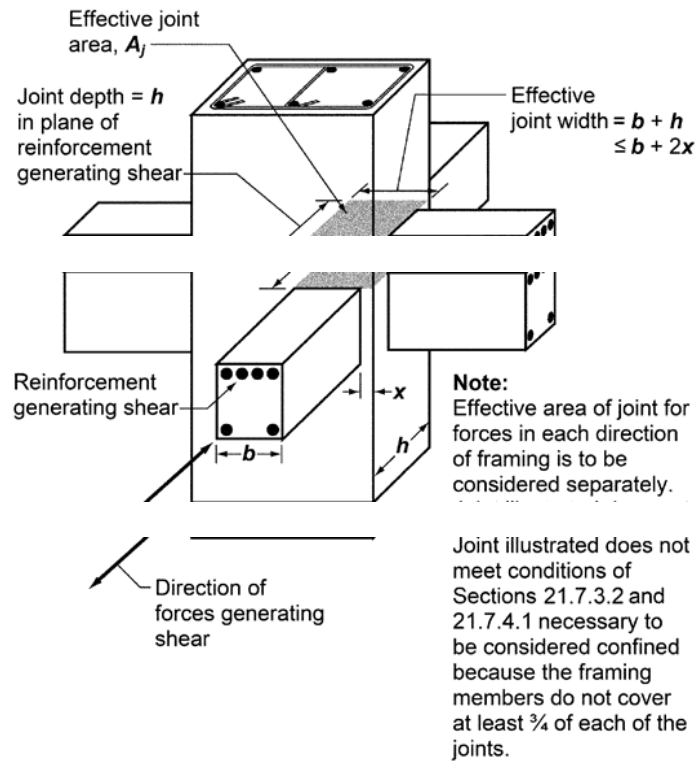
2.10.4 Hubungan Balok Kolom (HBK) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Penulangan memanjang harus menerus menembus HBK dan dijangkar sebagai batang tarik atau tekan dengan panjang penyaluran yang benar dalam suatu inti kolom terkekang. Lekatan antara tulangan memanjang dan beton tidak boleh sampai lepas atau slip di dalam HBK yang berakibat menambah rotasi dalam HBK. Menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.7 persyaratan ukuran minimum harus dipenuhi agar mengurangi kemungkinan kegagalan dan kehilangan lekatan pada waktu terjadi beban berbalik di atas tegangan leleh tulangan.

Bila tulangan memanjang balok menerus melewati HBK. Maka dimensi kolom yang sejajar tulangan balok harus tidak boleh lebih kecil dari 20 kali diameter terbesar tulangan memanjang.

Faktor paling penting dalam menentukan kuat geser nominal HBK adalah luas efektif (A_j) dari HBK. Untuk HBK yang dikekang oleh balok-balok di keempat mukanya, maka kapasitas atau kuat geser nominal HBK adalah sebesar $1,7 A_j \sqrt{f'c}$. Untuk hubungan yang terkekang di tiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan, maka kapasitasnya maka $1,25 A_j \sqrt{f'c}$. Dan untuk kasus-kasus lainnya, kuat geser nominal = $1,0 A_j \sqrt{f'c}$. Penting untuk dipahami bahwa kapasitas geser adalah hanya fungsi dari kekuatan beton dan luas A_j .

Dalam menghitung gaya geser di HBK gaya dalam tulangan memanjang balok di muka HBK, harus dianggap mempunyai tegangan tarik sebesar $1,25 f_y$.



Gambar 2.14 Luas Efektif dari HBK

BAB III

DATA PERENCANAAN

3.1. Data Perencanaan

3.1.1. Data Teknis Bangunan

- Nama Proyek : Pembangunan Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I
- Struktur Gedung : Stuktur Beton Bertulang
- Zona Gempa : Kota Malang
- Jumlah Lantai : 13 Lantai + Atap
- Fungsi Gedung : Perkuliahan
- Panjang : 36 m
- Lebar : 36 m
- Tinggi Bangunan : 86,12 m

3.1.2. Mutu Bahan Yang Digunakan

- Mutu beton (f_c') : 25 Mpa
- Mutu baja ulir (f_y) : 390 Mpa

3.2. Tahapan Perencanaan

Tahapan dari perencanaan Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I Malang meliputi tahapan sebagai berikut :

3.2.1. Analisa Pembebanan

Pembebanan yang diperhtungkan pada perencanaan Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I Malang secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Beban Mati (Dead Load)
- Beban Hidup (Live Load)
- Beban Gempa (Quake Load), untuk kota Malang berdasarkan SNI 03-1726-2012 memiliki percepatan percepatan batuan dasar, yaitu :

$$- S_s = 0,781$$

$$- S_1 = 0,330$$

Berdasarkan beban-beban tersebut maka struktur Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I Malang harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berikut :

1. $U = 1,4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L$
3. $U = 1,2D + 1 \times 30\% L \pm 1EX \pm 0,3EY$
4. $U = 1,2D + 1 \times 30\% L \pm 0,3EX \pm 1EY$
5. $U = 0,9D \pm 0,3EX \pm 1EY$
6. $U = 0,9D \pm 1EX \pm 0,3EY$

3.2.2. Analisa Statika

Untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur gedung yaitu digunakan program struktur STAAD Pro.

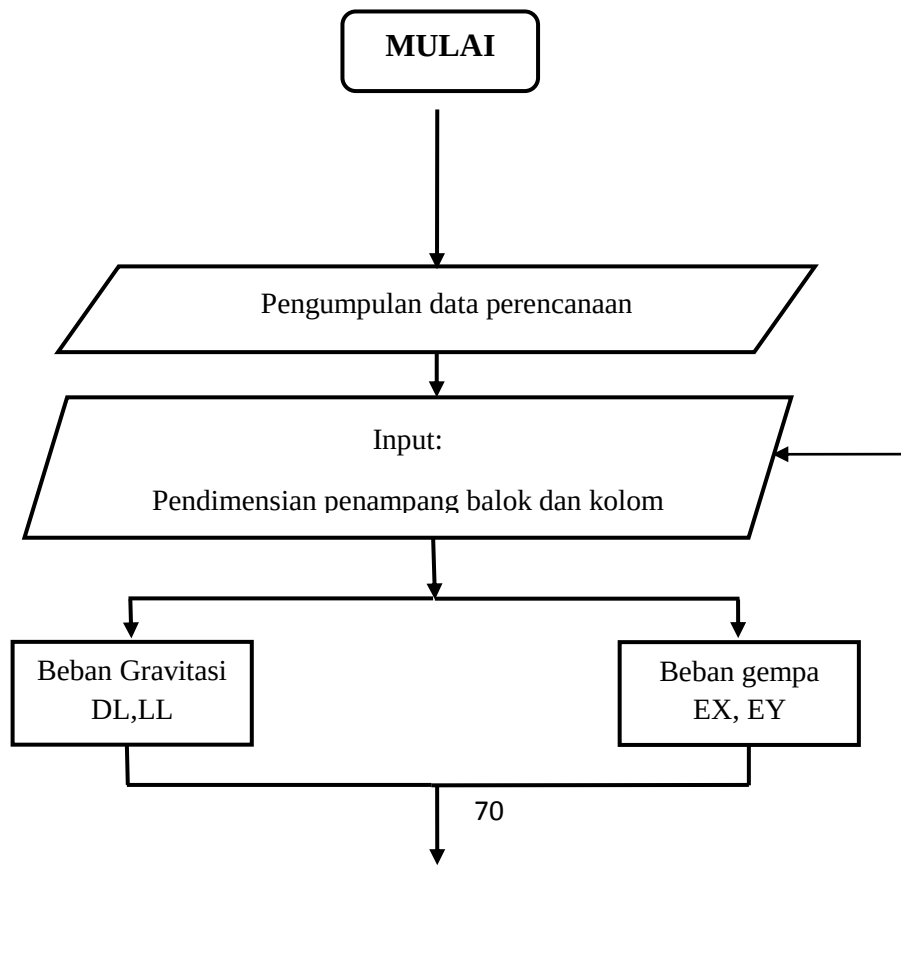
Adapun pedoman perencanaan yang digunakan, antara lain :

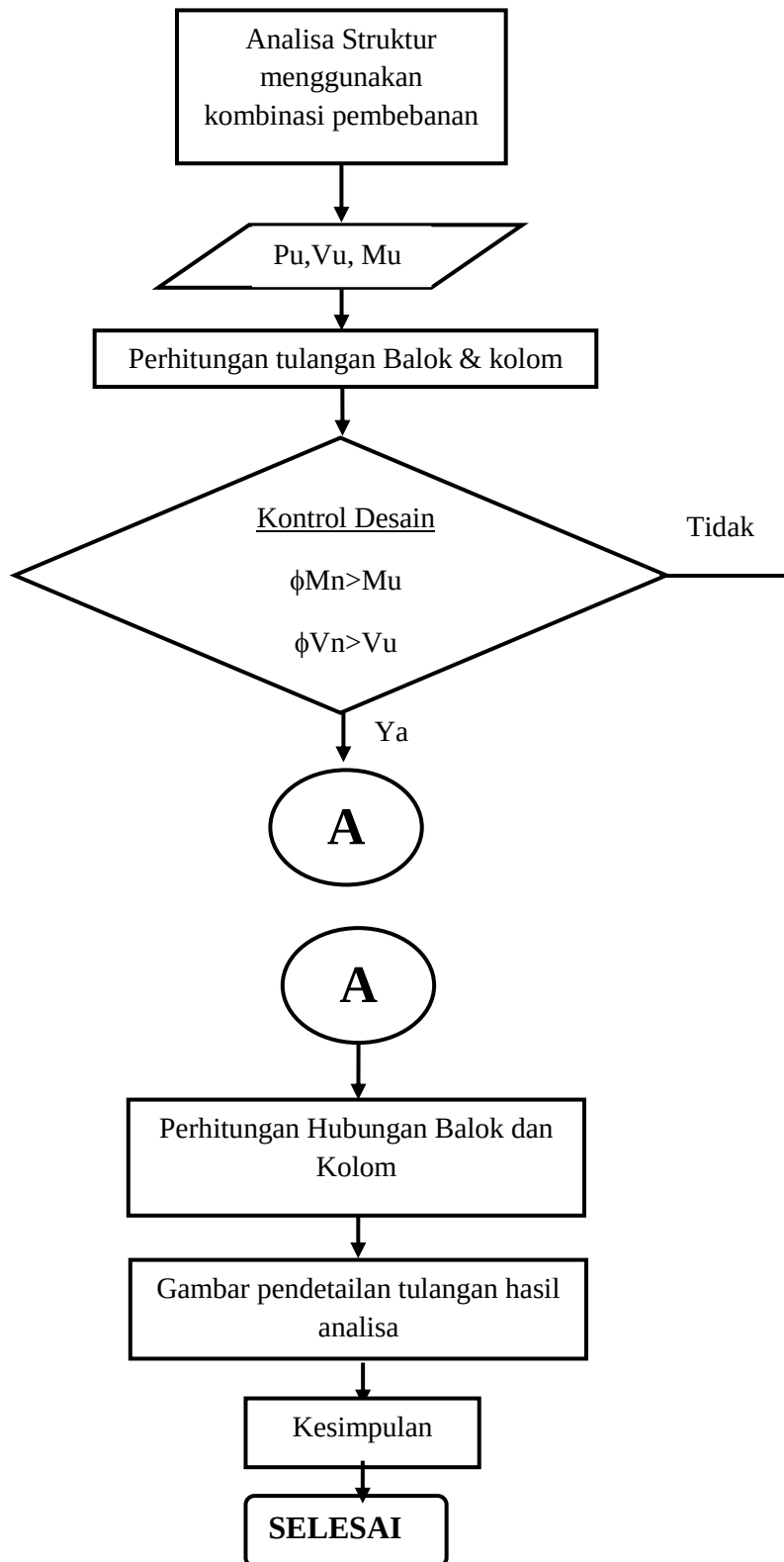
- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847-2013.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726-2012.
- Peraturan Pembebanan SNI 1727-2013.

3.2.3. Desain Beton Bertulang

Sistem yang digunakan dalam merencanakan struktur beton bertulang di proposal skripsi ini yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

3.3. Bagan Alir





3.4. Perencanaan Dimensi Plat, Balok, dan Kolom

a) Dimensi Balok

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.1.3 bahwa lebar balok (b) tidak boleh kurang dari 250 mm dan perbandingan lebar (b) terhadap tinggi (h) tidak boleh kurang dari 0,3.

- Untuk panjang balok induk = 7,2 m = 720 cm

$$h = \frac{1}{12}L \approx \frac{1}{10}L = \frac{1}{12}720 \approx \frac{1}{10}720$$

$$= 60 \text{ cm s/d } 72 = 70$$

$$b = \frac{1}{2}h \approx \frac{2}{3}h = \frac{1}{2}70 \approx \frac{2}{3}70$$

$$= 35 \text{ cm s/d } 47 \approx 35 \text{ cm}$$

Dipakai balok induk berukuran **35/75**

Untuk menunjang nilai estetika dari gedung ini maka, untuk semua bentang balok induk direncanakan menggunakan ukuran **35/75**

- Untuk panjang balok anak = 7,2 m = 720 cm

$$h = \frac{1}{15}L \approx \frac{1}{12}L = \frac{1}{15}720 \approx \frac{1}{12}720$$

$$= 48 \text{ cm s/d } 60 = 50$$

$$b = \frac{1}{2}h \approx \frac{2}{3}h = \frac{1}{2}45 \approx \frac{2}{3}45$$

$$= 25 \text{ cm s/d } 33 \approx 30 \text{ cm}$$

Dipakai balok anak berukuran **30/50**

Untuk menunjang nilai estetika dari gedung ini maka, untuk semua bentang balok anak direncanakan menggunakan ukuran **30/50**

- Untuk balok Lift dipakai balok berukuran **25/35**

- Untuk balok tangga dipakai balok berukuran **25/30**

Dari perhitungan di atas, didapatkan dimensi balok induk, balok anak, balok Lift dan balok tangga yang digunakan pada struktur sebagai berikut:

- a) $B1 = 35/75 \rightarrow$ balok induk
- b) $B2 = 30/50 \rightarrow$ balok anak
- c) $B3 = 25/35 \rightarrow$ balok separator lift
- d) $B4 = 25/30 \rightarrow$ balok tangga

b) Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.1.1 dan 26.6.1.2 bahwa ukuran penampang terkecil tidak boleh kurang dari 300 mm dan perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus nya tidak boleh kurang dari 0,4.

- Dipakai kolom berukuran $= 100 / 100$

$$100 / 100 = 1 > 0,4 \text{ (OK)}$$
- Dipakai kolom berukuran $= 80 / 80$

$$80 / 80 = 1 > 0,4 \text{ (OK)}$$
- Dipakai kolom berukuran $= 60 / 100$

$$60 / 100 = 0,6 > 0,4 \text{ (OK)}$$
- Dipakai kolom berukuran $= 45 / 65$

$$45 / 65 = 0,69 > 0,4 \text{ (OK)}$$
- Dipakai kolom berukuran $= 30 / 30$

$$30 / 30 = 1 > 0,4 \text{ (OK)}$$

Ukuran balok menurut Rumus empiris	Ukuran balok yang dipakai di lapangan
B1 (35/70) → balok induk	B1 (35/75)
B2 (30/50) → balok anak	B2 (30/50)

Tabel 3.1 Perbandingan dimensi balok dengan rumus empiris dan data proyek

Ukuran Kolom menurut Rumus empiris	Ukuran Kolom yang dipakai di lapangan
K1 (100/100)	K1 (100/100)
K2 (80/80)	K2 (80/80)
K3 (60/100)	K3 (60/100)
K4 (45/65)	K4 (45/65)
K5 (30/30)	K5 (30/30)

Tabel 3.2 Perbandingan dimensi Kolom dengan rumus empiris dan data proyek

c) Dimensi Plat

Digunakan tebal plat 12 cm untuk lantai 1 s/d lantai 12 dan tebal plat 12 cm untuk lantai atap.

3.5. Perhitungan Pembebanan

a) Beban Mati (Dead Load)

- *Berat sendiri* : untuk berat sendiri balok, kolom dan plat struktur sudah dihitung menggunakan perintah selfweight pada Program bantu STAAD Pro.

➤ **Beban tiap Lantai**

• **Beban Lantai 1**

Tinggi tembok 7 m dengan tebal $\frac{1}{2}$ bata, tebal 15 cm berat jenis tembok 1700 kg/m³

$$= 0,15 \times 1 \text{ m}' \times 7 \text{ m} \times 1700 \text{ kg/m}^3 = 1785 \text{ kg/m}'$$

Tinggi tembok sebagian (60% tembok penuh) + kaca Lantai

$$= 0,6 \times 1785 \text{ kg/m}' = 1071 \text{ kg/m}'$$

Beban pasir urug bawah lantai tebal 5 cm

$$= 1 \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ kg/m}^2 = 80 \text{ kg/m}^2$$

Beban keramik + adukan tebal 3 cm

$$= 1 \times 1 \times 0,03 \times 2200 \text{ kg/m}^2 = 63 \text{ kg/m}^2$$

Beban plafond dan rangka plafond

$$= 11 \text{ kg/m}^2 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

• **Beban Lantai 2**

Tinggi tembok 5 m dengan tebal $\frac{1}{2}$ bata, tebal 15 cm berat jenis tembok 1700 kg/m³

$$= 0,15 \times 1 \text{ m}' \times 5 \text{ m} \times 1700 \text{ kg/m}^3 = 1275 \text{ kg/m}'$$

Tinggi tembok sebagian (60% tembok penuh) + kaca Lantai

$$= 0,6 \times 1275 \text{ kg/m}' = 765 \text{ kg/m}'$$

Beban pasir urug bawah lantai tebal 5 cm

$$= 1 \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ kg/m}^2 = 80 \text{ kg/m}^2$$

Beban keramik + adukan tebal 3 cm

$$= 1 \times 1 \times 0,03 \times 2100 \text{ kg/m}^2 = 63 \text{ kg/m}^2$$

Beban plafond dan rangka plafond

$$= 11 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

- **Beban Lantai 3 s/d Lantai 12**

Tinggi tembok 4,5 m dengan tebal $\frac{1}{2}$ bata, tebal 15 cm berat jenis tembok 1700 kg/m³

$$= 0,15 \times 1 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 1700 \text{ kg/m}^3 = 1147,5 \text{ kg/m'}$$

Tinggi tembok sebagian (60% tembok penuh) + kaca Lantai

$$= 0,6 \times 1147,5 \text{ kg/m'} = 688,5 \text{ kg/m'}$$

Beban pasir urug bawah lantai tebal 5 cm

$$= 1 \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ kg/m}^2 = 80 \text{ kg/m}^2$$

Beban keramik + adukan tebal 3 cm

$$= 1 \times 1 \times 0,03 \times 2100 \text{ kg/m}^2 = 63 \text{ kg/m}^2$$

Beban plafond dan rangka plafond

$$= 11 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

- **Beban Lantai Atap**

Tinggi tembok 1,5 m dengan tebal ½ bata, tebal 15 cm berat jenis tembok 1700 kg/m³

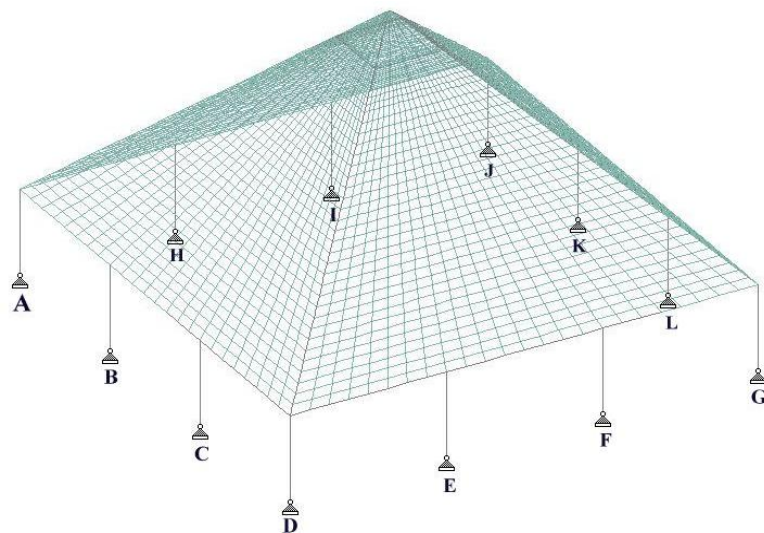
$$= 0,15 \times 1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1700 \text{ kg/m}^3 = 382,5 \text{ kg/m}^2$$

Beban plafond dan rangka plafond

$$= 11 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

- Merencanakan Pola Beban Atap

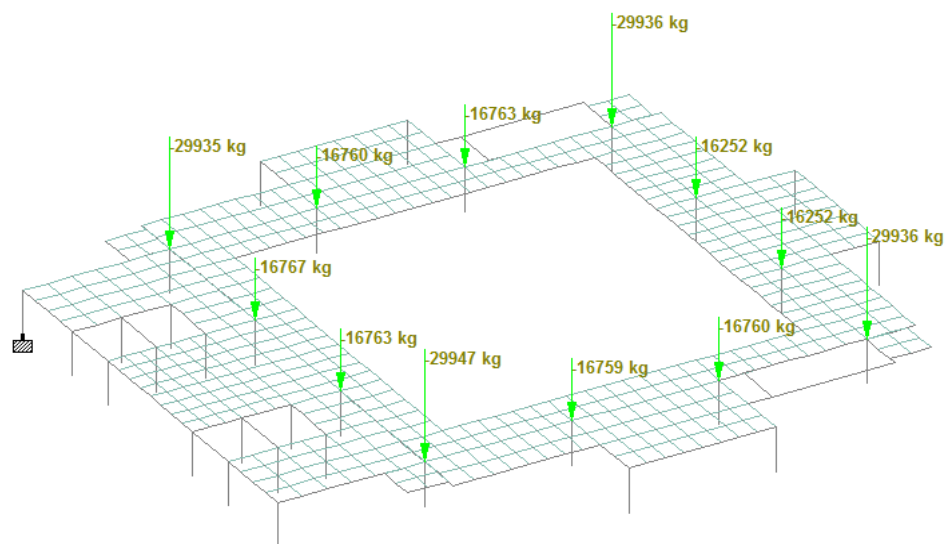
Untuk rangka atap di hitung tersendiri maka diperoleh hasil reaksinya dari tiap titik. Dari hasil reaksi maka akan di pusatkan pada struktur, penghubung antara kolom struktur dengan tiang kuda-kuda.



Titik Reaksi pada atap

TITIK	HASIL REAKSI
A	29935 kg
B	16767 kg
C	16763 kg
D	29947 kg
E	16759 kg
F	16760 kg
G	29936 kg
H	16760 kg
I	16763kg
J	29936 kg
K	16252 kg
L	16252 kg

Contoh pembebanan pada lantai atas pengganti atap



b) Beban Hidup (Live Load)

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987, beban hidup untuk Lantai Gedung yang berfungsi sebagai Ruang Kuliah adalah 250 kg/m^2 , sedangkan untuk Lantai atap adalah 100 kg/m^2 .

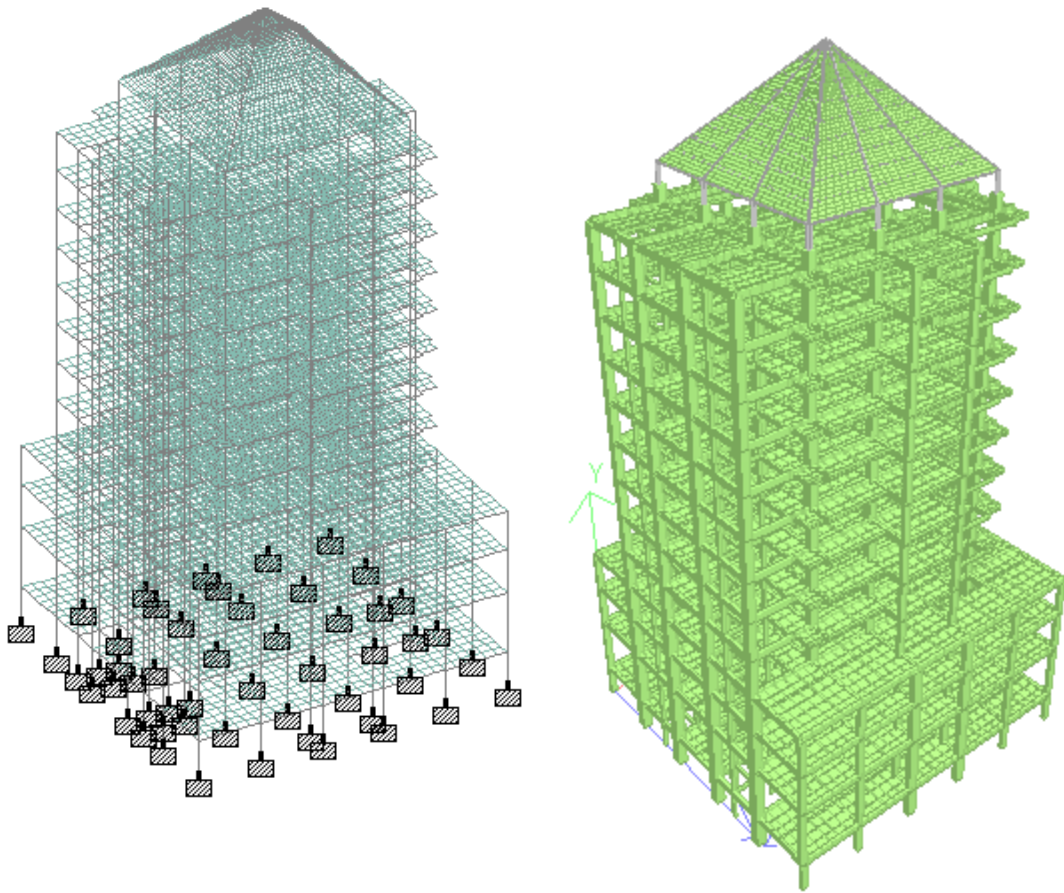
c) Beban Gempa (Earthquake Load)

Beban gempa adalah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung tersebut atau bagian dari gedung tersebut yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Beban gempa yang direncanakan berdasarkan kriteria bangunan dan jenis tanah dimana gedung tersebut di bangun. Desain beban gempa menggunakan respon spectra rencana yang telah di bahas di bab 2 berdasarkan SNI 1726-2012.

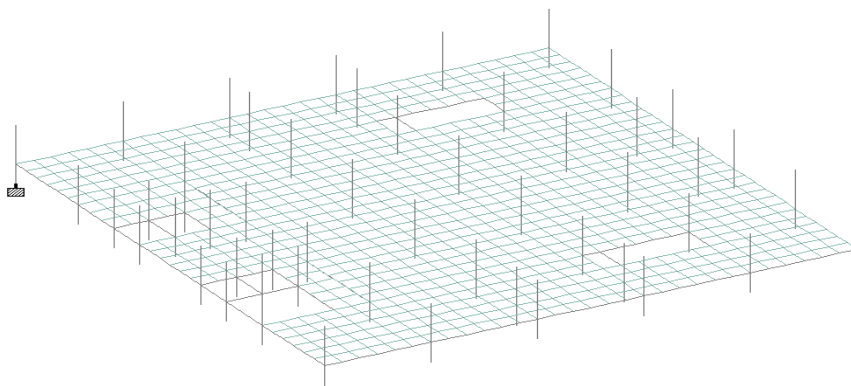
Untuk koordinat pusat massa lantai (Center Of Mass) dilihat dari hasil running Program Banti Teknik Sipil yaitu STAAD Pro 2004, berat bangunan per lantai yang telah di potong dalam bentuk 3D dengan perintah / command – Postt Analysis Print : CG (Center Of Gravity) dan Support Reaction.

Untuk mensimulasi arah pengaruh gempa yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

Perhitungan beban gempa dihitung berdasarkan per lantai, dari analisa dengan STAAD Pro di ambil reaksinya, seperti di bawah ini.

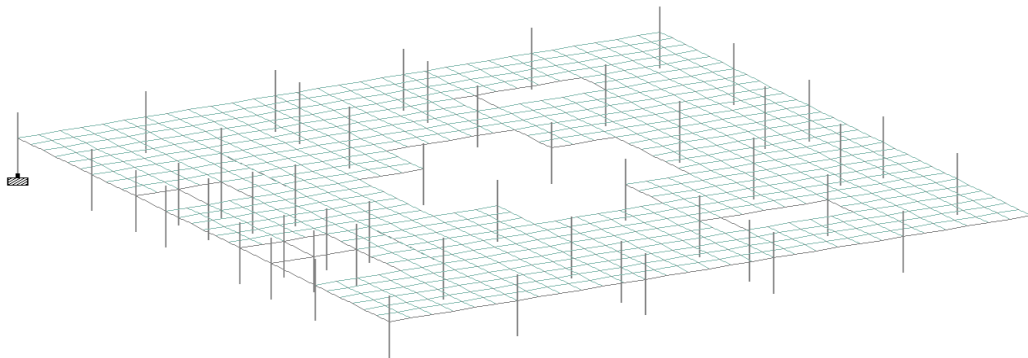


Berat lantai 1



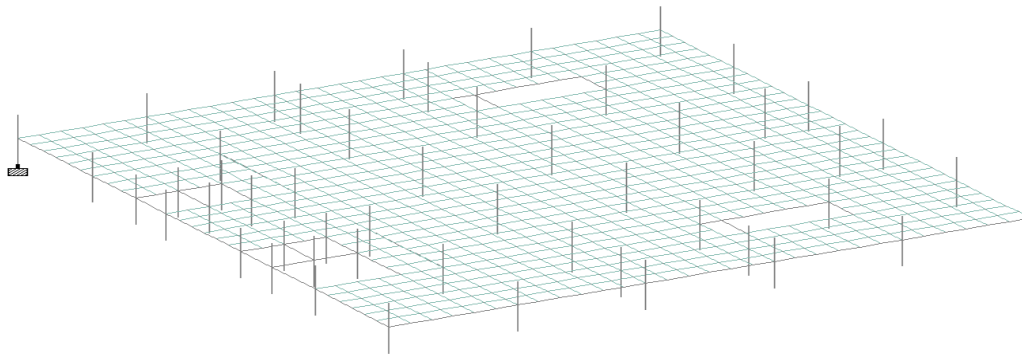
Hasil Reaksi =

Berat lantai 2



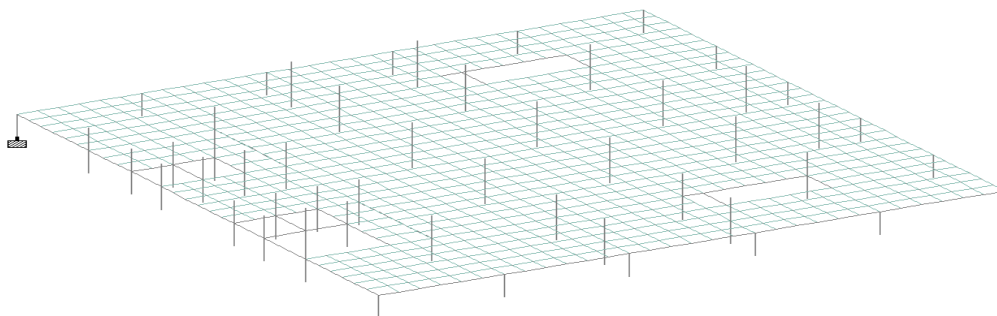
Hasil Reaksi lantai 2 =

Berat lantai 3



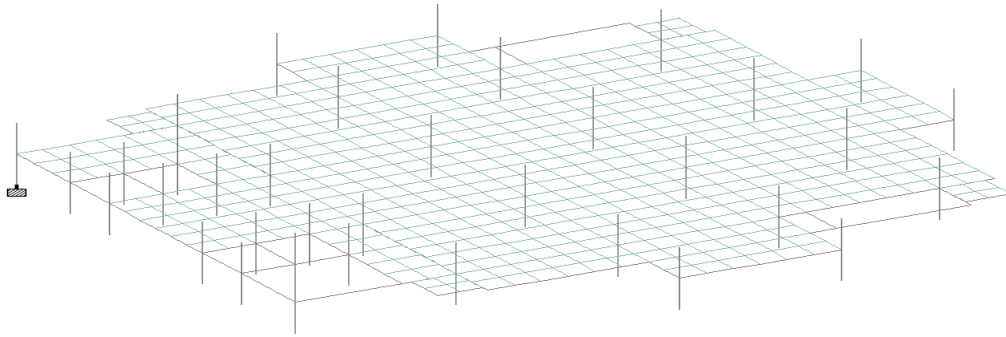
Hasil Reaksi lantai 3 =

Berat lantai 4

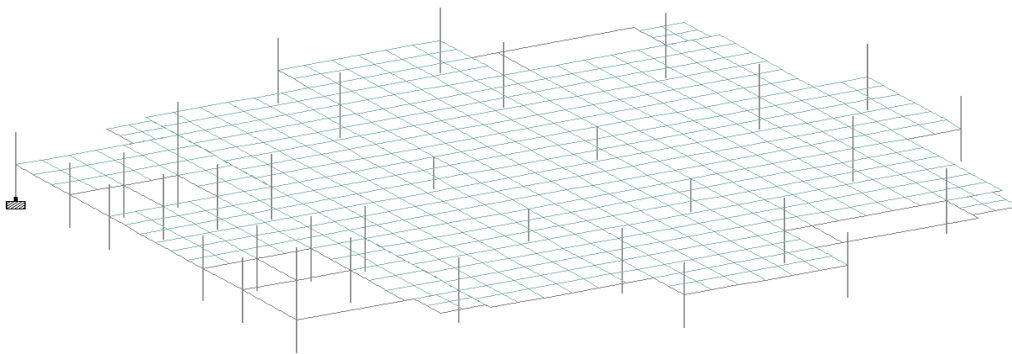


Hasil reaksi lantai 4 =

Berat lantai 5-11



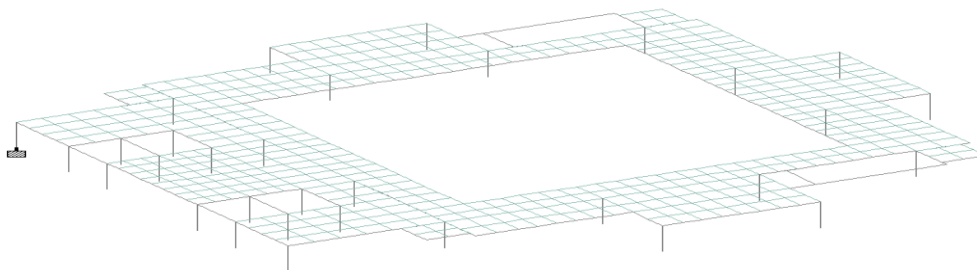
Hasil reaksi lantai 5-11 =



Berat lantai 12

Hasil reaksi lantai 12 =

Berat lantai 13



Hasil reaksi lantai 13 =

Tingkat	Berat tiap Lantai
Lantai Atap	738100
Lantai 12	1194000
Lantai 11	954600
Lantai 10	954600
Lantai 9	954600
Lantai 8	954600
Lantai 7	954600
Lantai 6	954600
Lantai 5	954600
Lantai 4	1185000
Lantai 3	1310000
Lantai 2	1321000
Lantai 1	1409000
Σ	13,839,300

3.6. Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS)

3.6.1 Menentukan Nilai S_s dan S_1

Dalam menentukan KDS, hal pertama yang perlu kita ketahui adalah nilai percepatan respon spectrum pendek (S_s) dan nilai percepatan respon spectrum 1 detik (S_1). Nilai S_s dan S_1 ini dapat dilihat pada peta respon spectra SNI 03-1726-2012. Namun

untuk mendapatkan nilai S_s dan S_1 yang lebih akurat, penulis menggunakan program bantu Desain Spektra Indonesia yang bisa diakses pada situs :

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

untuk kota Malang, di dapat nilai :

$$S_s = 0,781$$

$$S_1 = 0,33$$

3.6.2 Menentukan Kageori Resiko bangunan dan Faktor Keutamaan, I_e

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 untuk Bangunan dengan fungsi Gedung sebagai Gedung Perkuliahan, maka dapat disimpulkan bahwa Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I Malang termasuk dalam gedung Kategori IV.

Dengan ditentukannya Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap I Malang termasuk dalam gedung Kategori II, maka factor keutamaan gempa I_e , adalah 1,5.

3.6.3 Menentukan Koefisien Situs, F_a dan F_v

Koefisien situs F_a

Koefisien situs F_a ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_s dan kelas situs yang berdasarkan jenis tanah.

$$S_s = 0,781$$

Kelas situs = SC (tanah Keras)

Dari data di atas, di dapat nilai :

$$F_a = 1,1$$

Koefisien situs F_v

Koefisien situs F_v ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_1 dan kelas situs yang berdasarkan jenis tanah.

$$S_1 = 0,330$$

Kelas situs = SC (tanah Keras)

Dari data di atas, di dapat nilai :

$$F_v = 1,5$$

3.6.4 Menentukan Nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = 2/3 F_a . S_s$$

$$= 2/3 * 1,1 * 0,781$$

$$= 0,57 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 F_v . S_1$$

$$= 2/3 * 1,5 * 0,330$$

$$= 0,33 \text{ g}$$

3.6.5 Menentukan Nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{MS} = 1,1 * 0,781$$

$$= 0,86$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

$$S_{M1} = 1,5 * 0,330$$

$$= 0,50$$

3.6.6 Menentukan Nilai T_0 dan T_s

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$= 0,2 \frac{0,33}{0,57}$$

$$= 0,116$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,33}{0,57}$$

$$= 0,589$$

3.6.7 Menentukan Nilai S_a

1. untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spectrum Respon percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

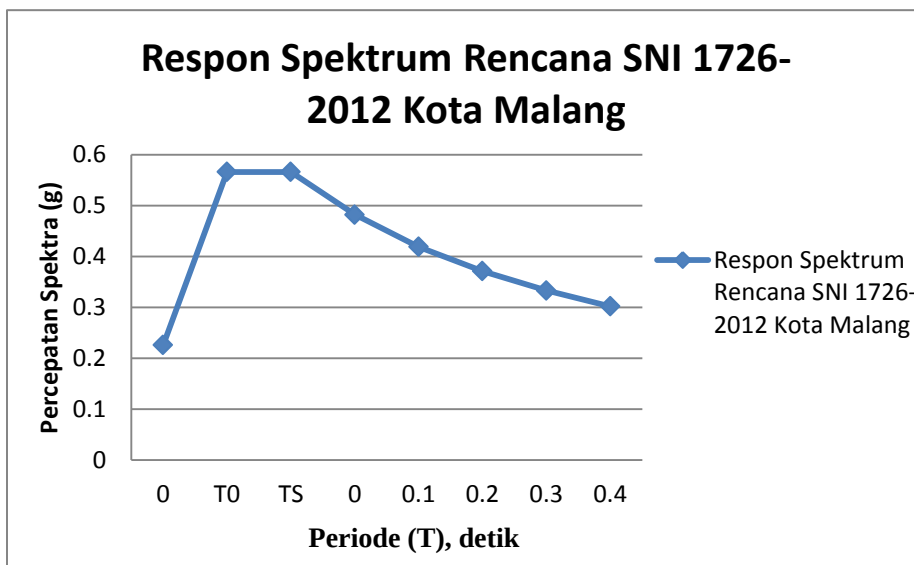
$$- S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

2. untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , Spektrum Respon percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

3. untuk periode lebih besar dari T_s , Spektrum respon percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

Spektrum respon desain gempa kota Batu menurut SNI 1726-2012 yang diplot ke dalam Ms. Excel dapat dilihat pada grafik berikut.



T	Sa
0	0.226
0.116	0.566
0.2	0.566
0.589	0.566
1	0.32

3.6.8 Menentukan Perkiraan Perioda Fundamental Alami

Untuk struktur dengan ketinggian > 12 tingkat :

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan :

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x dapat ditentukan pada table di bawah ini.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$S_{D1} = 0,33 \text{ g}$

Tabel Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

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

Tipe struktur penahan gaya lateral arah x dan arah y adalah sistem rangka pemikul momen.

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Arah x (sistem beton pemikul momen)

$$C_t = 0,0466$$

Arah y (sistem beton pemikul momen)

$$C_t = 0,0466$$

$$h_n = 60 \text{ m}$$

$$x = 0,9 \quad f$$

$$T_a = 0,0466 * 60^{0,9}$$

$$= 1,857 \text{ detik}$$

$$T_{\max} = C_u.T_a$$

$$T_{\max 1} = 1,4 * 1,857$$

$$= 2,60$$

Maka :

$$T_1 = 2,60 \text{ detik}$$

$$T_2 = 1,86 \text{ detik}$$

$$h_n = 60 \text{ m}$$

$$x = 0,9$$

$$T_a = 0,0466 * 60^{0,9}$$

$$= 1,857 \text{ detik}$$

$$T_{\max 2} = 1,4 * 1,857$$

$$= 2,60$$

3.6.7 Batasan Penggunaan Prosedur Analisis Gaya Lateral Ekvivalen (ELF)

$$\begin{aligned} \text{Cek } T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,33}{0,57} \\ &= 0,579 \end{aligned}$$

3.6.8 Menentukan Faktor R, Cd, dan Ω_0

Menurut pasal 7.2.2 SNI 1726 : 2012 untuk system rangka pemikul momen khusus beton bertulang didapat faktor faktor antara lain

$$- R \text{ (Koefisien modifikasi Respons)} = 8$$

- Ω_0 (Faktor Kuat lebih sistem) = 3
- C_d (Faktor kuat lebih sistem) = 5,5

3.6.9 Menghitung Nilai *Base Shear*

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana : C_s = koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T(\frac{R}{I_e})} = \frac{0,57}{(\frac{8}{1,5})} = 0,107$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})}$$

$$C_{s x} = \frac{0,330}{2,60(\frac{8}{1})} = 0,024$$

$$C_{s y} = \frac{0,330}{1,857(\frac{8}{1,5})} = 0,033$$

disimpulkan nilai C_s yang dipakai 0,107

$$C_{s \min} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01$$

$$= 0.044 \times 0.570 \times 1,5 \geq 0.01$$

$$= 0.038 \geq 0.01 \quad (\text{OK})$$

$$\text{Maka nilai } V_x = 0,038 \cdot W$$

$$= 0,038 \cdot 13,839,300$$

$$= 525.893,400 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 V_y &= 0,038 \cdot W \\
 &= 0,038 * 13,839,300 \\
 &= 525.893,400 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

3.7.0 Menghitung Gaya Gempa Lateral, F_x

$$T_x = 2,60$$

$$T_y = 1,86$$

Dengan Nilai T di atas, maka $k = 2$

Lantai	Berat (W_i) kg	Tinggi (h_i) m	$W_i \cdot h_i^k$	$V_x = V_y$	F_x (kg)
Atap	738100	60,5	2.701.630,525	345.982,500	5314515.662
12	1194000	56	3.744.384,000	345.982,500	7365769.386
11	954600	51,5	2.531.837,850	345.982,500	4980507.802
10	954600	47	2.108.711,400	345.982,500	4148154.109
9	954600	42,5	1.724.246,250	345.982,500	3391853.037
8	954600	38	1.378.442,400	345.982,500	2711604.587
7	954600	33,5	1.071.299,850	345.982,500	2107408.759
6	954600	29	802.818,600	345.982,500	1579265.552
5	954600	24,5	572.998,650	345.982,500	1127174.968
4	1185000	20	474.000.000	345.982,500	932429.657
3	1310000	15,5	314.727,500	345.982,500	619116.5715
2	1321000	10,5	145.640,250	345.982,500	286496.3889
1	1409000	3,5	17.260,250	345.982,500	33953.52107
Σ	13,839,300		17.587.997,525		525.893,400

3.7.1 simpangan antarlantai (Story drift)

Berdasarkan SNI 1726-2012, hanya ada kondisi kinerja batas ultimit saja.

Perhitungan kinerja batas ultimit simpangan antarlantai untuk lantai 12 :

- Nilai perpindahan elastis (total drift) dari STAAD Pro yang dihitung akibat keseluruhan beban gempa pada lantai atap (60,5 m) adalah sebesar : 28,3 mm. Maka nilai perpindahan elastic pada lantai atap, ($\Delta_{e \text{ atap}}$), diketahui sebesar 28,3 mm.
- Nilai perpindahan elastis (total drift) dari STAAD Pro yang dihitung akibat keseluruhan beban gempa pada lantai 12 (56 m) adalah sebesar : 27,9 mm. Maka nilai perpindahan elastic pada lantai 12, ($\Delta_{e 12}$), diketahui sebesar 27,9 mm.
- Hitung simpangan antarlantai untuk lantai atap, yaitu dengan menghitung selisih antara nilai perpindahan elastic lantai atap dengan nilai perpindahan elastic lantai 12 ($\Delta_{e \text{ atap}} - \Delta_{e 12}$) = 28,3 mm – 27,9 mm = 0,4 mm
- Hitung nilai perpindahan antarlantai (story drift) yang diperbesar dengan persamaan :

$$\frac{(\Delta_{e \text{ atap}} - \Delta_{e 12}) C_d}{I_e} = \frac{0,4 \times 5,5}{1,5} = 1,467 \text{ mm}$$

Dimana diketahui : C_d = Pembesaran defleksi *

I_e =Faktor keutamaan gempa *

**Dapat dilihat di SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan*

ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

- Simpangan antarlantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antarlantai tingkat ijin (Δ_a). Untuk gedung dengan kategori resiko IV dan merupakan struktur rangka pemikul momen, maka digunakan rumus simpangan antarlantai ijin $\Delta_a = 0,010 h_{sx}$ sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.12.1 tabel 16.

- Untuk lantai atap, dengan tinggi kolom di bawahnya sebesar 4,5 m, maka simpangan antarlantai ijinnya sebesar :

$$\Delta_a = 0,010 * 4,5 \text{ m} = 0,0450 \text{ m atau } 45 \text{ mm}$$

- Kontrol nilai simpangan antarlantai tingkat desain harus lebih kecil dari simpangan antarlantai tingkat ijin.

$$1,467 \text{ mm} < 45 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Untuk perhitungan simpangan antarlantai (storydrift) selanjutnya, dapat dilihat pada table di bawah ini.

Lantai	Tinggi lantai (m)	Total drift (mm)	Perpindahan (mm)	Storydrift (mm)	Story ijin (mm)	Kontrol
Atap	4,5	28,3	0,4	1,467	45	OK
Lt. 12	4,5	27,9	1,1	4,033	45	OK
Lt. 11	4,5	26,8	1,6	5,867	45	OK
Lt. 10	4,5	25,2	2,1	7,7	45	OK
Lt. 9	4,5	23,1	2,5	9,167	45	OK
Lt. 8	4,5	20,6	2,8	10,267	45	OK
Lt. 7	4,5	17,8	3	11	45	OK
Lt. 6	4,5	14,8	3,1	11,367	45	OK
Lt. 5	4,5	11,7	2,9	10,633	45	OK
Lt. 4	4,5	8,8	2,1	7,7	45	OK
Lt. 3	5	6,7	2,6	9,533	50	OK
Lt. 2	7	4,1	3,5	12,833	70	OK
Lt. 1	3,5	0,6	0,6	6,6	35	OK

3.7.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan diambil dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 hal 65 antara lain :

1. $1,4 \text{ DL}$
2. $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
3. $1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 1,05 \text{ E}$
4. $1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL} - 1,05 \text{ E}$
5. $0,9 \text{ DL} + 1 \text{ E}$
6. $0,9 \text{ DL} - 1 \text{ E}$

BAB IV

PERHITUNGAN TULANGAN

4.1 Perhitungan Penulangan Balok

4.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Penulangan yang di rencanakan adalah Balok 358

Data Perencanaan :

$b_w = 350 \text{ mm}$	$\text{Tul. Utama} = 25 \text{ mm}$
$h = 750 \text{ mm}$	$\text{Tul. Begel} = 10 \text{ mm}$
$p = 40 \text{ mm}$	$f_c' = 35 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0.848$
$h_f = 150 \text{ mm}$	$f_y = 400 \text{ Mpa}$
$L = 7200 \text{ mm}$	$f_{y_s} = 240 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} L_n &= L + \left(\frac{1}{2} \cdot b_w + \frac{1}{2} \cdot b_w \right) \\ &= 7200 + \left(\frac{1}{2} \cdot 350 + \frac{1}{2} \cdot 350 \right) = 6850 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} - \text{Tul. Begel} - \frac{1}{2} \cdot \text{Tul. Utama} \\ &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 \\ &= 62.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

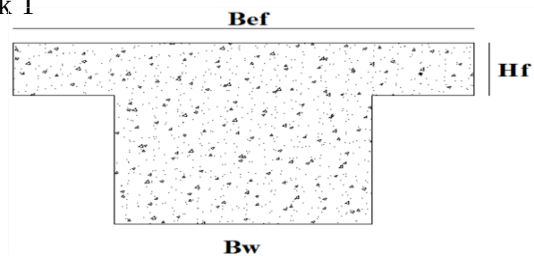
$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 750 - 62.5 \\ &= 687.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lantai Atap	1531	1532	1533	1534	1535	
Lantai 12	1421	1422	1423	1424	1425	
Lantai 11	1307	1308	1309	1310	1311	
Lantai 10	1193	1194	1195	1196	1197	
Lantai 9	1079	1080	1081	1082	1083	
Lantai 8	965	966	967	968	969	
Lantai 7	851	852	853	854	855	
Lantai 6	737	738	739	740	741	
Lantai 5	623	624	625	626	627	
Lantai 4	501	503	504	505	506	502
Lantai 3	358	360	361	362	363	359
Lantai 2	192	194	195	196	197	193
Lantai 1	69	71	72	73	74	70

PORTAL LINE 5

Gambar 4.1 Peninjauan pada balok 358

Lebar efektif balok T



Gambar. 4.2 Lebar efektif balok T

$$b_{eff} = \frac{1}{4} \cdot L = \frac{1}{4} \times 7200 = 1800 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = b_w + 8 \cdot h_{fkr} + 8 \cdot h_{fkn} = 350 + 8(150) + 8(150) = 2750 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} b_{eff} &= b_w + \frac{1}{2} \cdot L_{nkr} + \frac{1}{2} \cdot L_{nkn} \\ &= 350 + (\frac{1}{2} \cdot 6850 + \frac{1}{2} \cdot 6850) = 7200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil nilai b_{eff} yang terkecil yaitu = 1800 mm

Jarak bersih antar tulangan $S_n = 25 \text{ mm}$

Jumlah tulangan maksimal pada baris 1 baris :

$$n = \frac{b_w - 2 \cdot d'}{D + S_n} + 1 = \frac{350 - 2 \cdot 62.5}{25 + 25} + 1 = 5.5 \text{ Maks. 8 batang}$$

Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 pasal

10.5.1 :

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0.25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b_w \cdot d = \frac{0.25 \sqrt{35}}{400} \times 350 \times 687.5 \\ &= 889.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \min} = \frac{1.4 b_w \cdot d}{f_y} = \frac{1.4 \times 350 \times 687.5}{400} = 842.2 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan minimal 3 D 25 dengan rumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_s &= 3 \times \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 25^2 \\ &= 1473 \text{ mm}^2 \\ (A_s = 1473.21 \text{ mm}^2 > A_{s \min} = 842.2 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

A. Perhitungan Penulangan Tumpuan Kiri

$$\begin{aligned} \mu_u^- &= 503.743 \text{ kNm} & \mu_u^+ &= 7.547 \text{ kNm} \\ &= 503743000 \text{ Nmm} & &= 7547000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

- Tulangan yang terpasang pada daerah tarik

$$12 \text{ D } 25 \quad (A_s = 5892.86 \text{ mm}^2)$$

- Tulangan yang terpasang pada daerah tekan

$$6 \text{ D } 25 \quad (A_s' = 2946.43 \text{ mm}^2)$$

Analisa Momen Negatif

$$\text{Tulangan tarik} \quad A_{s1} = 8 \text{ D } 25 = 3928.57 \text{ mm}^2 \quad A_s = 5892.86 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 4 \text{ D } 25 = 1964.29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} \quad A_s' = 6 \text{ D } 25 = 2946.43 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = P + \emptyset \text{ Tul. Polos} + 1/2 \times \emptyset \text{ Tul. Ulir}$$

$$= 40 + 10 + 1/2 \times 25 = 62.5 \text{ mm}$$

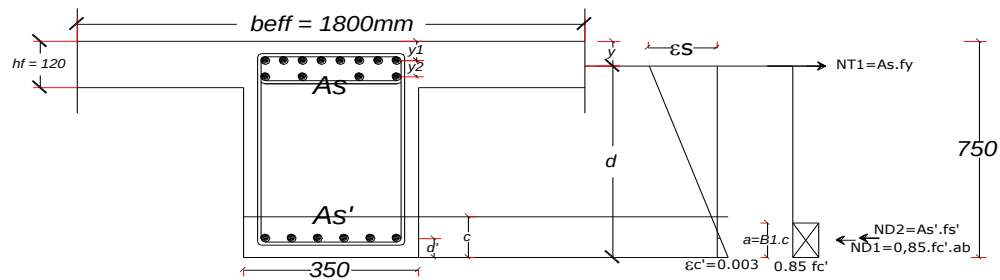
$$y_2 = y_1 + p \times 1/2 \times \emptyset \text{ Tul. Ulir}$$

$$= 62.5 + 40 + 1/2 \times 25 = 115.0 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{A_{s1} \times y_1 + A_{s2} \times y_2}{A_{s1} + A_{s2}}$$

$$= \frac{3928.6 \times 62.5 + 1964.3 \times 115.0}{3928.6 + 1964.3} = 80.0 \text{ mm}$$

$$d = 750 - 62.5 = 687.5 \text{ mm}$$



Gambar 4.3 Penampang balok dan diagram regangan - tegangan momen negatif tumpuan kiri

Dimisalkan garis netral $> d'$, maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$ND1 + ND2 = NT1$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_w + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \rightarrow \text{substitusi nilai } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot bw + As' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot bw) \cdot c + As'(c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta 1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot bw) \cdot c + As'(c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot bw) \cdot c^2 + 600As' \cdot c - 600As' \cdot d' = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot bw) c^2 + 600As' \cdot c - 600As' \cdot d' - As \cdot fy \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot bw) c^2 + (600As' - As \cdot fy) \cdot c - 600As' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,848 \times 350 \right] c^2 + \left[600 \times 2946,43 - 5892,86 \times 400 \right] c -$$

$$600 \times 2946,43 \times 80,0 = 0$$

$$8824,5938 c^2 + \left[-589286 \right] c - 141428571,4 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{589286 \pm \sqrt{589286^2 - 4 \times 8824,59 \times 141428571,4}}{2 \times 8824,5938}$$

$$= \frac{589286 + 2310726,4}{17649,1875} = 164,3 \text{ mm}$$

dihitung nilai a :

$$a = \beta 1 \times c$$

$$= 0,848 \times 164,3$$

$$= 139,3 \text{ mm}$$

dihitung nilai - nilai :

$$\varepsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \times \varepsilon_c = \frac{164.3 - 80.0}{164.3} \times 0.003 = 0.00154$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_c = \frac{687.5 - 164.3}{164.3} \times 0.003 = 0.00955$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$0.00955 > 0.00200 > 0.00154$$

Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_{s'}$ maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum dihitung tegangan pada tulangan baja tekan

$$\begin{aligned} \text{Tegangan baja tekan } f_{s'} &= \varepsilon_{s'} \times E_s \\ &= 0.00154 \times 200000 \\ &= 307.88 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$ND1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot B_w$$

$$= 0.85 \times 35 \times 139.3 \times 350$$

$$= 1450006 \text{ N}$$

$$NT1 = A_s \times f_{y_{ulir}}$$

$$= 5892.86 \times 400$$

$$= 2357142.9 \text{ N}$$

$$ND2 = A_s' \times f_s'$$

$$= 2946 \times 307.88$$

$$= 907136.81 \text{ N}$$

$$Z = d - (1/2 \times a)$$

$$= 687.5 - \left[1/2 \times 139.3 \right]$$

$$= 617.87 \text{ mm}$$

$$ND1 + ND2 = NT1$$

$$1450006.0 + 907136.81 = 2357142.86$$

$$2357142.9 = 2357142.9$$

$$M_n = NT1 \times Z$$

$$= 2357142.9 \times 617.872$$

$$= 1456412237.85 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

$$= 0.9 \times 1456412237.85$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$= 1310771014.06 \text{ Nmm} > M_u = 503743000 \text{ Nmm} \text{ Aman}$$

Kontrol Momen Positif

$$\text{Tulangan tekan } A_{s1}' = 8 D 25 = 3928.57 \text{ mm}^2 \quad A_{s'} = 5892.857 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2}' = 4 D 25 = 1964.29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 6 D 25 = 2946.43 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = p + \emptyset \text{ Tul. Polos} + 1/2 \times \emptyset \text{ Tul. Ulir}$$

$$= 40 + 10 + 1/2 \cdot 25 = 62.5 \text{ mm}$$

$$y_2 = y_1 + p + 1/2 \times \text{Tul. Utama}$$

$$= 62.5 + 40 + 1/2 \cdot 25 = 115.0 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{A_{s1}' \times y_1 + A_{s2}' \times y_2}{A_{s1} + A_{s2}}$$

$$= \frac{3928.571 \times 63 + 1964.286 \times 115}{3928.571 + 1964.286} = 80.0 \text{ mm}$$

$$d = 750 - 62.5 = 687.5 \text{ mm}$$

Dimisalkan garis netral $> y_2$, maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b_w + A_{s'} \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \rightarrow \text{substitusi nilai } f_s' = \frac{(c - y_2)}{c} \times 600$$

$$0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b_w + A_{s'} \cdot \frac{(c - y)}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b_w) \cdot c + A_{s'} \cdot (c - y_1) \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta 1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b_w) \cdot c + A_{s'} \cdot (c - y_2) 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + 600 A_{s'} \cdot c - 600 A_{s'} \cdot y_2 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + 600 A_{s'} \cdot c - 600 A_{s'} \cdot y_2 - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b_w) c^2 + (600A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600A_s' \cdot Y_2 = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,848 \times 350 \right] c^2 + \left[600 \times 5892,86 - 2946,43 \times 400 \right] c - \left[600 \times 5892,86 \times 80,0 \right] = 0$$

$$8824,6 c^2 + 2357142,9 c - 282857142,9 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

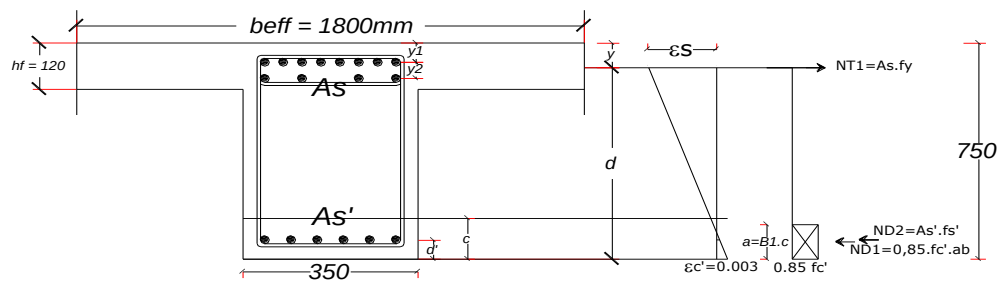
$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-2357143 + \sqrt{2357143^2 - 4 \times 8824,6 \times 282857142,9}}{2 \times 8824,6}$$

$$= \frac{-2357143 + 3942146,6}{17649,1875} = 89,81 \text{ mm}$$

$$c = 89,81 \text{ mm}$$

Karena $c < y_2$, tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka nilai c harus dihitung ulang.



Gambar 4.4 Penampang balok dan diagram regangan - tegangan momen positif tumpuan kiri yang sudah dihitung ulang

Dimisalkan garis netral diantara y_1 dan y_2 maka perhitungan garis netral dicari dengan menggunakan persamaan :

$$ND1 + ND2 = NT1$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_w + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \rightarrow \text{substitusi nilai } f_s' = \frac{(c - y_1')}{c} \times 600$$

$$0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot bw + A_s' \cdot \frac{(c - y_1')}{c} \times 600 = A_{s1} \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot bw) \cdot c + A_s'(c - y_1') \cdot 600 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot bw) \cdot c + A_s'(c - y_1') \cdot 600 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot bw) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot y_1' = A_{s1} \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot bw) c^2 + (600 A_s' - A_{s1} \cdot f_y) \cdot c - 600 A_{s1} \cdot y = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,848 \times 350 \right] c^2 + \left[600 \times 5892,9 - 2946,4 \times 400 \right] c$$

$$- 600 \times 5892,86 \times 80,0 = 0$$

$$8824,5938 c^2 + [2357143] c - 282857142,9 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-2357143 + \sqrt{2357143^2 - 4 \times 8824,6 \times 282857142,9}}{2 \times 8824,6}$$

$$c = \frac{-2357143 + 3942146,6}{17649,1875} = 89,81 \text{ mm}$$

dihitung nilai a :

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0,848 \times 89,81 = 76,11 \text{ mm}$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s$$

$$= \frac{c - y_1'}{c} \times \varepsilon_c \cdot E_s = \frac{89,81 - 80,0}{89,81} \times 0,003 \times 200000$$

$$= 65.5148 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$ND1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_w$$

$$= 0.85 \times 35 \times 76.11 \times 350$$

$$= 792501.8799 \text{ N}$$

$$ND2 = A_s' \times f_s'$$

$$= 5892.9 \times 65.51$$

$$= 386069.5487 \text{ N}$$

$$NT1 = A_s \times f_y$$

$$= 2946.4 \times 400$$

$$= 1178571.429 \text{ N}$$

$$ND1 + ND2 = NT1$$

$$792501.8799 + 386069.5487 = 1178571.429$$

$$1178571.429 = 1178571.429$$

$$Z1 = d - (1/2 \cdot a)$$

$$= 687.5 - \left[\frac{1}{2} \cdot 76.11 \right]$$

$$= 649.445 \text{ mm}$$

$$M_n = (NT1 \times Z1)$$

$$= \left[1178571.429 \times 649.445 \right]$$

$$= 765416953.3 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \times M_n$$

$$= 0.9 \times 765416953.3$$

$$= 688875258 \text{ Nmm} > M_u^+ = 7547000.0 \text{ Nmm} \quad \textbf{Aman}$$

B. Perhitungan Penulangan Lapangan

$$M_u^+ = 205.052 \text{ kNmm} = 205052000 \text{ Nmm}$$

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

- Tulangan yang terpasang pada daerah tekan

$$3 \text{ D } 25 \left(A_s' = 1473.21 \text{ mm}^2 \right)$$

- Tulangan yang terpasang pada daerah tarik

$$6 \text{ D } 25 \text{ (} A_s = 2946.43 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Analisa Momen Positif

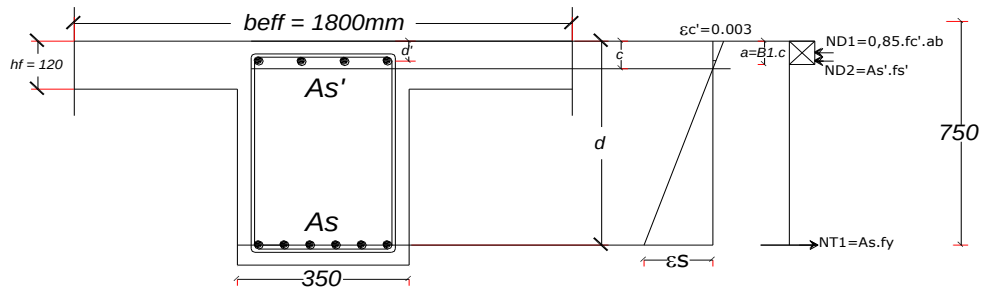
$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 3 \text{ D } 25 = 1473.21 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 6 \text{ D } 25 = 2946.43 \text{ mm}^2$$

$$y/d' = p + \emptyset \text{ Tul. Polos} + 1/2 \times \emptyset \text{ Tul. Ulir}$$

$$= 40 + 10 + 1/2 \cdot 25 = 62.5 \text{ mm}$$

$$d = 750 - 62.5 = 687.5 \text{ mm}$$



Gambar 4.5 Penampang balok dan diagram tegangan momen positif

lapangan yang sudah dihitung ulang

Dimisalkan garis netral $> y$, maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_w + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \rightarrow \text{substitusi nilai } f_s' = \frac{(c - y)}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_w) + A_s' \cdot \frac{(c - y)}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_w) \cdot c + A_s'(c - y) \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta 1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b_w) \cdot c + A_s'(c - y) \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot b_w) \cdot c^2 + 600A_s' \cdot c - 600A_s' \cdot y = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + 600A_s' \cdot c - 600A_s' \cdot y - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + (600A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600A_s' \cdot y = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,848 \times 350 \right] c^2 + \left[600 \times 1473 - 2946 \times 400 \right] c$$

$$- \left[600 \times 1473 \times 62.5 \right] = 0$$

$$8824.6 \ c^2 + -294642.9 \ c - 55245535.71 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a . c}}{2 . a}$$

$$= \frac{294642.86 + \sqrt{-294642.9^2 - 4 \times 8824.59 \times 55245535.71}}{2 \times 8824.5938}$$

$$= \frac{294642.86 + 1427197.3}{17649.1875} = 97.5592 \text{ mm}$$

dihitung nilai a :

$$a = \beta \times c$$

$$= 0.848 \times 97.56$$

$$= 82.68 \text{ mm}$$

dihitung nilai - nilai :

$$f_s' = \frac{c - y_1}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$= \frac{97.56 - 62.5}{97.56} \times 0.003 \times 200000 = 215.62 \text{ Mpa}$$

$$f_s = f_{y_{ulir}} = 400 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$ND1 = 0,85 . f_c' . a . bw$$

$$= 0.85 \times 35 \times 82.68 \times 350$$

$$= 860920.06 \text{ N}$$

$$NT1 = A_s \times f_y$$

$$= 2946.43 \times 400$$

$$= 1178571.4 \text{ N}$$

$$ND2 = A_s' \times f_s'$$

$$= 1473.21 \times 215.6$$

$$= 317651.36 \text{ N}$$

$$Z = d - (1/2 . a)$$

$$= 687.5 - \left[1/2 . 82.68 \right]$$

$$= 646.159 \text{ mm}$$

$$ND1+ND2 = NT1$$

$$860920.1 + 317651.36 = 1178571.4$$

$$1178571.4 = 1178571.4$$

$$M_n = NT1 \times Z$$

$$= 1178571.4 \times 646.159$$

$$= 761544890.05 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

$$= 0.9 \times 761544890.05$$

$$\phi M_n > M_u^+$$

$$= 685390401.04 \text{ Nmm} > M_u^+ = 205052000 \text{ Nmm} \dots \text{Aman}$$

C. Perhitungan Penulangan tumpuan kanan

$$M_u^- = 304.996 \text{ kNmm} \quad M_u^+ = 34.02 \text{ kNmm}$$

$$= 304996000 \text{ Nmm} \quad = 34020000 \text{ Nmm}$$

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

- Tulangan yang terpasang pada daerah tarik

$$12 \text{ D } 25 \text{ (} A_s = 5892.86 \text{ mm}^2 \text{)}$$

- Tulangan yang terpasang pada daerah tekan

$$6 \text{ D } 25 \text{ (} A_s' = 2946.43 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Analisa Momen Negatif

$$\text{Tulangan tarik } A_{s1} = 8 \text{ D } 25 = 3928.57 \text{ mm}^2 \quad A_s = 5892.86 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 4 \text{ D } 25 = 1964.29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 6 \text{ D } 25 = 2946.43 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = P + \emptyset \text{ Tul. Polos} + 1/2 \times \emptyset \text{ Tul. Ulir}$$

$$= 40 + 10 + 1/2 \times 25 = 62.5 \text{ mm}$$

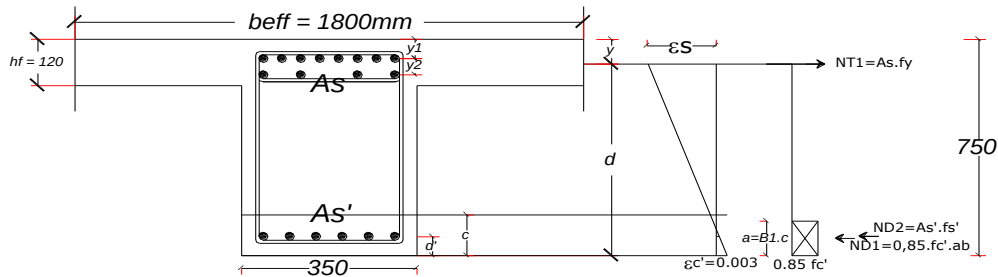
$$y_2 = y_1 + p \times 1/2 \times \emptyset \text{ Tul. Ulir}$$

$$= 62.5 + 40 + 1/2 \times 25 = 115.0 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{As_1 \times y_1 + As_2 \times y_2}{As_1 + As_2}$$

$$= \frac{3928.6 \times 62.5 + 1964.3 \times 115.0}{3928.6 + 1964.3} = 80.0 \text{ mm}$$

$$d = 750 - 80.0 = 670.0 \text{ mm}$$



Gambar 4.6 Penampang balok dan diagram tegangan momen
negatif tumpuan kanan

Dimisalkan garis netral $> y$, maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$ND1 + ND2 = NT1$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot bw + As' \cdot fs' = As \cdot fy \rightarrow \text{substitusi nilai } fs' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot bw + As' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot bw) \cdot c + As'(c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot bw) \cdot c + As'(c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot bw) \cdot c^2 + 600As' \cdot c - 600As' \cdot d' = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot bw) \cdot c^2 + 600As' \cdot c - 600As' \cdot d' - As \cdot fy \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot bw) \cdot c^2 + (600As' - As \cdot fy) \cdot c - 600As' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 350 \right] c^2 + \left[600 \times 2946.43 - 5892.86 \times 400 \right] c - 600 \times 2946.43 \times 80.0 = 0$$

$$8824.5938 c^2 + (-589285.714) c - 141428571.4 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a . c}}{2 . a} \\ &= \frac{589285.7143 + \sqrt{-589285.714^2 - 4 \times 8824.59 \times 1.4E+08}}{2 \times 8824.5938} \\ &= \frac{589285.71 + 2310726.4}{17649.1875} = 164.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

dihitung nilai a :

$$\begin{aligned} a &= \beta \times c \\ &= 0.848 \times 164.3 \\ &= 139.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

dihitung nilai - nilai :

$$\epsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{164.3 - 80.0}{164.3} \times 0.003 = 0.00154$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c = \frac{670.0 - 164.3}{164.3} \times 0.003 = 0.00923$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$0.00923 > 0.00200 > 0.00154$$

Karena $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_{s'}$ maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum dihitung tegangan pada tulangan baja tekan

$$\begin{aligned} \text{Tegangan baja tekan } f_{s'} &= \epsilon_{s'} \times E_s \\ &= 0.00154 \times 200000 \\ &= 307.88 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}
 ND1 &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot B_w & ND2 &= A_s' \cdot x \cdot f_s' \\
 &= 0,85 \cdot 35 \cdot 139,3 \cdot 350 & &= 2946 \cdot 307,88 \\
 &= 1450006 \text{ N} & &= 907136,81 \text{ N} \\
 NT1 &= A_s \cdot x \cdot f_{y_{ulir}} & Z &= d - (1/2 \cdot x \cdot a) \\
 &= 5892,86 \cdot 400 & &= 670,0 - \left(1/2 \cdot 139,3 \right) \\
 &= 2357142,9 \text{ N} & &= 600,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ND1 + ND2 &= NT1 \\
 1450006,0 + 907136,81 &= 2357142,86 \\
 2357142,9 &= 2357142,9 \\
 M_n &= NT1 \cdot Z \\
 &= 2357142,9 \cdot 600,372 \\
 &= 1415162237,85 \text{ Nmm} \\
 M_r &= \phi \cdot M_n \\
 &= 0,9 \cdot 1415162237,85 \\
 \phi M_n &> M_u^- \\
 &= 1273646014,06 \text{ Nmm} > M_u^- = 304996000 \text{ Nmm} \textbf{ Aman}
 \end{aligned}$$

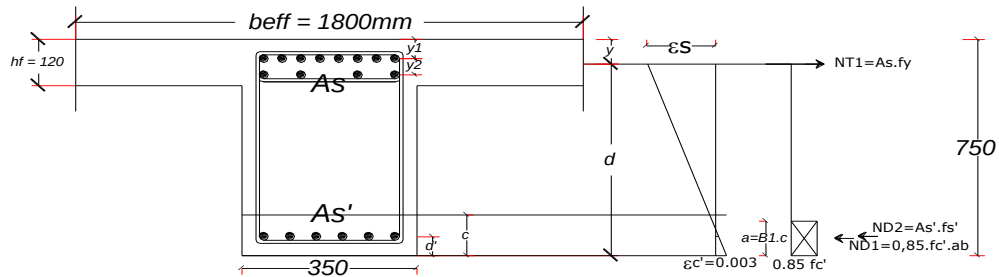
Kontrol Momen Positif

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan tekan } A_{s1}' &= 8 D \ 25 = 3928,57 \text{ mm}^2 & A_s' &= 5892,9 \text{ mm}^2 \\
 A_{s2}' &= 4 D \ 25 = 1964,29 \text{ mm}^2 \\
 \text{Tulangan tarik } A_s &= 6 D \ 25 = 2946,43 \text{ mm}^2 \\
 y_1 &= p + \emptyset \text{ Tul. Polos} + 1/2 \cdot \emptyset \text{ Tul. Ulir} \\
 &= 40 + 10 + 1/2 \cdot 25 = 62,5 \text{ mm} \\
 y_2 &= y_1 + p + 1/2 \cdot \text{Tul. Utama} \\
 &= 63 + 40 + 1/2 \cdot 25 = 115,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$y = d' = \frac{As_1 \times y_1 + As_2 \times y_2}{As_1 + As_2}$$

$$= \frac{3928.571 \times 63 + 1964.286 \times 115}{3928.571 + 1964.286} = 80.0 \text{ mm}$$

$$d = 750 - 80.0 = 670 \text{ mm}$$



Gambar 4.7 Penampang balok dan diagram regangan - tegangan momen positif tumpuan kanan yang sudah dihitung ulang

Dimisalkan garis netral $> y$, maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w + As' \cdot fs' = As \cdot fy \quad \rightarrow \quad \text{substitusi nilai } fs' = \frac{(c - y)}{c} \times 600$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w + As' \cdot \frac{(c - y)}{c} \times 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w) \cdot c + As' \cdot (c - y) \times 600 = As \cdot fy \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta 1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b_w) \cdot c + As' \cdot (c - y) \times 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + 600 As' \cdot c - 600 As' \cdot y = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + 600 As' \cdot c - 600 As' \cdot y - As \cdot fy \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b_w) c^2 + (600 As' - As \cdot fy) \cdot c - 600 As' \cdot y = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 350 \right] c^2 + \left[600 \times 5892.86 - 2946.43 \times 400 \right] c - 600 \times 5892.86 \times 80.0 = 0$$

$$8824.6 c^2 + 2357142.9 c - 282857142.9 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a . c}}{2 . a}$$

$$= \frac{-2357143 + \sqrt{2357143^2 - 4 \times 8824.6 \times 282857142.9}}{2 \times 8824.6}$$

$$= \frac{-2357143 + 3942146.6}{17649.1875} = 89.81 \text{ mm}$$

$$c = 89.81 \text{ mm}$$

dihitung nilai a :

$$a = \beta . c$$

$$= 0.848 \times 89.81 = 76.11 \text{ mm}$$

$$f_s' = \varepsilon_s' . E_s$$

$$= \frac{c - y}{c} \times \varepsilon_c . E_s = \frac{89.81 - 80.0}{89.81} \times 0.003 \times 200000$$

$$= 65.5148 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$ND1 = 0,85 . f_c' . a . b_w$$

$$= 0.85 \times 35 \times 76.11 \times 350$$

$$= 792501.8799 \text{ N}$$

$$ND2 = A_s' \times f_s'$$

$$= 5892.9 \times 65.51$$

$$= 386069.5487 \text{ N}$$

$$NT1 = A_s \times f_y$$

$$= 2946.4 \times 400$$

$$= 1178571.429 \text{ N}$$

$$ND1 + ND2 = NT1$$

$$792501.8799 + 386069.5487 = 1178571.429$$

$$1178571.429 = 1178571.429$$

$$\begin{aligned}
 Z &= d - (1/2 \cdot a) \\
 &= 670 - \left[1/2 \cdot 76.11 \right] \\
 &= 631.945 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (NT1 \times Z) \\
 &= \left[1178571.429 \times 631.945 \right] \\
 &= 744791953.3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi \times M_n \\
 &= 0.9 \times 744791953.3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u^+ \\
 &= 670312758 \text{ Nmm} > M_u^+ = 34020000.0 \text{ Nmm} \quad \mathbf{Aman}
 \end{aligned}$$

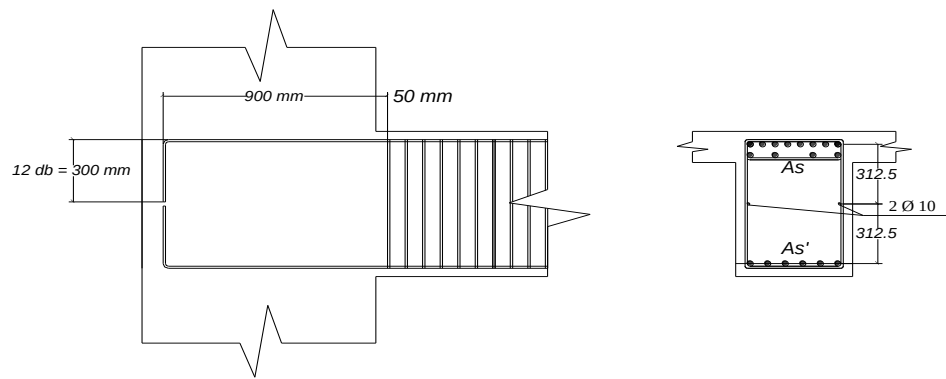
- Penyaluran kait standar

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.7.5, panjang penyaluran batang tulangan (l_{dh}), untuk ukuran batang tulangan $\emptyset$ - 10 sampai D - 36 dengan kait 90° , tidak boleh kurang dari syarat-syarat berikut ini :

- $l_{dh} = 900 \text{ mm}$
- $l_{dh} = 8d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $l_{dh} = \frac{f_y \cdot d_b}{5.4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{400 \times 25}{5.4 \times \sqrt{35}} = 313 \text{ mm}$
- $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$

Dengan syarat minimum dari hasil perhitungan yang terbesar yaitu 900 mm, maka jika digunakan l_{dh} sepanjang 900 mm, sudah memenuhi syarat.

Panjang bengkokan yang memenuhi syarat adalah sepanjang 12db dengan sudut bengkokan sebesar 90° .



Gambar 4.8 Detail Panjang penulangan kait

4.1.2 Penulangan Geser Balok

- Menghitung M_{pr} (*Moment Probable Capacities*)

Geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengansumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok yang diperkuat mencapai **1,25 f_y** , dan faktor reduksi kuat lentur $\phi=1$.

- a) Kapasitas momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kanan

Kondisi 1 (searah jarum jam)

$$a = \frac{1.25 \cdot A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.25 \times 5892.9 \times 400}{0.85 \times 35 \times 350} = 282.97033 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = 1.25 \times A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^+ = 1.25 \times 5892.86 \times 400.0 \left(687.50 - \frac{283}{2} \right) \times 10^{-6} = 1608.79 \text{ kN-m}$$

Kondisi 2 (berlawanan arah jarum jam)

$$a = \frac{1.25 \cdot A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.25 \times 5892.9 \times 400}{0.85 \times 35 \times 350} = 283 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1.25 \times A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^- = 1.25 \times 5892.86 \times 400.0 \left(687.50 - \frac{283}{2} \right) \times 10^{-6} = 1608.79 \text{ kN-m}$$

- b). Kapasitas momen ujung balok apabila struktur bergoyang ke kiri

Kondisi 3 (searah jarum jam)

$$a = \frac{1.25 \cdot A_s' \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.25 \times 2946.4 \times 400}{0.85 \times 35 \times 350} = 141.5 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^{+} = 1.25 \times A_s' \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{+} = 1.25 \times 2946.43 \times 400.0 \left(687.50 - \frac{141.5}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 908.616 \text{ kN-m}$$

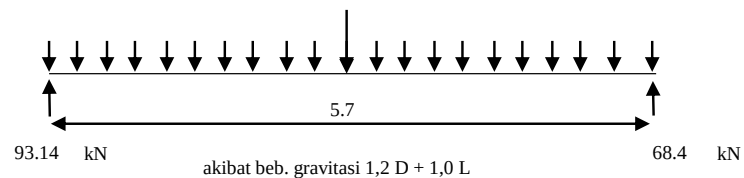
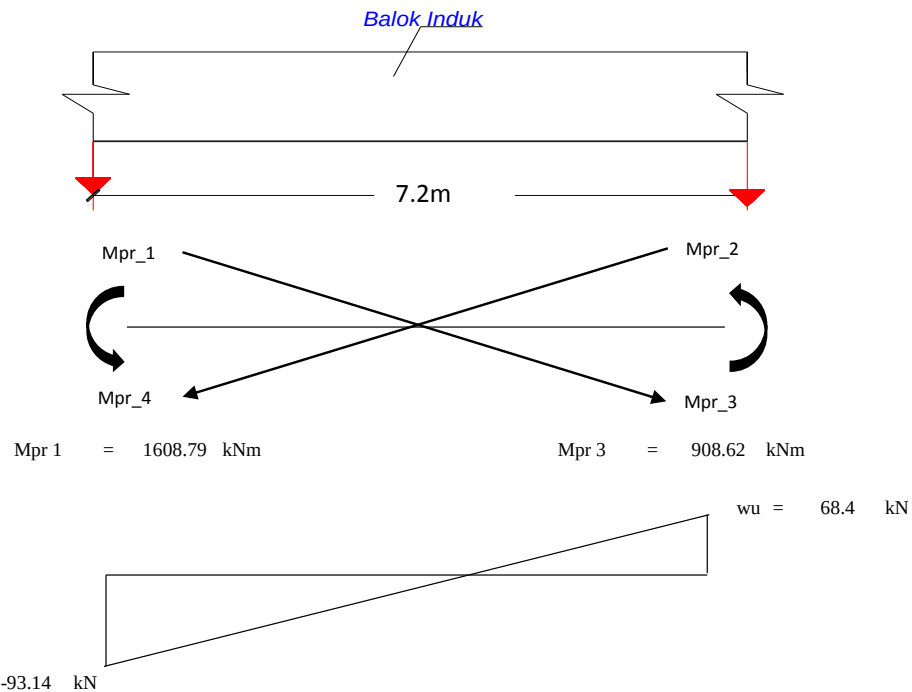
Kondisi 4 (Berlawanan arah jarum jam)

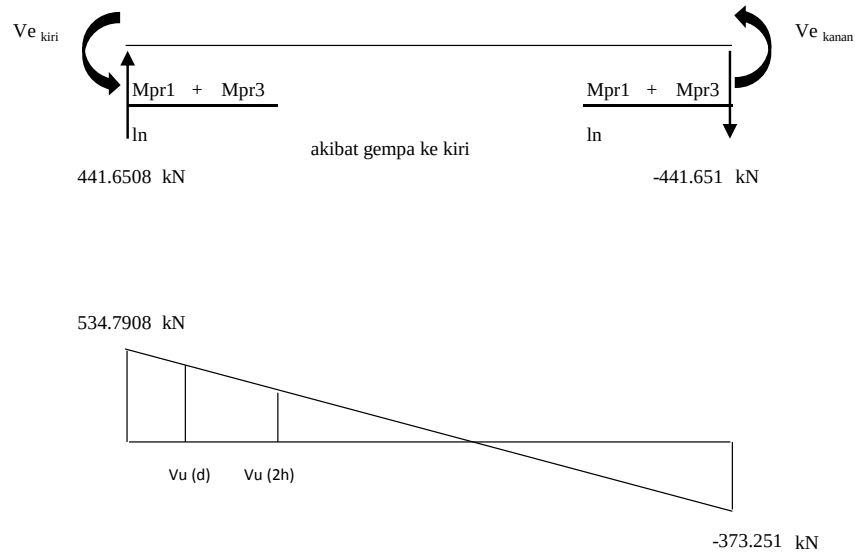
$$a = \frac{1.25 \cdot A_s' \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1.25 \times 2946.4 \times 400}{0.85 \times 35 \times 350} = 141.5 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^{-} = 1.25 \times A_s' \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr}^{-} = 1.25 \times 2946.43 \times 400.0 \left(687.50 - \frac{141.5}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 908.616 \text{ kN-m}$$



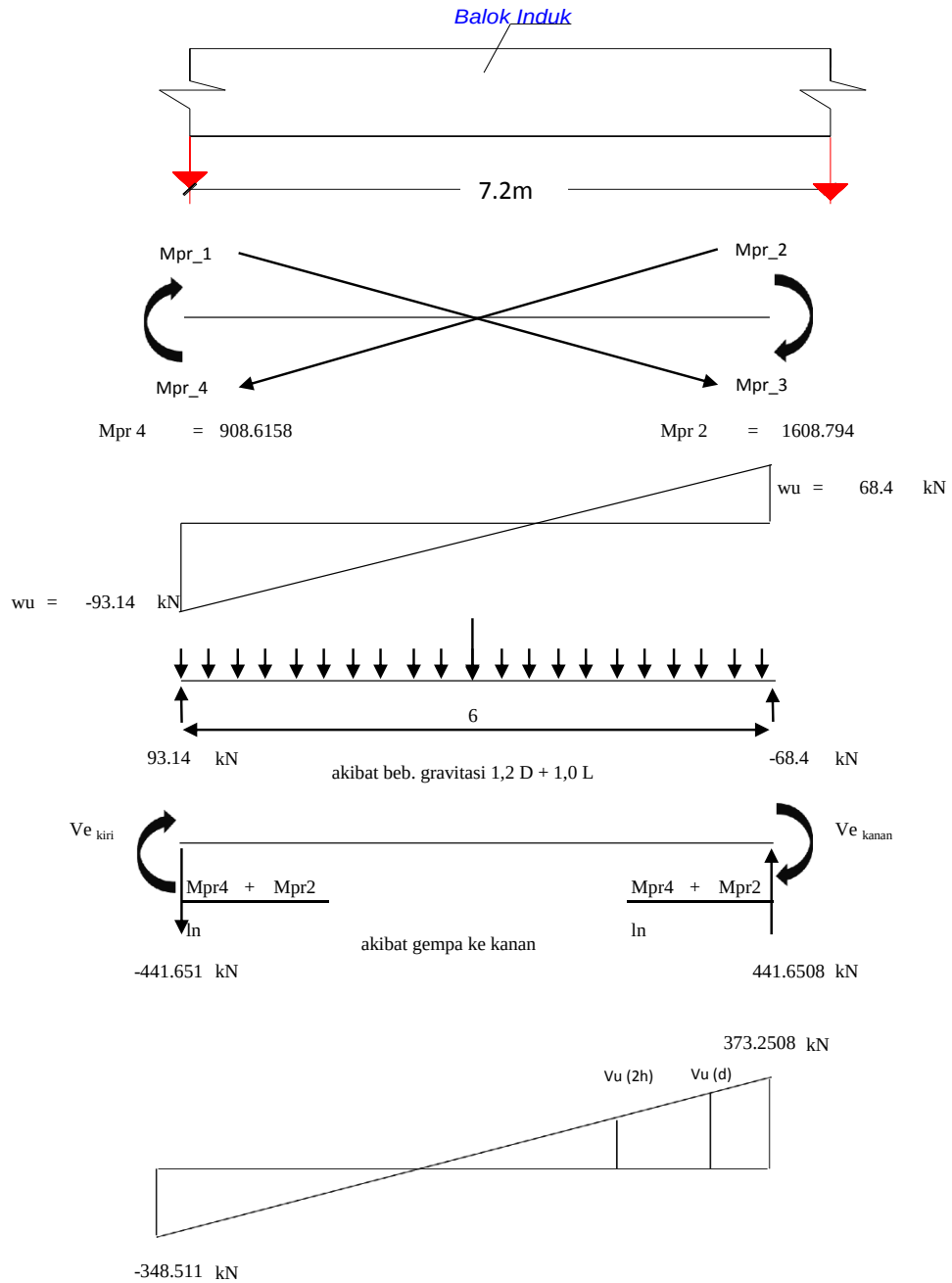


Gambar 4.9 Desain gaya geser gempa akibat goyangan gempa ke kiri

-. Akibat Gempa ke kiri

$$\begin{aligned}
 V_{e \text{ kiri}} &= V_{\text{gravitasi}} + V_{\text{gempa}} \\
 &= V_{\text{gravitasi}} + \left(\frac{M_{pr_1} + M_{pr_3}}{l_n} \right) \\
 &= 93.14 + \left(\frac{1608.79 + 908.62}{5.7} \right) \\
 &= 534.79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e \text{ kanan}} &= V_{\text{gravitasi}} + V_{\text{gempa}} \\
 &= V_{\text{gravitasi}} - \left(\frac{M_{pr_1} + M_{pr_3}}{l_n} \right) \\
 &= 68.4 - \left(\frac{1608.79 + 908.62}{5.7} \right) \\
 &= -373.25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10 Desain gaya geser gempa akibat goyangan gempa ke kanan

-. Akibat Gempa ke kanan

$$\begin{aligned}
 V_{e \text{ kanan}} &= V_{\text{gravitasi}} + V_{\text{gempa}} \\
 &= V_{\text{gravitasi}} + \left[\frac{M_{pr_2} + M_{pr_4}}{l_n} \right]
 \end{aligned}$$

$$= 93.14 + \left(\frac{1608.79 + 908.62}{5.7} \right)$$

$$= 534.79 \text{ kN}$$

$$V_{e \text{ kiri}} = V_{\text{gravitasi}} + V_{\text{gempa}}$$

$$= V_{\text{gravitasi}} + \left(\frac{M_{pr_2} + M_{pr_4}}{l_n} \right)$$

$$= -93.14 + \left(\frac{1608.79 + 908.62}{5.7} \right)$$

$$= -534.79 \text{ kN}$$

• **Tulangan geser pada daerah sendi plastis (joint 358)**

$$V_u(d) = 534.79 - \left(\frac{2850 - 688}{2850} \right)$$

$$= 534.79 - 0.759$$

$$= 534.03 \text{ kN}$$

V_c = 0 apabila memenuhi ketentuan pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2

a. Gaya geser akibat gempa saja (akibat M_{pr}) > 0.5 total geser
(akibat M_{pr} + beban gravitasi)

b. gaya aksial tekan < A_g.f'_c/10

$$\text{cek : } M_{pr} = 441.7 > 1 \times 535 = 267$$

$$V_s = \frac{V_u(d)}{\phi} - V_c = \frac{534.032}{0.75} - 0.00 = 712.043 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan sengkang **φ 10 4 kaki)**

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{(4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \times 240 \times 687.50}{712.043} = 72.762 \text{ mm}$$

Persyaratan spasi maksimum pada daerah gempa SNI 2847-2013 pasal

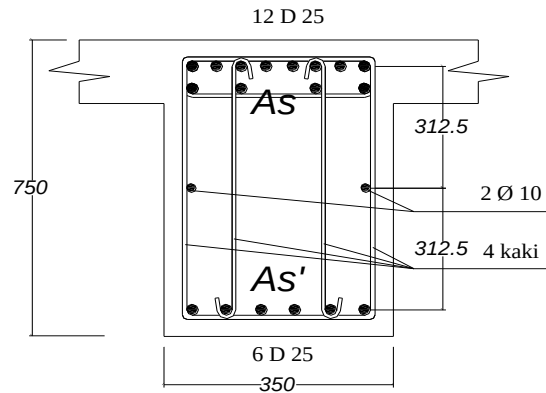
21.5.3.2, S_{maks} sepanjang sendi plastis diujung balok 2h = 2 x 750

= 1500 mm, spasi maksimum tidak boleh melebihi :

$$\therefore \frac{d}{4} = \frac{687.5}{4} = 171.9$$

$$\therefore 6 \times \text{diameter tulangan utama} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$\therefore 150 \text{ mm}$$



Gambar 4.9 Tulangan geser pada daerah sendi plastis kanan

Jadi dipakai sengkang $\varnothing 10 - 65 \text{ mm}$

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{(4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \times 240 \times 687.5 \times 10^{-3}}{65}$$

$$= 797.802 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s \text{ terpasang}$$

$$= 0.00 + 797.80$$

$$= 797.80 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.75 \times V_n$$

$$= 0.75 \times 797.80$$

$$= 598.35 \text{ kN} > V_u(d) = 534.0 \text{ kN} \dots\dots \text{aman}$$

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.3

$$V_s \text{ maks} \leq 0.66 \sqrt{f_c} b_w \cdot d$$

$$V_s \text{ maks} \leq 0.66 \times \sqrt{35} \times 350 \times 687.5 \times 10^{-3}$$

$$797.80 \text{ kN} < 939.55 \text{ kN} \dots\dots \text{OK}$$

• **Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis (joint 358)**

$$V_u(2h) = 534.79 - \left(\frac{2850 - 1500}{2850} \right)$$

$$= 534.791 - 0.47368$$

$$= 534.317 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{f_c'} b_w \cdot d$$

$$= 0.17 \sqrt{35} \times 350 \times 687.5 \times 10^{-3}$$

$$= 242.00 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u(2h)}{\phi} - V_c = \frac{534.32}{0.75} - 242.00 = 470.4 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan sengkang ϕ 10 3 kaki)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{(3.14 \cdot 10^2) \times 240 \times 687.5 \times 10^{-3}}{470.418} = 82.60 \text{ mm}$$

Syarat jarak spasi sengkang maksimum pada daerah luar sendi plastis menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4 dan 21.5.3.3

$$- \frac{d}{2} = \frac{687.5}{2} = 343.8 \text{ mm}$$

$$- 350 \text{ mm}$$

Jadi dipakai sengkang ϕ 10 - 90 mm

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{(3.14 \cdot 10^2) \times 240 \times 687.5 \times 10^{-3}}{90}$$

$$= 431.750 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s \text{ terpasang}$$

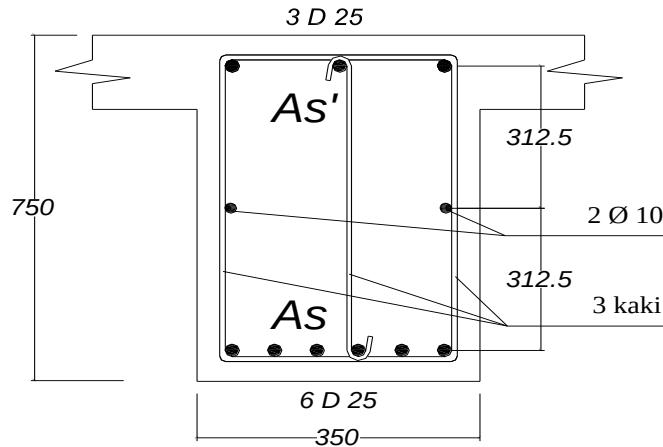
$$= 242.005 + 431.750$$

$$= 673.755 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.75 \times V_n$$

$$= 0.75 \times 673.755$$

$$= 505.32 \text{ kN} > V_u(2h) = 534.32 \text{ kN} \dots\dots \text{tdk aman}$$



Gambar 4.12 Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis kanan

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.3

$$V_s \text{ maks} \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b_w \cdot d$$

$$V_s \text{ maks} \leq 0.66 \sqrt{35} \times 350 \times 687.5 \times 10^{-3}$$

$$431.750 \text{ kN} < 939.547 \text{ kN} \text{ OK}$$

• **Tulangan geser pada daerah sendi plastis (joint 360)**

$$\begin{aligned} V_u(d) &= 534.79 - \left(\frac{2850 - 688}{2850} \right) \\ &= 534.79 - [0.7588] \\ &= 534.03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vc = 0 apabila memenuhi ketentuan pada SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2

a. Gaya geser akibat gempa saja (akibat Mpr) > 0.5 total geser
(akibat Mpr + beban grafitasi)

b. gaya aksial tekan < Ag.f'c/10

$$\text{cek : } M_{pr} = 442 > 0.5 \times 373 = 187$$

$$V_s = \frac{V_u(d)}{\phi} - V_c = \frac{534.032}{0.75} - 0.00 = 712.043 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan sengkang ϕ 10 (4 kaki)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{(3.14 \cdot 10^2) \times 240 \times 688}{712.043} = 72.829 \text{ mm}$$

Persyaratan spasi maksimum pada daerah gempa SNI 2847-2013 pasal

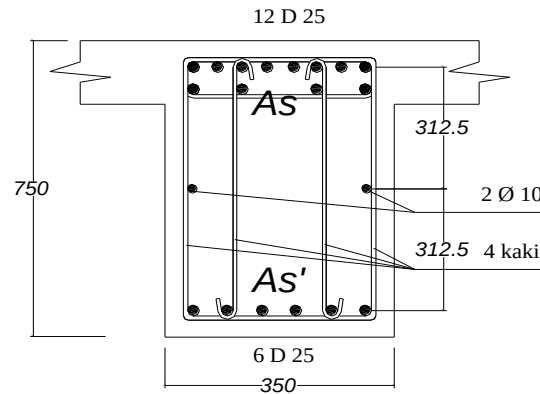
21.5.3.2, S_{maks} sepanjang sendi plastis diujung balok $2h = 2 \times 750$

= 1500 mm, spasi maksimum tidak boleh melebihi :

$$-\frac{d}{4} = \frac{687.5}{4} = 171.9$$

$$-\text{6 x diameter tulangan utama} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$-\text{150 mm}$$



Gambar 4.13 Tulangan geser pada daerah sendi plastis kiri

Jadi dipakai sengkang $\varnothing 10 - 65 \text{ mm}$

$$V_{s \text{ terpasang}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{(3.14 \cdot 10^2) \times 240 \times 687.5 \times 10^{-3}}{65}$$

$$= 797.802 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_{s \text{ terpasang}}$$

$$= 0.00 + 797.80$$

$$= 797.80 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.75 \times V_n$$

$$= 0.75 \times 797.80$$

$$= 598.35 \text{ kN} > V_u(d) = 534.0 \text{ kN} \text{ aman}$$

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.3

$$V_{s \text{ maks}} \leq 0.66 \sqrt{f_c} b_w \cdot d$$

$$\bullet V_{s \text{ maks}} \leq 0.66 \times \sqrt{35} \times 350 \times 687.5 \times 10^{-3}$$

$$797.80 \text{ kN} < 939.55 \text{ kN} \text{ OK}$$

Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis (joint 360)

$$\begin{aligned}
 V_u(2h) &= 534.79 - \left(\frac{2850 - 1500}{2850} \right) \\
 &= 534.791 - (0.47368) \\
 &= 534.317 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \sqrt{f_c'} b_w \cdot d \\
 &= 0.17 \sqrt{35} \times 350 \times 687.5 \times 10^{-3} \\
 &= 242.00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_u(2h)}{\phi} - V_c = \frac{534.32}{0.75} - 242.00 = 470.418 \text{ kN}$$

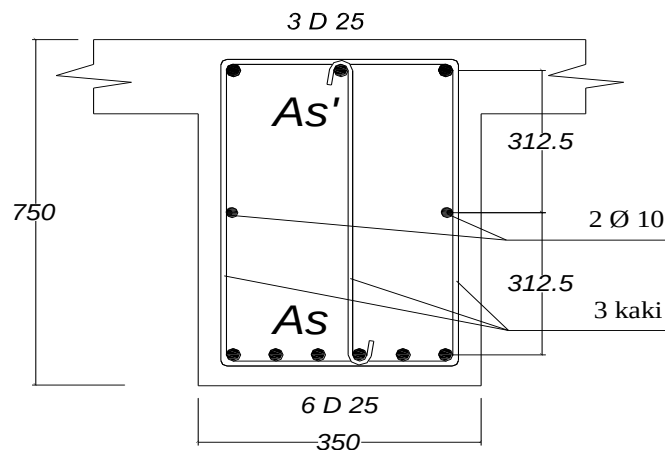
Direncanakan tulangan sengkang ϕ 10 3 kaki)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{(3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \times 240 \times 687.5 \times 10^{-3}}{470.418} \\
 &= 82.68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat jarak spasi sengkang maksimum pada daerah luar sendi plastis menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4 dan 21.5.3.3

$$- \frac{d}{2} = \frac{687.5}{2} = 343.8 \text{ mm}$$

- 350 mm



Gambar 4.14 Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis kiri

Jadi dipakai sengkang ϕ 10 - 90 mm

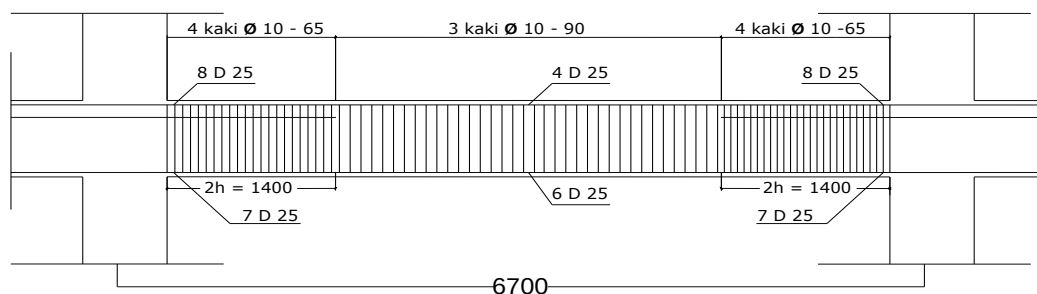
$$\begin{aligned}
 V_s \text{ terpasang} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{(3.14 \cdot 10^2) \times 240 \times 687.5 \times 10^{-3}}{90} \\
 &= 432.143 \text{ kN} \\
 V_n &= V_c + V_s \text{ terpasang} \\
 &= 242.005 + 432.143 \\
 &= 674.147 \text{ kN} \\
 \phi V_n &= 0.75 \times V_n \\
 &= 0.75 \times 674.147 \\
 &= 505.61 \text{ kN} > V_u (2h) = 534.32 \text{ kN} \dots\dots \text{tdk aman}
 \end{aligned}$$

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.3

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ maks} &\leq 0.66 \sqrt{f_c'} b_w \cdot d \\
 V_s \text{ maks} &\leq 0.66 \sqrt{35} \times 350 \times 687.5 \times 10^{-3} \\
 432.143 \text{ kN} &< 939.547 \text{ kN} \dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dan ketentuan-ketentuan di atas maka dipasang tulangan sengkang sebagai berikut :

- Joint 19
 - Daerah sendi plastis = 4 kaki ϕ 10 - 65 mm
 - Daerah luar sendi plastis = 3 kaki ϕ 10 - 90 mm
- Joint 17
 - Daerah sendi plastis = 4 kaki ϕ 10 - 65 mm
 - Daerah luar sendi plastis = 3 kaki ϕ 10 - 90 mm



Gambar 4.15 Penulangan geser pada balok

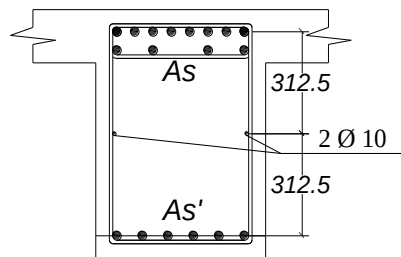
Penulangan Torsi

Pada balok tinggi, pemasangan tulangan torsi perlu dilakukan untuk menghindari puntir yang terjadi akibat besarnya beban gempa yang terjadi. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.5.6, penulangan torsi harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Pada tiap sudut sengkang harus terdapat minimal 1 buah tul. Longitudinal.
- Spasi maksimum antara tulangan longitudinal untuk torsi disekitar perimeter tulangan sengkang adalah 300 mm.
- Diameter tulangan harus diambil dari yang terbesar dari $0,042 \times \text{spasi}$ terbesar sengkang dan 10 mm.

Pada Analisa penulangan lentur balok, diketahui bentang bersih terdekat antara tulangan tarik dan tulangan tekan adalah 625 mm. Maka dari itu, untuk memenuhi persyaratan spasi maksimum sebesar 300 mm, maka diperlukan 2 tulangan longitudinal sebagai tulangan torsi. Sehingga jarak maksimum antar tulangan longitudinal balok yang terjadi adalah sebesar: 312.5 mm

Sedangkan untuk diameter tulangan, dengan spasi terbesar yang direncanakan yaitu 90 mm, maka $0,042 \times 90 \text{ mm} = 3.78 \text{ mm}$, digunakan $\varnothing 10$



Gambar 4.16 Penulangan torsi pada balok

4.2 Perhitungan Penulangan Kolom

4.2.1 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom 16 D 32

Diketahui :

$$\begin{aligned}b &= 1000 \text{ mm} & h'_{\text{kolom}} &= h_{\text{kolom}} - h_{\text{balok}} \\h &= 1000 \text{ mm} & &= 4500 - 750 = 3750 \text{ mm} \\ \text{Tulangan sengkang } \emptyset 12 & & f'_c &= 35 \text{ MPa} \\ \text{Tulangan utama dipakai D 32} & & f_y &= 400 \text{ MPa} \\ \text{Tebal selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\ \text{Dicoba tulangan D 32 mm} \\ d &= h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan pokok} \\ &= 1000 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 32 \\ &= 932.0 \text{ mm} \\ d' &= 1000 - 932.0 = 68.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Luas Penampang kolom (A_g)

$$\begin{aligned}A_g &= b \cdot h \\ &= 1000 \times 1000 \\ &= 1000000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Maka dipakai tulangan } 16 \text{ D } 32 \quad A_{s_t} = 12861 \text{ mm}^2$$

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.9.1, Luas tulangan Longitudinal, A_{s_t} , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$

Periksa Rasio Tulangan Memanjang :

$$\rho_g = \frac{A_{s_t}}{A_g} = \frac{12861}{1000000} = 0.013$$

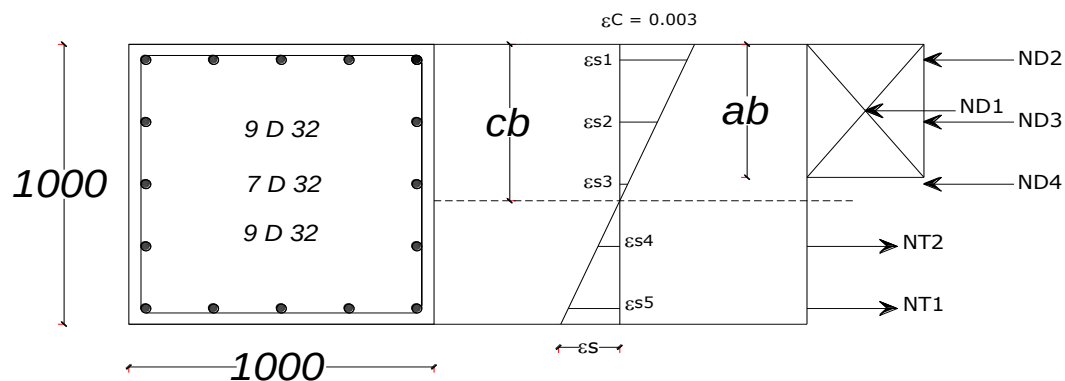
$$0,01 A_g < \rho_g = 0.013 < 0,08 A_g$$

- Beban Sentris

$$\begin{aligned}
 P_o &= 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \\
 &= (0,85 \cdot 35 (1000000 - 12861.44) + 400 \cdot 12861.44) \cdot 10^{-3} = 34511.948 \text{ kN} \\
 P_n &= 0,80 \cdot P_o & \phi P_n &= 0.65 \times 27609.559 \\
 &= 0.80 \cdot 34511.948 & &= 17946.213 \text{ kN} \\
 &= 27609.559 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

• **Kondisi Seimbang**

$$\begin{aligned}
 c_b &= \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 400} = 559.2 \text{ mm} \\
 a_b &= c \cdot \beta \\
 &= 559.2 \times 0.85 \\
 &= 475.32 \text{ mm} \\
 ND1 &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b \\
 &= 0.85 \times 35 \times 475.320 \times 1000 \times 10^{-3} \\
 &= 14140.8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 16 D 32

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200 \\
 \epsilon_{s1} &= \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{559.2 - 68.0}{559.2} \times 0.003 \\
 &= 0.00264 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa} \\
 ND2 &= A_{s1} \times f_s \quad (5 \text{ D } 32)
 \end{aligned}$$

$$= 4022.86 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{1609.14 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{559.2 - 284.00}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00148 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{ND3} = A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{559.2 - 500.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00032 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00032 \times 200000 = 63.519 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{ND4} = A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 63.519 \times 10^{-3} = \mathbf{102.21 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s4} = \frac{716.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00084 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00084 \times 200000 = 168.24 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT1} = A_{s8} \times f_s \quad (5 \text{ D } 32)$$

$$= 4022.86 \times 168.24 \times 10^{-3} = \mathbf{676.81 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s9} = \frac{932.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00200 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT2} = A_{s9} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_{nb} = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 - NT1 - NT2$$

$$= 14140.8 + 1609.14 + 643.657 + 102.212 - 676.81 - 643.657$$

$$= \mathbf{15175.318 \text{ kN}}$$

$$\phi P_{nb} = 0.65 \times 15175.318$$

$$= \mathbf{9863.96 \text{ kN}}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\ + \{(ND4).(h/2 - y2)\}$$

$$= 14140.8 \left[1000 / 2 - 475.3 / 2 \right] + \left[1609.14 + 676.807 \times \right.$$

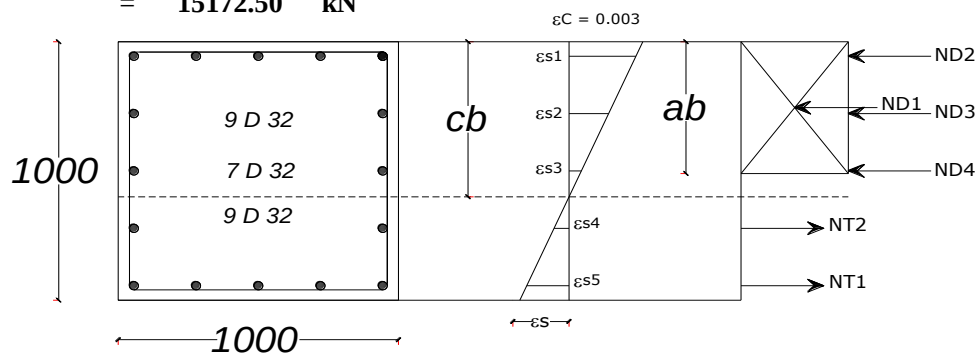
$$\begin{aligned}
& \left[\frac{1000}{2} - 68.0 \right] + \left[\left(643.66 + 643.66 \right) \times \left(\frac{1000}{2} - 284.0 \right) \right] \\
& + \left[102.21 \right] \times \left(\frac{1000}{2} - 500.0 \right) \Big] \\
& 10^{-3} \\
& = \left[3709689.602 + 987530.281 + 278059.886 + 50605.825 \right] 10^{-3} \\
& = 5025.886 \text{ kNm} \\
\phi M_{nb} &= 0.65 \times 5025.9 \\
&= 3266.8 \text{ kNm} \\
e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{5025.8856}{15175.318} = 0.3312 \text{ m} = 331.188 \text{ mm}
\end{aligned}$$

• **Kondisi Patah Desak** ($c > c_b$)

Dipakai nilai $c = 600 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
a_b &= c \cdot \beta \\
&= 600 \times 0.85 \\
&= 510 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ND1 &= 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\
&= 0.85 \times 35 \times 510.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\
&= 15172.50 \text{ kN}
\end{aligned}$$



Gambar 4.18 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 16 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{600 - 68}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00266 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{ND2} = A_{s1} \times f_s \quad (5 \text{ D } 32)$$

$$= 4022.857 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{1609.14 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{600 - 284.00}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00158 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{ND3} = A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{600 - 500}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00050 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00050 \times 200000 = 100.00 \text{ MPa}$$

$$\text{ND4} = A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 100.00 \times 10^{-3} = \mathbf{160.914 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{716.0 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00058 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00058 \times 200000 = 116 \text{ MPa}$$

$$\text{NT1} = A_{s8} \times f_s \quad (5 \text{ D } 32)$$

$$= 4022.86 \times 116.00 \times 10^{-3} = \mathbf{466.651 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s9} = \frac{932 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00166 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00166 \times 200000 = 332.00 \text{ MPa}$$

$$\text{NT2} = A_{s9} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 332.00 \times 10^{-3} = \mathbf{534.235 \text{ kN}}$$

$$P_n = \text{ND1} + \text{ND2} + \text{ND3} + \text{ND4} - \text{NT1} - \text{NT2}$$

$$= 15172.500 + 1609.14 + 643.657 + 160.914 - 466.651 - 534.235$$

$$= 16585.327 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 16585.327$$

$$= 10780.5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\ &\quad + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\} \\ &\quad + \{(ND6 + NT5).(h/2 - y4)\} + \{(ND7).(h/2 - y5)\} \\ &\quad + \{(ND8).(h/2 - y6)\} \\ &= 15172.5 \left[\frac{1000}{2} - \frac{510}{2} \right] + \left[(1609.14 + 466.651) \times \left[\frac{1000}{2} - 68.0 \right] \right] \\ &\quad + \left[(643.66 + 534.24) \times \left[\frac{1000}{2} - 284.0 \right] \right] \\ &\quad + \left[(160.91) \times \left[\frac{1000}{2} - 500.0 \right] \right] 10^{-3} \\ &= \left[3717262.5 + 896743 + 254424.8 + 79957.1 \right] 10^{-3} \\ &= 4948.388 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.65 \times 4948.388 \\ &= 3216.45 \text{ kNm} \end{aligned}$$

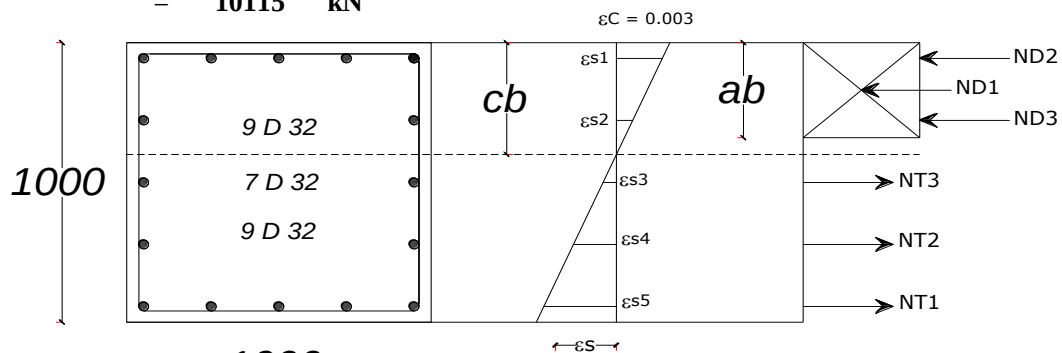
$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{4948.39}{16585.327} = 0.2984 \text{ m} = 298.36 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Tarik (c < cb)**

Dipakai nilai c = 400 mm

$$\begin{aligned} ab &= c \cdot \beta \\ &= 400 \times 0.85 \\ &= 340.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ND1 &= 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0.85 \times 35 \times 340.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\ &= \mathbf{10115 \text{ kN}} \end{aligned}$$




Gambar 4.19 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 16 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{400 - 68}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00249 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \times (5 \text{ D } 32)$$

$$= 4022.857 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{1609.14 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{400 - 284.00}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00087 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00087 \times 200000 = 174 \text{ MPa}$$

$$ND3 = A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 174.00 \times 10^{-3} = \mathbf{279.991 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{500 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00075 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00075 \times 200000 = 150 \text{ MPa}$$

$$NT1 = A_{s6} \times f_s \quad (5 \text{ D } 32)$$

$$= 4022.86 \times 150.000 \times 10^{-3} = \mathbf{603.43 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{716 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00237 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$NT2 = A_{s6} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s7} = \frac{932 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00399 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$NT3 = A_{s6} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 - NT1 - NT2 - NT3$$

$$NT6 - NT7$$

$$= 10115 + 1609.14 + 279.991 - 603.429 - 643.66 - 643.657$$

$$= 10113.391 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 10113.391$$

$$= 6573.7 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\ + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\}$$

$$= 10115.0 \left[1000 / 2 - 340 / 2 \right] + \left[(1609.14 + 603.429) \times \left[1000 / 2 - 68.0 \right] \right] + \left[(279.99 + 643.66) \times \left[1000 / 2 - 284.0 \right] \right] \\ + \left[643.7 \right] \times \left[1000 / 2 - 400.0 \right] \left] 10^{-3}$$

$$= \left[3337950 + 955831 + 199508.0 + 321428.6 \right] 10^{-3}$$

$$= 4814.717 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \times 4814.7$$

$$= 3129.566 \text{ kNm}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{4814.717}{10113.391} = 0.476 \text{ m} = 476 \text{ mm}$$

• Kondisi Lentur Murni

Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 9 \text{ D } 32 = 7234.560 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 7 \text{ D } 32 = 5626.880 \text{ mm}^2$$

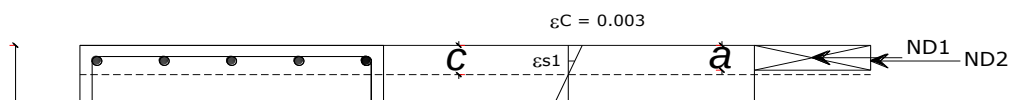
$$A_{s1} = 5 \text{ D } 32 = 4019.200 \text{ mm}^2$$

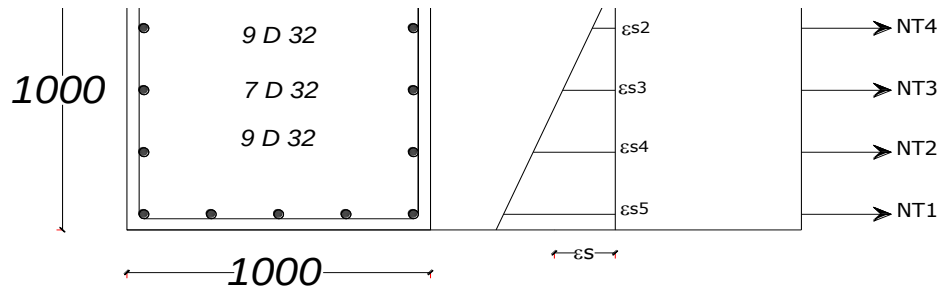
$$A_{s2} = 2 \text{ D } 32 = 1607.680 \text{ mm}^2$$

$$y1 = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$y2 = 68 + 216 = 284 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{4019.2 \times 68 + 1607.7 \times 284}{5626.880} = 129.72 \text{ mm}$$





Gambar 4.20 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 16 D 32

Dimisalkan garis netral (c) > y_1 maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 5626,880 - 7234,560 \times 400 \right] c - 600 \times 5626,880 \times 129,7 = 0$$

$$25288 c^2 + 482304,00 c - 437951324,2 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-482304 \pm \sqrt{482304^2 - 4 \times 25288 \times 437951324,2}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{-482304 + 6673184.7}{50575} = 122.4 \text{ mm}$$

$$c = 122.4 \text{ mm}$$

Karena nilai $c < y_2$ maka dihitung nilai c sebenarnya berdasarkan persamaan yang kedua.

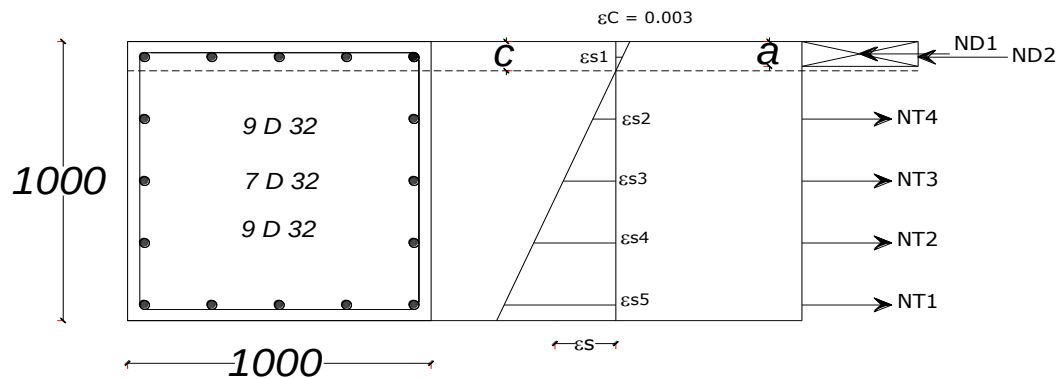
Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 11 \text{ D } 32 = 8850.286 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 5 \text{ D } 32 = 4022.857 \text{ mm}^2$$

$$d' = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 68 = 932.0 \text{ mm}$$



Gambar 4.21 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 16 D 32

$$0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0.85 \cdot f_c' \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0.85 \cdot f_c' \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0.85 \cdot f_c' \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 4022,857 - 8850,286 \right. \\ \left. \times 400 \right] c - 600 \times 4022,857 \times 68,0 = 0$$

$$25288 c^2 + -1126400,00 c - 164132571,4 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{1126400 \pm \sqrt{-1126400^2 - 4 \times 25288 \times 164132571,4}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{1126400 + 4227385,3}{50575} = 105,858 \text{ mm}$$

$$c = 105,858 \text{ mm}$$

Dihitung nilai a :

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0,85 \times 105,858 = 89,980 \text{ mm}$$

$$\text{ND1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \times 35 \times 89,980 \times 1000$$

$$= 2676,893 \text{ kN}$$

$$\text{ND2} = f_s' \cdot A_s'$$

$$= \frac{(c - d')}{c} \times 600 \cdot A_s'$$

$$= \frac{105,858 - 68,0}{105,858} \times 600 \times 4022,857 \times 10^{-3}$$

$$= 863,222 \text{ kN}$$

$$\text{NT1} = A_s \times f_y$$

$$= 4022,857 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 1609,14 \text{ kN}$$

$$\text{NT2} = A_s \times f_y$$

$$= 1609,14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{NT3} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.66 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT4} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.657 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{ND1} + \text{ND2} = \text{NT1} + \text{NT2} + \text{NT3} + \text{NT4}$$

$$\begin{aligned} 2676.893 + 863.22 &= 1609.14 + 643.657 + 643.657 + 643.657 \\ 3540.114 &= 3540.114 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZND1} &= c - a/2 & \text{ZNT4} &= y_6 - c \\ &= 105.858 - 89.980 / 2 & &= 753.86 - 105.858 \\ &= 60.87 \text{ mm} & &= 648.000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZND2} &= c - y_1 \\ &= 105.858 - 68 \\ &= 37.858 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZNT1} &= y_3 - c \\ &= 284.000 - 105.858 \\ &= 178.142 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZNT2} &= y_4 - c \\ &= 321.9 - 284.000 \\ &= 37.858 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZNT3} &= y_5 - c \\ &= 537.9 - 284.000 \\ &= 253.858 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= ((\text{ND1} \cdot \text{ZND1}) + (\text{ND2} \cdot \text{ZND2}) + (\text{NT1} \cdot \text{ZNT2}) + (\text{NT2} \cdot \text{ZNT2}) + (\text{NT3} \cdot \text{ZNT3}) + \\ &\quad (\text{NT4} \cdot \text{ZNT4})) \end{aligned}$$

$$= \left[2676.893 \times 60.8685 \right] + \left[863.222 \times 37.858 \right] + \left[1609.14 \times 178.142 \right] \\ + \left[643.657 \times 37.858 \right] + \left[643.657 \times 253.858 \right] + \left[643.657 \times 648.000 \right] \\ 10^{-3}$$

$$= 1087.129 \text{ kNm}$$

$$\phi Mn = 0.65 \times 1087.129$$

$$= 706.634 \text{ kNm}$$

Tabel 4.1 Diagram Interaksi kolom 16 D 32

Kondisi	16 D 32	
	ϕPn (kN)	ϕMn (kNm)
Sentris	17946.21	0
Patah Desak	10580.46	3366.452
Balance	8963.96	3566.826
Patah Tarik	5823.704	3229.566
Lentur	0	1056.634

4.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom 20 D 32

Diketahui :

$$\begin{aligned}b &= 1000 \text{ mm} & h'_{\text{kolom}} &= h_{\text{kolom}} - h_{\text{balok}} \\h &= 1000 \text{ mm} & &= 4500 - 750 = 3750 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Tulangan sengkang } \emptyset \quad 12 \quad f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama dipakai } D \quad 32 \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Tebal selimut beton 40 mm

Dicoba tulangan D 32 mm

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan pokok}$$

$$= 1000 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 32$$

$$= 932.0 \text{ mm}$$

$$d' = 1000 - 932.0 = 68.0 \text{ mm}$$

- Luas Penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai tulangan } 20 \text{ D } 32 \quad A_{s_t} = 16077 \text{ mm}^2$$

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.9.1, Luas tulangan Longitudinal, A_{s_t} , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$

Periksa Rasio Tulangan Memanjang :

$$\rho_g = \frac{A_{s_t}}{A_g} = \frac{16077}{1000000} = 0.016$$

$$0,01 A_g < \rho_g = 0.016 < 0,08 A_g$$

- Beban Sentris

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{s_t}) + f_y \cdot A_{s_t}$$

$$= (0,85 \cdot 35 (1000000 - 16076.8) + 400 \cdot 16076.8) \cdot 10^{-3} = 35702.435 \text{ kN}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 28561.948$$

$$= 0.80 \cdot 35702.435 = 18565.266 \text{ kN}$$

$$= 28561.948 \text{ kN}$$

• **Kondisi Seimbang**

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 400} = 559.2 \text{ mm}$$

$$a_b = c \cdot \beta$$

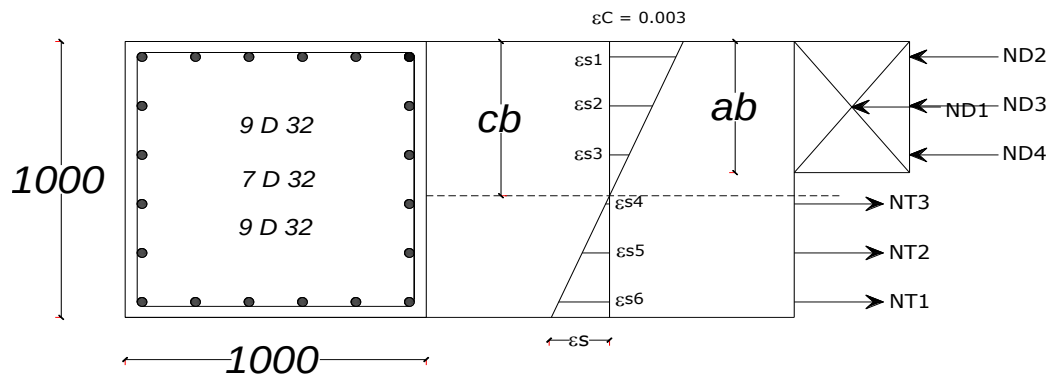
$$= 559.2 \times 0.85$$

$$= 475.32 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c \cdot a_b \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 475.320 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 14140.8 \text{ kN}$$



Gambar 4.22 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 20 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{559.2 - 68.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00264 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (6 D 32)}$$

$$= 4827.43 \times 400 \times 10^{-3} = 1930.97 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{559.2 - 240.80}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00171 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00171 \times 200000 = 341.631 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{ND3} = A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 341.631 \times 10^{-3} = \mathbf{549.73 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{559.2 - 413.6}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00078 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00078 \times 200000 = 156.223 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{ND4} = A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 156.223 \times 10^{-3} = \mathbf{251.39 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{586.4 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00015 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00015 \times 200000 = 29.18 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT1} = A_{s4} \times f_s \quad (6 \text{ D } 32)$$

$$= 4827.43 \times 29.18 \times 10^{-3} = \mathbf{140.89 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s9} = \frac{759.20 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00107 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00107 \times 200000 = 214.592 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT2} = A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.143 \times 214.592 \times 10^{-3} = \mathbf{345.310 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s10} = \frac{932.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00200 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT3} = A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_{nb} = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 - NT1 - NT2 - NT3$$

$$= 14140.8 + 1930.97 + 549.733 + 251.385 - 140.89 - 345.310 \\ - 643.657$$

$$= 15743.007 \text{ kN}$$

$$\phi P_{nb} = 0.65 \times 15743.007$$

$$= 10232.95 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\ &\quad + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} \\ &= 14140.8 \left[1000 / 2 - 475.3 / 2 \right] + \left[(1930.97 + 140.886) \times \right. \\ &\quad \left. \left[1000 / 2 - 68.0 \right] + \left[549.73 + 345.31 \right] \times \left[1000 / 2 - 240.8 \right] \right] \\ &\quad + \left[251.39 + 643.7 \right] \times \left[1000 / 2 - 413.6 \right] \times 10^{-3} \\ &= \left[3709689.602 + 895043 + 231995.0 + 447107.7 \right] \times 10^{-3} \\ &= 5283.835 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_{nb} = 0.65 \times 5283.8$$

$$= 3434.5 \text{ kNm}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{5283.8349}{15743.007} = 0.3356 \text{ m} = 335.631 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Desak** ($c > c_b$)

Dipakai nilai $c = 600 \text{ mm}$

$$a = c \cdot \beta$$

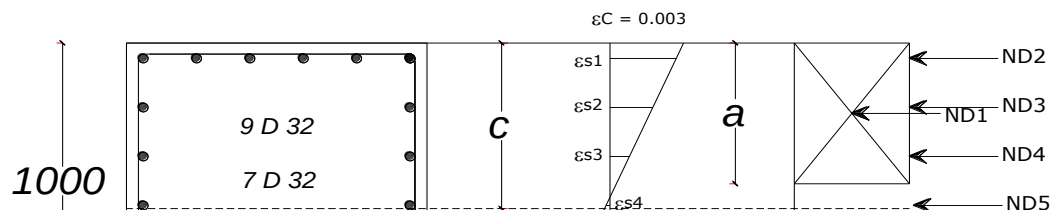
$$= 600.0 \times 0.85$$

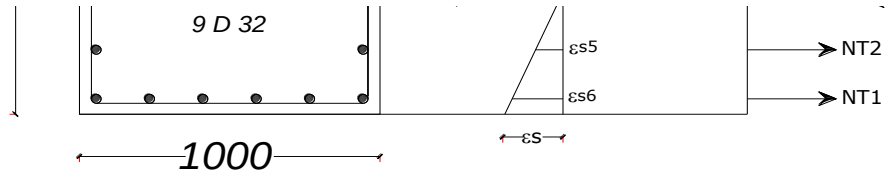
$$= 510.0 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 510.0 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 15172.50 \text{ kN}$$





Gambar 4.23 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah desak 20 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{600 - 68}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00266 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (6 D 32)}$$

$$= 4827.429 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{1930.97 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{600 - 240.80}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00180 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00180 \times 200000 = 359.2 \text{ MPa}$$

$$ND3 = A_{s2} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 359.2 \times 10^{-3} = \mathbf{578.004 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{600 - 413.6}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00093 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00093 \times 200000 = 186.40 \text{ MPa}$$

$$ND4 = A_{s3} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 186.40 \times 10^{-3} = \mathbf{299.944 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{600.0 - 586.4}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00007 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00007 \times 200000 = 13.6 \text{ MPa}$$

$$NT1 = A_{s5} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 4827.43 \times 13.6 \times 10^{-3} = \mathbf{65.653 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s9} = \frac{759 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00080 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00080 \times 200000 = 159.20 \text{ MPa}$$

$$NT2 = As5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 159.20 \times 10^{-3} = \mathbf{256.176 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s9} = \frac{932 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00166 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00166 \times 200000 = 332.00 \text{ MPa}$$

$$NT3 = As5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 332.00 \times 10^{-3} = \mathbf{534.235 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 - NT1 - NT2 - NT3$$

$$= 15172.500 + 1930.97 + 578.004 + 299.944 - 65.653 - 256.176 - 534.235$$

$$= 17125.356 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 17125.356$$

$$= 11131.5 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\}$$

$$= 15172.5 \left[\frac{1000}{2} - \frac{510}{2} \right] + \left[(1930.97 + 65.653) \times \left[\frac{1000}{2} - 68.0 \right] \right] + \left[(578.00 + 256.18) \times \left[\frac{1000}{2} - 240.8 \right] \right] + \left[(299.94 + 534.235) \times \left[\frac{1000}{2} - 413.6 \right] \right]$$

$$10^{-3}$$

$$= \left[3717262.5 + 862542 + 216219.4 + 416676.2 \right] 10^{-3}$$

$$= 5212.700 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \times 5212.700$$

$$= 3388.25 \text{ kNm}$$

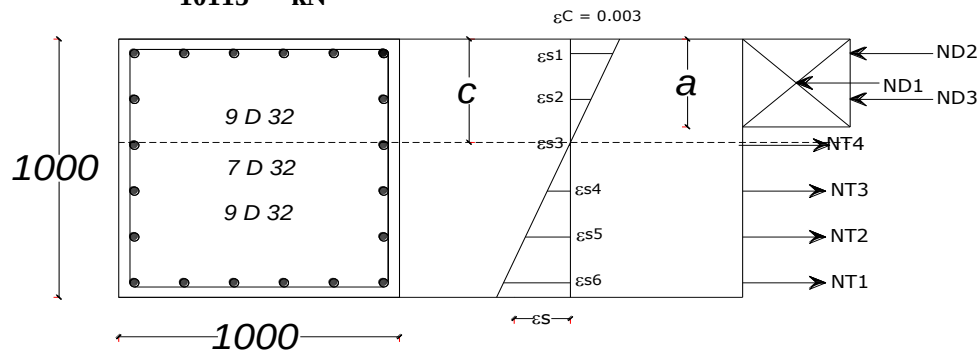
$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5212.70}{17125.356} = 0.3044 \text{ m} = 304.38 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Tarik (c < c_b)**

Dipakai nilai $c = 400 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} ab &= c \cdot \beta \\ &= 400 \times 0.85 \\ &= 340.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ND1 &= 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0.85 \times 35 \times 340.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\ &= \mathbf{10115 \text{ kN}} \end{aligned}$$



Gambar 4.24 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 20 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s1} &= \frac{400 - 68}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00249 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400.00 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ND2 &= A_{s1} \times f_s \times (6 \text{ D } 32) \\ &= 4827.429 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{1930.97 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s2} &= \frac{400 - 240.80}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00119 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00119 \times 200000 = 238.8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ND3 &= A_{s2} \times f_s \times (2 \text{ D } 32) \\ &= 1609.14 \times 238.8 \times 10^{-3} = \mathbf{384.263 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{413.60 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00010 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00010 \times 200000 = 20.4 \text{ MPa}$$

$$\text{NT1} = A_s2 \times f_s \quad (6 \text{ D } 32)$$

$$= 4827.43 \times 20.4 \times 10^{-3} = \mathbf{98.48 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{586 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00140 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00140 \times 200000 = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{NT2} = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 279.600 \times 10^{-3} = \mathbf{449.916 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s7} = \frac{759 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00269 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT3} = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s8} = \frac{932 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00399 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT4} = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_n = \text{ND1} + \text{ND2} + \text{ND3} - \text{NT1} - \text{NT2} - \text{NT3} - \text{NT4}$$

$$= 10115 + 1930.97 + 384.263 - 98.480 - 449.92 - 643.657 \\ - 643.657$$

$$= 10594.525 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 10594.525$$

$$= 6886.44 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = \text{ND1}(h/2 - ab/2) + \{(\text{ND2} + \text{NT1}).(h/2 - d')\} + \{(\text{ND3} + \text{NT2}).(h/2 - y_1)\} \\ + \{(\text{NT3}).(h/2 - y_2)\} + \{(\text{NT4}).(h/2 - y_3)\}$$

$$\begin{aligned}
&= 10115.0 \left[\left(\frac{1000}{2} - \frac{340}{2} \right) \left[\left(+1930.97 + 98.48 \right) \times \left(\frac{1000}{2} - 68 \right) \right] + \left[\left(384.26 + 449.92 \right) \times \left(\frac{1000}{2} - 240.8 \right) \right] + \left[\left(643.7 \right) \times \left(\frac{1000}{2} - 413.6 \right) \right] + \left[\left(643.7 \right) \times \left(\frac{1000}{2} - 586.4 \right) \right] \right] \\
&\quad 10^{-3} \\
&= \left[3337950 + 876723 + 216219.4 + 321415.0 + (-55611.97714) \right] 10^{-3} \\
&= 4696.695 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= 0.65 \times 4696.7 \\
&= 3052.852 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{4696.695}{10594.525} = 0.443 \text{ m} = 443 \text{ mm}$$

• Kondisi Lentur Murni

Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 10 \text{ D } 32 = 8038.400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 10 \text{ D } 32 = 8038.400 \text{ mm}^2$$

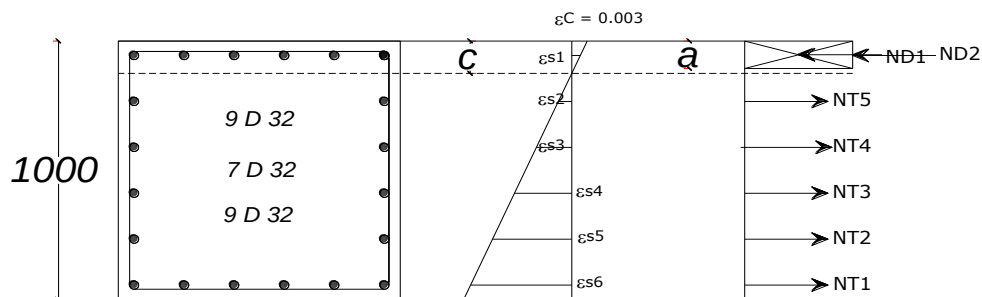
$$A_{s1} = 6 \text{ D } 32 = 4823.040 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 4 \text{ D } 32 = 3215.360 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 40 + 12 + \frac{1}{2} 32 = 68 \text{ mm}$$

$$y_2 = 68 + 172.8 = 241 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{4823.04 \times 68 + 3215.4 \times 241}{8038.400} = 137.12 \text{ mm}$$



$$\overbrace{\hspace{1.5cm}}^{1000} \quad \overbrace{\hspace{1.5cm}}^{\epsilon_s}$$

Gambar 4.25 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 20 D 32

Dimisalkan garis netral (c) > y_1 maka perhitungan garis netral harus dicari

menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 8038,400 - 8038,400 \times 400 \right] c - 600 \times 8038,400 \times 137,1 = 0$$

$$25288 c^2 + 1607680,00 c - 661335244,8 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-1607680 \pm \sqrt{1607680^2 - 4 \times 25288 \times 661335244,8}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{-1607680 + 8335388,1}{50575} = 133,0 \text{ mm}$$

$$c = 133.0 \text{ mm}$$

Karena nilai $c < y_2$ maka dihitung nilai c sebenarnya berdasarkan persamaan yang kedua.

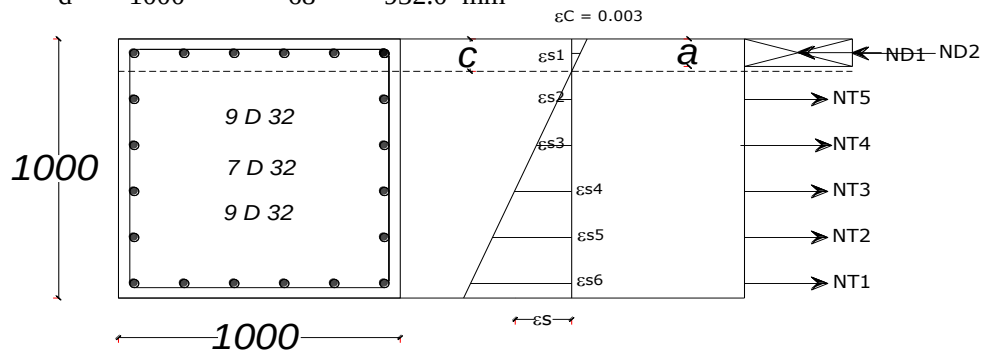
Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 14 \text{ D } 32 = 11264.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 6 \text{ D } 32 = 4827.429 \text{ mm}^2$$

$$d' = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 68 = 932.0 \text{ mm}$$



Gambar 4.26 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 20 D 32

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 4827.429 - 11264.000 \times 400 \right] c - 600 \times 4827.429 \times 68.0 = 0$$

$$25288 \cdot c^2 + -1609142.86 \cdot c - 196959085.7 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a} \\
 &= \frac{1609143 + \sqrt{-1609143^2 - 4 \times 25288 \times 196959085.7}}{2 \times 25288} \\
 &= \frac{1609142.9 + 4744655.1}{50575} = 125.631 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$c = 125.631 \text{ mm}$$

Dihitung nilai a :

$$\begin{aligned}
 a &= \beta \cdot c \\
 &= 0.85 \times 125.631 = 106.787 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ND1} &= 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\
 &= 0.85 \times 35 \times 106.787 \times 1000 \\
 &= 3176.899 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ND2} &= f_s' \cdot A_s' \\
 &= \frac{(c - d')}{c} \times 600 \cdot A_s' \\
 &= \frac{125.631 - 68.0}{125.631} \times 600 \times 4827.429 \times 10^{-3} \\
 &= 1328.701 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NT1} &= A_s \times f_y \\
 &= 4827.429 \times 400 \times 10^{-3} \\
 &= 1930.97 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NT2} &= A_s \times f_y \\
 &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
 &= 643.657 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NT3 &= A_s \times f_y \\
&= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.66 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NT4 &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NT5 &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$ND1+ND2 = NT1+NT2+NT3+NT4+NT5$$

$$\begin{aligned}
3176.899 + 1328.70 &= 1930.97 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 \\
4505.6 &= 4505.6
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZND1 &= c - a/2 \\
&= 125.631 - 106.787 / 2 \\
&= 72.24 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZNT4 &= y5 - c \\
&= 759.20 - 125.631 \\
&= 633.569 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZND2 &= c - y1 \\
&= 125.631 - 68 \\
&= 57.631 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZNT5 &= y6 - c \\
&= 932.00 - 125.631 \\
&= 806.369 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZNT1 &= y2 - c \\
&= 240.8 - 125.631 \\
&= 115.169 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZNT2 &= y3 - c \\
&= 413.6 - 125.631 \\
&= 287.969 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZNT3 &= y4 - c \\
&= 586.4 - 125.631 \\
&= 460.769 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$M_n = ((ND1.ZND1)+(ND2.ZND2)+(NT1.ZNT2)+(NT2.ZNT2)+(NT3.ZNT3))$$

$$\begin{aligned}
& + (NT4.ZNT4) + (NT5.ZNT5) \\
& = \left[3176.899 \times 72.2379 \right] + \left[1328.701 \times 57.631 \right] + \left[1930.97 \times 115.17 \right] \\
& + \left[643.657 \times 287.969 \right] + \left[643.657 \times 460.769 \right] + \left[643.657 \times 633.569 \right] \\
& + \left[643.657 \times 806.369 \right] 10^{-3} \\
& = 1937.211 \quad \text{kNm} \\
\phi \text{ Mn} & = 0.65 \times 1937.211 \\
& = 1259.187 \quad \text{kNm}
\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Diagram Interaksi kolom 20 D 32

Kondisi	20 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	18565.27	0
Patah Desak	11131.48	3588.255
Balance	9932.95	3834.493
Patah Tarik	6486.441	3552.852
Lentur	0	1259.187

4.2.3 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom 28 D 32

Diketahui :

$$\begin{aligned}b &= 1000 \text{ mm} & h'_{\text{kolom}} &= h_{\text{kolom}} - h_{\text{balok}} \\h &= 1000 \text{ mm} & &= 4500 - 750 = 3750 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Tulangan sengkang } \emptyset 12 \quad f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama dipakai D 32} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Tebal selimut beton 40 mm

Dicoba tulangan D 32 mm

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan pokok}$$

$$= 1000 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 32$$

$$= 932.0 \text{ mm}$$

$$d' = 1000 - 932.0 = 68.0 \text{ mm}$$

- Luas Penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai tulangan } 28 \text{ D } 32 \quad A_{s_t} = 22508 \text{ mm}^2$$

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.9.1, Luas tulangan Longitudinal, A_{s_t} , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$

Periksa Rasio Tulangan Memanjang :

$$\rho_g = \frac{A_{s_t}}{A_g} = \frac{22508}{1000000} = 0.023$$

$$0,01 A_g < \rho_g = 0.023 < 0,08 A_g$$

- Beban Sentris

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{s_t}) + f_y \cdot A_{s_t}$$

$$= (0,85 \cdot 35 (1000000 - 22507.52) + 400 \cdot 22507.52) \cdot 10^{-3} = 38083.409 \text{ kN}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 30466.727$$

$$= 0.80 \cdot 38083.409 = 19803.373 \text{ kN}$$

$$= 30466.727 \text{ kN}$$

• **Kondisi Seimbang**

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 400} = 559.2 \text{ mm}$$

$$a_b = c \cdot \beta$$

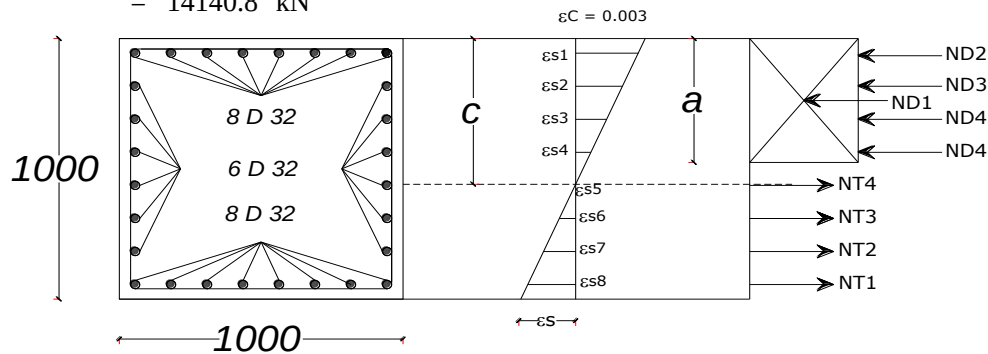
$$= 559.2 \times 0.85$$

$$= 475.32 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c \cdot a_b \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 475.320 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 14140.8 \text{ kN}$$



Gambar 4.28 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 28 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{559.2 - 68.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00264 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (8 D 32)}$$

$$= 6436.57 \times 400 \times 10^{-3} = 2574.63 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{559.2 - 191.43}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00197 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$ND3 = A_{s2} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.1 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_3} = \frac{559.2 - 314.9}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00131 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00131 \times 200000 = 262.170 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{ND4} = A_{S3} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 262.170 \times 10^{-3} = \mathbf{421.87 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_4} = \frac{559.20 - 438.3}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00065 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00065 \times 200000 = 129.74 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{ND5} = A_{S4} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 129.736 \times 10^{-3} = \mathbf{208.76 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_5} = \frac{561.71 - 559.20}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00001 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00001 \times 200000 = 2.70 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT1} = A_{S8} \times f_s \text{ (8 D 32)}$$

$$= 6436.57 \times 2.70 \times 10^{-3} = \mathbf{17.36 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_9} = \frac{685.14 - 559.2}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00068 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00068 \times 200000 = 135.132 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT2} = A_{S9} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.143 \times 135.132 \times 10^{-3} = \mathbf{217.446 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_{10}} = \frac{808.57 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00134 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00134 \times 200000 = 267.566 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{NT3} = A_{S10} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.143 \times 267.566 \times 10^{-3} = \mathbf{430.552 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_{11}} = \frac{932.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00200 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{NT4} &= A_s f_s (2 D 32) \\ &= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 - NT1 - NT2 - NT3 - \\ &\quad NT4 \\ &= 14140.8 + 2574.63 + 643.657 + 421.870 + 208.76 - 17.36 - \\ &\quad 217.446 - 430.552 - 643.657 \\ &= 16680.670 \text{ kN} \\ \phi P_{nb} &= 0.65 \times 16680.670 \\ &= 10842.44 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} + \\ &\quad \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\} \\ &= 14140.8 \left[\frac{1000}{2} - \frac{475.3}{2} \right] + 2574.63 + 17.36 \times \\ &\quad \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + \left[643.66 + 217.45 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 191.4 \right] + \\ &\quad \left[421.87 + 430.6 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 314.9 \right] + \left[208.76 + 643.657 \right] \\ &\quad \times \left[\frac{1000}{2} - 438.3 \right] 10^{-3} \\ &= \left[3709689.602 + 1119741 + 265712.0 + 425895.9 + \right. \\ &\quad \left. 52606.58256 \right] 10^{-3} \\ &= 5573.645 \text{ kNm} \\ \phi M_{nb} &= 0.65 \times 5573.6 \\ &= 3622.9 \text{ kNm} \\ e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{5573.6449}{16680.670} = 0.3341 \text{ m} = 334.138 \text{ mm} \end{aligned}$$

• **Kondisi Patah Desak** ($c > c_b$)

$$\text{Dipakai nilai } c = \mathbf{600 \text{ mm}}$$

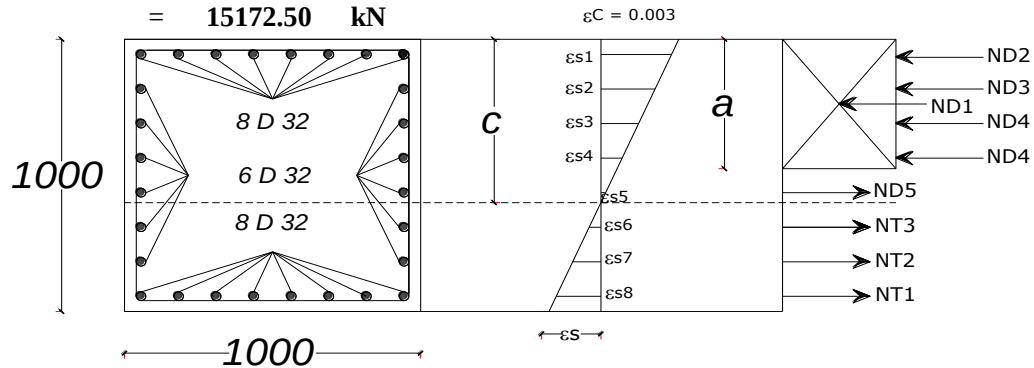
$$\begin{aligned} a &= c \cdot \beta \\ &= 600.0 \times 0.85 \end{aligned}$$

$$= 510.0 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 510.0 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 15172.50 \text{ kN}$$



Gambar 4.28 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah desak 28 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{600 - 68}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00266 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (8 D 32)}$$

$$= 6436.571 \times 400 \times 10^{-3} = 2574.63 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{600 - 191.43}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00204 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND3 = A_{s2} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = 643.657 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{600 - 314.9}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00143 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00143 \times 200000 = 285.14 \text{ MPa}$$

$$ND4 = A_{s3} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 285.14 \times 10^{-3} = 458.836 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{S_4} = \frac{600.0 - 438}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00081 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00081 \times 200000 = 161.71 \text{ MPa}$$

$$ND5 = A_{s4} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 161.71 \times 10^{-3} = \mathbf{260.221 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_5} = \frac{600.0 - 562}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00019 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00019 \times 200000 = 38.29 \text{ MPa}$$

$$ND6 = A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 38.29 \times 10^{-3} = \mathbf{61.607 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_6} = \frac{685.1 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00043 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00043 \times 200000 = 85 \text{ MPa}$$

$$NT1 = A_{s8} \times f_s \quad (8 \text{ D } 32)$$

$$= 6436.57 \times 85.14 \times 10^{-3} = \mathbf{548.028 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_9} = \frac{809 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00104 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00104 \times 200000 = 208.57 \text{ MPa}$$

$$NT2 = A_{s9} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 208.57 \times 10^{-3} = \mathbf{335.621 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_{10}} = \frac{932 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00166 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00166 \times 200000 = 332.00 \text{ MPa}$$

$$NT3 = A_{s10} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 332.00 \times 10^{-3} = \mathbf{534.235 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 - NT1 - NT2 - NT3$$

$$= 15172.500 + 2574.63 + 643.657 + 458.836 + 260.221 + 61.607 -$$

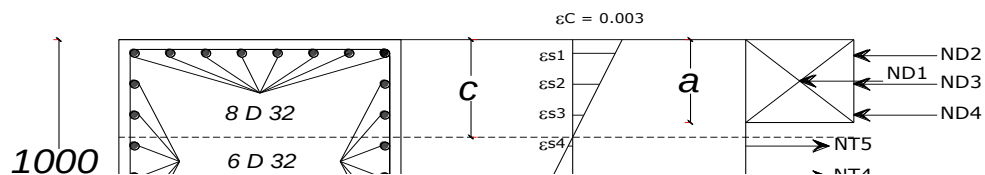
$$\begin{aligned}
& 548.028 - 335.621 - 534.235 \\
& = 17753.565 \text{ kN} \\
\phi P_n & = 0.65 \times 17753.565 \\
& = 11539.8 \text{ kN} \\
M_{nb} & = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} + \\
& \quad \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5).(h/2 - y3)\} + \{(ND6).(h/2 - y4)\} \\
& = 15172.5 \left[1000 / 2 - 510 / 2 \right] + \left[2574.63 + 548.028 \right] \times \\
& \quad \left[1000 / 2 - 68 \right] + \left[643.66 + 335.62 \right] \times \left[1000 / 2 - 191.4 \right] + \\
& \quad \left[458.84 + 534.2 \right] \times \left[1000 / 2 - 314.9 \right] + \left[260.22 \right] \times \\
& \quad \left[1000 / 2 - 438.3 \right] + \left[61.61 \right] \times \left[1000 / 2 - 561.7 \right] 10^{-3} \\
& = \left[3717262.5 + 1348988 + 302177.3 + 496220.7 + \right. \\
& \quad \left. 16059.377 + -3802 \right] 10^{-3} \\
& = 5876.905 \text{ kNm} \\
\phi M_n & = 0.65 \times 5876.905 \\
& = 3719.99 \text{ kNm} \\
e_b & = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5876.91}{17753.565} = 0.3310 \text{ m} = 331.03 \text{ mm}
\end{aligned}$$

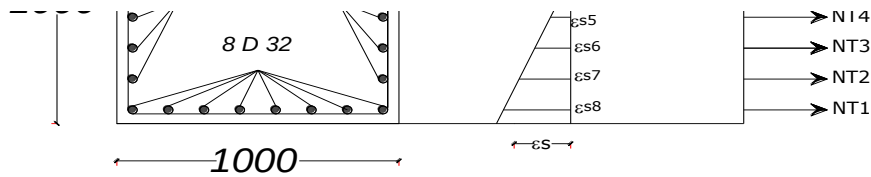
• **Kondisi Patah Tarik ($c < c_b$)**

Dipakai nilai $c = 400 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
ab & = c \cdot \beta \\
& = 400 \times 0.85 \\
& = 340.0 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ND1 & = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\
& = 0.85 \times 35 \times 340.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\
& = \mathbf{10115 \text{ kN}}
\end{aligned}$$





Gambar 4.29 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah tarik 28 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{400 - 68}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00249 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400.00 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{ND2} &= A_{s1} \times f_s \times (8 \text{ D } 32) \\ &= 6436.571 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{2574.63 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{400 - 191.43}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00156 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00156 \times 200000 = 312.9 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{ND3} &= A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\ &= 1609.14 \times 312.86 \times 10^{-3} = \mathbf{503.432 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{400 - 314.86}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00064 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00064 \times 200000 = 127.7 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{ND4} &= A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\ &= 1609.14 \times 127.71 \times 10^{-3} = \mathbf{205.511 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{438 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00029 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00029 \times 200000 = 57.43 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{NT1} &= A_{s6} \times f_s \quad (8 \text{ D } 32) \\ &= 6436.57 \times 57.429 \times 10^{-3} = \mathbf{369.64 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{562 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00121 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00121 \times 200000 = 243 \text{ MPa}$$

$$NT2 = As6 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 242.571 \times 10^{-3} = \mathbf{390.332 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S7} = \frac{685 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00214 > \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 0.00214 \times 200000 = 428 \text{ MPa}$$

$$NT3 = As6 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 427.714 \times 10^{-3} = \mathbf{688.253 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S8} = \frac{809 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00306 > \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 400 \text{ MPa}$$

$$NT4 = As6 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S9} = \frac{932 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00399 > \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 400 \text{ MPa}$$

$$NT5 = As6 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 - NT1 - NT2 - NT3 - NT4 - NT5$$

$$= 10115 + 2574.63 + 503.432 + 205.511 - 369.643 - 390.33 - 688.253 - 643.657 - 643.657$$

$$= 10663.028 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 10663.028$$

$$= 6930.97 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} +$$

$$\{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(NT4).(h/2 - y3)\} + \{(NT5).(h/2 - y4)\}$$

$$= 10115.0 \left[1000 / 2 - 340 / 2 \right] + \left[2574.63 + 369.643 \right] \times \left[1000 / 2 - 68 \right] + \left[503.43 + 390.33 \right] \times \left[1000 / 2 - 191.4 \right] + \left[205.511 + 688.253 \right] \times \left[1000 / 2 - 314.9 \right] + \left[643.657 \right] \times$$

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{1000}{2} - 438.3 \right] + \left[\left(\frac{644}{2} \right) \times \left(\frac{1000}{2} - 561.7 \right) \right] 10^{-3} \\
 & = \left[3337950 + 1271925.363 + 275790.009 + 446567.102 + \right. \\
 & \quad \left. 39722.841 + (-39722.841) \right] 10^{-3} \\
 & = 5332.232 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.65 \times 5332.232 \\
 &= 3465.951 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5332.232}{10663.028} = 0.500 \text{ m} = 500 \text{ mm}$$

• Kondisi Lentur Murni

Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 14 \text{ D } 32 = 11253.760 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 14 \text{ D } 32 = 11253.760 \text{ mm}^2$$

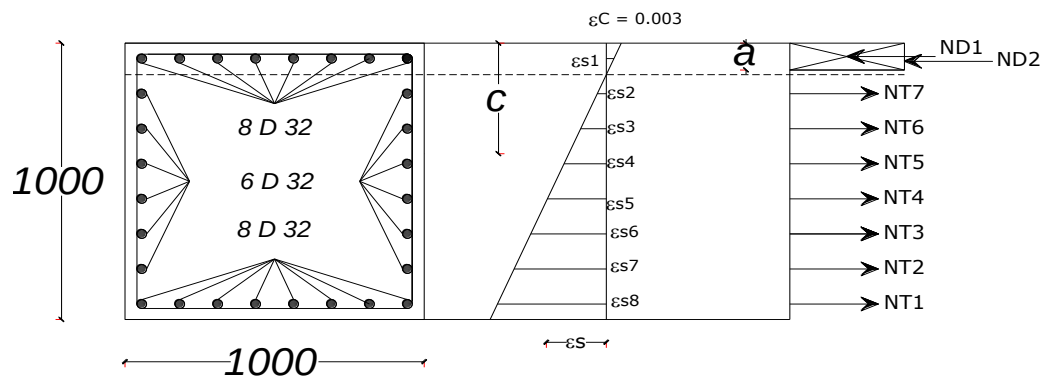
$$A_{s1} = 8 \text{ D } 32 = 6430.720 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 6 \text{ D } 32 = 4823.040 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 40 + 12 + \frac{1}{2} 32 = 68 \text{ mm}$$

$$y_2 = 68 + 123.4 = 191 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{6430.72 \times 68 + 4823.0 \times 191}{11253.760} = 120.90 \text{ mm}$$



Gambar 4.30 Diagram tegangan tegangan kolom kondisi 1 lentur murni 28 D 32

Dimisalkan garis netral (c) > y_1 maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot fs' = As \cdot fy$$

$$\text{Substitusi nilai : } fs' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) + As' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) \cdot c + As' \cdot (c - d') \times 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600As' \cdot c - 600As' \cdot d' = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600As' \cdot c - 600As' \cdot d' - As \cdot fy \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + (600As' - As \cdot fy) \cdot c - 600As' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 11253,760 - 11253,760 \times 400 \right] c - 600 \times 11253,760 \times 120,9 = 0$$

$$25288 c^2 + 2250752,00 c - 816347750,4 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-2250752 \pm \sqrt{2250752^2 - 4 \times 25288 \times 816347750,4}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{-2250752 + 9361594,9}{50575} = 90,6 \text{ mm}$$

$$c = 90,6 \text{ mm}$$

Karena nilai $c < y_2$ maka dihitung nilai c sebenarnya berdasarkan persamaan yang kedua.

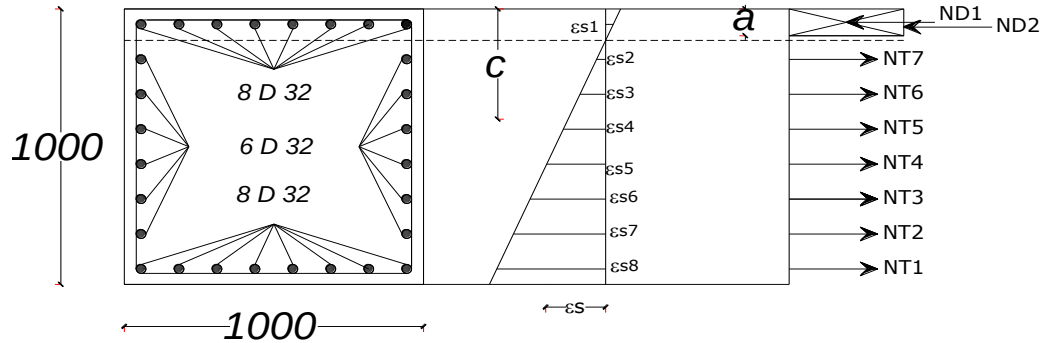
Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 20 \text{ D } 32 = 16091.429 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 8 \text{ D } 32 = 6436.571 \text{ mm}^2$$

$$d' = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 68 = 932.0 \text{ mm} \quad \epsilon_c = 0.003$$



Gambar 4.31 Diagram tegangan tegangan kolom kondisi 2 lentur murni 28 D 32

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 6436.571 - 16091.429 \times 400 \right] c - 600 \times 6436.571 \times 68.0 = 0$$

$$25288 \cdot c^2 + -2574628.57 \cdot c - 262612114.3 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 a}$$

$$c = \frac{-2574629 \pm \sqrt{2574629^2 - 4 \times 25288 \times 262612114.3}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{2574628.6 + 5761243.6}{50575} = 114.822 \text{ mm}$$

$$c = 114.822 \text{ mm}$$

Dihitung nilai a :

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0.85 \times 114.822 = 97.599 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 97.599 \times 1000$$

$$= 2903.561 \text{ kN}$$

$$ND2 = f_s' \cdot A_s'$$

$$= \frac{(c - d')}{c} \times 600 \cdot A_s'$$

$$= \frac{114.822 - 68.0}{114.822} \times 600 \times 6436.571 \times 10^{-3}$$

$$= 1574.819 \text{ kN}$$

$$NT1 = A_s \times f_y$$

$$= 6436.571 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 2574.63 \text{ kN}$$

$$NT2 = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$NT3 = A_s \times f_y$$

$$NT6 = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$NT7 = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
&= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.66 \text{ kN} \\
\text{NT4} &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN} \\
\text{NT5} &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN} \\
\text{ND1+ND2} &= \text{NT1+NT2+NT3+NT4+NT5+NT6+NT7} \\
2903.561 + 1574.82 &= 2574.63 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 \\
&+ 643.657 + 643.657 \\
6436.571 &= 6436.571 \\
\text{ZND1} &= c - a/2 & \text{ZNT4} &= y_6 - c \\
&= 114.822 - 97.599 / 2 & &= 561.71 - 114.822 \\
&= 66.02 \text{ mm} & &= 446.892 \text{ mm} \\
\text{ZND2} &= c - y_1 & \text{ZNT5} &= y_7 - c \\
&= 114.822 - 68 & &= 685.14 - 114.822 \\
&= 46.822 \text{ mm} & &= 570.321 \text{ mm} \\
\text{ZNT1} &= y_3 - c & \text{ZNT6} &= y_8 - c \\
&= 191.429 - 114.822 & &= 808.57 - 114.822 \\
&= 76.607 \text{ mm} & &= 693.749 \text{ mm} \\
\text{ZNT2} &= y_4 - c & \text{ZNT7} &= y_9 - c \\
&= 314.9 - 114.822 & &= 932.00 - 114.822 \\
&= 200.035 \text{ mm} & &= 817.178 \text{ mm} \\
\text{ZNT3} &= y_5 - c \\
&= 438.3 - 114.822 \\
&= 323.464 \text{ mm} \\
M_n &= ((\text{ND1.ZND1})+(\text{ND2.ZND2})+(\text{NT1.ZNT2})+(\text{NT2.ZNT2})+(\text{NT3.ZNT3}) + \\
&\quad (\text{NT4.ZNT4}) + (\text{NT5.ZNT5}) + (\text{NT6.ZNT6}) + (\text{NT7.ZNT7}))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[2903.561 \times 66.0226 \right] + \left[1574.82 \times 46.822 \right] + \left[2574.63 \times 76.61 \right] + \\
&\quad \left[643.657 \times 200.035 \right] + \left[643.657 \times 323.464 \right] + \left[643.657 \times 446.892 \right] + \\
&\quad \left[643.657 \times 570.321 \right] + \left[643.657 \times 693.749 \right] + \left[643.657 \times 817.178 \right] 10^{-3} \\
&= 2426.880 \quad \text{kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi \text{ Mn} &= 0.65 \times 2426.880 \\
&= 1577.472 \quad \text{kNm}
\end{aligned}$$

Tabel 4.3 Diagram Interaksi kolom 28 D 32

Kondisi	28 D 32	
	$\phi \text{ Pn (kN)}$	$\phi \text{ Mn (kNm)}$
Sentris	19803.37	0
Patah Desak	11539.82	3719.989
Balance	10342.44	3972.869
Patah Tarik	6730.968	3715.951
Lentur	0	1577.472

4.2.4 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom 32 D 32

Diketahui :

$$b = 1000 \text{ mm} \quad h'_{\text{kolom}} = h_{\text{kolom}} - h_{\text{balok}}$$

$$h = 1000 \text{ mm} \quad = 4500 - 750 = 3750 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang } \emptyset 12 \quad f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama dipakai D 32} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Tebal selimut beton 40 mm

Dicoba tulangan D 32 mm

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan pokok}$$

$$= 1000 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 32$$

$$= 932.0 \text{ mm}$$

$$d' = 1000 - 932.0 = 68.0 \text{ mm}$$

- Luas Penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai tulangan 32 D 32 } A_{s_t} = 25722.9 \text{ mm}^2$$

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.9.1, Luas tulangan Longitudinal, A_{s_t} , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$

Periksa Rasio Tulangan Memanjang :

$$\rho_g = \frac{A_{s_t}}{A_g} = \frac{25723}{1000000} = 0.026$$

$$0,01 A_g < \rho_g = 0.026 < 0,08 A_g$$

- Beban Sentris

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{s_t}) + f_y \cdot A_{s_t}$$

$$= (0,85 \cdot 35 (1000000 - 25722.88) + 400 \cdot 25722.88) \cdot 10^{-3} = 39273.896 \text{ kN}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 31419.117$$

$$= 0.80 \cdot 39273.896 = 20422.426 \text{ kN}$$

$$= 31419.117 \text{ kN}$$

• **Kondisi Seimbang**

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 400} = 559.2 \text{ mm}$$

$$a_b = c \cdot \beta$$

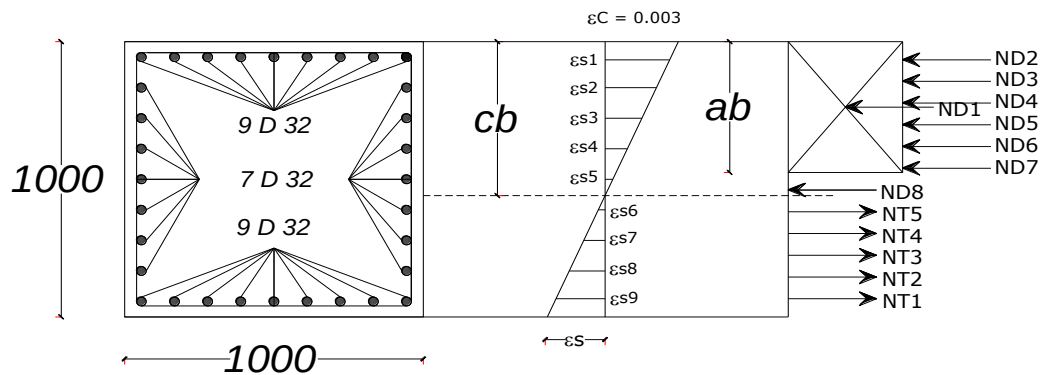
$$= 559.2 \times 0.85$$

$$= 475.32 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c \cdot a_b \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 475.320 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 14140.8 \text{ kN}$$



Gambar 4.32 Diagram tegangan regangan kolom kondisi seimbang 32 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{559.2 - 68.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00264 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \quad (9 \text{ D } 32)$$

$$= 7241.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{2896.46 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{559.2 - 176.00}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00206 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{ND3} = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{559.2 - 284.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00148 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00148 \times 200000 = 295.279 \text{ MPa}$$

$$\text{ND4} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 295.279 \times 10^{-3} = \mathbf{475.15 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{559.20 - 392.0}{392.000} \times 0.003$$

$$= 0.00128 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{ND5} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s5} = \frac{559.20 - 500.0}{500.000} \times 0.003$$

$$= 0.0004 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0004 \times 200000 = 71.04 \text{ MPa}$$

$$\text{ND6} = A_s4 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 71.040 \times 10^{-3} = \mathbf{114.31 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s5} = \frac{608.0 - 559.20}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0003 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0003 \times 200000 = 52.36 \text{ MPa}$$

$$\text{NT1} = A_s5 \times f_s \quad (9 \text{ D } 32)$$

$$= 7241.14 \times 52.36 \times 10^{-3} = \mathbf{379.15 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{716.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00084 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00084 \times 200000 = 168.240 \text{ MPa}$$

$$\text{NT2} = A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 7241.143 \times 168.240 \times 10^{-3} = \mathbf{1218.252 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{824.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$\epsilon_{s7} = \frac{559.200}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00142 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00142 \times 200000 = 284.120 \text{ MPa}$$

$$\text{NT3} = A_{s6} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.143 \times 284.120 \times 10^{-3} = \mathbf{457.190 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s8} = \frac{932.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00200 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT4} = A_{s7} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_{nb} = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 - NT1 - NT2 - NT3 - NT4$$

$$= 14140.8 + 2896.46 + 643.657 + 475.146 + 643.657 + 114.314 - 379.150 - 1218.252 - 457.190 - 643.657$$

$$= 16215.752 \text{ kN}$$

$$\phi P_{nb} = 0.65 \times 16215.752$$

$$= 10540.24 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\} + \{(ND6).(h/2 - y4)\}$$

$$= 14140.8 \left[\frac{1000}{2} - \frac{475.3}{2} \right] + \left[2896.46 + 379.150 \times \left[\frac{1000}{2} - 68.0 \right] \right] + \left[643.66 + 1218.25 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 176 \right] + \left[475.15 + 457.2 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 284 \right] + \left[643.66 + 643.657 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 392.0 \right] + \left[114.31 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 500.0 \right] 10^{-3}$$

$$= \left[3709689.602 + 1415062.272 + 603258.7 + 465884.0 + 139029.943 + 0 \right] 10^{-3}$$

$$= 6332.924 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_{nb} &= 0.65 \times 6332.9 \\ &= 4116.4 \text{ kNm}\end{aligned}$$

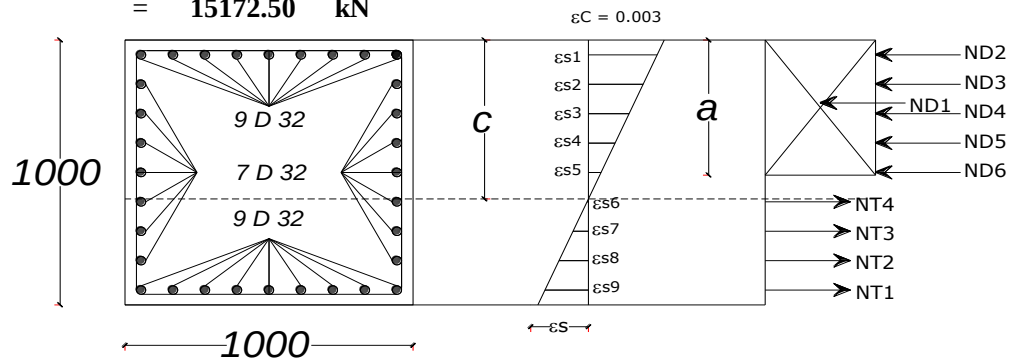
$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{6332.9245}{16215.752} = 0.3905 \text{ m} = 390.542 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Desak** ($c > c_b$)

Dipakai nilai $c = 600 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}a_b &= c \cdot \beta \\ &= 600.0 \times 0.85 \\ &= 510.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}ND1 &= 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\ &= 0.85 \times 35 \times 510.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\ &= 15172.50 \text{ kN}\end{aligned}$$



Gambar 4.33 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah desak 28 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{600 - 68}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00266 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (9 D 32)}$$

$$= 7241.143 \times 400 \times 10^{-3} = 2896.46 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{S_2} &= \frac{600 - 176.00}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00212 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa} \\
ND3 &= A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{S_3} &= \frac{600 - 284.0}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00158 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00158 \times 200000 = 316.00 \text{ MPa} \\
ND4 &= A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 316.00 \times 10^{-3} = \mathbf{508.489 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{S_4} &= \frac{600.0 - 392}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00104 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00104 \times 200000 = 208 \text{ MPa} \\
ND5 &= A_{s4} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 208.00 \times 10^{-3} = \mathbf{334.702 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{S_5} &= \frac{600.0 - 500}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00050 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00050 \times 200000 = 100 \text{ MPa} \\
ND6 &= A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 100 \times 10^{-3} = \mathbf{160.914 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{S_5} &= \frac{608.0 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00004 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00004 \times 200000 = 8.00 \text{ MPa} \\
NT1 &= A_{s6} \times f_s \quad (9 \text{ D } 32) \\
&= 7241.14 \times 8.00 \times 10^{-3} = \mathbf{57.929 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{S_6} &= \frac{716 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00058 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00058 \times 200000 = 116.00 \text{ MPa} \\
NT2 &= A_{s7} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)
\end{aligned}$$

$$= 1609.14 \times 116.00 \times 10^{-3} = \mathbf{186.661 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S7} = \frac{824 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00112 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00112 \times 200000 = 224.00 \text{ MPa}$$

$$\text{NT3} = A_{S7} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 224.00 \times 10^{-3} = \mathbf{360.448 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S8} = \frac{932 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00166 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00166 \times 200000 = 332.00 \text{ MPa}$$

$$\text{NT4} = A_{S8} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 332.00 \times 10^{-3} = \mathbf{534.235 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 - NT1 - NT2 - NT3 - NT4$$

$$= 15172.500 + 2896.46 + 643.657 + 508.489 + 334.702 + 160.914 \\ 57.929 - 186.661 - 360.448 - 534.235$$

$$= 18577.446 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 18577.446$$

$$= 12075.3 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\ + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\}$$

$$= 15172.5 \left[\frac{1000}{2} - \frac{510}{2} \right] + \left[(2896.46 + 57.929) \times \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] \right] + \left[(643.66 + 186.66) \times \left[\frac{1000}{2} - 176 \right] \right] + \\ \left[(508.49 + 360.45) \times \left[\frac{1000}{2} - 284 \right] \right] + \left[(334.70 + 534.2) \times \left[\frac{1000}{2} - 392.0 \right] \right] + \left[(160.914) \times \left[\frac{1000}{2} - 500 \right] \right] 10^{-3}$$

$$= \left[3717262.500 + 1276294.875 + 269022.939 + 434184.571 + 93845.211 + 0 \right] 10^{-3}$$

$$= 5790.610 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \times 5790.610$$

$$= 3763.90 \text{ kNm}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5790.61}{18577.446} = 0.3117 \text{ m} = 311.70 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Tarik ($c < c_b$)**

Dipakai nilai $c = 400 \text{ mm}$

$$a_b = c \cdot \beta$$

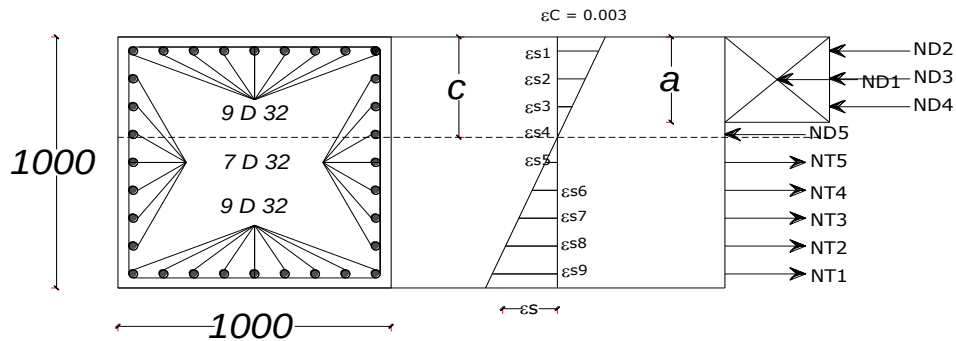
$$= 400 \times 0.85$$

$$= 340.0 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 340.0 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 10115 \text{ kN}$$



Gambar 4.34 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah tarik 32 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{400 - 68}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00249 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400.00 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \times (9 \text{ D } 32)$$

$$= 7241.143 \times 400 \times 10^{-3} = 2896.46 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{400 - 176.00}{400} \times 0.003$$

$$\begin{aligned}
\epsilon_{s2} &= \frac{400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00168 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00168 \times 200000 = 336 \text{ MPa} \\
\text{ND3} &= A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 336.00 \times 10^{-3} = \mathbf{540.672 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s3} &= \frac{400 - 284.00}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00087 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00087 \times 200000 = 174 \text{ MPa} \\
\text{ND4} &= A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 174.00 \times 10^{-3} = \mathbf{279.991 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s4} &= \frac{400 - 392.00}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00006 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00006 \times 200000 = 12 \text{ MPa} \\
\text{ND5} &= A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 12.00 \times 10^{-3} = \mathbf{19.310 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s5} &= \frac{500 - 400.00}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00075 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00075 \times 200000 = 150 \text{ MPa} \\
\text{NT1} &= A_s \times f_s \quad (9 \text{ D } 32) \\
&= 7241.14 \times 150 \times 10^{-3} = \mathbf{1086.17 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s6} &= \frac{608 - 400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00156 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00156 \times 200000 = 312 \text{ MPa} \\
\text{NT2} &= A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 312 \times 10^{-3} = \mathbf{502.053 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s7} &= \frac{716 - 400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00237 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa} \\
\text{NT3} &= A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)
\end{aligned}$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s8} = \frac{824 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00318 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$NT4 = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s9} = \frac{932 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00399 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$NT5 = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 - NT1 - NT2 - NT3 - NT4 - NT5$$

$$= 10115 + 2896.46 + 540.672 + 279.991 + 19.310 - 1086.17 - 502.053 - 643.657 - 643.657 - 643.66$$

$$= 10332.234 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 10332.234$$

$$= 6715.95 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\}$$

$$\{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(DN5 + NT4).(h/2 - y3)\} +$$

$$\{(NT5).(h/2 - y4)\}$$

$$= 10115.0 \left[1000 / 2 - 340 / 2 \right] + \left[2896.46 + 1086.171 \right] \times \left[1000 / 2 - 68 \right] + \left[540.67 + 502.05 \right] \times \left[1000 / 2 - 176 \right] + \left[279.99 + 643.66 \right] \times \left[1000 / 2 - 284 \right] + \left[19.310 + 643.657 \right] \times \left[1000 / 2 - 392 \right] + \left[643.66 \right] \times \left[1000 / 2 - 500 \right] 10^{-3}$$

$$= \left[3337950 + 1720496 + 337842.8 + 461540.0 + 71600.42057 + 0 \right] 10^{-3}$$

$$= 5929.429 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.65 \times 5929.429 \\ &= 3854.129 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5929.429}{10332.234} = 0.574 \text{ m} = 574 \text{ mm}$$

• Kondisi Lentur Murni

Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 17 \text{ D } 32 = 13665.280 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 15 \text{ D } 32 = 12057.600 \text{ mm}^2$$

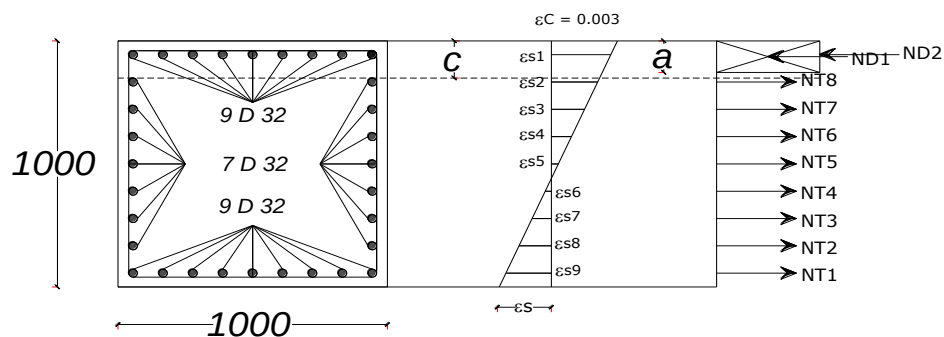
$$A_{s1} = 9 \text{ D } 32 = 7234.560 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 6 \text{ D } 32 = 4823.040 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 40 + 10 + 1/2 \cdot 32 = 66 \text{ mm}$$

$$y_2 = 66 + 108 = 174 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{7234.56 \times 66 + 4823.0 \times 174}{12057.600} = 109.20 \text{ mm}$$



Gambar 4.35 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 32 D 32

Dimisalkan garis netral (c) > y_1 maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai} \cdot f'_c = \frac{(c - d')}{\dots} \cdot 600$$

Substitusi nilai : $\beta_1 = 0,85$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

Substitusi nilai : $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 12057,600 - 13665,280 \times 400 \right] c - 600 \times 12057,600 \times 109,2 = 0$$

$$25288 \cdot c^2 + 1768448,00 \cdot c - 790013952,0 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-1768448 \pm \sqrt{1768448^2 - 4 \times 25288 \times 790013952,0}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{-1768448 \pm 9112481,5}{50575} = 145,2 \text{ mm}$$

$$c = 145,2 \text{ mm}$$

Karena nilai $c < y_2$ maka dihitung nilai c sebenarnya berdasarkan persamaan yang kedua.

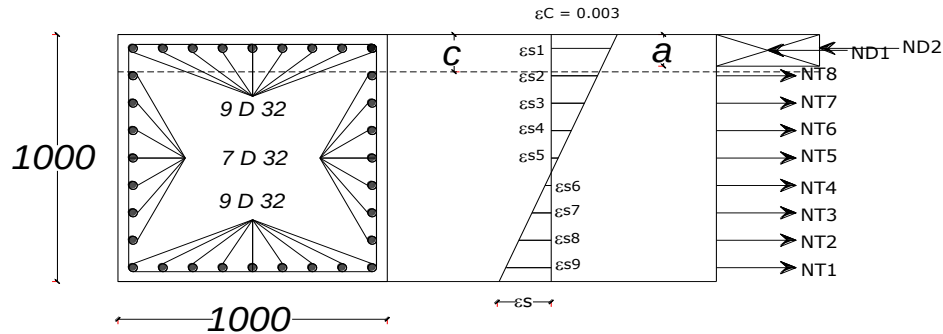
Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 21 \cdot D \cdot 32 = 16896,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 11 \cdot D \cdot 32 = 8850,286 \text{ mm}^2$$

$$d' = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 68 = 932.0 \text{ mm}$$



Gambar 4.36 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 32 D 32

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 8850,286 - 16896,000 \right. \\ \left. \times 400 \right] c - 600 \times 8850,286 \times 68,0 = 0$$

$$25288 \cdot c^2 + -1448228,57 \cdot c - 361091657,1 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{1448229 + \sqrt{-1448229^2 - 4 \times 25288 \times 361091657.1}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{1448228.6 + 6214643}{50575} = 151.515 \text{ mm}$$

$$c = 151.515 \text{ mm}$$

Dihitung nilai a :

$$\begin{aligned} a &= \beta \cdot c \\ &= 0.85 \times 151.515 = 128.788 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ND1} &= 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0.85 \times 35 \times 128.788 \times 1000 \\ &= 3831.436 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ND2} &= f_s' \cdot A_s' \\ &= \frac{(c - d')}{c} \times 600 \cdot A_s' \\ &= \frac{151.515 - 68.0}{151.515} \times 600 \times 8850.286 \times 10^{-3} \\ &= 2926.964 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT1} &= A_s \times f_y \\ &= 7241.143 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 2896.46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT6} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.657 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT2} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.657 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT7} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.657 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT3} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.66 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT8} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.657 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT4} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 643.657 \text{ kN} \\
\text{NT5} &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ND1} + \text{ND2} &= \text{NT1} + \text{NT2} + \text{NT3} + \text{NT4} + \text{NT5} + \text{NT6} + \text{NT7} + \text{NT8} \\
3831.436 + 2926.96 &= 2896.46 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + \\
&\quad 643.657 + 643.657 + 643.657 \\
6758.40 &= 6758.40
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ZND1} &= c - a/2 & \text{ZNT4} &= y5 - c \\
&= 151.515 - 128.788 / 2 & &= 498.00 - 151.515 \\
&= 87.12 \text{ mm} & &= 346.485 \text{ mm} \\
\text{ZND2} &= c - y1 & \text{ZNT5} &= y6 - c \\
&= 151.515 - 66 & &= 606.00 - 151.515 \\
&= 85.515 \text{ mm} & &= 454.485 \text{ mm} \\
\text{ZNT1} &= y2 - c & \text{ZNT6} &= y7 - c \\
&= 174.000 - 151.515 & &= 714.00 - 151.515 \\
&= 22.485 \text{ mm} & &= 562.485 \text{ mm} \\
\text{ZNT2} &= y3 - c & \text{ZNT7} &= y8 - c \\
&= 282.0 - 151.515 & &= 822.00 - 151.515 \\
&= 130.485 \text{ mm} & &= 670.485 \text{ mm} \\
\text{ZNT3} &= y4 - c & \text{ZNT8} &= y8 - c \\
&= 390.0 - 151.515 & &= 930.00 - 151.515 \\
&= 238.485 \text{ mm} & &= 778.485 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= ((\text{ND1} \cdot \text{ZND1}) + (\text{ND2} \cdot \text{ZND2}) + (\text{NT1} \cdot \text{ZNT2}) + (\text{NT2} \cdot \text{ZNT2}) + (\text{NT3} \cdot \text{ZNT3}) \\
&\quad + (\text{NT4} \cdot \text{ZNT4}) + (\text{NT5} \cdot \text{ZNT5}) + (\text{NT6} \cdot \text{ZNT6}) + (\text{NT7} \cdot \text{ZNT7})) \\
&= \left[3831.436 \times 87.1211 \right] + \left[2926.96 \times 85.515 \right] + \left[2896.46 \times 22.485 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 130.485 \right] + \left[643.657 \times 238.485 \right] + \left[643.657 \times 346.485 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 454.485 \right] + \left[643.657 \times 562.485 \right] + \left[643.657 \times 670.485 \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2195.875 \quad \text{kNm} \\
 \phi \text{ Mn} &= 0.65 \times 2195.875 \\
 &= 1427.319 \quad \text{kNm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Diagram Interaksi kolom 32 D 32

Kondisi	32 D 32	
	$\phi \text{ Pn (kN)}$	$\phi \text{ Mn (kNm)}$
Sentris	20422.43	0
Patah Desak	12075.34	3863.897
Balance	10540.24	4116.401
Patah Tarik	6815.952	3854.129
Lentur	0	1427.319

4.2.5 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom 36 D 32

Diketahui :

$$\begin{aligned}b &= 1000 \text{ mm} & h'_{\text{kolom}} &= h_{\text{kolom}} - h_{\text{balok}} \\h &= 1000 \text{ mm} & &= 4500 - 750 = 3750 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Tulangan sengkang } \emptyset 12 \quad f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama dipakai D 32} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Tebal selimut beton 40 mm

Dicoba tulangan D 32 mm

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan pokok}$$

$$= 1000 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 32$$

$$= 932.0 \text{ mm}$$

$$d' = 1000 - 932.0 = 68.0 \text{ mm}$$

- Luas Penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai tulangan 36 D 32 } A_{s_t} = 28938 \text{ mm}^2$$

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.9.1, Luas tulangan Longitudinal, A_{s_t} , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,08 A_g

Periksa Rasio Tulangan Memanjang :

$$\rho_g = \frac{A_{s_t}}{A_g} = \frac{28938}{1000000} = 0.029$$

$$0,01 A_g < \rho_g = 0.029 < 0,08 A_g$$

- Beban Sentris

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{s_t}) + f_y \cdot A_{s_t}$$

$$= (0,85 \cdot 35 (1000000 - 28938.24) + 400 \cdot 28938.24) \cdot 10^{-3} = 40464.383 \text{ kN}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o \quad \phi P_n = 0.65 \times 32371.507$$

$$= 0.80 \cdot 40464.383 = 21041.479 \text{ kN}$$

$$= 32371.507 \text{ kN}$$

• **Kondisi Seimbang**

$$c = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 400} = 559.2 \text{ mm}$$

$$a = c \cdot \beta$$

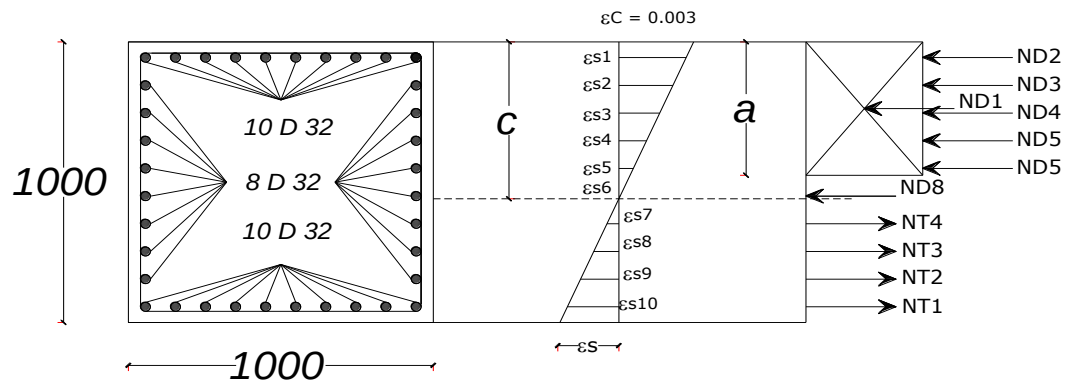
$$= 559.2 \times 0.85$$

$$= 475.32 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c \cdot ab \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 475.320 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 14140.8 \text{ kN}$$



Gambar 4.37 Diagram tegangan regangan kolom kondisi seimbang 36 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{559.2 - 68.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00264 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \quad (10 \text{ D } 32)$$

$$= 8045.71 \times 400 \times 10^{-3} = 3218.29 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{559.2 - 164.00}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00212 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{ND3} = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{559.2 - 260.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00161 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00161 \times 200000 = 321.030 \text{ MPa}$$

$$\text{ND4} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 321.030 \times 10^{-3} = \mathbf{516.58 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{559.20 - 356.0}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00109 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00109 \times 200000 = 218.03 \text{ MPa}$$

$$\text{ND5} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 218.026 \times 10^{-3} = \mathbf{350.83 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s5} = \frac{559.20 - 452.0}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0006 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0006 \times 200000 = 115.02 \text{ MPa}$$

$$\text{ND6} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 115.021 \times 10^{-3} = \mathbf{185.09 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{559.20 - 548.0}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0001 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0001 \times 200000 = 12.02 \text{ MPa}$$

$$\text{ND7} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 12.017 \times 10^{-3} = \mathbf{19.34 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s7} = \frac{644.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0005 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0005 \times 200000 = 90.99 \text{ MPa}$$

$$\text{NT1} = A_s4 \times f_s \quad (10 \text{ D } 32)$$

$$= 8045.71 \times 90.99 \times 10^{-3} = \mathbf{732.06 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s8} = \frac{740.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003$$

$$\begin{aligned}
\epsilon_{s9} &= \frac{559.200}{559.200} \times 0.00097 \\
&= 0.00097 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00097 \times 200000 = 193.991 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT2} &= A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 559.200 \times 10^{-3} = \mathbf{899.833 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s10} &= \frac{836.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003 \\
&= 0.00148 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00148 \times 200000 = 296.996 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT3} &= A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 296.996 \times 10^{-3} = \mathbf{477.909 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s11} &= \frac{932.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003 \\
&= 0.00200 = \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00200 \times 200000 = 400 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT4} &= A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{nb} &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 - NT1 - NT2 - \\
&\quad NT3 - NT4 \\
&= 14140.8 + 3218.29 + 643.657 + 516.583 + 350.83 + 185.09 + \\
&\quad 19.34 - 732.06 - 899.833 - 477.909 - 643.657 \\
&= 16321.099 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi P_{nb} &= 0.65 \times 16321.099 \\
&= 10858.71 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nb} &= ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\
&\quad + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\} \\
&\quad + \{(ND6).(h/2 - y4)\} + \{(ND7).(h/2 - y5)\} \\
&= 14140.8 \left[\frac{1000}{2} - 475.3 \right] + \left[\frac{3218.29}{2} + \frac{732.056}{2} \right] \times \\
&\quad \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + \left[\frac{643.66}{2} + \frac{899.83}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 164.0 \right] + \\
&\quad \left[\frac{516.58}{2} + \frac{477.91}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 260 \right] + \left[\frac{350.83}{2} + \frac{643.657}{2} \right] \times \\
&\quad \left[\frac{1000}{2} - 356 \right] + \left[\frac{1609.14}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 452.0 \right] + \left[\frac{19.34}{2} \right] \times
\end{aligned}$$

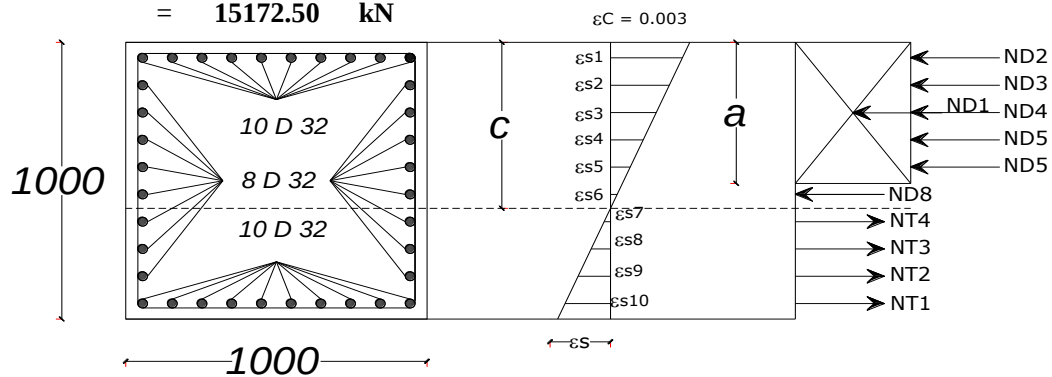
$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{1000}{2} - 548.0 \right] 10^{-3} \\
 & = \left[3709689.602 + 1706548 + 518612.6 + 496985.9 + \right. \\
 & \quad \left. 143206.8081 + 77239 + -928.2 \right] 10^{-3} \\
 & = 6651.353 \text{ kNm} \\
 \phi M_{nb} &= 0.65 \times 6651.4 \\
 &= 4323.4 \text{ kNm} \\
 e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{6651.3533}{16321.099} = 0.4075 \text{ m} = 407.531 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

• **Kondisi Patah Desak** ($c > c_b$)

Dipakai nilai $c = 600 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 a &= c \cdot \beta \\
 &= 600.0 \times 0.85 \\
 &= 510.0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ND1 &= 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\
 &= 0.85 \times 35 \times 510.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\
 &= 15172.50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.38 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah desak 36 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{600 - 68}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00266 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = As1 \times fs \quad (10 \text{ D } 32)$$

$$= 8045.714 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{3218.29 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{600 - 164.00}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00218 < \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = fy = 400 \text{ MPa}$$

$$ND3 = As2 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{600 - 260.0}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00170 < \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 0.00170 \times 200000 = 340.00 \text{ MPa}$$

$$ND4 = As3 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 340.00 \times 10^{-3} = \mathbf{547.109 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s4} = \frac{600.0 - 356}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00122 < \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 0.00122 \times 200000 = 244 \text{ MPa}$$

$$ND5 = As4 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 244.00 \times 10^{-3} = \mathbf{392.631 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s5} = \frac{600.0 - 452}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00074 < \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 0.00074 \times 200000 = 148 \text{ MPa}$$

$$ND6 = As5 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 148.00 \times 10^{-3} = \mathbf{238.153 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s6} = \frac{600.0 - 548}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00026 < \varepsilon_y ; \text{ maka } fs = 0.00026 \times 200000 = 52 \text{ MPa}$$

$$ND7 = As4 \times fs \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 52.00 \times 10^{-3} = \mathbf{83.675 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s7} = \frac{644.0 - 600}{600} \times 0.003$$

$$\begin{aligned}
\epsilon_{s7} &= \frac{607 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00022 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00022 \times 200000 = 44 \text{ MPa} \\
NT1 &= A_s5 \times f_s \quad \# \\
&= 8045.71 \times 44.00 \times 10^{-3} = \mathbf{354.011 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s9} &= \frac{740 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00070 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00070 \times 200000 = 140.00 \text{ MPa} \\
NT2 &= A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 140.00 \times 10^{-3} = \mathbf{225.280 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s10} &= \frac{836 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00118 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00118 \times 200000 = 236.00 \text{ MPa} \\
NT3 &= A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 236.00 \times 10^{-3} = \mathbf{379.758 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s11} &= \frac{932 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00166 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00166 \times 200000 = 332.00 \text{ MPa} \\
NT4 &= A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 332.00 \times 10^{-3} = \mathbf{534.235 \text{ kN}} \\
\\
P_n &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 + ND7 + ND8 \\
&\quad NT1 - NT2 + NT3 + NT4 + NT5 \\
&= 15172.5 + 3218.29 + 643.657 + 547.109 + 392.631 + 238.153 + \\
&\quad 83.675 - 354.011 - 225.280 - 379.758 - 534.235 \\
&= 18802.726 \text{ kN} \\
\phi P_n &= 0.65 \times 18802.726 \\
&= 12221.8 \text{ kN} \\
M_{nb} &= ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y_1)\} \\
&\quad + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y_2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y_3)\}
\end{aligned}$$

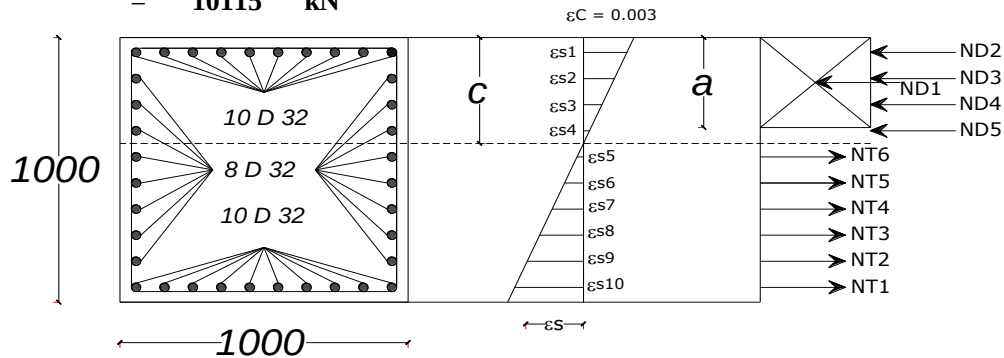
$$\begin{aligned}
& + \{ (ND6) \cdot (h/2 - y_4) \} + \{ (ND7) \cdot (h/2 - y_5) \} \\
& = 15172.5 \left[\frac{1000}{2} - \frac{510}{2} \right] + \left[(3218.29 + 354.011) \times \right. \\
& \quad \left. \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + (643.657 + 225.280) \times \left[\frac{1000}{2} - 164 \right] \right] + \\
& \quad \left[(547.11 + 379.8) \times \left[\frac{1000}{2} - 260 \right] + (392.63 + 534.24) \times \right. \\
& \quad \left. \left[\frac{1000}{2} - 356 \right] + (238.15) \times \left[\frac{1000}{2} - 452 \right] + (83.675) \times \right. \\
& \quad \left. \left[\frac{1000}{2} - 548.0 \right] \right] 10^{-3} \\
& = \left[3717262.5 + 1543232 + 291962.9 + 463173.1 + \right. \\
& \quad \left. 133468.7451 + 11431 + (-4016.4) \right] 10^{-3} \\
& = 6156.515 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 0.65 \times 6156.515 \\
&= 4001.73 \text{ kNm} \\
e_b &= \frac{M_n}{P_n} = \frac{6156.51}{18802.726} = 0.3274 \text{ m} = 327.43 \text{ mm}
\end{aligned}$$

• **Kondisi Patah Tarik ($c < c_b$)**

Dipakai nilai $c = 400 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
a_b &= c \cdot \beta \\
&= 400 \times 0.85 \\
&= 340.0 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ND1 &= 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\
&= 0.85 \times 35 \times 340.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\
&= 10115 \text{ kN}
\end{aligned}$$



Gambar 4.39 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi patah tarik 36 D 32

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200 \\ \epsilon_{s1} &= \frac{400 - 68}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00249 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400.00 \text{ MPa} \\ \text{ND2} &= A_{s1} \times f_s \times (10 \text{ D } 32) \\ &= 8045.714 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{3218.29 \text{ kN}} \\ \epsilon_{s2} &= \frac{400 - 164.00}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00177 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00177 \times 200000 = 354 \text{ MPa} \\ \text{ND3} &= A_{s2} \times f_s \times (2 \text{ D } 32) \\ &= 1609.14 \times 354.00 \times 10^{-3} = \mathbf{569.637 \text{ kN}} \\ \epsilon_{s3} &= \frac{400 - 260.00}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00105 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00105 \times 200000 = 210 \text{ MPa} \\ \text{ND4} &= A_{s2} \times f_s \times (2 \text{ D } 32) \\ &= 1609.14 \times 210.00 \times 10^{-3} = \mathbf{337.920 \text{ kN}} \\ \epsilon_{s4} &= \frac{400 - 356.00}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00033 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00033 \times 200000 = 66 \text{ MPa} \\ \text{ND5} &= A_{s2} \times f_s \times (2 \text{ D } 32) \\ &= 1609.14 \times 66.00 \times 10^{-3} = \mathbf{106.203 \text{ kN}} \\ \epsilon_{s4} &= \frac{452 - 400}{400} \times 0.003 \\ &= 0.00039 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00039 \times 200000 = 78 \text{ MPa} \\ \text{NT1} &= A_{s2} \times f_s \times (10 \text{ D } 32) \\ &= 8045.71 \times 78.000 \times 10^{-3} = \mathbf{627.57 \text{ kN}} \\ \epsilon_{s6} &= \frac{548 - 400}{400} \times 0.003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.00111 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00111 \times 200000 = 222 \text{ MPa} \\
\text{NT2} &= A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 222.000 \times 10^{-3} = \mathbf{357.230 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s7} &= \frac{644 - 400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00183 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00183 \times 200000 = 366 \text{ MPa} \\
\text{NT3} &= A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 366.000 \times 10^{-3} = \mathbf{588.946 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s8} &= \frac{740 - 400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00255 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa} \\
\text{NT4} &= A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s9} &= \frac{836 - 400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00327 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa} \\
\text{NT5} &= A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s10} &= \frac{932 - 400}{400} \times 0.003 \\
&= 0.00399 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa} \\
\text{NT6} &= A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}} \\
P_n &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 - NT1 - NT2 - NT3 - NT4 - NT5 - \\
&\quad \text{NT6} \\
&= 10115 + 3218.29 + 569.637 + 337.920 + 106.203 - 627.566 - \\
&\quad 357.23 - 588.946 - 643.657 - 643.66 - 643.66 \\
&= \mathbf{10842.333 \text{ kN}}
\end{aligned}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 10842.333$$

$$= 7047.52 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\}$$

$$+ \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\}$$

$$+ \{(NT5).(h/2 - y4)\} + \{(NT6).(h/2 - y5)\}$$

$$= 10115.0 \left[\frac{1000}{2} - \frac{340}{2} \right] + \left[\frac{3218.29}{2} + \frac{627.566}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + \left[\frac{569.64}{2} + \frac{357.23}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 164.0 \right] + \left[\frac{337.92}{2} + \frac{588.95}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 260 \right] + \left[\frac{106.20}{2} + \frac{643.66}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 356 \right] + \left[\frac{643.66}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 400 \right] + \left[\frac{643.66}{2} \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 452 \right] \times 10^{-3}$$

$$= \left[\frac{3337950}{2} + \frac{1661408}{2} + \frac{311427.1}{2} + \frac{463173.1}{2} + \frac{107979.9223}{2} + \frac{64366}{2} + \frac{30895.5}{2} \right] 10^{-3}$$

$$= 5977.199 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \times 5977.199$$

$$= 4085.179 \text{ kNm}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{5977.199}{10842.333} = 0.551 \text{ m} = 551 \text{ mm}$$

• Kondisi Lentur Murni

Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 16 \text{ D } 32 = 12861.440 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 20 \text{ D } 32 = 16076.800 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = 10 \text{ D } 32 = 8038.400 \text{ mm}^2$$

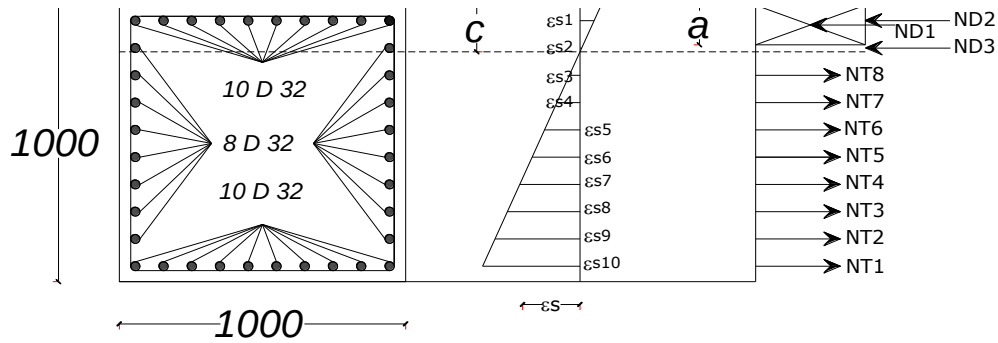
$$A_{s2} = 8 \text{ D } 32 = 6430.720 \text{ mm}^2$$

$$y1 = 40 + 12 + \frac{1}{2} 32 = 68 \text{ mm}$$

$$y2 = 68 + 96 = 164 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{8038.4 \times 68 + 6430.7 \times 164}{14469.120} = 110.67 \text{ mm}$$

$$\epsilon_c = 0.003$$



Gambar 4.40 Diagram tegangan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 36 D 32

Dimisalkan garis netral (c) $> y_1$ maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta 1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta 1 \cdot b) c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 16076,800 - 12861,440 \times 400 \right] c - 600 \times 16076,800 \times 110,7 = 0$$

$$25288 c^2 + 4501504,00 c - 1067531673,6 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-4501504 \pm \sqrt{4501504^2 - 4 \times 25288 \times 1067531673,6}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{-4501504 \pm 11324503}{2 \times 25288} = 134,9 \text{ mm}$$

$$= 134.9 \text{ mm}$$

$$50575$$

$$c = 134.9 \text{ mm}$$

Karena nilai $c < y_2$ maka dihitung nilai c sebenarnya berdasarkan persamaan yang kedua.

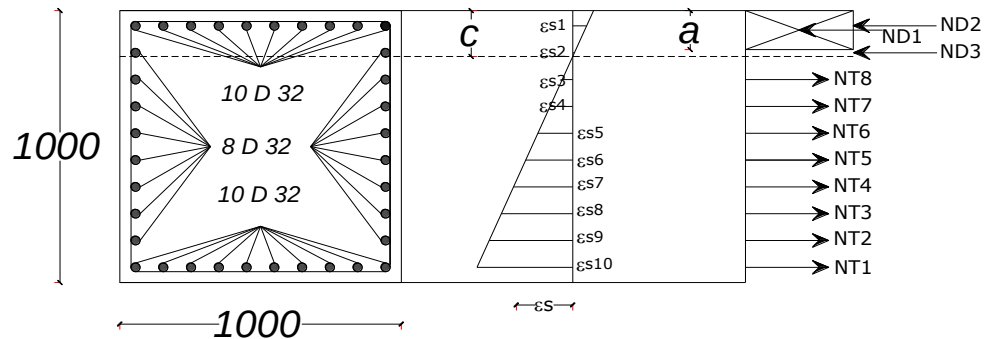
Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 24 \text{ D } 32 = 19309.714 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 12 \text{ D } 32 = 9654.857 \text{ mm}^2$$

$$d' = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 68 = 932.0 \text{ mm} \quad \epsilon_C = 0.003$$



Gambar 4.41 Diagram tegangan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 36 D 32

$$0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 9654.857 - 19309.714 \right]$$

$$x \ 400 \rfloor c - 600 \times 9654.857 \times 68.0 = 0$$

$$25288 \ c^2 + -1930971.43 \ c - 393918171.4 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a . c}}{2 . a} \\ &= \frac{1930971 + \sqrt{-1930971^2 - 4 \times 25288 \times 393918171.4}}{2 \times 25288} \\ &= \frac{1930971.4 + 6601020.7}{50575} = 168.700 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = 168.700 \text{ mm}$$

Dihitung nilai a :

$$\begin{aligned} a &= \beta . c \\ &= 0.85 \times 168.700 = 143.395 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ND1} &= 0,85 . f_c' . a . b \\ &= 0.85 \times 35 \times 143.395 \times 1000 \\ &= 4265.996 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ND2} &= f_s' . A_s' \\ &= \frac{(c - d')}{c} \times 600 . A_s' \\ &= \frac{168.700 - 68.0}{168.700} \times 600 \times 9654.857 \times 10^{-3} \\ &= 3457.890 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT1} &= A_s \times f_y \\ &= 8045.714 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 3218.29 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT2} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT6} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\ &= 643.657 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NT7} &= A_s \times f_y \\ &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 643.657 \text{ kN} & &= 643.657 \text{ kN} \\
\text{NT3} &= A_s \times f_y & \text{NT8} &= A_s \times f_y \\
&= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3} & &= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.66 \text{ kN} & &= 643.657 \text{ kN} \\
\text{NT4} &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN} \\
\text{NT5} &= A_s \times f_y \\
&= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} \\
&= 643.657 \text{ kN} \\
\text{ND1+ND2} &= \text{NT1+NT2+NT3+NT4+NT5+NT6+NT7+NT8} \\
4266 + 3457.89 &= 3218.29 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + \\
&643.657 + 643.657 + 643.657 \\
7723.886 &= 7723.886 \\
\text{ZND1} &= c - a/2 & \text{ZNT4} &= y_6 - c \\
&= 168.700 - 143.395 / 2 & &= 452.00 - 168.700 \\
&= 97 \text{ mm} & &= 283.300 \text{ mm} \\
\text{ZND2} &= c - y_1 & \text{ZNT5} &= y_7 - c \\
&= 168.700 - 68 & &= 548.00 - 168.700 \\
&= 100.700 \text{ mm} & &= 379.300 \text{ mm} \\
\text{ZNT1} &= y_3 - c & \text{ZNT6} &= y_8 - c \\
&= 168.700 - 164.000 & &= 644.00 - 168.700 \\
&= 4.700 \text{ mm} & &= 475.300 \text{ mm} \\
\text{ZNT2} &= y_4 - c & \text{ZNT7} &= y_9 - c \\
&= 260.0 - 168.700 & &= 740.00 - 168.700 \\
&= 91.300 \text{ mm} & &= 571.300 \text{ mm} \\
\text{ZNT3} &= y_5 - c & \text{ZNT8} &= y_{10} - c \\
&= 356.0 - 168.700 & &= 836.00 - 168.700 \\
&= 187.300 \text{ mm} & &= 667.300 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= ((ND1.ZND1)+(ND2.ZND2)+(NT1.ZNT2)+(NT2.ZNT2)+(NT3.ZNT3) \\
&\quad + (NT4.ZNT4) + (NT5.ZNT5) + (NT6.ZNT6) + (NT7.ZNT7)+ \\
&\quad (NT8.ZNT8)) \\
&= \left[4265.996 \times 97.0024 \right] + \left[3457.890 \times 100.700 \right] + \left[3218.29 \times 4.700 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 91.300 \right] + \left[643.657 \times 187.300 \right] + \left[643.657 \times 283.300 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 379.300 \right] + \left[643.657 \times 475.300 \right] + \left[643.657 \times 571.300 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 667.300 \right] \\
&= 2915.633 \quad \text{kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= 0.65 \times 2915.633 \\
&= 1895.162 \quad \text{kNm}
\end{aligned}$$

Tabel 4.5 Diagram Interaksi kolom 36 D 32

Kondisi	36 D 32	
	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kNm)
Sentris	21041.48	0
Patah Desak	12221.77	4001.734
Balance	10858.71	4323.380
Patah Tarik	7197.516	4085.179
Lentur	0	1895.162

4.2.6 Perhitungan Penulangan Lentur Kolom 44 D 32

Diketahui :

$$\begin{aligned}b &= 1000 \text{ mm} & h'_{\text{kolom}} &= h_{\text{kolom}} - h_{\text{balok}} \\h &= 1000 \text{ mm} & &= 4500 - 750 = 3750 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Tulangan sengkang } \emptyset 12 \quad f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama dipakai D 32} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Tebal selimut beton 40 mm

Dicoba tulangan D 32 mm

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan pokok}$$

$$= 1000 - 40 - 12 - \frac{1}{2} 32$$

$$= 932.0 \text{ mm}$$

$$d' = 1000 - 932.0 = 68.0 \text{ mm}$$

- Luas Penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 1000 \times 1000$$

$$= 1000000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai tulangan 44 D 32 } A_{s_t} = 35369 \text{ mm}^2$$

Dalam SNI 2847-2013 pasal 10.9.1, Luas tulangan Longitudinal, A_{s_t} , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$

Periksa Rasio Tulangan Memanjang :

$$\rho_g = \frac{A_{s_t}}{A_g} = \frac{35369}{1000000} = 0.035$$

$$0,01 A_g < \rho_g = 0.035 < 0,08 A_g$$

- Beban Sentris

$$P_o = 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{s_t}) + f_y \cdot A_{s_t}$$

$$= (0,85 \cdot 35 (1000000 - 35368.96) + 400 \cdot 35368.96) \cdot 10^{-3} = 42845.357 \text{ kN}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 34276.286$$

$$= 0.80 \cdot 42845.357 = 22279.586 \text{ kN}$$

$$= 34276.286 \text{ kN}$$

• **Kondisi Seimbang**

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 400} = 559.2 \text{ mm}$$

$$a_b = c \cdot \beta$$

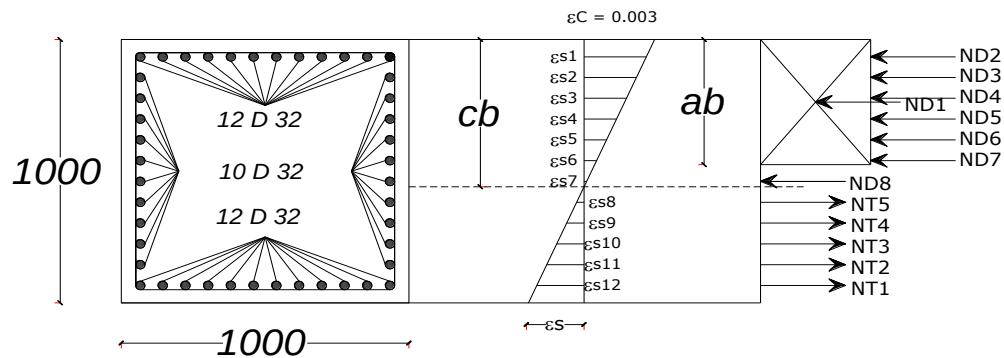
$$= 559.2 \times 0.85$$

$$= 475.32 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 475.320 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 14140.8 \text{ kN}$$



Gambar 4.42 Diagram tegangan regangan kolom kondisi seimbang 44 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c = \frac{559.2 - 68.0}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00264 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (12 D 32)}$$

$$= 9654.86 \times 400 \times 10^{-3} = 3861.94 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{559.2 - 146.55}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00221 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{ND3} = A_s2 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{559.2 - 225.1}{559.2} \times 0.003$$

$$= 0.00179 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00179 \times 200000 = 358.486 \text{ MPa}$$

$$\text{ND4} = A_s3 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 358.486 \times 10^{-3} = \mathbf{576.86 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{559.20 - 303.6}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.00137 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00137 \times 200000 = 274.21 \text{ MPa}$$

$$\text{ND5} = A_s4 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 274.210 \times 10^{-3} = \mathbf{441.24 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s5} = \frac{559.20 - 382.2}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0009 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0009 \times 200000 = 189.93 \text{ MPa}$$

$$\text{ND6} = A_s5 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 189.934 \times 10^{-3} = \mathbf{305.63 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s6} = \frac{559.20 - 460.7}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0005 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0005 \times 200000 = 105.66 \text{ MPa}$$

$$\text{ND7} = A_s6 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 105.657 \times 10^{-3} = \mathbf{170.02 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s7} = \frac{559.20 - 539.3}{559.200} \times 0.003$$

$$= 0.0001 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0001 \times 200000 = 21.38 \text{ MPa}$$

$$\text{ND8} = A_s7 \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 21.381 \times 10^{-3} = \mathbf{34.41 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s8} = \frac{617.8 - 559.20}{559.200} \times 0.003$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s8} &= \frac{559.200}{559.200} \\
&= 0.0003 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.0003 \times 200000 = 62.90 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT1} &= A_{s8} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 9654.86 \times 62.90 \times 10^{-3} = \mathbf{607.24 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s9} &= \frac{696.36 - 559.2}{559.200} \times 0.003 \\
&= 0.00074 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00074 \times 200000 = 147.171 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT2} &= A_{s9} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 147.171 \times 10^{-3} = \mathbf{236.820 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s10} &= \frac{774.91 - 559.2}{559.200} \times 0.003 \\
&= 0.00116 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00116 \times 200000 = 231.448 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT3} &= A_{s10} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 231.448 \times 10^{-3} = \mathbf{372.432 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s11} &= \frac{853.45 - 559.2}{559.200} \times 0.003 \\
&= 0.00158 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00158 \times 200000 = 315.724 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT4} &= A_{s11} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 315.724 \times 10^{-3} = \mathbf{508.045 \text{ kN}} \\
\varepsilon_{s12} &= \frac{932.00 - 559.2}{559.200} \times 0.003 \\
&= 0.00200 = \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00200 \times 200000 = 400.000 \text{ MPa} \\
\mathbf{NT5} &= A_{s12} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32) \\
&= 1609.143 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{nb} &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 + ND8 - NT1 - \\
&\quad NT2 - NT3 - NT4 - NT5 \\
&= 14140.8 + 3861.94 + 643.657 + 576.855 + 441.24 + 305.63 + \\
&\quad 170.02 + 34.41 - 607.24 - 236.820 - 372.432 - 508.045
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 643.657 \\
& = 17806.326 \text{ kN} \\
\phi P_{nb} & = 0.65 \times 17806.326 \\
& = 11574.11 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nb} & = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\
& \quad + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\} \\
& \quad + \{(ND6 + NT5).(h/2 - y4)\} + \{(ND7).(h/2 - y5)\} \\
& \quad + \{(ND8).(h/2 - y6)\} \\
& = 14140.8 \left[1000 / 2 - 475.3 / 2 \right] + \left[3861.94 + 607.243 \times \right. \\
& \quad \left. \left[1000 / 2 - 68.0 \right] + \left[643.66 + 236.82 \right] \times \left[1000 / 2 - 146.5 \right] \right] \\
& \quad + \left[576.86 + 372.4 \right] \times \left[1000 / 2 - 225.1 \right] + \left[441.24 + \# \right. \\
& \quad \left. \times \left[1000 / 2 - 303.6 \right] \right] + \left[\left[1609.14 + 643.7 \right] \times \left[1000 / 2 - \# \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \left[\left[170 \right] \times \left[1000 / 2 - 460.7 \right] \right] + \left[34.4 \right] \times \left[1000 / 2 - \# \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. 10^{-3} \right] \right] \right] \\
& = \left[3709689.602 + 1930688 + 311208.5 + 474418.7 + \right. \\
& \quad \left. 186405.556 + 265421 + 6677.1 + -1351.2 \right] 10^{-3} \\
& = 6883.157 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_{nb} & = 0.65 \times 6883.2 \\
& = 4474.1 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{6883.1572}{17806.326} = 0.3866 \text{ m} = 386.557 \text{ mm}$$

• **Kondisi Seimbang dengan 1,25 fy**

$$f_y = 1,25 \times f_y = 1.25 \times 400 = 500.0 \text{ MPa}$$

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 932.0}{600 + 500.0} = 508.364 \text{ mm}$$

$$a_b = c_b \cdot \beta$$

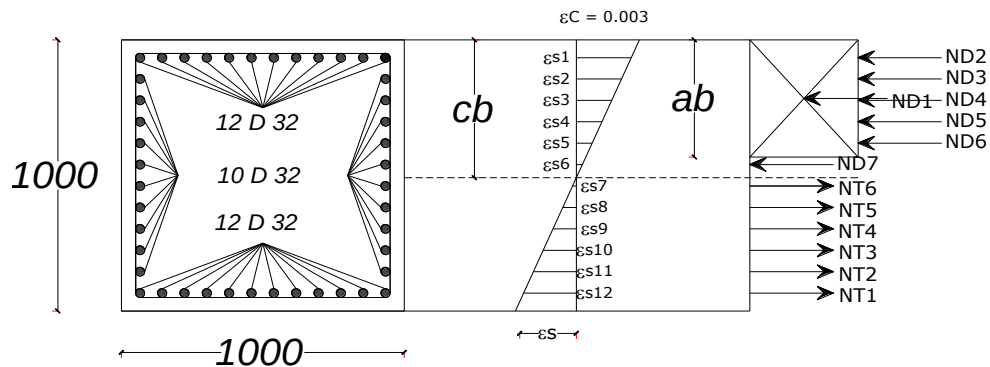
$$= 508.364 \times 0.85$$

$$= 432.109 \text{ mm}$$

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c \cdot ab \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 432.109 \times 1000 \times 10^{-3}$$

$$= 12855.2 \text{ kN}$$



Gambar 4.14 Diagram tegangan dan regangan kolom kondisi seimbang 1,25 fy

$$\varepsilon = \frac{f_y}{E_s} = \frac{500.00}{200000} = 0.00250$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{508.364 - 68.0}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00260 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 500 \text{ Mpa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \text{ (12 D 32)}$$

$$= 9654.857 \times 500.00 \times 10^{-3} = 4827.429 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{508.364 - 146.55}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00214 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00214 \cdot 200000 = 427.039 \text{ Mpa}$$

$$ND3 = A_{s2} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.1 \times 427.039 \times 10^{-3} = 687.166 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{508.364 - 225.09}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00167 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00167 \cdot 200000 = 334.335 \text{ Mpa}$$

$$ND4 = A_{s3} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.1 \times 334.335 \times 10^{-3} = \mathbf{537.992 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_4} = \frac{508.364 - 303.64}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00121 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00121 \cdot 200000 = 241.631 \text{ Mpa}$$

$$\text{ND5} = A_{s4} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 241.631 \times 10^{-3} = \mathbf{388.819 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_5} = \frac{508.364 - 382.18}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00074 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00074 \cdot 200000 = 148.927 \text{ Mpa}$$

$$\text{ND6} = A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 148.927 \times 10^{-3} = \mathbf{239.645 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_6} = \frac{508.364 - 460.73}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00028 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00028 \cdot 200000 = 56.223 \text{ Mpa}$$

$$\text{ND7} = A_{s6} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 539.273 \times 10^{-3} = \mathbf{867.767 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_7} = \frac{539.27 - 508.364}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00018 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00018 \cdot 200000 = 36.481 \text{ Mpa}$$

$$\text{NT1} = A_{s7} \times f_s \quad (12 \text{ D } 32)$$

$$= 9654.9 \times 36.481 \times 10^{-3} = \mathbf{352.216 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_8} = \frac{617.82 - 508.364}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00065 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00065 \cdot 200000 = 129.185 \text{ Mpa}$$

$$\text{NT2} = A_{s8} \times f_s \quad (12 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 129.185 \times 10^{-3} = \mathbf{207.876 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_9} = \frac{696.36 - 508.364}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00111 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00111 \cdot 200000 = 221.888 \text{ Mpa}$$

$$\text{NT3} = A_{s9} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 221.888 \times 10^{-3} = \mathbf{357.050 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s10} = \frac{774.91 - 508.364}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00157 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00157 \cdot 200000 = 314.592 \text{ Mpa}$$

$$\text{NT4} = A_{s10} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 314.592 \times 10^{-3} = \mathbf{506.224 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s11} = \frac{853.45 - 508.364}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00204 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00204 \cdot 200000 = 407.296 \text{ Mpa}$$

$$\text{NT5} = A_{s11} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 407.296 \times 10^{-3} = \mathbf{655.398 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s12} = \frac{932.00 - 508.364}{508.364} \times 0.003$$

$$= 0.00250 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00250 \cdot 200000 = 500.000 \text{ Mpa}$$

$$\text{NT6} = A_{s12} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.1 \times 500 \times 10^{-3} = \mathbf{804.571 \text{ kN}}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 + ND7 - NT1 \\ &\quad - NT2 - NT3 - NT4 - NT5 - NT6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 12855.2 + 4827.43 + 687.166 + 537.992 + 388.819 + 239.645 \\ &\quad + 867.767 - 352.22 - 207.88 - 357.05 - 506.22 - 655.40 \\ &\quad - 804.57 \end{aligned}$$

$$= 17520.72758 \text{ kN}$$

$$\phi P_{nb} = 0.65 \times 17520.728$$

$$= 11388.473 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\}$$

$$\begin{aligned}
& + \{ (ND4 + NT3) \cdot (h/2 - y_2) \} + \{ (ND5 + NT4) \cdot (h/2 - y_3) \} \\
& + \{ (ND6 + NT5) \cdot (h/2 - y_4) \} + \{ (ND7 + NT6) \cdot (h/2 - y_5) \} \\
& = 12855 \left[\frac{1000}{2} - \frac{432.1}{2} \right] + [4827.43 + 352.216] \times \\
& \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + [687.166 + 207.88] \times \left[\frac{1000}{2} - 146.5 \right] + \\
& [537.99 + 357.1] \times \left[\frac{1000}{2} - 225.1 \right] + [388.8 + 506.224] \times \\
& \left[\frac{1000}{2} - 382.2 \right] + [239.64 + 655.40] \times \left[\frac{1000}{2} - 460.73 \right] \\
& + [867.767 + 804.6] \times \left[\frac{1000}{2} - 508.364 \right] 10^{-3} \\
& = 3650188.51 + 2237606.4 + 316356.86 + 246055.33 + 105452.29 \\
& + 35150.76 + -13986.83 \\
& = 6576.82 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_{nb} &= 0.65 \times 6576.823 \\
&= 4274.935 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

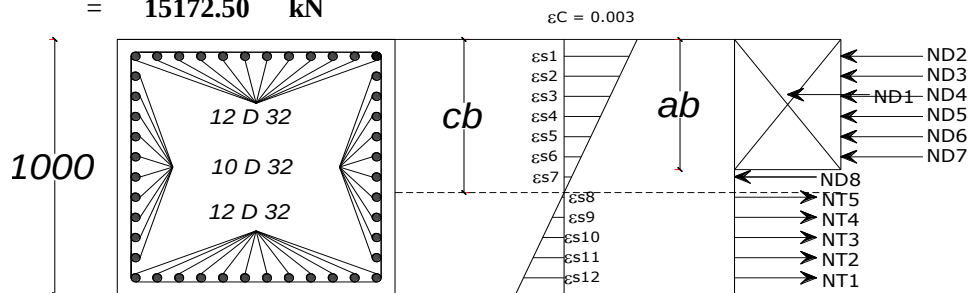
$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{6576.8233}{17520.728} = 0.3754 \text{ m} = 375.374 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Desak** ($c > c_b$)

Dipakai nilai $c = 600 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
a_b &= c \cdot \beta \\
&= 600.0 \times 0.85 \\
&= 510.0 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ND1 &= 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\
&= 0.85 \times 35 \times 510.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\
&= 15172.50 \text{ kN}
\end{aligned}$$



$$\overbrace{\hspace{1.5cm}}^{1000} \quad \overbrace{\hspace{1.5cm}}^{\leftarrow \varepsilon_s \rightarrow}$$

Gambar 4.43 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah desak 44 D 32

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{600 - 68}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00266 > \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \quad (12 \text{ D } 32)$$

$$= 9654.857 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{3861.94 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{600 - 146.55}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00227 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$ND3 = A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{600 - 225.1}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00187 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00187 \times 200000 = 374.91 \text{ MPa}$$

$$ND4 = A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 374.91 \times 10^{-3} = \mathbf{603.282 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s4} = \frac{600.0 - 304}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00148 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00148 \times 200000 = 296 \text{ MPa}$$

$$ND5 = A_{s4} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 296.36 \times 10^{-3} = \mathbf{476.891 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s5} = \frac{600.0 - 382}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00109 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00109 \times 200000 = 218 \text{ MPa}$$

$$ND6 = A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 217.82 \times 10^{-3} = \mathbf{350.501 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_6} = \frac{600.0 - 461}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00070 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00070 \times 200000 = 139 \text{ MPa}$$

$$\text{ND7} = A_{S6} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 139.27 \times 10^{-3} = \mathbf{224.110 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_7} = \frac{600.0 - 539}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00030 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00030 \times 200000 = 61 \text{ MPa}$$

$$\text{ND8} = A_{S7} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 60.73 \times 10^{-3} = \mathbf{97.719 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_8} = \frac{617.8 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00009 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00009 \times 200000 = 17.82 \text{ MPa}$$

$$\text{NT1} = A_{S8} \times f_s \text{ (12 D 32)}$$

$$= 9654.86 \times 17.82 \times 10^{-3} = \mathbf{172.032 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_9} = \frac{696 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00048 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00048 \times 200000 = 96.36 \text{ MPa}$$

$$\text{NT2} = A_{S9} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 96.36 \times 10^{-3} = \mathbf{155.063 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_{10}} = \frac{775 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00087 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00087 \times 200000 = 174.91 \text{ MPa}$$

$$\text{NT3} = A_{S_{10}} \times f_s \text{ (2 D 32)}$$

$$= 1609.14 \times 174.91 \times 10^{-3} = \mathbf{281.454 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_{11}} = \frac{853 - 600}{600} \times 0.003$$

$$= 0.00127 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00127 \times 200000 = 253.45 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
NT4 &= As11 \times fs \text{ (2 D 32)} \\
&= 1609.14 \times 253.45 \times 10^{-3} = \mathbf{407.845 \text{ kN}} \\
\epsilon_{s12} &= \frac{932 - 600}{600} \times 0.003 \\
&= 0.00166 < \epsilon_y ; \text{ maka } fs = 0.00166 \times 200000 = 332.00 \text{ MPa} \\
NT5 &= As12 \times fs \text{ (2 D 32)} \\
&= 1609.14 \times 332.00 \times 10^{-3} = \mathbf{534.235 \text{ kN}} \\
P_n &= ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 + ND7 + ND8 - \\
&\quad NT1 - NT2 + NT3 + NT4 + NT5 \\
&= 15172.500 + 3861.94 + 643.657 + 603.282 + 476.891 + 350.501 + \\
&\quad 224.110 + 97.72 - 172.032 - 155.063 - 281.454 - 407.845 - \\
&\quad 534.235 \\
&= 19879.974 \text{ kN} \\
\phi P_n &= 0.65 \times 19879.974 \\
&= 12922 \text{ kN} \\
M_{nb} &= ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y1)\} \\
&\quad + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y3)\} \\
&\quad + \{(ND6 + NT5).(h/2 - y4)\} + \{(ND7).(h/2 - y5)\} \\
&\quad + \{(ND8).(h/2 - y6)\} \\
&= 15172.5 \left[\frac{1000}{2} - \frac{510}{2} \right] + \left[3861.94 + 172.032 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + \left[643.66 + 155.06 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 146.5 \right] + \\
&\quad \left[603.28 + 281.5 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 225.1 \right] + \left[476.89 + 407.8 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 303.6 \right] + \left[350.5 + 534.24 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 382.2 \right] + \\
&\quad \left[224.1 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 460.7 \right] + \left[97.7 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 539.3 \right] 10^{-3} \\
&= \left[3717262.50 + 1742677.14 + 282311.21 + 442142.91 + \right. \\
&\quad \left. 173729.98 + 104237.99 + 8801.40 + (-3837.7) \right] 10^{-3} \\
&= 6467.325 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.65 \times 6467.325 \\ &= 4203.76 \text{ kNm}\end{aligned}$$

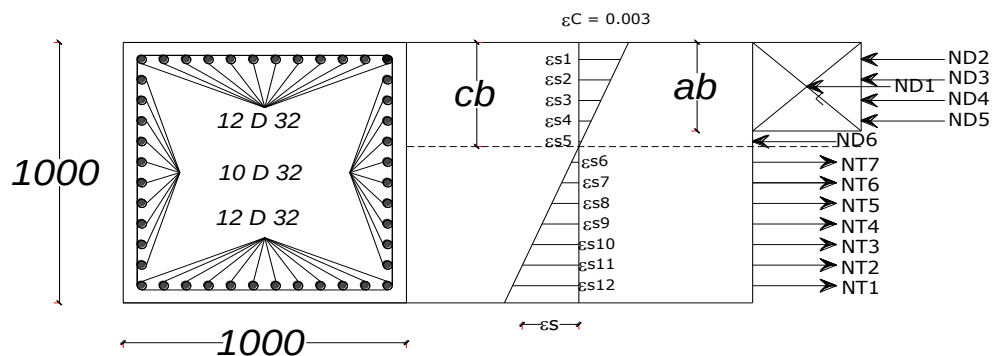
$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{6467.33}{19879.974} = 0.3253 \text{ m} = 325.32 \text{ mm}$$

• **Kondisi Patah Tarik ($c < c_b$)**

Dipakai nilai $c = 400 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}a_b &= c \cdot \beta \\ &= 400 \times 0.85 \\ &= 340.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}ND1 &= 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\ &= 0.85 \times 35 \times 340.0 \times 1000 \times 10^{-3} \\ &= 10115 \text{ kN}\end{aligned}$$



Gambar 4.44 Diagram tegangan regangan kolom kondisi patah tarik 44 D 32

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200000} = 0.00200$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{400 - 68}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00249 < \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400.00 \text{ MPa}$$

$$ND2 = A_{s1} \times f_s \times (12 \text{ D } 32)$$

$$= 9654.857 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{3861.94 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_2} = \frac{400 - 146.55}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00190 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00190 \times 200000 = 380.2 \text{ MPa}$$

$$\text{ND3} = A_{s2} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 380.18 \times 10^{-3} = \mathbf{611.767 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_3} = \frac{400 - 225.09}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00131 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00131 \times 200000 = 262.4 \text{ MPa}$$

$$\text{ND4} = A_{s3} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 262.36 \times 10^{-3} = \mathbf{422.181 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_4} = \frac{400 - 303.64}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00072 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00072 \times 200000 = 144.5 \text{ MPa}$$

$$\text{ND5} = A_{s4} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 144.55 \times 10^{-3} = \mathbf{232.594 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_4} = \frac{400 - 382.18}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00013 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00013 \times 200000 = 26.73 \text{ MPa}$$

$$\text{ND6} = A_{s5} \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 26.73 \times 10^{-3} = \mathbf{43.008 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_5} = \frac{461 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.0005 < \varepsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00046 \times 200000 = 91.1 \text{ MPa}$$

$$\text{NT1} = A_{s6} \times f_s \quad (12 \text{ D } 32)$$

$$= 9654.86 \times 91.091 \times 10^{-3} = \mathbf{879.47 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{S_6} = \frac{539 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00104 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00104 \times 200000 = 209 \text{ MPa}$$

$$\text{NT2} = A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 208.909 \times 10^{-3} = \mathbf{336.165 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s7} = \frac{618 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00163 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 0.00163 \times 200000 = 327 \text{ MPa}$$

$$\text{NT3} = A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 326.727 \times 10^{-3} = \mathbf{525.751 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s8} = \frac{696 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00222 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT4} = A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s9} = \frac{775 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00281 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT5} = A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.657 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s10} = \frac{853 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00340 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT6} = A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$\epsilon_{s10} = \frac{932 - 400}{400} \times 0.003$$

$$= 0.00399 > \epsilon_y ; \text{ maka } f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{NT7} = A_s \times f_s \quad (2 \text{ D } 32)$$

$$= 1609.14 \times 400.000 \times 10^{-3} = \mathbf{643.66 \text{ kN}}$$

$$P_n = ND1 + ND2 + ND3 + ND4 + ND5 + ND6 - NT1 - NT2 - NT3 - NT4 - NT5 - NT6 - NT7$$

$$= 10115 + 3861.94 + 611.767 + 422.181 + 232.594 + 43.01 - 879.470 - 336.16 - 525.751 - 643.657 - 643.66 - 643.66 - 643.66$$

$$= 10970.479 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0.65 \times 10970.479$$

$$= 7130.81 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = ND1(h/2 - ab/2) + \{(ND2 + NT1).(h/2 - d')\} + \{(ND3 + NT2).(h/2 - y_1)\} + \{(ND4 + NT3).(h/2 - y_2)\} + \{(ND5 + NT4).(h/2 - y_3)\} + \{(ND6 + NT5).(h/2 - y_4)\} + \{(NT6).(h/2 - y_5)\} + \{(NT7).(h/2 - y_6)\}$$

$$= 10115.0 \left[\frac{1000}{2} - \frac{340}{2} \right] + \left[(3861.94 + 879.470) \times \left[\frac{1000}{2} - 68 \right] + \left[611.77 + 336.16 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 146.5 \right] + \left[422.18 + 525.75 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 225.1 \right] + \left[232.59 + 643.66 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 303.6 \right] + \left[43.01 + 643.66 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 382.2 \right] + \left[643.66 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 460.7 \right] + \left[644 \right] \times \left[\frac{1000}{2} - 539.3 \right] \right] 10^{-3}$$

$$= \left[3337950 + 2048290 + 335050.7 + 473740.6 + 172063.9169 + 80902 + 25278.2 + -25278.2 \right] 10^{-3}$$

$$= 6447.997 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0.65 \times 6448.0$$

$$= 4191.198 \text{ kNm}$$

$$e_b = \frac{M_n}{P_n} = \frac{6447.997}{10970.479} = 0.588 \text{ m} = 588 \text{ mm}$$

• **Kondisi Lentur Murni**

Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 24 \text{ D } 32 = 19292.160 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 20 \text{ D } 32 = 16076.800 \text{ mm}^2$$

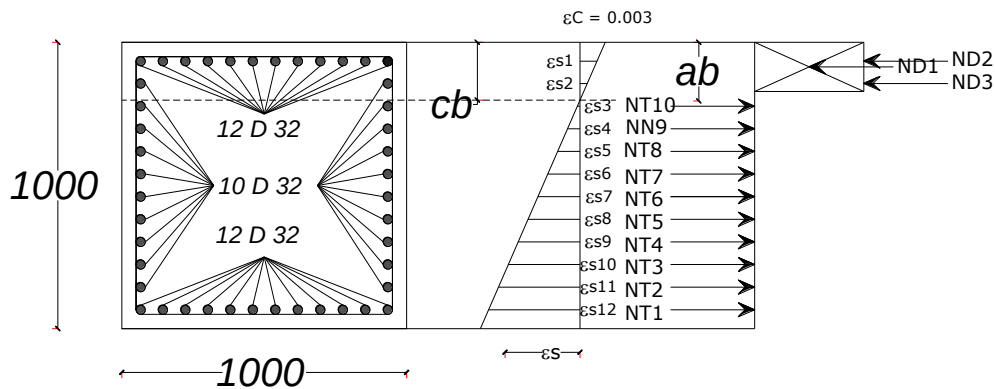
$$A_{s1} = 12 \text{ D } 32 = 9646.080 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 8 \text{ D } 32 = 6430.720 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$y_2 = 68 + 78.55 = 147 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{9646.08 \times 68 + 6430.7 \times 147}{16076.800} = 99.42 \text{ mm}$$



Gambar 4.45 Diagram tegangan regangan kolom kondisi 1 lentur murni 44 D 32

Dimisalkan garis netral (c) > y_1 maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 16076,800 - 19292,160 \times 400 \right] c - 600 \times 16076,800 \times 99,4 = 0$$

$$25288 c^2 + 1929216,00 c - 959013273,6 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{-1929216 + \sqrt{1929216^2 - 4 \times 25288 \times 959013273,6}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{-1929216 + 10036238}{50575} = 160,3 \text{ mm}$$

$$c = 160,3 \text{ mm}$$

Karena nilai $c < y_2$ maka dihitung nilai c sebenarnya berdasarkan persamaan yang kedua.

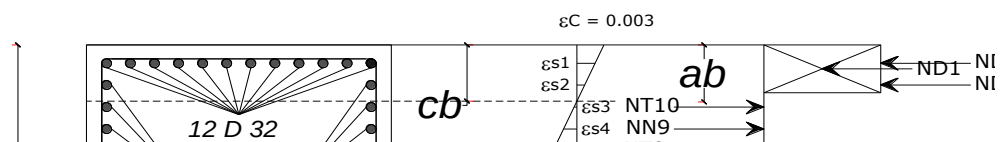
Dicoba dipasang tulangan sebagai berikut :

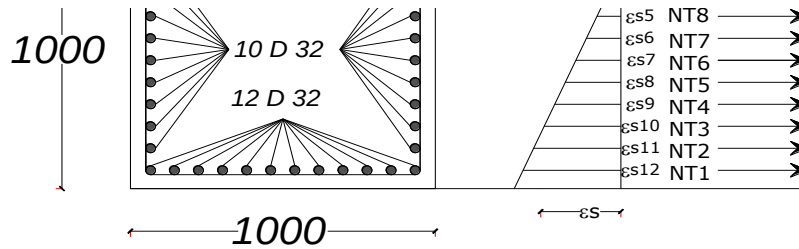
$$\text{Tulangan tarik } A_s = 30 \text{ D } 32 = 24137,143 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_s' = 14 \text{ D } 32 = 11264,000 \text{ mm}^2$$

$$d' = 40 + 12 + 1/2 \cdot 32 = 68 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 68 = 932,0 \text{ mm}$$





Gambar 4.46 Diagram tegangan regangan kolom kondisi 2 lentur murni 44 D 32

$$0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \times 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai : } a = \beta \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot c \cdot b) \cdot c + (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 A_s' \cdot c - 600 A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c \cdot \beta \cdot 1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 A_s' \cdot d' = 0$$

$$\left[0,85 \times 35 \times 0,85 \times 1000 \right] c^2 + \left[600 \times 11264.000 - 24137.143 \right. \\ \left. \times 400 \right] c - 600 \times 11264.000 \times 68.0 = 0$$

$$25288 \cdot c^2 + -2896457.14 \cdot c - 459571200.0 = 0$$

dengan rumus ABC dapat dihitung nilai c :

$$c = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{2896457 + \sqrt{-2896457^2 - 4 \times 25288 \times 459571200.0}}{2 \times 25288}$$

$$= \frac{2896457.1 + 7407772.3}{50575} = 203.742 \text{ mm}$$

$$c = 203.742 \text{ mm}$$

Dihitung nilai a :

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0.85 \times 203.742 = 173.180 \text{ mm}$$

$$\text{ND1} = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0.85 \times 35 \times 173.180 \times 1000$$

$$= 5152.115 \text{ kN}$$

$$\text{ND2} = f_s' \cdot A_s'$$

$$= \frac{(c - d')}{c} \times 600 \cdot A_s'$$

$$= \frac{203.742 - 68.0}{203.742} \times 600 \times 11264.000 \times 10^{-3} = 4502.742 \text{ kN}$$

$$\text{NT1} = A_s \times f_y$$

$$= 9654.857 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 3861.94 \text{ kN}$$

$$\text{NT6} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT2} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT7} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT3} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.143 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.66 \text{ kN}$$

$$\text{NT8} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT4} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT9} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT5} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{NT10} = A_s \times f_y$$

$$= 1609.14 \times 400 \times 10^{-3}$$

$$= 643.657 \text{ kN}$$

$$\text{ND1} + \text{ND2} = \text{NT1} + \text{NT2} + \text{NT3} + \text{NT4} + \text{NT5} + \text{NT6} + \text{NT7} + \text{NT8} + \text{NT9} + \text{NT10}$$

$$5152.115 + 4502.74 = 3861.94 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657 + 643.657$$

$$9654.857 = 9654.857$$

$$\text{ZND1} = c - a/2$$

$$\text{ZNT4} = y_6 - c$$

$$\begin{aligned}
&= 203.742 - 173.180 / 2 &= 382.18 - 203.742 \\
&= 117.2 \text{ mm} &= 178.440 \text{ mm} \\
\text{ZND2} &= c - y1 &\text{ZNT5} &= y7 - c \\
&= 203.742 - 68 &= 460.73 - 203.742 \\
&= 135.742 \text{ mm} &= 256.986 \text{ mm} \\
\text{ZNT1} &= y3 - c &\text{ZNT6} &= y8 - c \\
&= 203.742 - 146.545 &= 539.27 - 203.742 \\
&= 57.196 \text{ mm} &= 335.531 \text{ mm} \\
\text{ZNT2} &= y4 - c &\text{ZNT7} &= y9 - c \\
&= 225.1 - 203.742 &= 617.82 - 203.742 \\
&= 21.349 \text{ mm} &= 414.077 \text{ mm} \\
\text{ZNT3} &= y5 - c &\text{ZNT8} &= y10 - c \\
&= 303.6 - 203.742 &= 696.36 - 203.742 \\
&= 99.895 \text{ mm} &= 492.622 \text{ mm} \\
\text{ZNT10} &= y12 - c &\text{ZNT9} &= y11 - c \\
&= 853.5 - 203.742 &= 774.91 - 203.742 \\
&= 649.713 \text{ mm} &= 571.168 \text{ mm} \\
M_n &= ((\text{ND1.ZND1})+(\text{ND2.ZND2})+(\text{NT1.ZNT2})+(\text{NT2.ZNT2})+(\text{NT3.ZNT3}) + \\
&\quad (\text{NT4.ZNT4}) + (\text{NT5.ZNT5}) + (\text{NT6.ZNT6}) + (\text{NT7.ZNT7})+(\text{NT8.ZNT8}) \\
&\quad + (\text{NT9.ZNT9})+(\text{NT10.ZNT10})) \\
&= \left[5152.115 \times 117.151 \right] + \left[4502.74 \times 135.742 \right] + \left[3861.94 \times 57.196 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 21.349 \right] + \left[643.657 \times 99.895 \right] + \left[643.657 \times 178.440 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 256.986 \right] + \left[643.657 \times 335.531 \right] + \left[643.657 \times 414.077 \right] \\
&\quad + \left[643.657 \times 492.622 \right] + \left[643.657 \times 571.168 \right] + \left[643.657 \times 649.713 \right] \\
&\quad 10^{-3} \\
&= 3379.378 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 0.65 \times 3379.378 \\
&= 2196.596 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Kondisi	44 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	22279.59	0
Patah Desak	12921.98	4203.76
Balance	11574.11	4474.05
Patah Tarik	7130.811	4191.20
Lentur	0	2196.60

Kolom	ϕ Pn (kN)
Kolom Atas	3478.00
Kolom desain	3510.00
Kolom Bawah	3628.00

Kondisi	36 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	21041.48	0
Patah Desak	12221.77	4001.73
Balance	10858.71	4323.38
Patah Tarik	7197.52	4085.18
Lentur	0	1895.16

Kondisi	32 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	20422.43	0
Patah Desak	12075.34	3863.8966
Balance	10540.24	4116.4009
Patah Tarik	6815.95	3854.1287
Lentur	0	1427.3190

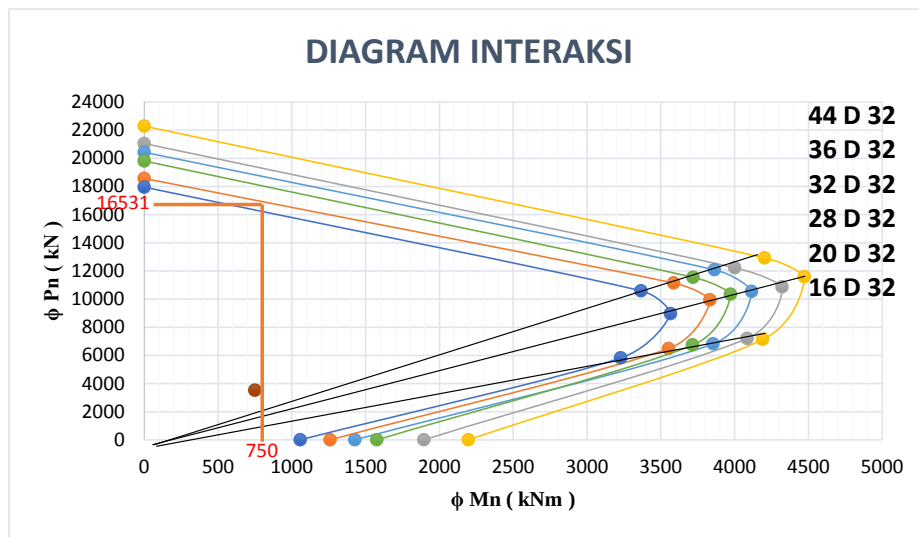
Kondisi	28 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	19803.37	0.00
Patah Desak	11539.82	3719.99
Balance	10342.44	3972.87
Patah Tarik	6730.97	3715.95
Lentur	0.00	1577.47

Kondisi	20 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	18565.27	0.00
Patah Desak	11131.48	3588.25
Balance	9932.95	3834.49
Patah Tarik	6486.44	3552.85
Lentur	0.00	1259.19

Kondisi	16 D 32	
	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)
Sentris	17946.21	0
Patah Desak	10580.46	3366.45
Balance	8963.96	3566.83

Patah Tarik	5823.70	3229.57
Lentur	0	1056.63

Dari perhitungan StaadPro, didapat nilai nilai - beban Aksial terfaktor untuk kolom atas sebesar 3478.00 kN , kolom desain sebesar 3510.00 kN , dan kolom bawah sebesar 3628.00 kN



Gambar 4.47 Diagram Interaksi Kolom

Dari diagram diatas, dapat dilihat bahwa koordinat untuk momen max yang terjadi pada kolom desain masih berada di dalam diagram. Maka dapat disimpulkan bahwa kolom desain mampu memikul beban-beban struktur.

Dari hasil pembacaan ketiga diagram interaksi kolom diatas, maka didapat nilai momen nominal terfaktor untuk kolom yang ditinjau sebesar :

Kolom	$\phi M_n \text{ (kNm)}$
Kolom Atas	779
Kolom desain	750

Kolom Bawah	2178
-------------	------

4.2.7 Perhitungan Penulangan Geser Kolom

$$\begin{aligned}\text{Diketahui : } l &= 4500 \text{ mm} & f'_c &= 35 \text{ MPa} \\ b &= 1000 \text{ mm} & f_{y_{\text{ulir}}} &= 400 \text{ MPa} \\ h &= 1000 \text{ mm} & f_{y_{\text{polos}}} &= 240 \text{ MPa} \\ l_n &= \text{tinggi kolom} - h \text{ balok} & D &= 32 \text{ mm} \\ &= 4500 - 750 = 3750 & \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ p &= 40 \text{ mm}\end{aligned}$$

a. Pengekangan Kolom

Pada perencanaan SRPMK, Daerah yang berpotensi sendi plastis terletak sepanjang l_0 (SNI 2847-2013, Pasal 21.6.4.1) dari muka yang ditinjau, dimana panjang l_0 tidak boleh kurang dari :

- $h = 1000 \text{ mm}$
- $\frac{1}{6} \cdot l_n = \frac{1}{6} \times 3750 = 625.000 \text{ mm}$
- 450 mm

Jadi daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis sejauh 1000 mm dari muka kolom.

Persyaratan spasi maksimum pada daerah gempa (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.3), spasi maksimum tidak boleh melebihi :

- $\frac{1}{4} \times \text{dimensi terkecil komponen struktur} = \frac{1}{4} \times 1000 = 250 \text{ mm}$
- $6 \times \text{diameter tulangan utama} = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$
- 100 mm

Dipasang tulangan geser $4 \emptyset 12 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}A_s &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 \\ &= 452.16 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jadi } A_s = 452.16 \text{ mm}^2 \geq A_{sh}$$

$$h_c = 1000 - 40 - 40 - 12 = 908.0 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = [1000 - 2 \times 40]^2 = 846400 \text{ mm}^2$$

A_{sh} minimum harus memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847-2013 Pasal

21.6.4.4.(b) dan diambil nilai yang terbesar dari hasil rumus berikut ini :

$$A_{sh} = 0.3 \left(\frac{s \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$452.2 = 0.3 \times \left(\frac{s \times 908 \times 35}{400} \right) \times \left(\left(\frac{1000000}{846400} \right) - 1 \right)$$

$$452.2 = 0.3 \times 79.5 \times s \times 0.181$$

$$452.2 = 4.32544 \times s$$

$$s = \mathbf{104.535 \text{ mm}}$$

atau

$$A_{sh} = 0.09 \left(\frac{s \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right)$$

$$452.2 = 0.09 \left(\frac{s \times 908 \times 35}{400} \right)$$

$$452.2 = 0.09 \times 79.45 \times s$$

$$452.2 = 7.1505 \times s$$

$$s = \mathbf{63.2347 \text{ mm}}$$

Digunakan $s = 100 \text{ mm}$

Jadi dipasang tulangan geser $4 \text{ } \varnothing 12 - 100 \text{ mm}$

a. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom Akibat V_e

Diketahui : $l = 4500 \text{ mm}$	$f'_c = 35 \text{ MPa}$
$b = 1000 \text{ mm}$	$f_{y_{ulir}} = 400 \text{ MPa}$
$h = 1000 \text{ mm}$	$f_{y_{polos}} = 240 \text{ MPa}$
Tinggi bersih $h_n = 3750 \text{ mm}$	$N_{u,k} = 3510000.00 \text{ N}$
Tulangan sengkang = $\varnothing 12 \text{ mm}$	

Perhitungan Momen Probabilitas (Mpr)

$$M_{pr} = M_{nb} = 6883157179.795 \text{ Nmm}$$

Karena tulangan longitudinal sepanjang kolom sama, maka M_{pr_3} dan M_{pr_4}

$$= 6883157179.795 \text{ Nmm, sehingga :}$$

$$\begin{aligned}
V_{e \text{ kolom}} &= \frac{M_{pr-3} + M_{pr-4}}{h_n} \\
&= \frac{6883157179.795 + 6883157179.795}{3750} \\
&= 3671017.2 \text{ N} \\
V_{e \text{ balok}} &= \frac{M_{Pr-1} + M_{Pr-2}}{h_n} \\
&= \frac{1608793708.810 + 1608793708.810}{3750} \\
&= 858023.311 \text{ N} < V_{e \text{ kolom}} = 3671017.163 \text{ N}
\end{aligned}$$

$V_c = 0$ apabila memenuhi ketentuan pada SNI 2847-2013 Pasal 21.5.4.2 sebagai berikut :

Gaya aksial terfaktor $< A_g \cdot f'_c / 20$

$$3510000 \text{ N} < \frac{1000 \times 1000 \times 35}{20}$$

$$3510000 \text{ N} > 1750000 \text{ N}$$

Maka dipakai V_c sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.2 :

$$\begin{aligned}
V_c &= 0.17 \left(1 + \frac{Nu}{14 \cdot A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\
&= 0.17 \left(1 + \frac{3510000}{14 \times 1000000} \right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 535.5 \\
&= 673597.597 \text{ N}
\end{aligned}$$

- **Tulangan geser di dalam daerah sendi plastis**

Daerah yang berpotensi sendi plastis terletak sepanjang l_o (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.1) dari muka yang ditinjau, dimana panjang l_o tidak boleh kurang dari

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

$$- \frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3750 = 625.0 \text{ mm}$$

- 450 mm

Jadi daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis sejauh 450 mm dari muka kolom.

Persyaratan spasi maksimum pada daerah sendi plastis (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.3), spasi maksimum tidak boleh melebihi :

- $\frac{1}{4}$ x dimensi terkecil komponen : $\frac{1}{4} \times 1000 = 250$ mm

- 6 x diameter terkecil komponen = $6 \times 32 = 192$ mm

- $s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left(\frac{350 - 605}{3} \right) = 15$ mm

Maka diasumsikan s rencana yang dipakai sebesar 100 mm

$$h_c = 1000 - 40 - 40 - 12 = 908 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = [1000 - 2 \times 40]^2 = 846400 \text{ mm}^2$$

A_{sh} minimum harus memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847-2013 Pasal

21.6.4.4.(b) dan diambil nilai yang terbesar dari hasil rumus berikut ini :

$$A_{sh} = 0.3 \left(\frac{s \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0.3 \times \left(\frac{10 \times 908 \times 35}{400} \right) \times \left(\left(\frac{1000000}{846400} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0.3 \times 794.5 \times 0.181$$

$$A_{sh} = 43.2544 \text{ mm}^2$$

atau

$$A_{sh} = 0.09 \left(\frac{s \cdot h_c \cdot f'_c}{f_{yh}} \right)$$

$$A_{sh} = 0.09 \times \left(\frac{10 \times 908 \times 35}{400} \right)$$

$$A_{sh} = 0.09 \times 794.5$$

$$A_{sh} = 71.505 \text{ mm}^2, \text{ maka diambil yg terbesar yaitu: } 71.51 \text{ mm}^2$$

Untuk memenuhi luas perlu minimum, maka dipasang: A_{sh} **4 ϕ 12**

$$A_{sh} \text{ 4 } \phi \text{ 12} = 452.2 \text{ mm}^2 > 71.51 \text{ mm}^2 \quad (\text{Terpenuhi})$$

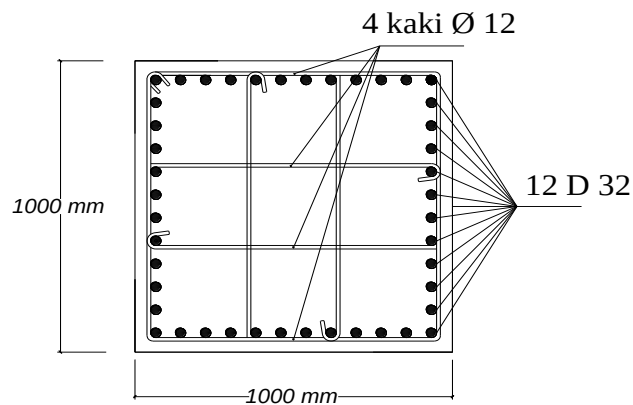
Maka, direncanakan tulangan sengkang kolom 4 kaki diameter 12 - 100

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{452.2 \times 400 \times 535.5}{100}$$

$$= 968526.72 \text{ N}$$

Jadi dipasang tulangan geser **4 kaki ϕ 12 - 100 mm**

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI 2847-2013 Pasal 11.4.7.9



Gambar 4.48 Tulangan geser pada daerah sendi plastis kolom

$$V_s \leq 0.66 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_s \leq 0.66 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 1000$$

$$968,527 \text{ N} < 3,904,613 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Maka :

$$\phi (V_s + V_c) = 0.75 [968527 + 673597.6]$$

$$= 1231593.24 \text{ N} > V_u = 858023.31 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Jadi untuk penulangan geser di daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis sejauh $l_o = 1000 \text{ mm}$ dipasang tulangan geser 4 kaki Ø 12 - 100.

• Tulangan geser di luar daerah sendi plastis

Persyaratan spasi maksimum untuk daerah luar sendi plastis menurut

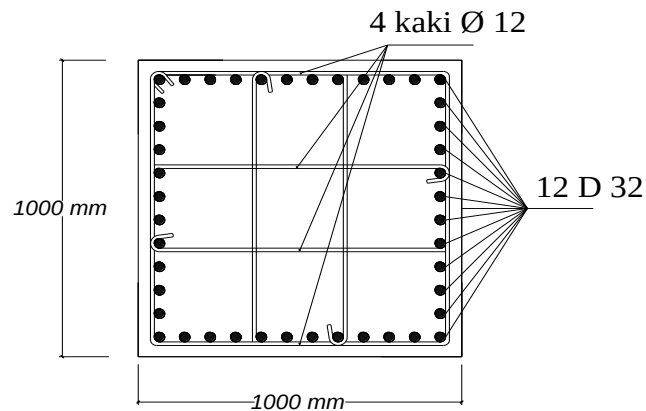
SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.5, spasi maksimum tidak boleh melebihi :

- 6 x diameter tulangan utama = 6 x 32 = 192 mm
- 150 mm

Dipakai sengkang **4 kaki Ø 12 dengan spasi 150 mm**

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{452.2 \times 400 \times 535.5}{150}$$

$$= 645684 \text{ N}$$



Gambar 4.9 Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis kolom

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI 2847-2013 Pasal 11.4.7.9

$$V_s \leq 0.66 \cdot f_c' \cdot \sqrt{b_w \cdot d}$$

$$V_s \leq 0.66 \times \sqrt{35 \times 1000 \times 1000}$$

$$645,684 \text{ N} < 3,904,613 \text{ N} \dots\dots\dots\text{OK}$$

Maka :

$$\phi (V_s + V_c) = 0.75 [645684 + 673597.6]$$

$$= 989461.6 \text{ N} > V_u = 858023.3 \text{ N} \dots\dots\dots\text{OK}$$

Jadi untuk penulangan geser di luar sendi plastis dipasang tulangan geser

4 kaki Ø 12-150.

4.2.8 Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Sesuai SNI 2847-2013 Pasal 12.2.3 panjang sambungan lewatan harus dihitung

sesuai dengan rumus sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda \sqrt{f_c'}} \times \frac{\Psi_t \Psi_o \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

dimana : $\Psi_t = 1$ $\Psi_o = 1$ $\Psi_s = 0.8$ $\lambda = 1$

c = selimut beton + $\emptyset$ sengkang + $\frac{1}{2}$ D kolom

$$= 40 + 12 + \left(\frac{1}{2} \cdot 32 \right)$$

$$= 68.0 \text{ mm}$$

$$c = \frac{1000 - 2 \left[40 + 12 \right] - 32}{2 \times 4}$$

$$= 108 \text{ mm}$$

diambil $c = 108 \text{ mm}$ yang menentukan

$$K_{tr} = 0$$

$$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right) = \frac{108 + 0}{32} = 3.375$$

$$\text{Sehingga : } l_d = \frac{400}{1.1 \times 1\sqrt{35}} \times \frac{1 \times 1 \times 0.8}{3.375} \times 32 = 466.229 \text{ mm}$$

Sesuai Pasal 21.6.3.3, sambungan lewatan harus diletakan ditengah panjang kolom dan harus dihitung sebagai sambungan tarik.

Mengingat sambungan lewatan ini termasuk kelas B, maka panjangnya

$$\text{harus} = 1,3 l_d = 1.3 \times 466.2 = 606.10 \text{ mm} \approx \mathbf{700 \text{ mm}}.$$

Sedangkan untuk spasi sengkang pada daerah sambungan lewatan, harus

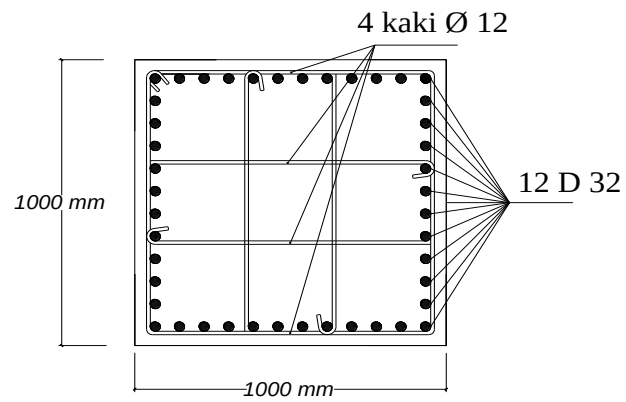
memenuhi syarat-syarat yang terdapat pada SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2.3 yaitu :

$$- d/4 = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$- 100 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasi sengkang pada daerah sambungan lewatan sebesar 90 mm

Dari analisa diatas, maka digunakan tulangan sengkang pada daerah sambungan lewatan 4 kaki Ø 12 - 90 mm



Gambar 4.50 Tulangan geser pada daerah Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

4.3 Persyaratan "Strong Columns Weak Beams"

Sesuai filosofi "*Capacity Design*", maka Pasal 21.6.2.2 mensyaratkan $\sum \mathbf{M}_{nc} \geq (1,2) \sum \mathbf{M}_{nb}$. Nilai M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, konsisten terhadap arah gempa yang ditinjau.

a. Momen pada kolom

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= \phi M_{n \text{ atas}} + \phi M_{n \text{ desain}} \\ &= 778680700 + 749894400 \\ &= 1528575100 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= \phi M_{n \text{ bawah}} + \phi M_{n \text{ desain}} \\ &= 2177748900 + 749894400 \\ &= 2927643300 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

b. Momen pada balok

$$M_{pr}^- = 1608793708.810 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^+ = 1608793708.810 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb}$$

$$\sum M_{nc} = \frac{1528575100 + 2927643300}{0.65}$$

$$= 6855720615 \text{ Nmm}$$

$$1.2 \sum M_{nb} = \frac{1.2 \times (1608793708.810 + 1608793708.810)}{0.9}$$

$$= 4290116556.827 \text{ Nmm}$$

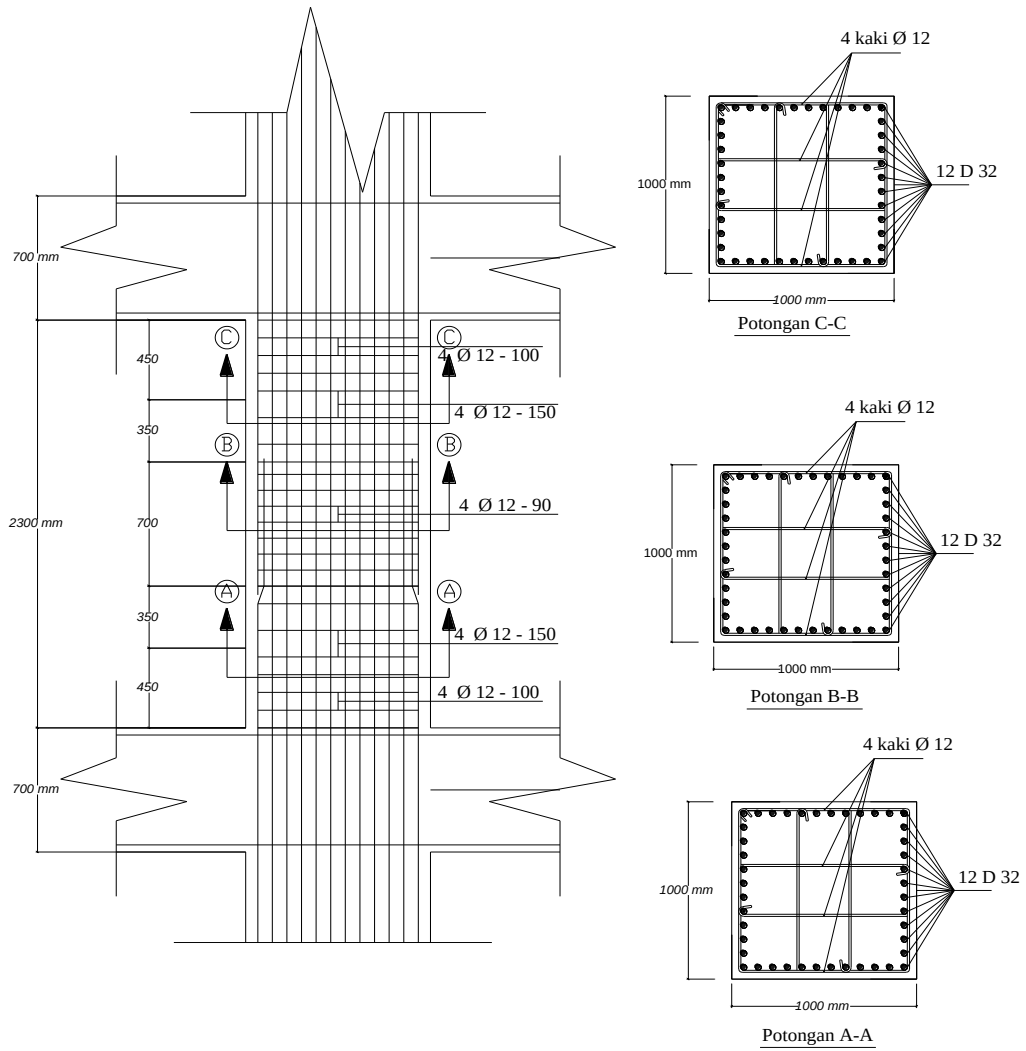
Maka :

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb}$$

$$6,855,720,615 \text{ Nmm} > 4,290,116,557 \text{ Nmm} \dots\dots\dots\text{OK}$$

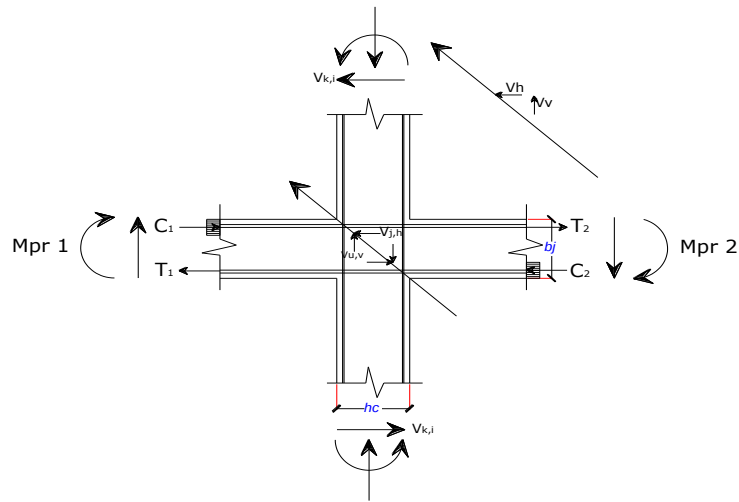
Dari hasil perencanaan balok dan kolom dapat disimpulkan bahwa :

Persyaratan "Strong Column Weak Beam" telah terpenuhiOK



Gambar 4.51 Detail Penulangan Longitudinal dan Transversal Kolom

4.4 Perhitungan Pertemuan Balok-Kolom



Gambar 4.52 Analisa geser dari hubungan balok kolom (Joint 17)

Data perencanaan :

$$\begin{aligned} f_c &= 35 \text{ MPa} & Mpr^-, b &= 1608793708.81 \text{ Nmm} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} & Mpr^+, b &= 1608793708.81 \text{ Nmm} \\ hn, a &= 3750 \text{ mm} \\ hn, b &= 3750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan yang terpasang pada balok :

$$\text{balok kiri} = 6 \text{ D } 25$$

$$\text{balok kanan} = 12 \text{ D } 25$$

Pemeriksaan kuat geser nominal pada joint :

Gaya geser yang terjadi

$$As_1 = 6 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 = 2943.75 \text{ mm}^2$$

$$As_2 = 12 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 = 5887.50 \text{ mm}^2$$

$$T = As \cdot 1.25 \cdot f_y$$

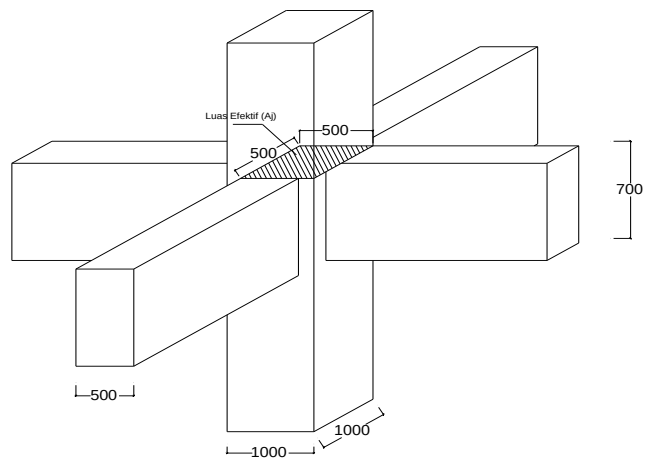
$$T_1 = 2943.75 \times 1.25 \times 400 = 1471875.0 \text{ N}$$

$$T_2 = 5887.50 \times 1.25 \times 400 = 2943750.0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{M_{pr, \text{ b. kanan}} + M_{pr, \text{ b. kiri}}}{2} \\
 &= \frac{1608793708.810 + 1608793708.810}{2} \\
 &= 1608793708.810 \text{ Nmm} \\
 V_h &= \frac{2 \times M_u}{h_n / 2} \\
 &= \frac{2 \times 1608793708.81}{3750 / 2} \\
 &= 766046.623 \text{ N} \\
 V_{jh} &= T_1 + T_2 - V_h \\
 &= 1471875.00 + 2943750.00 - 766046.62 \\
 &= 3649578.38 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser nominal untuk HBK yang terkekang keempat sisinya maka berlaku :

$$V_{jh} < \phi \times 1.7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j$$



Gambar 4.53 Luas efektif (A_j) untuk HBK

Maka :

$$V_{jh} < \phi \times 1.7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j$$

$$3649578.38 < 0.75 \times 1.7 \times \sqrt{35 \times 1000 \times 1000}$$

$$3649578.38 \text{ N} < 7543001.72 \text{ N} \dots\dots\dots\text{OK}$$

- Penulangan geser horisontal

$$N_u = 3510000.00 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{A_g} = \frac{3510000.0}{1000 \times 1000}$$

$$= 3.510 \text{ N/mm}^2 > 0.1 \cdot f'_c = 0.1 \times 35 = 3.5 \text{ N/mm}^2$$

Jadi $V_{c,h}$ dihitung menurut persamaan

$$\begin{aligned} V_{c,h} &= \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_u}{A_g} - 0.1 \times f'_c \right) \times b_j \times h_c} \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{3510000}{1000000} - 0.1 \times 35 \right) \times 1000 \times 908} \\ &= 66666.667 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s,h} + V_{c,h} = V_{j,h}$$

$$\begin{aligned} V_{s,h} &= V_{j,h} - V_{c,h} \\ &= 3649578.38 - 66666.67 \\ &= 3582911.71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{j,h} &= \frac{V_{s,h}}{f_y} \\ &= \frac{3582911.71}{400} \\ &= 8957.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba dipasang **7** lapis tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} \text{Maka } A_s \text{ ada} &= 7 \times 71.51 \\ &= 500.54 \text{ mm}^2 < A_{j,h} = 8957.28 \text{ mm}^2 \dots\dots\text{tdk aman} \end{aligned}$$

- Penulangan geser vertikal

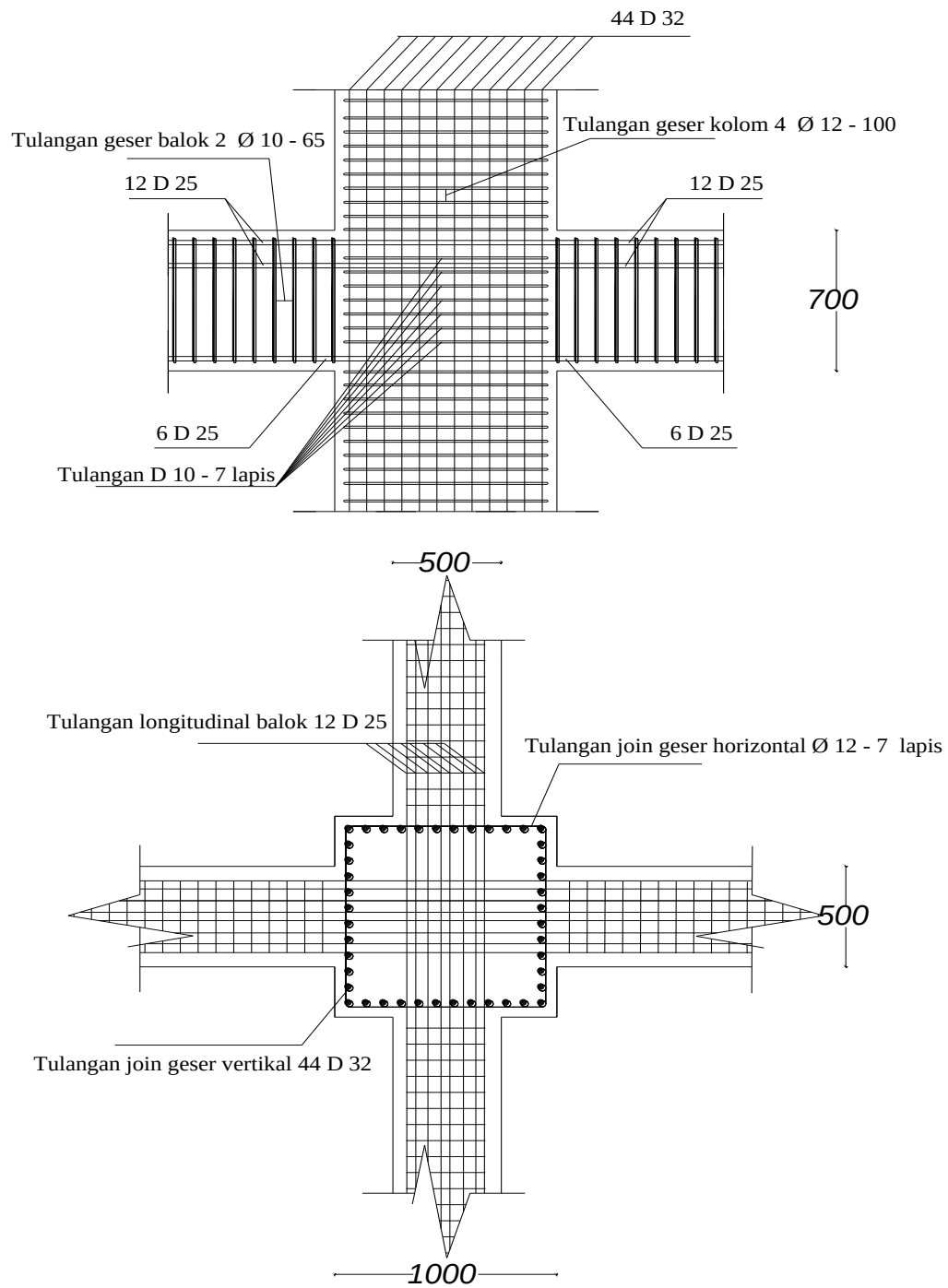
$$\begin{aligned}
 V_{j,v} &= \frac{hc}{bj} V_{j,h} \\
 &= \frac{1000}{1000} \times 3649578.38 \\
 &= 3649578.38 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c,v} &= \frac{As' \cdot V_{j,h}}{As} \times \left(0.6 + \frac{Nu, k}{Ag \cdot f'c} \right) \\
 &= \frac{2943.75 \times 3649578.38}{5887.50} \times \left(0.6 + \frac{3510000.00}{1000000 \times 35} \right) \\
 &= 1277873.80 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s,v} &= V_{j,v} - V_{c,v} \\
 &= 3649578.38 - 1277873.80 \\
 &= 2371704.577 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{j,v} &= \frac{V_{s,v}}{f_y} \\
 &= \frac{2371704.577}{400} \\
 &= 5929.261 \quad \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

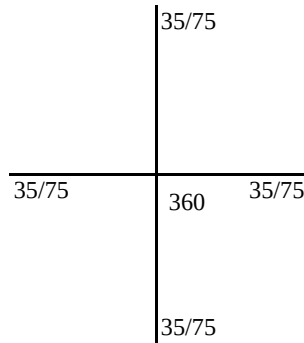
Tulangan kolom yang terpasang 44 D 32, dimana luas tulangan (A_s ada = 35369 mm^2) $> 5929.26 \text{ mm}^2$. Maka tidak diperlukan lagi tulangan geser vertikal karena sudah ditahan oleh tulangan kolom yang terpasang.



Gambar 4.54 Penulangan Hubungan Balok Kolom (Joint 360)

4.5 Perhitungan Pendetailan Tulangan

Perhitungan pendetailan joint 360



- Pendetailan Tulangan Tumpuan Tarik (atas)

- Untuk pemberhentian tulangan tumpu tarik ke dalam balok adalah sejauh

$$\frac{1}{4} \times L_n = \frac{1}{4} \times 6850 = 1713 \text{ mm dari muka kolom.}$$

Ditambah dengan penjangkaran yang diperlukan untuk penjangkaran sejauh :

$$12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{16} l_n = \frac{1}{16} \times 6850 = 428.13 \text{ mm}$$

$$d = 687.5 \text{ mm}$$

Dipakai perpanjangan 687.5 mm

$$\text{Total panjang yang diperlukan} = 1713 + 687.5 = 2400.0 \text{ mm}$$

Modifikasi yang digunakan :

› Batang tulangan baja paling atas dengan elevasi antara tulangan tersebut dengan lapisan beton terbawah tidak kurang dari 300 mm.

$$750 - 40 - 10 - (0,5 \times 25) = 689.0 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

› L_d yang dibutuhkan adalah :

$$L_{db} = \frac{0,02 \cdot A_s \cdot f_y}{\sqrt{f_c'}} = \frac{0,02 \times (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25) \times 390}{\sqrt{35}} = 664.050 \text{ mm}$$

$$L_{db} = 0.06 \times 25 \times 400 = 600.0 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } L_{db} = 664.050 \text{ mm}$$

Dipakai faktor 1.4

Maka $L_d = 664.050 \times 1.4$

$= 929.7 \text{ mm}$ ditambah perpanjangan 687.5 mm.

$L_d = 929.7 + 687.5$

$= 1617.17 \text{ mm} < 2400 \text{ mm}$

Jadi dipakai panjang penyaluran $L_d = 2400 \text{ mm} \approx 2400 \text{ mm}$

- Penjangkaran masuk ke dalam kolom

- Pendetailan tulangan tumpuan tekan balok (SNI 2847-2013 Pasal 12.3.2)

Untuk tulangan tumpuan tekan, panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom adalah :

$$L_{db} = \frac{db \cdot f_y}{4 \sqrt{f_c'}} = \frac{25 \times 400}{4 \times \sqrt{35}} = 422.58 \text{ mm}$$

Panjang L_{db} tidak boleh kurang dari :

$$L_{db} = 0.04 \times 25 \times 400 = 400.00 \text{ mm}$$

$$L_{db} = 200 \text{ mm}$$

Dipakai $L_{db} = 422.58 \text{ mm} \approx 430 \text{ mm}$

- Pendetailan tulangan tumpuan tarik balok (SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2)

$$L_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \times 25}{\sqrt{35}} = 422.577 \text{ mm}$$

Tidak kurang dari :

$$8 db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$L_{dh} = 422.58 \text{ mm} > 8 db = 200 \text{ mm}$$

Dipakai $L_{dh} = 422.58 \text{ mm} \approx 430 \text{ mm}$

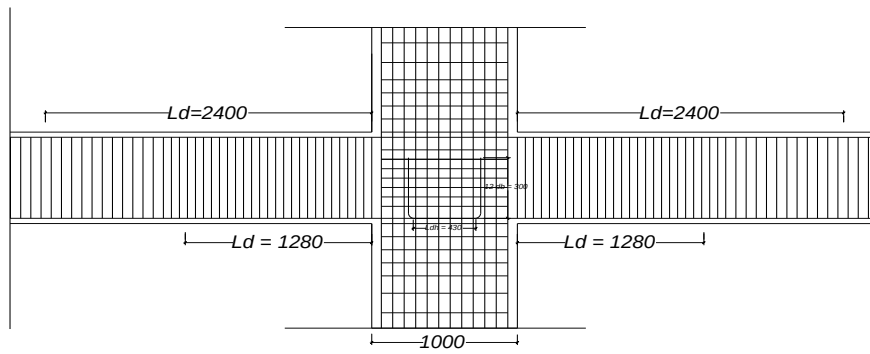
Dipilih pembengkokan 90° dengan panjang pembengkokan 12 db

$$= 12 \times 25 = 300 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

- Pemutusan tulangan tumpuan tekan

Untuk pemberhentian tulangan tumpuan tekan adalah sejauh

$$\frac{1}{5} l_n = \frac{1}{5} \times 6850 = 1370 \text{ mm dari muka kolom.}$$



Gambar 4.55 Pendetailan Tulangan Joint 360

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan struktur gedung PTIIK Universitas Brawijaya dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013 menggunakan program StaadPro, dan komponen struktur yang di desain pada balok dengan nomor batang 358 dan Kolom dengan nomor batang 283, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dengan nilai $R = 8$; $\Omega = 3$; dan $C_d = 5,5$.
2. Pada Balok B145 dengan dimensi 50/70 diperoleh :
 - Tulangan Tumpuan Kiri : Tarik – 12 D 25 , Tekan – 6 D 25
 - Tulangan Lapangan : Tekan – 3 D 25 , Tarik – 6 D 25
 - Tulangan Tumpuan Kanan : Tarik – 12 D 25 , Tekan – 6 D 25Tulangan Geser
 - Joint Kiri
 - Daerah Sendi Plastis : Ø 10 – 65 (3 kaki)
 - Daerah Luar Sendi Plastis : Ø 10 – 90 (3 kaki)
 - Joint Kanan
 - Daerah Sendi Plastis : Ø 10 – 65 (3 kaki)
 - Daerah Luar Sendi Plastis : Ø 10 – 90 (3 kaki)
- . Pada Kolom C15 dengan dimensi 100/100 dan jumlah tulangan 44 D 32, diperoleh tulangan geser :
 - Daerah Sendi Plastis : Ø 12 – 100 (4 kaki)
 - Daerah Sambungan Lewatan : Ø 12 – 90 (4 kaki)
 - Daerah Luar Sendi Plastis : Ø 12 – 150 (4 kaki)

- Pada perencanaan desain kapasitas, kolom telah memenuhi konsep ' *Strong Column Weak Beam*'. Pada joint 360 sebagai berikut :

$$6,855,720,615 \text{ Nmm} > 1,608,793,709 \text{ Nmm} \dots\dots\dots\text{OK}$$
- Pada hubungan balok - kolom dipasang pengekang horisontal 9 Ø 12 (kaki)
 dan untuk pengekang vertikal menggunakan tulangan longitudinal kolom.

5.2 Saran

Menyadari bahwa penulis masih jauh dari kata sempurna, kedepannya penulis akan lebih fokus dan details dalam menjelaskan tentang Skripsi di atas dengan sumber - sumber yang lebih banyak yang tentunya dapat di pertanggung jawabkan

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726-2012, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2013, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1987*, PPURG

Imran, Iswandi, dan Fajar Hendrik, 2010. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Penertbit ITB, Bandung.

Purwono, Rachmat, 2005. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*, Edisi Kedua, ITS, Surabaya.

Jack C Mc Cormac. *Desain beton Bertulang*

Edisi Kelima, Jilid 2. *design of Reinforcet Concrete fifth Edition*

LAMPIRAN