

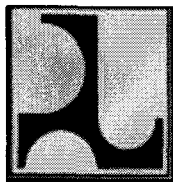


MANUAL

No. 009 / BM / 2008

Konstruksi dan Bangunan

PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK JEMBATAN



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA



PRAKATA

Salah satu aspek penting untuk menunjang keberhasilan pembinaan jalan adalah dengan tersedianya Norma, Standar, Pedoman dan Manual (NSPM), yang dapat diterapkan dilapangan dengan mudah.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, Direktorat Bina Teknik Direktorat Jenderal Bina Marga Departmen Pekerjaan Umum telah menyusun Manual Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Jembatan.

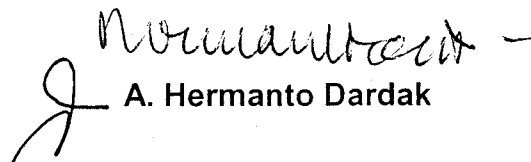
Manual ini disusun dengan memperhatikan masukan dari narasumber berkompeten dan yang ahli dibidang pekerjaan jalan dan jembatan.

Tatacara penulisan manual ini mengacu pada Pedoman Standar Nasional (PSN) No. 8 tahun 2007.

Apabila dalam pelaksanaannya ditemui kekurangan ataupun terdapat kekeliruan pada manual ini, akan dilakukan perbaikan dan penyempurnaan dikemudian hari.

Jakarta, Desember 2008

Direktur Jenderal Bina Marga


A. Hermanto Dardak

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Daftar gambar	v
Daftar tabel	vii
1. Pendahuluan	1-1
1.1. Ruang Lingkup	1-1
1.2. Pemahaman terhadap Struktur Jembatan	1-1
1.2.1. Umum	1-1
1.2.2. Tipikal Struktur Atas Jembatan	1-3
1.2.3. Tipikal Struktur Bawah Jembatan	1-10
2. Penjelasan Persyaratan Umum Perencanaan	2-1
2.1. Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton	2-1
2.1.1. Umur Rencana Jembatan	2-1
2.1.2. Satuan yang Digunakan	2-1
2.2. Prinsip Umum Perencanaan	2-1
2.2.1. Dasar Umum Perencanaan	2-1
2.2.2. Asumsi dan Anggapan Perencanaan	2-2
2.2.3. Perencanaan Berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)	2-2
2.2.4. Perencanaan Berdasarkan Batas Layan (PBL)	2-2
2.2.5. Metode Analisis	2-3
2.3. Sifat dan Karakteristik Material Beton	2-3
2.3.1. Kekuatan Nominal Beton	2-3
2.3.2. Tegangan Ijin	2-4
2.3.3. Lengkung Tegangan-regangan	2-4
2.3.4. Modulus Elastisitas	2-6
2.3.5. Angka Poisson	2-7
2.3.6. Koefisien Muai Panas	2-7
2.3.7. Susut Beton	2-7
2.3.8. Rangkak pada Beton	2-10
2.4. Sifat dan Karakteristik Material Baja Tulangan Non-Prategang	2-13
2.4.1. Kekuatan Nominal	2-13
2.4.2. Tegangan Ijin	2-13
2.5. Sifat dan Karakteristik Material Baja Tulangan Prategang	2-15
2.5.1. Kekuatan Nominal	2-15
2.5.2. Tegangan Ijin	2-15
2.5.3. Modulus Elastisitas	2-16
2.5.4. Lengkung Tegangan-regangan	2-16
2.6. Beban Rencana	2-16
2.7. Persyaratan Kekuatran Beton	2-16
2.8. Persyaratan Selimut Beton	2-17
3. Metodologi Perencanaan	3-1
3.1. Pendahuluan	3-1
3.2. Pokok-pokok Perencanaan	3-1
3.3. Tahapan Perencanaan	3-1
4. Perencanaan Kekuatan Lentur Balok	4-1
4.1. Umum	4-1
4.1.1. Kondisi Batas Perencanaan Berdasarkan PBKT	4-1
4.1.2. Asumsi Perencanaan	4-1
4.1.3. Tipikal Keruntuhan Balok	4-2

4.1.4.	Penentuan Rasio Tulangan Keruntuhan Balok Berimbang	4-3
4.2.	Analisis Batas Balok Persegi Tulangan Tunggal	4-4
4.2.1.	Penyederhanaan Formulasi untuk Tabulasi	4-5
4.2.2.	Langkah-langkah Mendesain Balok dengan Tabel Manual	4-8
4.2.3.	Formulasi untuk Desain secara Manual	4-8
4.2.4.	Kekuatan Minimum	4-10
4.2.5.	Syarat Tulangan Minimum	4-10
4.2.6.	Syarat Tulangan Maksimum	4-11
4.2.7.	Jarak Tulangan	4-11
4.3.	Perencanaan Kekuatan Balok Tulangan Ganda	4-21
4.3.1.	Analisis Balok Tulangan Ganda	4-23
4.3.2.	Analisis Balok Tulangan Ganda dengan Tulangan Tekan Leleh	4-24
4.3.3.	Analisis Balok Tulangan Ganda dengan Tulangan Tekan Leleh Menggunakan Tabel Manual	4-28
4.4.	Perencanaan Kekuatan Balok terhadap Geser	4-31
4.4.1.	Kekuatan Geser Rencana pada Balok	4-31
4.4.2.	Kuat Geser yang Disumbangkan oleh Beton	4-31
4.4.3.	Syarat-syarat Tulangan Geser	4-32
4.4.4.	Kuat Geser yang Disumbangkan oleh Tegangan Geser	4-33
4.4.5.	Tulangan Geser Minimum	4-33
4.5.	Perencanaan Balok T	4-36
4.5.1.	Balok T dan Balok T-Semu	4-36
4.5.2.	Analisis Balok T Tulangan Tunggal	4-38
4.5.3.	Analisis Balok T Tulangan Ganda.....	4-50
4.5.4.	Analisis Balok Kotak Hollow.....	4-57
5.	Perencanaan Kekuatan Kolom.....	5-1
5.1.	Umum	5-1
5.1.1.	Faktor Reduksi Kekuatan.....	5-1
5.1.2.	Prinsip Perencanaan.....	5-1
5.2.	Perencanaan Kolom Pendek.....	5-2
5.2.1.	Diagram Interaksi Kolom.....	5-2
5.2.2.	Perencanaan Menggunakan Diagram Interaksi.....	5-4
5.3.	Perencanaan Kolom Lamgsing.....	5-5
5.3.1.	Pembesaran Momen untuk Kolom tak Bergoyang.....	5-5
5.3.2.	Pembesaran Momen untuk Kolom Bergoyang.....	5-6
5.3.3.	Beban Tekuk.....	5-8
5.3.4.	Syarat Kelangsingan.....	5-8
5.4.	Kekuatan Kolom dalam Kombinasi Lentur Biaksial dan Tekan.....	5-14
5.4.1.	Asumsi Perencanaan.....	5-14
5.4.2.	Perencanaan Berdasarkan pada Masing-masing Momen Lentur secara Terpisah.....	5-14
5.4.3.	Perencanaan Lentur Biaksial dan Tekan.....	5-15
5.4.4.	Persyaratan Tulangan untuk Kolom.....	5-15
6.	Perencanaan Kombinasi Geser dan Puntir.....	6-1
6.1.	Penggunaan dan Metode Perencanaan.....	6-1
6.1.1.	Penggunaan.....	6-1
6.1.2.	Metode Perencanaan.....	6-1
6.2.	Kekuatan puntir Balok.....	6-1
6.2.1.	Syarat Tulangan Puntir.....	6-2
6.2.2.	Torsi Keseimbangan dan Torsi Kompatibilitas.....	6-3
6.2.3.	Tulangan Puntir Minimum.....	6-4
6.2.4.	Definisi A_{cp} dan P_{cp}	6-5
6.2.5.	Detail Tulangan Puntir.....	6-6
6.2.6.	Bagan Alir Perencanaan Puntir dan Geser.....	6-7

7.	Perencanaan Kekuatan Pelat.....	7-1
7.1.	Perencanaan pelat Lantai Kendaraan terhadap Lentur.....	7-1
7.1.1.	Tebal Minimum Pelat Lantai.....	7-1
7.1.2.	Tulangan Minimum.....	7-2
7.1.3.	Penyebaran Tulangan untuk Pelat Lantai.....	7-2
7.1.4.	Pengaku Bagian Tepi.....	7-3
7.2.	Perencanaan Pelat Lantai terhadap Geser.....	7-3
7.2.1.	Umum	7-3
7.2.2.	Kekuatan Geser Nominal pada Pelat Lantai.....	4-5
7.2.3.	Luas Minimum dari Sengkang Tertutup.....	7-6
7.2.4.	Detail Tulangan Geser.....	7-6
8.	Perencanaan Dinding.....	8-1
8.1.	Penerapan	8-1
8.2.	Prosedur Perencanaan.....	8-1
8.2.1.	Umum	8-1
8.2.2.	Dinding hanya Dibebani Gaya Vertikal Sebidang.....	8-1
8.2.3.	Dinding Dibebani Gaya Vertikal dan Horisontal Sebidang.....	8-1
8.2.4.	Dinding Dibebani Gaya Horisontal Tegak Lurus Dinding	8-1
8.2.5.	Dinding Dibebani Gaya Vertikal Sebidang dan Gaya Horisontal Tegak Lurus Dinding.....	8-2
8.2.6.	Dinding merupakan Bagian dari Struktur Portal.....	8-2
8.3.	Pengaku / Pengikat Dinding.....	8-2
8.4.	Metode Perencanaan Disederhanakan untuk Dinding Terikat yang Menerima hanya Gaya Vertikal.....	8-3
8.4.1.	Eksentrisitas Beban Vertikal.....	8-3
8.4.2.	Perbandingan Tinggi Efektif Maksimum dengan Ketebalan.....	8-3
8.4.3.	Tinggi Efektif.....	8-3
8.4.4.	Kekuatan Aksial Rencana dari Dinding.....	8-4
8.5.	Perencanaan Dinding untuk Gaya Horisontal Sebidang.....	8-4
8.5.1.	Lentur Minimum.....	8-4
8.5.2.	Penampang Kritis Geser.....	8-5
8.5.3.	Kekuatan Geser.....	8-5
8.5.4.	Kekuatan Geser tanpa Tulangan Geser.....	8-5
8.5.5.	Sumbangan Kekuatan Geser Dinding oleh Tulangan Geser.....	8-6
8.6.	Persyaratan Tulangan Dinding.....	8-6
8.6.1.	Tulangan Minimum.....	8-6
8.6.2.	Tulangan Horisontal untuk Pengendalian Retak.....	8-7
8.6.3.	Jarak Spasi Tulangan.....	8-7
8.6.4.	Pengekangan Tulangan Vertikal.....	8-7
9.	Perencanaan Korbil.....	9-1
9.1.	Penerapan.....	9-1
9.2.	Faktor-faktor yang Perlu Dipertimbangkan dalam Perencanaan.....	9-1
9.2.1.	Tinggi Muka Sisi Luar.....	9-1
9.2.2.	Aksi pada Korbil.....	9-1
9.3.	Prosedur Perencanaan.....	9-2
9.3.1.	Umum.....	9-2
9.3.2.	Penampang Kritis.....	9-2
9.3.3.	Kebutuhan Tulangan Total.....	9-2
9.4.	Persyaratan Tulangan.....	9-3
9.4.1.	Tulangan Minimum.....	9-3
9.4.2.	Sengkang Tertutup.....	9-3
9.4.3.	Pengukuran Tulangan Tarik Utama.....	9-3

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Komponen Prinsip Struktur Atas	1-2
Gambar 1.1	Jembatan Box Girder Segmental, Lauderdale Airport Interchange	1-8
Gambar 1.2	Jembatan Box Girder, Dusseldorf, 1953	1-8
Gambar 1.3	Jembatan Solid-Slab, Dusseldorf, 1961	1-9
Gambar 1.4	Jembatan Pelengkung (Arc Bridge), Castlewood Canyon, 1948	1-9
Gambar 1.5	Jembatan Tipe I-Girder Segmental, Cikubang-Jawa Barat, 2005	1-10
Gambar 1.6	Pembagian Analisis dan Perencanaan Elemen Struktur Beton Bertulang	1-18
Gambar 2.1	Kurva $f-\epsilon$ Tekan Beton	2-5
Gambar 2.2	Kurva Stress-Strain Beton	2-6
Gambar 2.3	Grafik Faktor Susut	2-9
Gambar 2.4	Grafik Faktor Rangkak	2-12
Gambar 2.5	Contoh Tipikal Kurva Stress-Strain Baja Tulangan (Kurva Tekan = Kurva Tarik)	2-13
Gambar 3.1	Tahapan Perencanaan	3-2
Gambar 4.1	Regangan dan Tegangan Pada Penampang Beton Bertulang Tulangan Tunggal	4-2
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Jenis Keruntuhan Balok	4-3
Gambar 4.3	Penampang, Regangan Dan Gaya dalam Balok Kondisi Berimbang	4-3
Gambar 4.4	Penampang, Regangan Dan Gaya dalam Balok Kondisi Keruntuhan Tarik	4-4
Gambar 4.5	Diagram Alir Analisis Balok Tulangan Tunggal	4-7
Gambar 4.6	Diagram Alir Desain Balok Tulangan Tunggal (Manual)	4-9
Gambar 4.7	Spasi dan Selimut Tulangan	4-11
Gambar 4.7	Perbandingan Penampang tanpa Tulangan Tekan (a) dan dengan Tulangan Tekan (b)	4-21
Gambar 4.8	Efektifitas Tulangan Tekan dalam Mengurangi Defleksi Akibat Beban Tetap (Sustained), James G. MacGregor	4-22
Gambar 4.7	Penampang, Regangan Dan Gaya dalam Beton dengan Tulangan Tekan	4-23
Gambar 4.8	Balok T dalam Sistem Pelat Satu Arah	4-36
Gambar 4.9	Balok T dalam Momen Positif dan Negatif	4-37
Gambar 4.10	Lebar Efektif Balok dengan Sayap	4-38
Gambar 4.11	Analisis Balok T Tulangan Tunggal	4-39
Gambar 4.12	Analisis Balok T Tulangan Tunggal Kondisi Tarik	4-40
Gambar 4.13	Penampang, Regangan dan Gaya dalam Balok T Kondisi Tekan	4-41
Gambar 4.14	Diagram Alir Analisis Balok T Tulangan Tunggal	4-43
Gambar 4.15	Analisis Balok T Tulangan Ganda	4-50
Gambar 4.16	Diagram Alir Analisis Balok T Tulangan Ganda	4-53
Gambar 4.17	Superposisi Gaya-gaya Kopel Balok Kotak Hollow	4-57
Gambar 5.1	Diagram Interaksi Kolom	5-3
Gambar 5.2	Perhitungan P_n dan M_n untuk Suatu Distribusi Regangan	5-3
Gambar 5.4	Portal Bergoyang (Sway Frame)	5-9
Gambar 5.5	Portal Bergoyang (Sway Frame)	5-10
Gambar 5.6	Faktor Panjang Efektif, k (AASHTO LRFD sec. 4.6.2.5)	5-10
Gambar 5.7	Nomograf untuk Faktor Panjang Efektif, k	5-11
Gambar 5.3	Garis Kerja Aksi dari Resultante Gaya Aksial	5-14
Gambar 5.4	Spasi antara Tulangan Longitudinal Kolom	5-16
Gambar 6.1	Torsi Keseimbangan	6-3
Gambar 6.2	Torsi Kompatibilitas	6-4

Gambar 6.3	Definisi A_{cp} dan A_{oh}	6-5
Gambar 7.1	Keliling Geser Kritis	7-4
Gambar 9.1	Balok Tinggi Kantilever	9-1

SALINAN

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Jenis Bangunan Atas – Beton (a)	1-4
Tabel 1.2	Jenis Bangunan Atas – Beton (b)	1-5
Tabel 1.3	Jenis Bangunan Atas – Beton Prategang (c)	1-6
Tabel 1.4	Jenis Bangunan Atas – Beton Prategang (d)	1-7
Tabel 1.5	Jenis Bangunan Bawah – Jenis Pilar	1-11
Tabel 1.6	Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Langsung (a)	1-12
Tabel 1.6	Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Langsung (b)	1-13
Tabel 1.7	Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Sumuran (a)	1-14
Tabel 1.7	Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Sumuran (b)	1-15
Tabel 1.8	Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Tiang (a)	1-16
Tabel 1.8	Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Tiang (b)	1-17
Tabel 2.1	Koefisien Standar Susut Beton sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang	2-10
Tabel 2.2	Koefisien Standar Rangkak Beton sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang	2-11
Tabel 2.5-2	Persyaratan Kekuatan Beton untuk Abrasi	2-16
Tabel 2.3	Selimit Beton Berdasarkan Diameter Tulangan Pada Beton Prategang ..	2-17
Tabel 3.1	Faktor Beban Keadaan Batas Ultimate	3-4
Tabel 3.2	Faktor Reduksi Kekuatan U.L.S Untuk Beton	3-5
Tabel 5.4-1	Ukuran Tulangan untuk Sengkang dan Spiral	5-17

Daftar Lampiran

Lampiran A Daftar Nama

SALINAN

1 PENDAHULUAN

1.1 RUANG LINGKUP

Perencanaan struktur beton ini digunakan untuk merencanakan

- jembatan jalan raya
- jembatan pejalan kaki

Dibangun dengan menggunakan

1. beton normal (berat isi $\pm 2400 \text{ kg/m}^3$, f_c antara 20 MPa s.d 60 MPa),
2. beton ringan (berat isi $\pm 2000 \text{ kg/m}^3$, f_c antara 20 MPa s.d 40 Mpa). *
3. beton bermutu tinggi ($f_c > 60 \text{ Mpa}$). *

*) berlaku juga untuk kategori dua beton terakhir dengan catatan perlu penyesuaian perilaku dan penelitian yang dapat diterima.

1.2 PEMAHAMAN TERHADAP STRUKTUR JEMBATAN

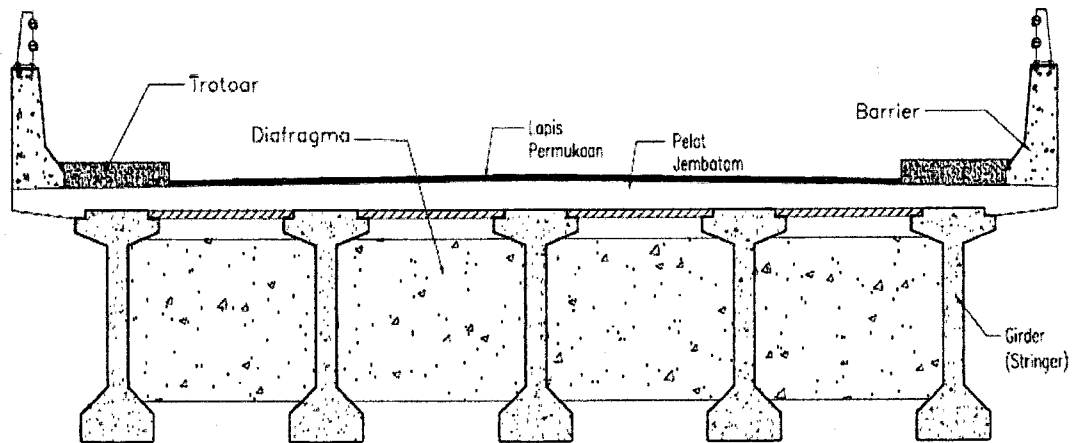
1.2.1 UMUM

Jembatan adalah suatu bangunan struktural yang digunakan untuk melewati orang atau kendaraan di atas dua daerah/kawasan atau ruang yang terpisah oleh sungai, lembah, jurang, jalan atau hambatan fisik lainnya.

Secara umum struktur jembatan terbagi atas dua bagian :

1. struktur atas jembatan (*superstructure*)
2. struktur bawah jembatan (*substructure*)
3. Fondasi

Adapun yang dimaksud dengan struktur atas jembatan adalah semua komponen yang berada di atas perletakan jembatan. Fungsi dari struktur atas adalah sebagai elemen horizontal yang menahan beban-beban di atas rantai kendaraan untuk ditransfer ke elemen struktur bawah atau ke perletakan.



Gambar 1.1 Komponen prinsip struktur atas

Struktur atas jembatan terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

1. Permukaan atas jembatan (wearing surface).

Porsi dari potongan penampang pelat lantai jembatan yang menahan lalu-lintas kendaraan secara langsung. Biasanya bagian ini terbagi menjadi beberapa lapisan yang terbuat dari bahan *bituminuous*.

2. Pelat lantai jembatan

Pelat lantai jembatan adalah komponen struktur jembatan yang menahan langsung lalu lintas kendaraan di atas jembatan. Fungsi utama struktur pelat lantai adalah mendistribusikan beban-beban sepanjang jembatan secara longitudinal atau mendistribusikan beban secara transversal.

3. Member Primer

Member primer fungsinya mendistribusikan beban secara longitudinal (searah lalu lintas) dan secara prinsip biasanya direncanakan untuk menahan lenturan. Member utama tipe balok seperti beton I-girder, T-girder, box-girder atau lainnya.

4. Member Sekunder

Member sekunder adalah pengaku diafragma atau ikatan antara member primer yang direncanakan untuk menahan deformasi struktur atas dalam potongan arah melintang dan membantu mendistribusikan sebagian beban vertikal di antara girder-girder.

Elemen struktur bawah biasanya dapat berupa kolom pier ,dinding ataupun berupa pangkal jembatan (abutment).

Adapun bagian fondasi jembatan biasanya dapat berupa fondasi dalam, atau fondasi dangkal.

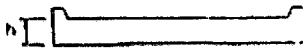

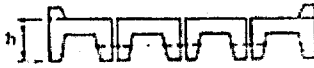


1.2.2 TIPIKAL STRUKTUR ATAS JEMBATAN

Secara umum struktur atas jembatan dapat dibedakan menjadi 4 bagian menurut material pembentuk elemen strukturnya :

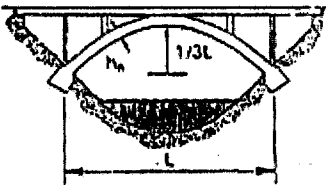
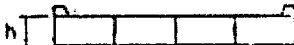

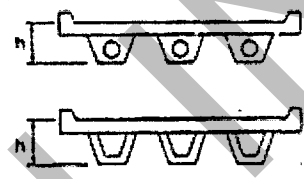
1. jembatan struktur beton
 2. jembatan struktur baja
 3. Jembatan struktur kayu
- } Tidak dibahas dalam manual ini

Jembatan struktur atas beton yang dimaksudkan di sini adalah jembatan yang dibuat dari material beton baik pada keseluruhan ataupun sebagian elemen struktur pembentuknya. Elemen struktur horizontal pada jembatan struktur beton biasanya dapat berupa gelagar beton I-Girder, T-Girder, box girder, concrete slab (pelat beton), voided slab (pelat berongga). Pada jembatan Struktur beton I-Girder atau T-Girder, balok gelagar jembatan dibuat terpisah pada saat pembuatannya, kemudian setelah ereksen disatukan dengan pelat kendaraan secara integral agar terjadi komposit. Adapun box girder, pelat kendaraan disatukan dengan elemen gelagarnya secara integral dari semula pembuatannya.


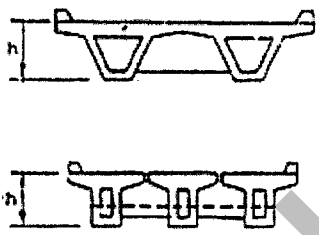
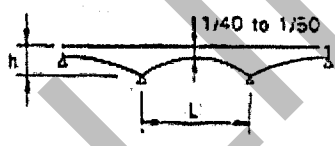
Tabel 1-1. Jenis bangunan Atas – Beton (a)

Jenis Bangunan Atas	Bentuk bentang utama	Variasi Bentang	Perbandingan h/L tipikal tinggi/bentang	Pemampilan
Jembatan beton bertulang : (a) Pelat beton bertulang		5 - 10 m	1/12.5	fungsional
(b) Pelat berongga		10 - 18 m	1/18	fungsional
(c) Kanal pracetak		5 - 13 m	1/15	kurang
(d) Gelagar beton 'T'		6 - 25 m	1/12 - 1/15	fungsional
(e) Gelagar beton boks		12 - 30 m	1/12 - 1/15	fungsional





Tabel 1-2. Jenis bangunan Atas – Beton (b)

Jenis Bangunan Atas	Bentuk bentang utama	Variasi Bentang	Perbandingan h/f, tipikal (tinggi/bentang)	Penampitan
Jembatan beton bertulang : (f) Langkung beton (Bentuk parabola)		30 - 70 m	1/30 rata2	estetika
Jembatan beton pratekan : (a) Segmen pelat		6 - 12 m	1/20	fungsional
(b) Segmen pelat berongga		6 - 16 m	1/20	fungsional
(c) Segmen berongga komposit dengan lantai beton • rongga tunggal • boks berongga		8 - 14 m 16 - 20 m	1/18	fungsional

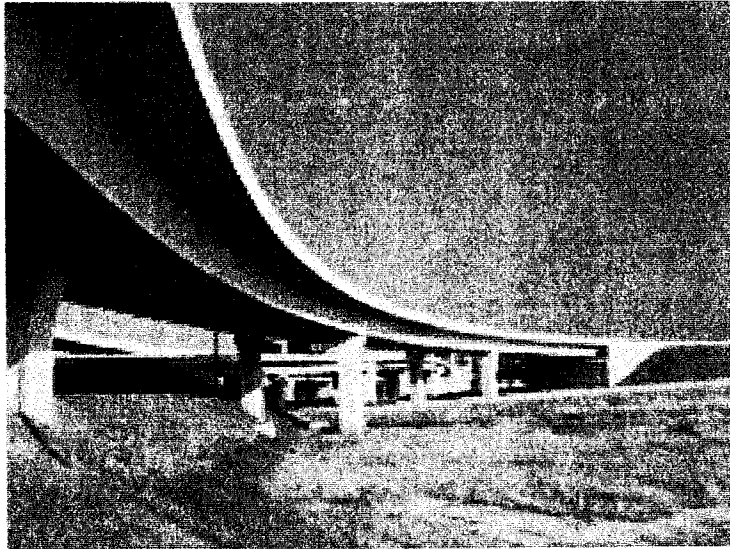
Tabel 1-3. Jenis bangunan Atas – Beton Prategang (c)

Jenis Bangunan Atas	Bentuk bentang utama	Variasi Bentang	Perbandingan h/L tipikal tinggi/bentang	Penampitan
Jembatan beton prategang : (h) Gelagar boks pasca penegangan dengan lantai komposit.		18 - 40 m	1/15 - 1/16.5	baik
(i) Gelagar boks monolitik dalam bentang sederhana.		20 - 50 m	1/17.5 1/20	baik
(j) Gelagar boks menerus, pelaksanaan kantilever.		6 - 150 m	1/18 - 1/20	estetik

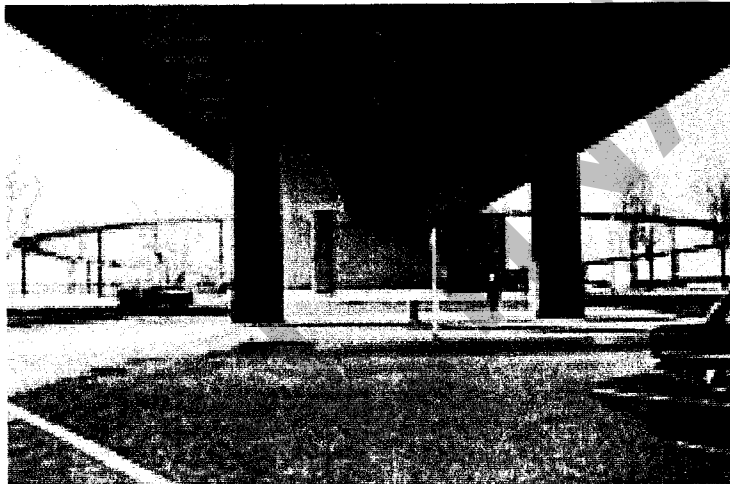
Tabel 1-4. Jenis bangunan Atas – Beton Prategang (d)

Jenis Bangunan Atas	Bentuk bentang utama	Variasi Bentang	Perbandingan h/L tipikal tinggi/bentang	Penampitan
Jembatan beton pratekan : (d) Gelagar I dengan lantai komposit dalam bentang sederhana : • pra penegangan • pasca penegangan • pra + pasca penegangan		12 - 35 m 18 - 35 m 18 - 25 m	1/15 - 1/16.5	funksional
(e) Gelagar I dengan lantai beton komposit dalam bentang menerus.		20 - 40 m	1/17.5	funksional
(f) Gelagar I pra-penegangan dengan lantai komposit dalam bentang tunggal.		16 - 25 m	1/15 - 1/16.5	funksional
(g) Gelagar 'T'-pasca penegangan.		20 - 45 m	1/16.5 - 1/17.5	funksional

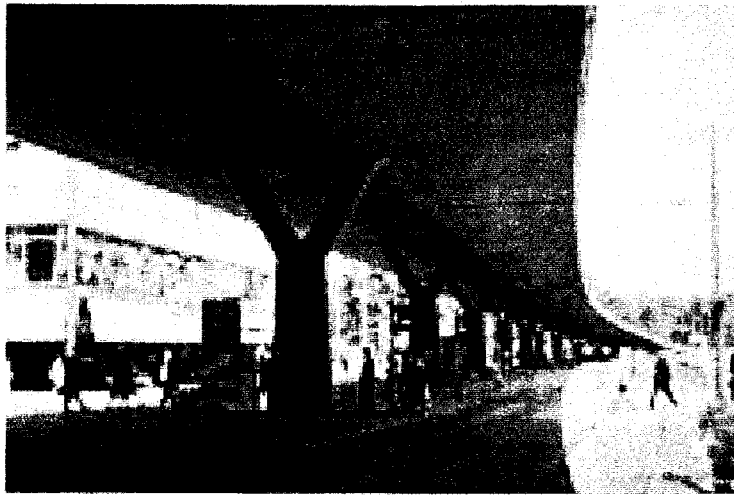
Adapun pembahasan mendetail dalam laporan ini akan dititik beratkan pada elemen-elemen struktur atas yang terbuat dari beton bertulang saja.



Gambar 1.1 Jembatan box girder segmental, Lauderdale Airport Interchange.



Gambar 1.2 Jembatan box girder, Düsseldorf, 1953



Gambar 1.3 Jembatan Solid-slab, Düsseldorf, 1961

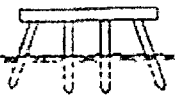

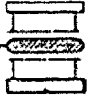
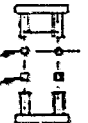




Gambar 1.4 Jembatan Pelengkung (Arc Bridge), Castlewood Canyon, 1948



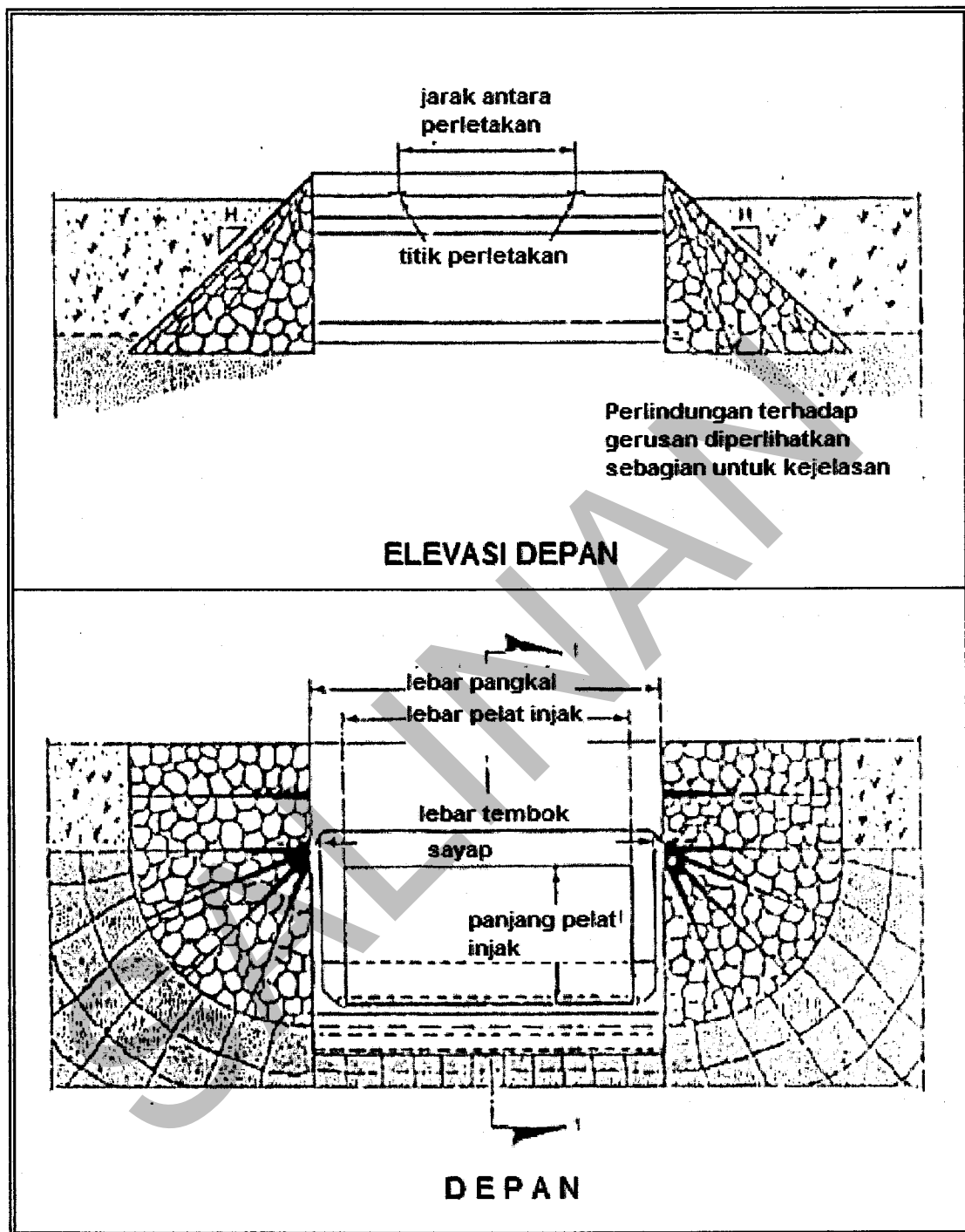
SALINAN

Tabel 1-5. Jenis bangunan Bawah – Jenis Pilar

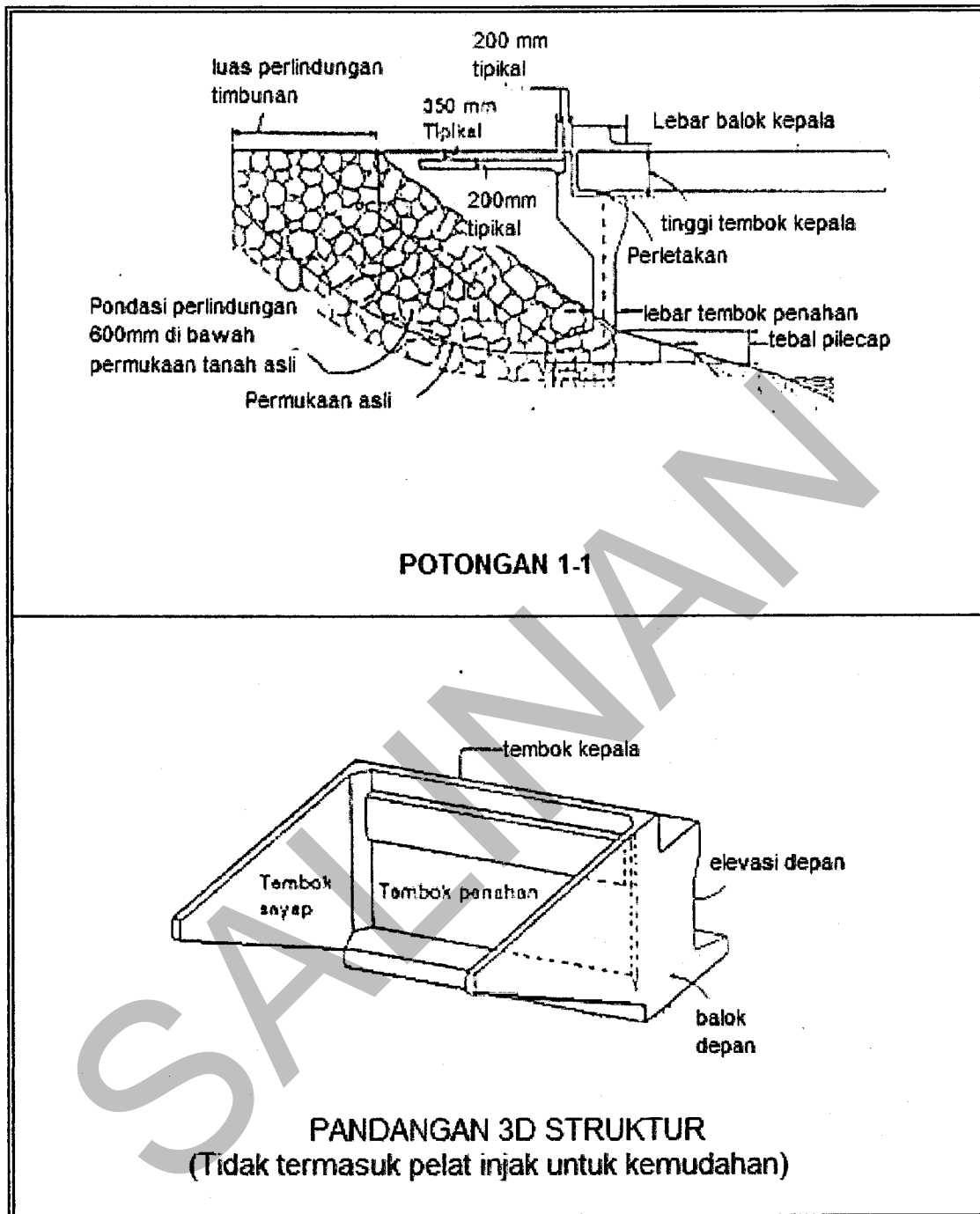
JENIS PILAR		TINGGI TIPIKAL (m)			
		0	10	20	30
PILAR BALOK CAP TIANG SEDERHANA Dua baris tiang adalah minimum					
PILAR KOLOM TUNGGA dianjurkan kolom sirkular pada aliran arus		5	15		
PILAR TEMBOK Ujung bundar dan alinyemen tembok sesuai arah aliran membantu kelancaran arus dan mengurangi gerusan		5		25	
PILAR PORTAL SATU TINGKAT (KOLOM GANDA ATAU MAJEMUK) dianjurkan kolom sirkular pada aliran arus spasi kolom 2D membantu kelancaran arus		5	15		
PILAR PORTAL DUA TINGKAT			15	25	
PILAR TEMBOK PENAMPANG I penampang ini tidak baik dlm menahan aliran arus sebaiknya digunakan di darat				25	

Sedikit berbeda dengan pilar, pangkal jembatan selain memikul gaya-gaya vertikal maupun horizontal dari superstructure, pangkal juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Oleh karena fungsinya sebagai penahan tanah maka elemen struktur ini biasanya tertimbun di dalam tanah.

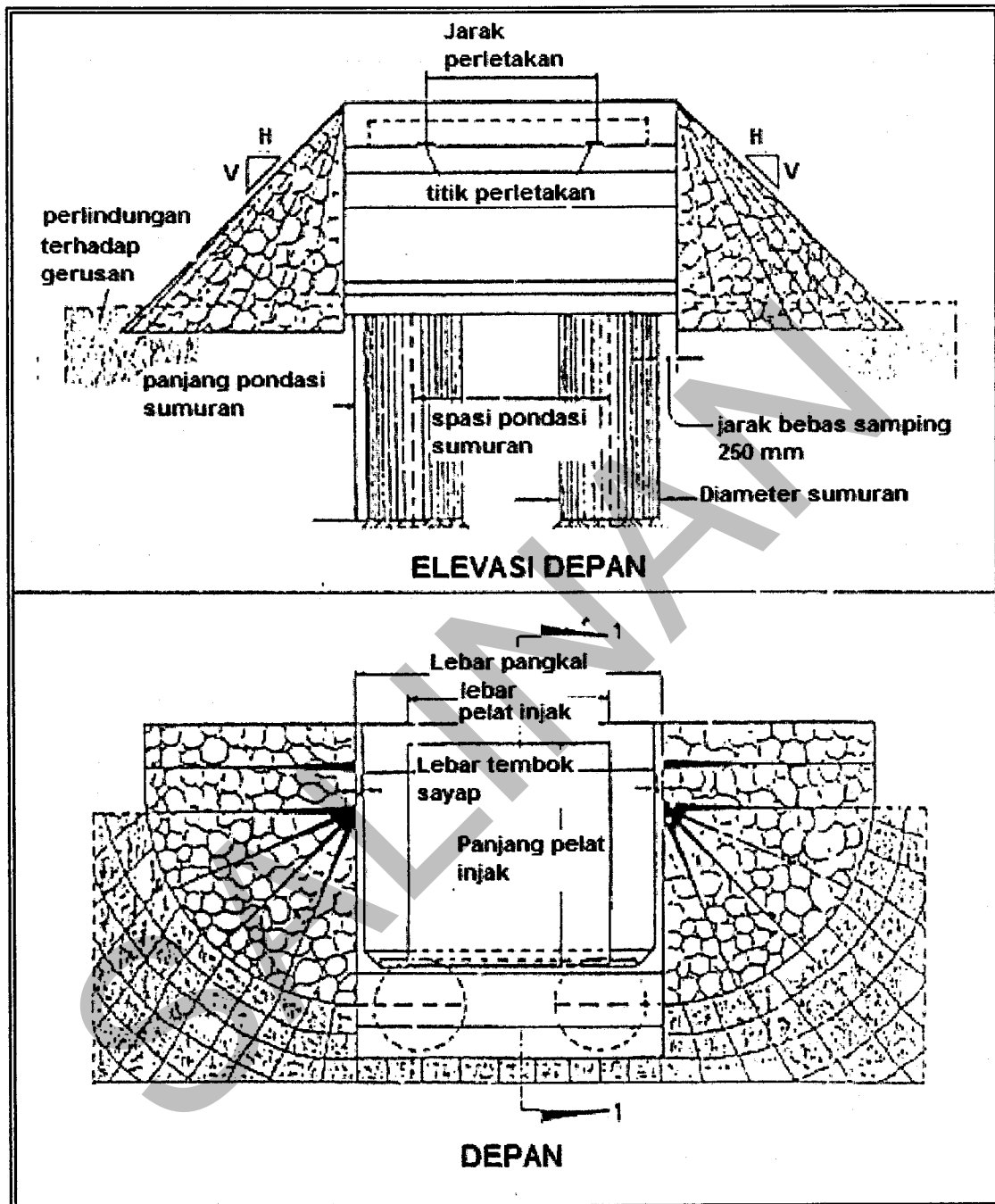
Tabel 1-6. Jenis bangunan Bawah –Pangkal Fondasi Langsung (a)



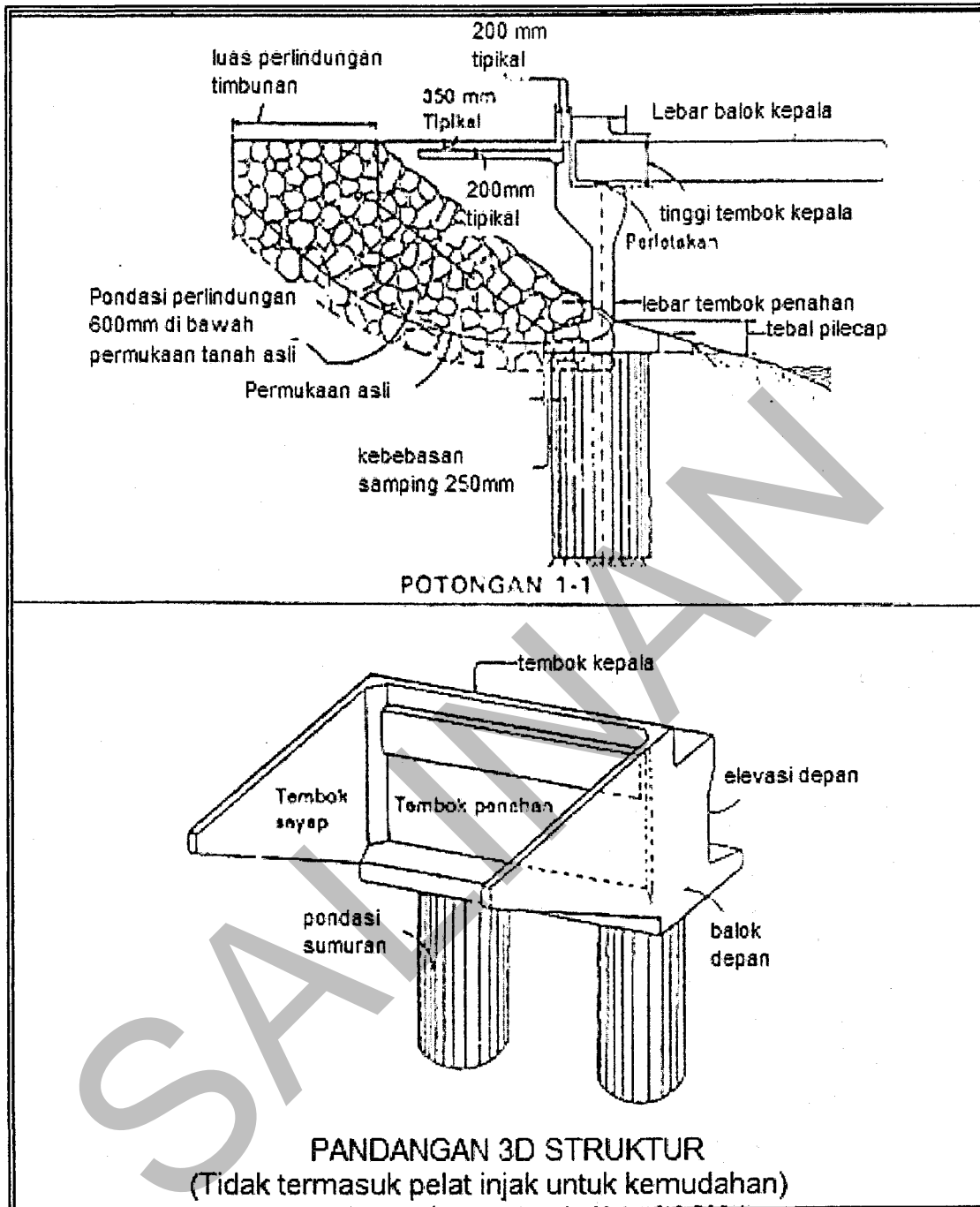
Tabel 1-6. Jenis bangunan Bawah –Pangkal Fondasi Langsung (b)



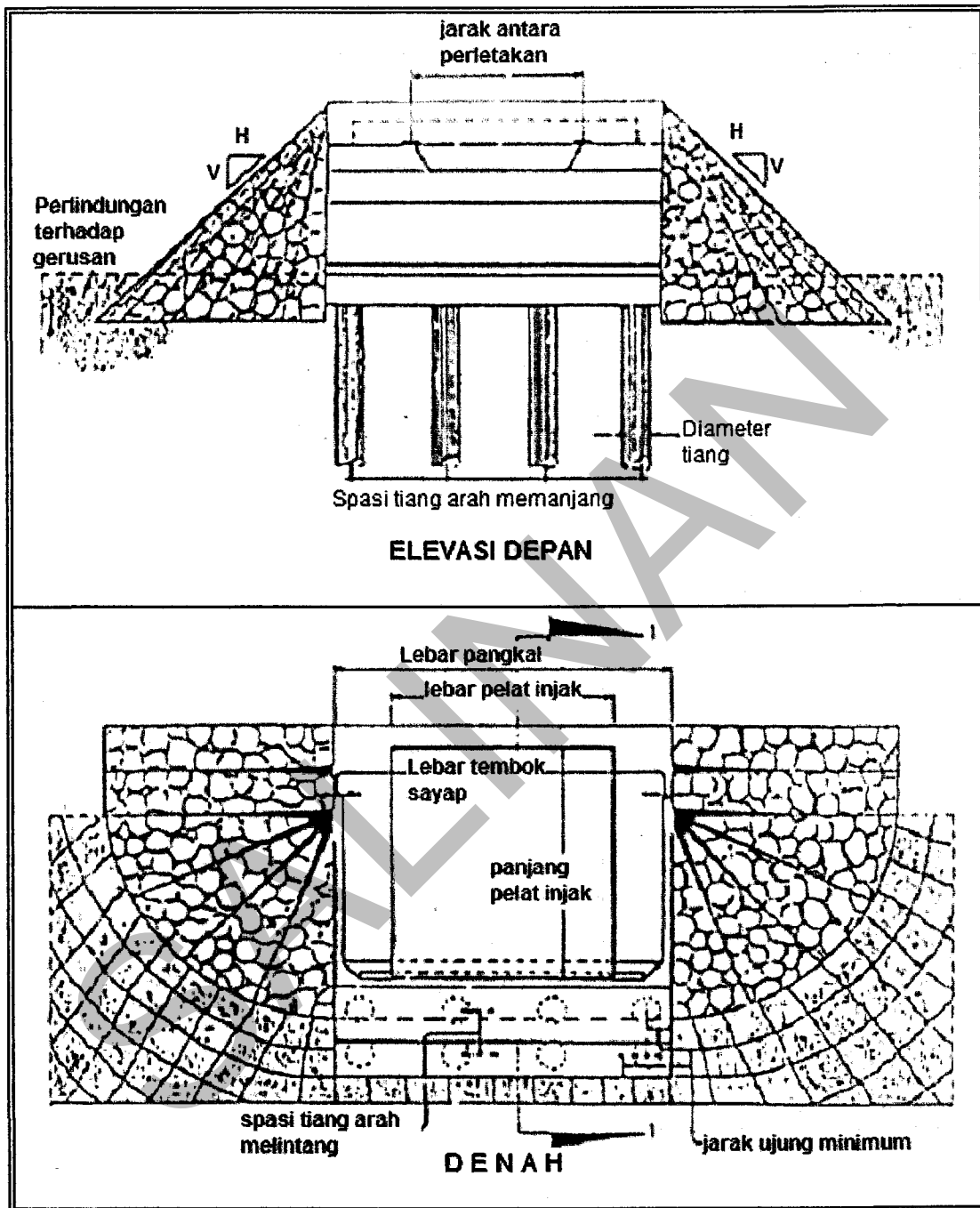
Tabel 1-7. Jenis bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Sumuran (a)



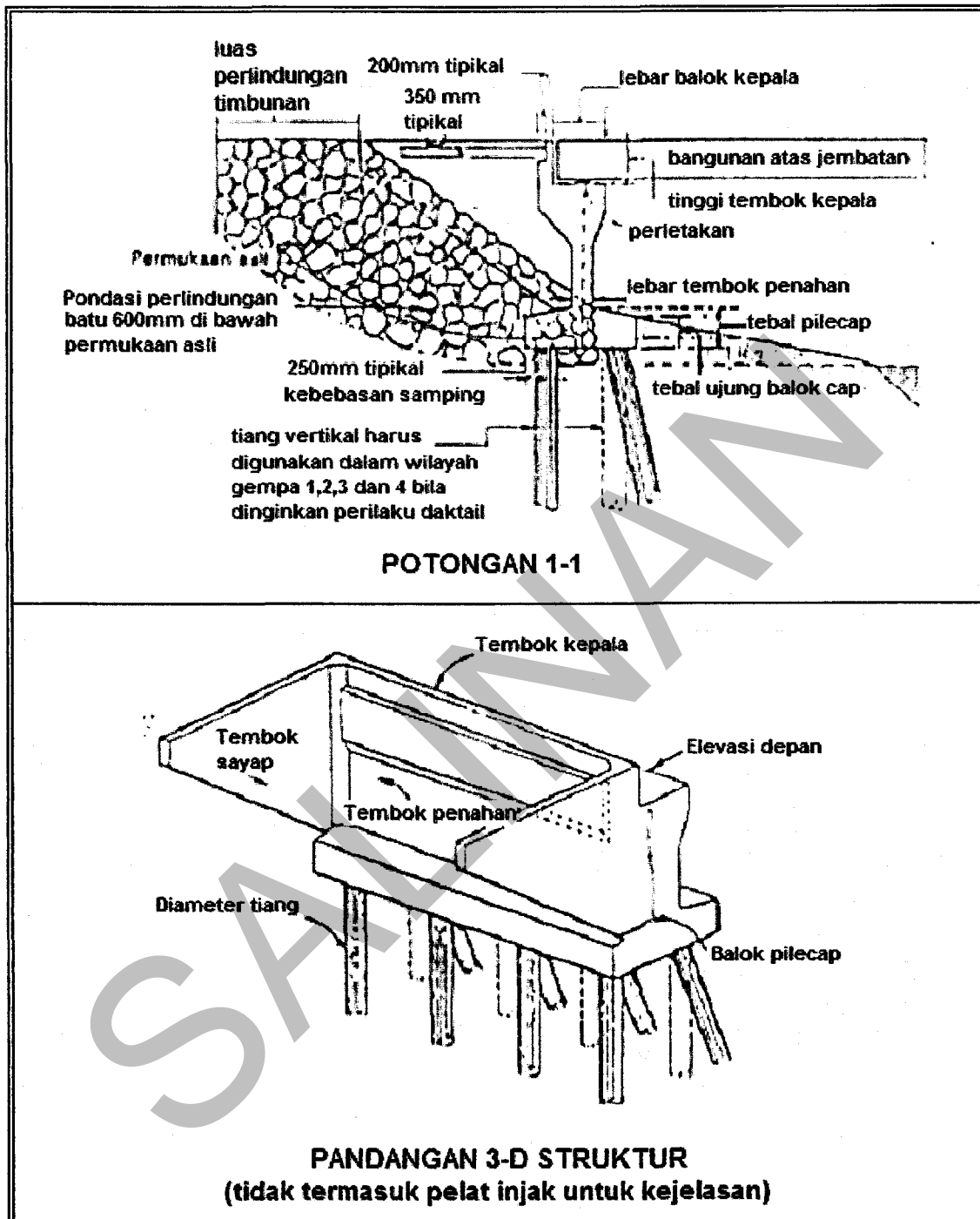
Tabel 1-7. Jenis bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Sumuran (b)

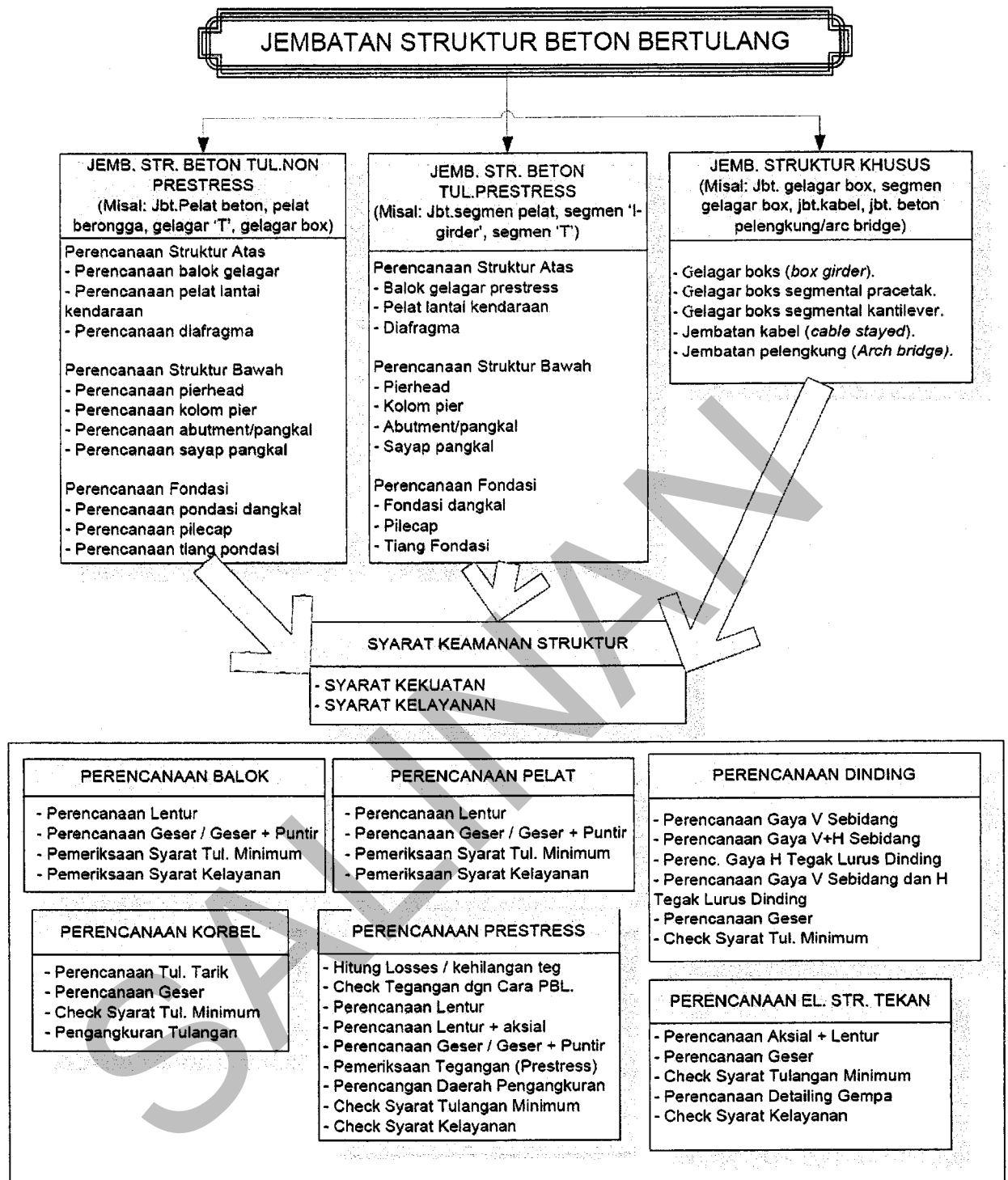


Tabel 1-8. Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Tiang (a)



Tabel 1-8. Jenis Bangunan Bawah – Pangkal Fondasi Tiang (b)





Gambar 1.6 Pembagian Analisis dan Perencanaan
Elemen Struktur Beton Bertulang

2 PENJELASAN PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN

2.1 SYARAT UMUM PERENCANAAN STRUKTUR BETON

2.1.1 UMUR RENCANA JEMBATAN

Persyaratan umur rencana jembatan:

- Jembatan umum minimum 50 tahun.
- Jembatan penting/khusus dan/atau berbentang panjang 100 tahun.

2.1.2 SATUAN YANG DIGUNAKAN

Berdasarkan SNI, menggunakan sistem Satuan Internasional
(m / mm, N/kN, MPa, °C)

2.2 PRINSIP UMUM PERENCANAAN

2.2.1 DASAR UMUM PERENCANAAN

Perencanaan elemen Struktur dapat dibagi menjadi 2 bagian :

1. Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)
 - Perencanaan elemen lentur seperti balok, pelat
 - Perencanaan elemen lentur dan aksial seperti kolom/pier
 - Perencanaan geser dan puntir
2. Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL)
 - Perencanaan balok prategang
 - Perencanaan deformasi dan kelayakan struktur

Disamping itu, faktor integriti komponen-komponen struktur:

- Kontinuitas dan redundansi.
- Ketahanan terhadap kerusakan dan instabilitas.

- Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau berlebih.

2.2.2 ASUMSI DAN ANGGAHAN PERENCANAAN

Untuk prosedur dan asumsi dalam perencanaan jembatan serta besarnya beban rencana harus mengikuti ketentuan berikut:

- Struktur menahan semua beban yang mungkin bekerja padanya.
- Beban ditentukan berdasarkan Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya.
- Menahan beban angin dan gempa pada arah lateral.

2.2.3 PERENCANAAN BERDASARKAN BEBAN DAN KEKUATAN TERFAKTOR (PBKT)

PBKT ditunjukkan dalam notasi berikut :

$$\Phi R_n \geq \text{dampak dari } \sum Y_i Q_i \quad (2.2-1)$$

Sisi kiri mewakili kekuatan rencana, dimana:

R_n = kekuatan nominal

Φ = faktor reduksi kekuatan

Sisi kanan mewakili kombinasi penjumlahan beban-beban terfaktor, dimana:

Q_i = Beban (Load cases),

Y_i = faktor pengali beban.

2.2.4 PERENCANAAN BERDASARKAN BATAS LAYAN (PBL)

Secara umumnya PBL adalah tegangan yang bekerja dibatasi oleh suatu nilai tegangan ijin dari material struktur.

$$\text{Tegangan Kerja} \leq \text{Tegangan ijin} = \frac{\text{tegangan}_{\text{ultimate}}}{SF}$$

Dengan demikian perencanaan secara PBL dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas layan, yang terdiri antara lain dari:

- Tegangan kerja.
- Deformasi permanen.
- Vibrasi.
- Korosi, retak dan fatik.
- Bahaya banjir di sekitar jembatan.

2.2.5 METODE ANALISIS

Metoda perhitungan struktur beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Menggunakan cara mekanika teknik yang baku.
- Dijelaskan prinsip dan alur kerjanya bila menggunakan program komputer.
- Percobaan model komponen atau keseluruhan
- Menggunakan model matematik asal dapat diaplikasikan.

2.3 SIFAT DAN KARAKTERISTIK MATERIAL BETON

2.3.1 KEKUATAN NOMINAL BETON

Kuat tekan

Kuat tekan beton untuk jembatan beton non prategang pada umur 28 hari, f_c' harus ≥ 20 MPa dan sedangkan untuk beton prategang 30 MPa..

Kuat tarik

Kuat tarik langsung dari beton, f_{ct} bisa diambil dari ketentuan:

- $0.33 \sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar atau
- Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Kuat tarik lentur

Kuat tarik lentur beton, f_{cf} bisa diambil sebesar:

- $0,6 \sqrt{f_c}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau.
- Dihitung secara probabilitas statistic dari hasil pengujian.

2.3.2 TEGANGAN IJIN

Tegangan ijin tekan pada kondisi layan

Tegangan tekan ijin, $\sigma_{tk} = 0,45 \overline{f_c}$ ' (untuk semua kombinasi beban).

Tegangan ijin tekan pada kondisi beban sementara atau kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang.

Tegangan tekan ijin penampang beton, $\sigma_{tk} = 0,60 \overline{f_{ci}}$ '

Dimana:

f_{ci} ' adalah kuat tekan beton initial pada saat transfer gaya prategang.

Tegangan ijin tarik pada kondisi batas layan

Tegangan tarik ijin penampang beton,:

- Beton tanpa tulangan : $0,15 \sqrt{f_c}$ '
- Beton prategang penuh : $0,5 \sqrt{f_c}$ '

Tegangan ijin tarik pada kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang.

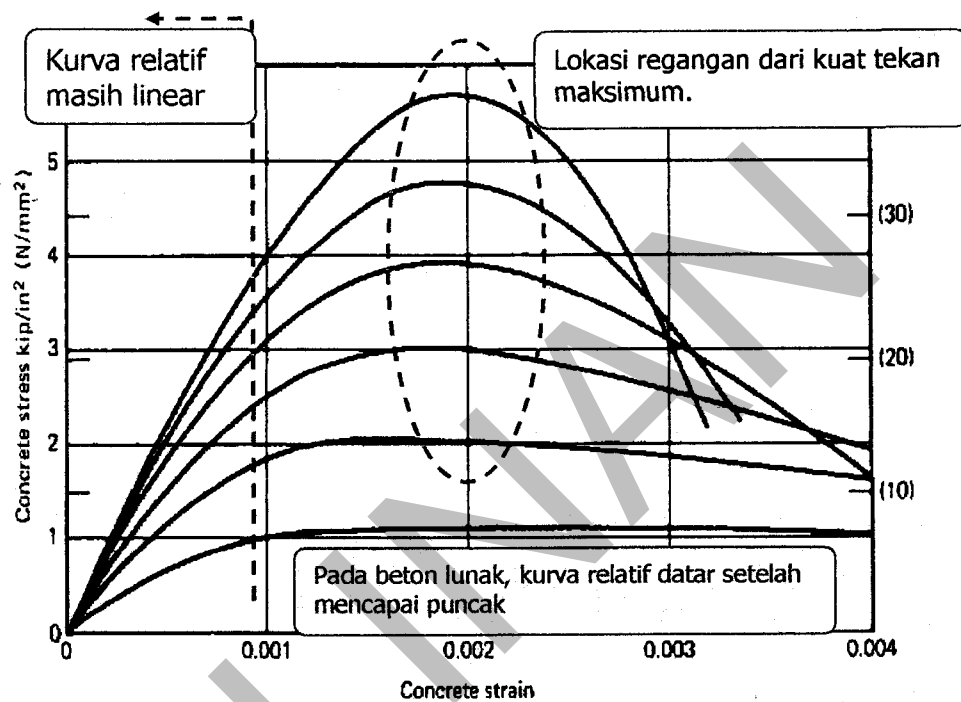
Tegangan tarik yang diijinkan pada saat transfer gaya prategang:

- $0,25 \sqrt{f_{ci}}$ ' (selain di perletakan).
- $0,5 \sqrt{f_{ci}}$ ' (di perletakan)

2.3.3 LENGKUNG TEGANGAN-REGANGAN

Lengkung tegangan-regangan beton biasa digambarkan sebagai:

- Dianggap kurva bilinear atau trilinear berdasarkan persamaan matematik yang disederhanakan
- Dianggap linier, berdasarkan tegangan kerja
- Ditentukan dari hasil pengujian



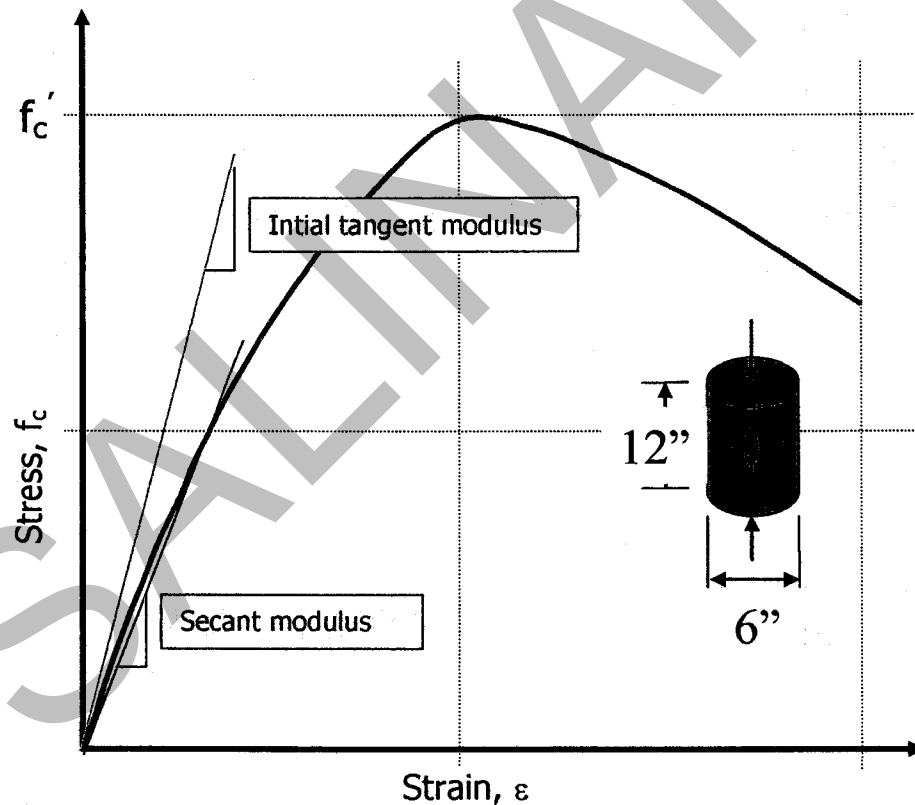
Gambar 2.1 Kurva f_c - ϵ Tekan Beton

- Umumnya perilaku dari material beton digambarkan sebagai responnya terhadap beban uniaxial tekan, dari test kuat silinder umur 28 hari.
- Diperlukan mesin tekan yang kuat (kaku) untuk mendapat kurva yang lengkap, khususnya setelah melampaui titik puncak.

2.3.4 MODULUS ELASTISITAS

Modulus elastisitas beton, E_c , Nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Nilai E_c untuk beton normal sebagai berikut:

- $E_c = w_c^{1,5} (0,043 \sqrt{f'_c})$
- $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$ (SNI 03-2847-2002), dinyatakan dalam MPa; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.
- Biasanya yang dianggap cukup mewakili adalah secant modulus untuk 25% – 50% f'_c .



Gambar 2.2 Kurva Stress-Strain Beton

2.3.5 ANGKA POISSON

Angka poisson untuk beton, ν , bisa diambil sebesar:

- 0,2 atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

2.3.6 KOEFISIEN MUAI PANAS

Koefisien muai panjang beton akibat panas, bisa diambil sebesar:

- 10×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$, dengan pertimbangan bisa bervariasi $\pm 20\%$; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

2.3.7 SUSUT BETON

Bila tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, nilai regangan susut rencana beton pada umur t (hari), $\epsilon_{cs,t}$ untuk beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan:

$$\epsilon_{cs,t} = (t/(35+t))\epsilon_{cs,u} \quad (2.3-1)$$

Dengan pengertian:

$\epsilon_{cs,t}$ = nilai regangan susut beton pada umur t hari, dan

$\epsilon_{cs,u}$ = nilai susut maksimum beton, yang besarnya bisa diambil sebagai:

$$\epsilon_{cs,u} = 780 \times 10^{-6} \lambda_{cs} \quad (2.3-2)$$

Nilai λ_{cs} ditentukan oleh kondisi campuran beton dan lingkungan pekerjaan:

$$\lambda_{cs} = K_h^s \cdot K_d^s \cdot K_s^s \cdot K_F^s \cdot K_b^s \cdot K_{ac}^s \quad (2.3-3)$$

Dengan pengertian:

t = Umur beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, terhitung sejak 7 hari setelah pengecoran [hari]

K_h^s = Faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat [H (%)]

K_d^s = Faktor pengaruh ketebalan komponen beton [d (cm)]

2. PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN

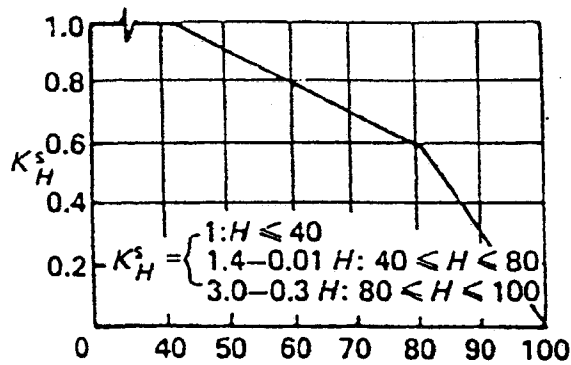
K_s^s = Faktor pengaruh konsistensi (*slump*) adukan beton [s (cm)]

K_f^s = Faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton [F (%)]

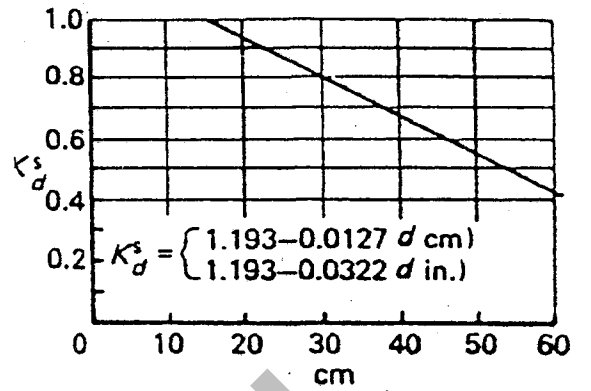
K_b^s = Faktor pengaruh jumlah semen dalam beton [C (kg/m³)]

K_{ac}^s = Faktor pengaruh kadar udara dalam beton [AC (%)]

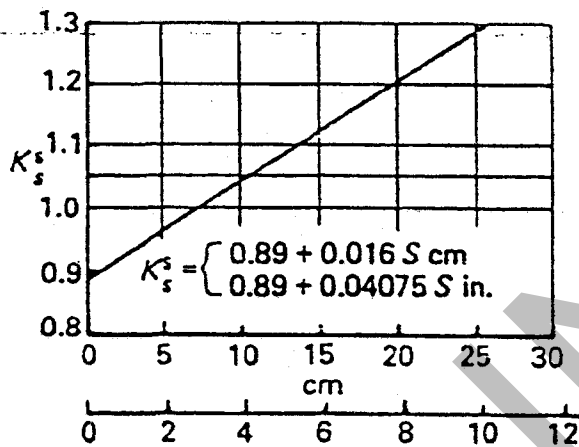
Besaran faktor-faktor $K_h^s, K_d^s, K_s^s, K_f^s, K_b^s, K_{ac}^s$, dapat diambil dari grafik 2.3 dibawah.



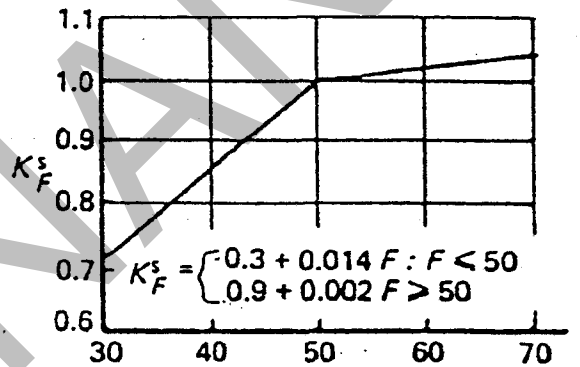
(a). Kelembaban Relatif, H %



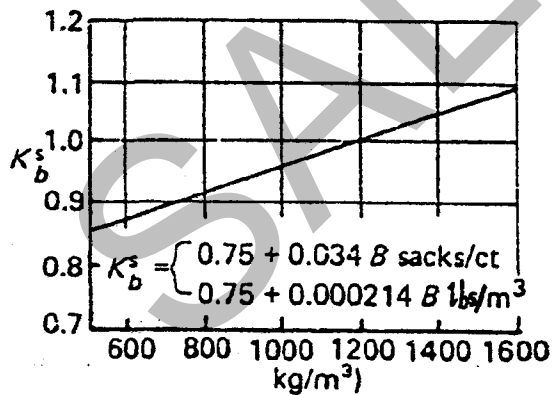
(b). Ketebalan minimum d (cm)



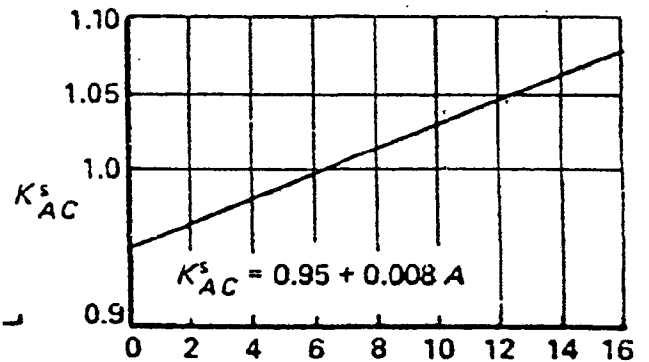
(c). Slump, s (cm)



(d). Kehalusan s (< saringan no. 4), F %



(e) Jumlah semen dalam beton, C kg/m³



(f). Kadar udara, A %

Gambar 2.3 Grafik Faktor Susut

Untuk komponen beton yang dirawat dengan cara penguapan (*steam cured*), maka nilai $\varepsilon_{cs,t}$ ditentukan oleh rumusan (2.3-4) dibawah ini:

$$\varepsilon_{cs,t} = (t/(55+t))\varepsilon_{cs,u} \quad (2.3-4)$$

Dimana t menyatakan umur beton yang dirawat dengan cara penguapan, terhitung sejak 1-3 hari setelah pengecoran, dalam satuan hari.

Tabel 2-1 Koefisien standar susut beton sebagai tambahan regangan jangka panjang

Kekuatan karakteristik f_c' [MPa]	20	25	30	35	40-60
Koef. susut maksimum $\varepsilon_{cs,t}$	0,000174	0,000170	0,000163	0,000161	0,000153

2.3.8 RANGKAK PADA BETON

Rangkak, merupakan regangan jangka panjang yang tergantung waktu pada suatu kondisi tegangan tetap :

$$\varepsilon_{cc,t} = \Phi_{cc}(t)\varepsilon_e \quad (2.3-5)$$

Koefisien rangkak, $\Phi_{cc}(t)$, bila tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus, bisa dihitung dari rumusan:

$$\Phi_{cc}(t) = (t^{0,6}/(10+t^{0,6}))C_u \quad (2.3-6)$$

$$C_u = 2,35\gamma_{cc} \quad (2.3-7)$$

$$\gamma_{cc} = K_h^c \cdot K_d^c \cdot K_s^c \cdot K_f^c \cdot K_{ac}^c \cdot K_{to}^c \quad (2.3-8)$$

Keterangan:

ε_e = regangan elastis sesaat akibat bekerjanya tegangan tetap

t = waktu setelah pembebanan [hari]

C_u = koefisien rangkak maksimum

- K_h^c = faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat $[H(\%)]$
 K_d^c = faktor pengaruh ketebalan komponen beton $[d(cm)]$
 K_s^c = faktor pengaruh konsistensi (slump) adukan beton $[s(cm)]$
 K_f^c = faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton $[F(\%)]$
 K_{ac}^c = faktor pengaruh kadar udara dalam beton $[AC(\%)]$
 K_{to}^c = faktor pengaruh umur beton saat dibebani $[t_o(hari)]$

Besaran faktor-faktor $K_h^c, K_d^c, K_s^c, K_f^c, K_{ac}^c$ dan K_{to}^c dapat diambil dari gambar 2.4 dibawah.

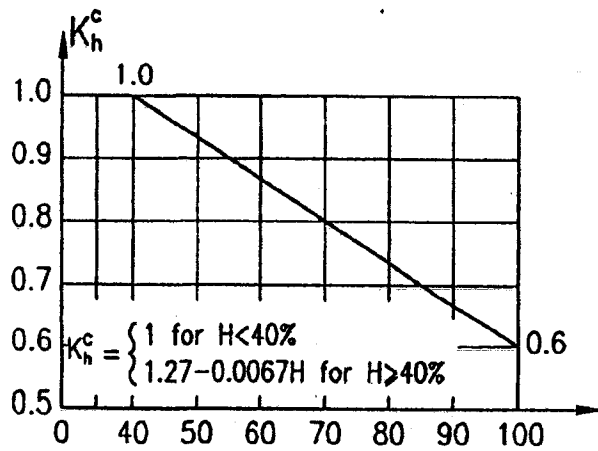
Namun demikian bila tidak dilakukan suatu perhitungan rinci seperti diatas, maka dalam asumsi pada suatu kondisi yang standar, nilai koefisien rangkai maksimum C_u bisa diambil secara langsung dari Tabel 2-2 dibawah ini.

Dalam hal ini, yang disebut sebagai suatu kondisi standar adalah:

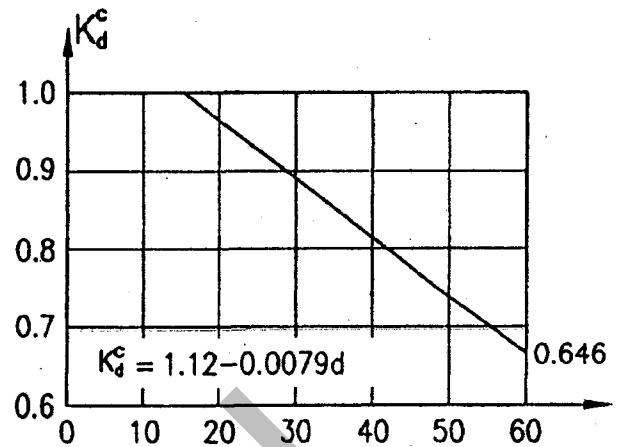
- Kelembaban relatif udara setempat $H = 70 \%$, Ketebalan minimum beton $d = 15$ cm, slump $s = 7,5$ cm, Kadar agregat halus dalam beton $AC = 6 \%$

Tabel 2-2 Koefisien standar rangkai beton sebagai tambahan regangan jangka panjang

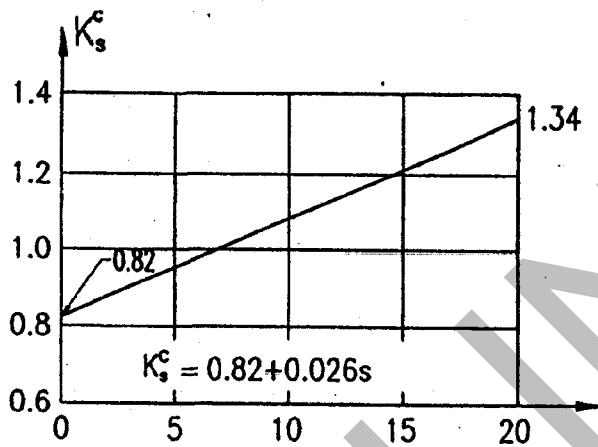
Kekuatan karakteristik $f_c [MPa]$	20	25	30	35	40-60
Koef. rangkai maksimum C_u	2,8	2,5	2,3	2,15	2,0



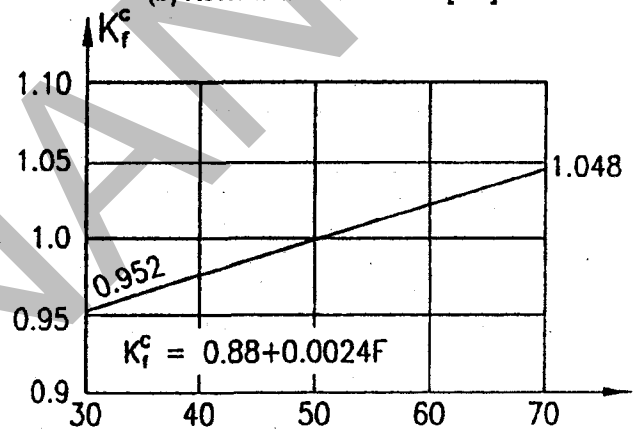
(a) Kelembaban relatif H [%]



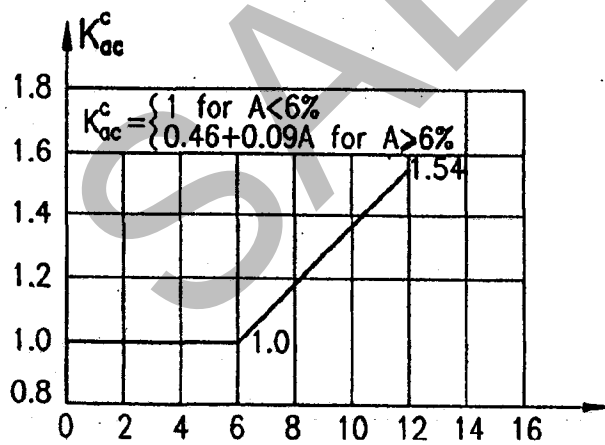
(b) Ketebalan Minimum d [cm]



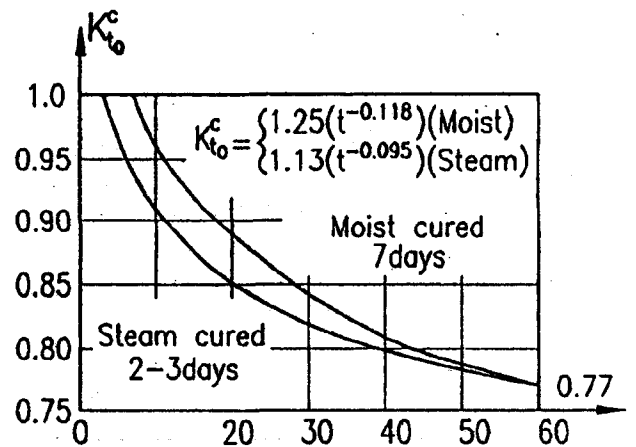
(c) Slump, s [cm]



(d) Kehalusan s (< saringan no. 4), F %



(e) Kadar Udara A (%)



(f) Umur saat Pembebanan t (hari)

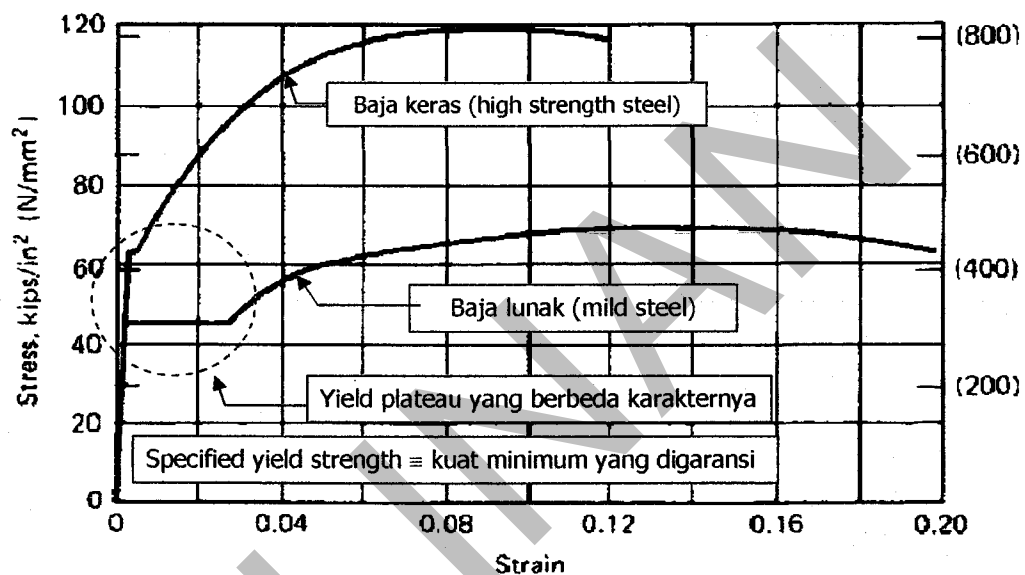
Gambar 2.4 Grafik Faktor Rangkak

2.4 SIFAT DAN KARAKTERISTIK MATERIAL BAJA TULANGAN NON-PRATEGANG

2.4.1 KEKUATAN NOMINAL

Kuat tarik putus

Ditentukan dari hasil pengujian.



Gambar 2.5 Contoh tipikal kurva stress-strain baja tulangan
(kurva tekan = kurva tarik)

Kuat tarik leleh

Kuat tarik leleh, f_y , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh f_y yang melebihi 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

2.4.2 TEGANGAN IJIN

Tegangan ijin pada pembebanan tetap

Tegangan ijin tarik, f_{ti} pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan dibawah ini:

- $f_{ti} \leq 140 \text{ MPa}$ (untuk tulangan dengan $f_y = 300 \text{ MPa}$).
- $f_{ti} \leq 170 \text{ MPa}$ (untuk ulangan dengan $f_y \geq 400 \text{ MPa}$, dan anyaman kawat las polos atau ulir)
- $f_{ti} \leq 0.5 f_y$ dan $f_{ti} \leq 200$ (untuk tulangan lentur pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m).

Tegangan ijin pada pembebanan sementara

Boleh ditingkatkan 30 % dari nilai tegangan ijin pada pembebanan tetap.

Modulus elastisitas

Modulus elastisitas baja tulangan, E_s , bisa diambil sebesar:

- 200.000 MPa
- Ditentukan dari hasil pengujian.

Koefisien muai panas

Koefisien muai baja tulangan non-prategang akibat panas bisa diambil sebesar:

- Diambil sama dengan 12×10^{-6} per °C; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

2.5 SIFAT DAN KARAKTERISTIK MATERIAL BAJA TULANGAN PRATEGANG

2.5.1 KEKUATAN NOMINAL

Kuat tarik putus

Kuat tarik baja prategang, f_{pu} harus ditentukan dari hasil pengujian, atau diambil sebesar mutu baja yang disebutkan oleh fabrikator berdasarkan sertifikat fabrikasi yang resmi.

Kuat tarik leleh ekivalen

Kuat leleh baja prategang, f_{py} harus ditentukan dari hasil pengujian atau dianggap sebagai berikut:

- Untuk kawat baja prategang : $f_{py} = 0,75 f_{pu}$
- Untuk semua kelas strand dan tendon baja bulat : $f_{py} = 0,85 f_{pu}$

2.5.2 TEGANGAN IJIN

Tegangan ijin pada kondisi batas layan

Tegangan tarik ijin baja prategang pada kondisi layan:

- $0,70 f_{pu}$ (sesaat setelah penjangkaran tendon)
- $0,60 f_{pu}$ (kondisi layan)

Tegangan ijin pada kondisi transfer gaya prategang

Tegangan tarik ijin baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai berikut:

- $0,94 f_{py}$ dan $\leq 0,85 f_{pu}$ (akibat penjangkaran)
- $0,82 f_{py}$ dan $\leq 0,74 f_{pu}$ (Sesaat setelah transfer)

2.5.3 MODULUS ELASTISITAS

Modulus elastisitas baja prategang, E_p , bisa diambil sebesar:

- Untuk kawat tegang-lepas : 200×10^3 MPa
- Untuk strand tegang-lepas : 195×10^3 MPa
- Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : 170×10^3 MPa
- Ditentukan dari hasil pengujian.

2.5.4 LENGKUNG TEGANGAN-REGANGAN

Lengkung tegangan-regangan baja prategang ditentukan dari hasil pengujian.

2.6 BEBAN RENCANA

Untuk besaran beban dan kombinasi pembebanan, diambil mengacu kepada standar pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya

2.7 PERSYARATAN KEKUATAN BETON

Untuk bagian beton yang diperkirakan akan mengalami abrasi (keausan) akibat lalu lintas diisyaratkan f_c' sebagai berikut :

Tabel 2.5-2 Persyaratan kekuatan beton untuk abrasi

Bagian bangunan dan/atau jenis lalu lintas	Kuat tekan minimum f_c' [MPa]
Jalan untuk pejalan kaki dan sepeda	20
Perkerasan dan lantai jembatan yang berhubungan dengan: 1. Lalu lintas ringan yang menggunakan ban hidup (karet berisi udara), untuk kendaraan yang mempunyai berat sampai 3 ton 2. Lalu lintas menengah atau berat (kendaraan yang mempunyai berat lebih besar dari 3 ton)	20

2. PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN

3. Lalu lintas yang tidak menggunakan ban hidup	25
4. Lalu lintas dengan roda baja	35
	Harus diperkirakan, tetapi tidak kurang dari 35

Untuk lingkungan korosif atau di laut, diperlukan spesifikasi beton yang lebih khusus.

2.8 PERSYARATAN SELIMUT BETON

Tebal selimut beton untuk tulangan dan tendon adalah minimal nilai terbesar dari:

- 1,5 x ukuran agregat terbesar
- db atau 2 x db diameter terbesar bila dipakai berkas tulangan. (db=diameter tulangan)
- 2 x Diameter tendon, namun tidak harus > 40 mm.
- 50 mm (sistem pasca tarik) terhadap serat bawah dan 40 mm terhadap bagian lain.
- 50 mm (ujung tendon pasca tarik) atau perlengkapan angkur.

Tabel 2-3 Selimut beton berdasarkan diameter tulangan pada beton non prategang

Letak struktur beton	Diameter tulangan (mm)	Selimut beton (mm)
Cor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	Bebas	70
Yang berhubungan dengan tanah atau cuaca	D-19 s/d D-56	50
	$< D-16$	40
Yang tidak langsung berhubungan dengan tanah atau cuaca		

2. PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN

a. Pelat, dinding dan pelat berusuk	D-44 dan D-56	40
	< D-36	25
b. Balok dan kolom	Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	40
c. Komponen struktur cangkang dan pelat	> D-19	25
	< D-16	20

Cara lain dari perlindungan korosi boleh dilakukan dengan tulangan yang dilindungi *epoxi (epoxy-coated)*, pelapisan ulang beton, atau membran rapat, atau kombinasi dari cara-cara tersebut di atas.

3 METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 PENDAHULUAN

Bagian ini memberikan lingkup peninjauan metodologi perencanaan yang dianut oleh panduan ini untuk mencapai pokok-pokok yang terdaftar dibawah.

3.2 POKOK-POKOK PERENCANAAN

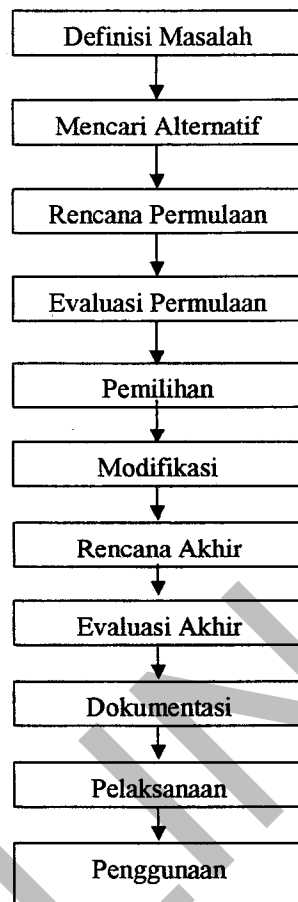
Struktur jembatan yang berfungsi paling tepat untuk suatu lokasi tertentu adalah yang paling baik memenuhi pokok-pokok berikut:

- Kekuatan dan stabilitas struktural
- Kelayanan
- Keawetan
- Kemudahan pelaksanaan
- Ekonomis dapat disetujui
- Bentuk estetika baik

Pokok-pokok tersebut lebih lengkap dijelaskan dalam Bagian 3. Untuk mencapai pokok-pokok tersebut digunakan tahapan perencanaan seperti diuraikan dibawah.

3.3 TAHAPAN PERENCANAAN

Maksud seluruh tahapan perencanaan adalah untuk menemukan struktur yang akan memenuhi pokok-pokok diatas. Tahapan perencanaan adalah bersifat uji coba atau '*Trial and error*'. Ini dimulai dengan suatu definisi dari masalah dan berkembang dalam hasil yang berguna setelah beberapa percobaan dan modifikasi. Tahapan tersebut dijelaskan dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Perencanaan

Faktor utama dalam tahapan tersebut dibahas dalam panduan ini sebagai berikut:

A. Pilihan Bentuk Struktural

Penentuan kondisi lapangan, hambatan dalam perencanaan dan penemuan solusi alternatif dimana bentuk struktural akhir dipilih adalah faktor utama dan pertama dalam tahapan perencanaan.

B. Filosofi Perencanaan

Terdapat dua pendekatan dasar untuk menjamin keamanan struktural yang diijinkan oleh Peraturan Jembatan.

1. Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)
2. Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL)

Dua pendekatan tersebut telah dibahas dalam sub bab 2.2.

Perencanaan yang dihasilkan berdasarkan prinsip keadaan-batas, pada umumnya lebih ekonomis dan akan menghasilkan jembatan dengan kemampuan kapasitas, namun perlu diperiksa juga terhadap syarat layannya seperti syarat lendutan, retak dan lainnya. Dalam perencanaan berdasarkan PBKT, dinyatakan dalam pertidaksamaan sebagai berikut:

$$K^R \times \text{kapasitas nominal} \geq K^U \times \text{beban nominal}$$

Atau

$$R' \geq S'$$

Dimana :

K^R = faktor reduksi kapasitas

K^U = faktor pengali beban batas (ultimate)

C. Beban-beban Rencana

i. Beban Rencana Tersendiri

Beban permanen, lalu lintas dan lingkungan dibahas secara rinci dalam Peraturan Pembebanan untuk jembatan, RSNI.

ii. Kombinasi Beban

Dalam Rencana Keadaan Batas suatu beban rencana tertentu mempunyai tiga nilai terpisah sebagai berikut:

- Nilai nominal
- Nilai maksimum mungkin disebut nilai "normal" atau "biasa"
- Nilai minimum mungkin disebut nilai "terkurangi"

Nilai normal dan terkurangi diperoleh dengan memberi faktor pengkali pada beban nominal seperti diuraikan dalam Tabel 3.1.

D. Analisis Struktur

Analisis struktur mencakup idealisasi struktur dan pondasi pada aksi beban rencana sebagai suatu model numerik. Dari model tersebut gaya dalam beban rencana tersendiri, deformasi dan stabilitas keseluruhan struktur dapat dihitung.

Tabel 3.1 Faktor Beban Keadaan Batas Ultimate

Jenis Beban dan Notasi Faktor Beban	Faktor Beban Keadaan Batas Ultimate		
	Deskripsi atau Keterangan	Biasa (maksimum)	Terkurangi (minimum)
Berat sendiri, K_{MS}^U	Baja alumunium	1.1	0.9
	Beton pracetak	1.2	0.85
	Beton cor ditempat	1.3	0.75
	Kayu	1.4	0.7
Beban mati tambahan, K_{MA}^U	Kasus umum	2.0	0.7
	Kasus khusus	1.4	0.8
Pengaruh Susut, K_{SR}^U	—	1.0	
Pengaruh Pratekan, K_{TB}^U	—	1.0 (1.15 pada saat transfer)	
Tekanan Tanah, K_{TB}^U	Tekanan tanah vertikal	1.25	0.8
	Tekanan tanah lateral	1.25	0.8
	• aktif	1.40	0.7
	• pasif	1.25	0.8
	• diam (<i>at rest</i>)	1.25	0.8
Pengaruh tetap pelaksanaan, K_{PL}^U	—	1.25	0.80
Beban Lajur "D", K_{TD}^U	—	2.0	0 (tidak ada)
Beban Lajur "T", K_{TT}^U	—	2.0	0 (tidak ada)

Gaya Rem, K_{TB}^U	–	2.0	0 (tidak ada)
Gaya Sentrifugal, K_{TR}^U	–	2.0	0 (tidak ada)
Beban Pejalan Kaki, K_{TP}^U	–	2.0	0 (tidak ada)
Beban Tumbukan pada Penyangga, K_{TC}^U	–	1.0 Lihat Peraturan	0 (tidak ada)

Tabel 3.2 Faktor Reduksi Kekuatan U.L.S untuk Beton

Situasi Rencana	Bagian Peraturan padamana, faktor reduksi digunakan	Faktor reduksi kekuatan K_c^R
Lentur dengan atau tanpa tarik aksial; dan tarik aksial		0.8
Kombinasi lentur dan tekan aksial dimana : I. $N_u \geq N_{ub}$ II. $N_u \geq N_{ub}$ dan $K_u \leq 0.4$ untuk kekuatan penampang dalam lentur murni. III. $N_u \geq N_{ub}$ dan $K_u > 0.4$ untuk kekuatan penampang dalam lentur murni.		0.7 (segitup) 0.65 (spiral) $0.7 + 0.15 (1 - N_u / N_{ub})$ $0.6 + [(0.75M_{ud} / M_u) - 0.6](1 - N_u / N_{ub})$
Geser		0.7
Puntir		0.7
Tumpuan		0.7
Lentur, geser dan tekan dalam beton polos		0.7
Lentur, geser dan tarik dalam hubungan		0.7
Tekanan dan tarikan dalam aksi penunjang dan pengikat		0.7

4 PERENCANAAN KEKUATAN LENTUR BALOK

4.1 UMUM

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Walaupun demikian, untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang menggunakan suatu pembatasan tegangan kerja, atau ada keterkaitan dengan aspek lain yang sesuai batasan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, bisa digunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL).

4.1.1 KONDISI BATAS PERENCANAAN BERDASARKAN PBKT

Dalam kondisi batas PBKT ada dua hal yang perlu diperhatikan yaitu:

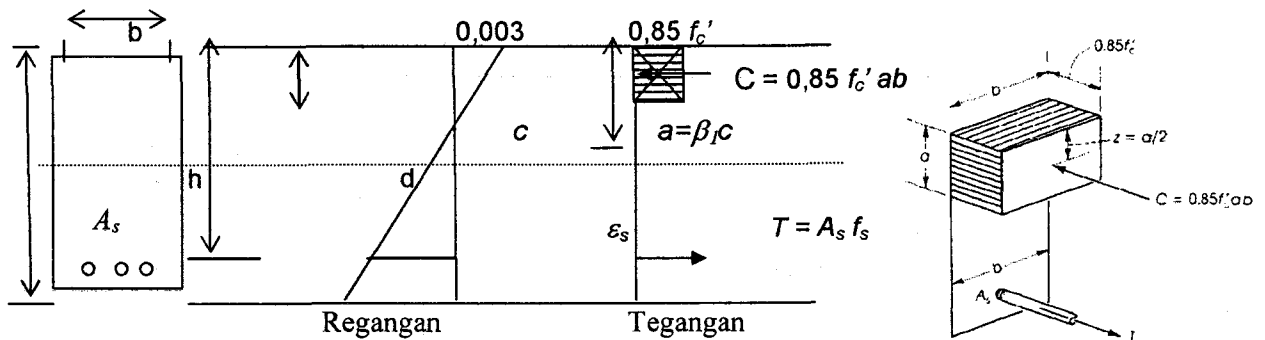
1. Faktor pengali beban seperti terlihat pada Tabel 3.1.
2. Faktor reduksi kekuatan diambil sesuai dengan Tabel 3.2.

4.1.2 ASUMSI PERENCANAAN

Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsisten dengan anggapan sebagai berikut:

- Bidang rata yang tegak lurus sumbu tetap rata setelah mengalami lentur
- Beton tidak diperhitungkan dalam memikul tegangan tarik
- Distribusi tegangan tekan ditentukan dari hubungan tegangan-regangan beton
- Regangan batas beton yang tertekan diambil sebesar 0,003

Diasumsikan bahwa tegangan beton = $0,85 f_c$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen sejarak $a = \beta_1 c$ dari tepi tertekan terluar tersebut..



Gambar 4.1 Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang Tulangan Tunggal

faktor β_1 harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \quad (4.1-1)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \quad \text{untuk } f'_c > 30 \text{ MPa}$$

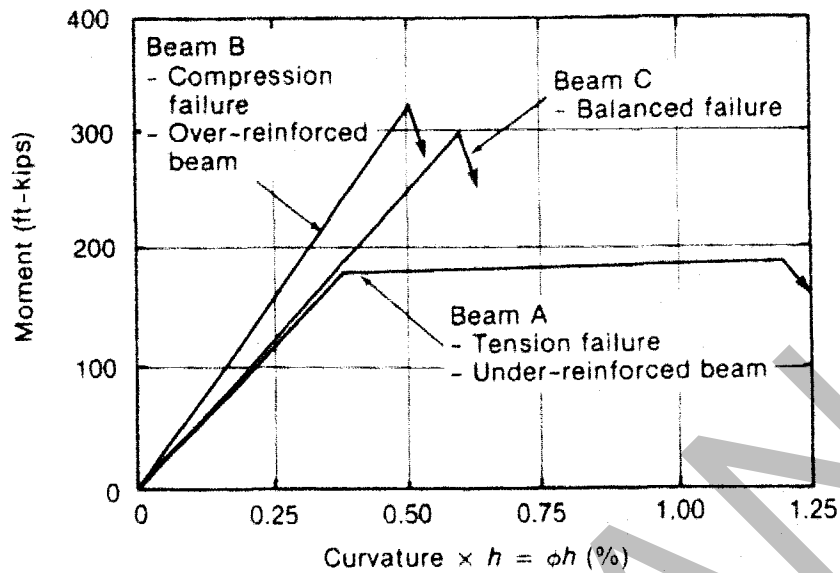
$$\beta_1 \geq 0,65.$$

4.1.3 TIPIKAL KERUNTUHAN BALOK

Ada beberapa kondisi keruntuhan yang dapat terjadi pada struktur beton, yaitu dapat dibagi menjadi 3 bagian :

1. Keruntuhan tarik (under-reinforced) \rightarrow tulangan baja leleh lebih dulu (daktail)
2. Keruntuhan tekan (over-reinforced) \rightarrow beton hancur lebih dulu (regangan beton ϵ_c mencapai $\epsilon_{cu} = 0.003$) sebelum tulangan baja leleh (getas)
3. Keruntuhan berimbang (balanced) \rightarrow regangan beton ϵ_c mencapai $\epsilon_{cu} = 0.003$ bersamaan dengan lelehnya tulangan baja, $\epsilon_s = \epsilon_y$

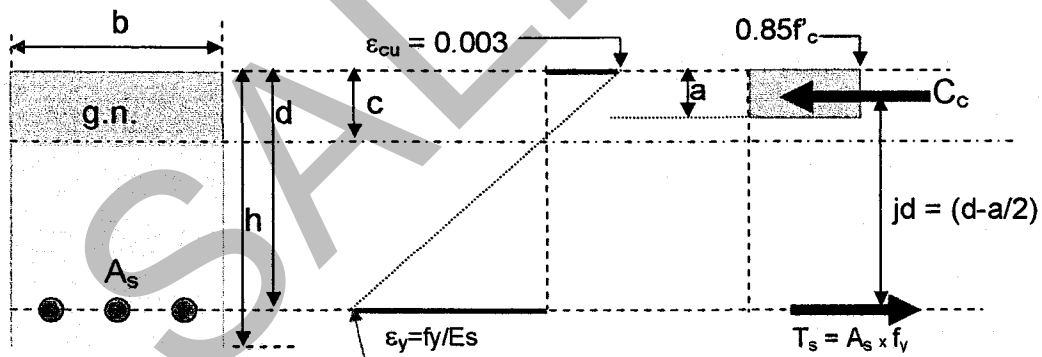
Keruntuhan yang sebaiknya terjadi adalah keruntuhan tarik (under-reinforced), dimana struktur lebih daktail dan dapat melendut lebih dulu sebelum runtuh. Keruntuhan tekan sebaiknya dihindari karena lebih getas dan tiba-tiba. Adapun keruntuhan balanced berguna untuk mengetahui jenis keruntuhan penampang struktur sebagai kondisi keruntuhan tarik atau tekan.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Jenis Keruntuhan Balok

4.1.4 PENENTUAN RASIO TULANGAN KERUNTUHAN BALOK BERIMBANG

Rasio berimbang, ρ_{bal} = nilai ρ dimana $\epsilon_c = 0.003$ dan $\epsilon_s = \epsilon_y$.



Gambar 4.3 Penampang, Regangan dan Gaya dalam Balok Kondisi Berimbang

Gunakan segitiga sebangun :

$$\frac{0.003}{c_b} = \frac{\epsilon_y}{d - c_b}$$

Persamaan untuk menentukan garis netral saat setimbang, c_b dan tinggi tekan beton, a_b

$$0.003d - 0.003c_b = \varepsilon_y c_b$$

$$c_b(0.003 + \varepsilon_y) = 0.003d$$

$$c_b = \frac{0.003d}{(0.003 + \varepsilon_y)} \Rightarrow a_b = \beta_1 c_b = \beta_1 \frac{0.003d}{(0.003 + \varepsilon_y)}$$

Persamaan untuk menentukan ρ bal

$$C = T \Rightarrow 0.85 f'_c b a_b = A_{s(bal)} f_y$$

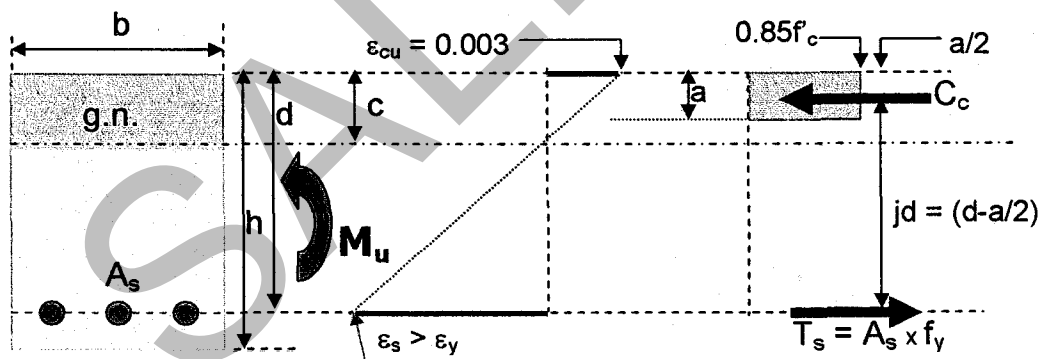
$$A_{s(bal)} = \frac{0.85 f'_c b a_b}{f_y} = \frac{0.85 f'_c b \beta_1 d}{f_y} * \left(\frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_y} \right) * \frac{E_s}{E_s}$$

$$A_{s(bal)} = \frac{0.85 f'_c \beta_1 b d}{f_y} * \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{bal} = \frac{A_{s(bal)}}{b d} = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} * \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

4.2 ANALISIS BATAS BALOK PERSEGI TULANGAN TUNGGAL

Kondisi batas penampang dicapai pada saat regangan tekan beton maksimum mencapai nilai regangan maksimum berguna $\varepsilon_{cu} = 0.003$ dan regangan baja tarik $\varepsilon_s > \varepsilon_y$.



Gambar 4.4 Penampang , Regangan dan Gaya dalam Balok Kondisi Keruntuhan Tarik

Regangan tarik baja mencapai ε_y dengan demikian tegangan baja $f_s = f_y$

Jumlah gaya internal pada kondisi batas harus memenuhi keseimbangan

$$\Sigma F = 0 \rightarrow C_c = T_s$$

$$0.85 f_c' a b = A_s f_y \quad (4.2-2)$$

Dengan demikian tinggi tekan beton dapat diketahui, a

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} \quad (4.2-3)$$

Gaya-gaya internal Cc dan Ts yang seimbang menimbulkan momen kopel, Mn yang dapat mengimbangi momen dari gaya eksternal, Mu.

$$\begin{aligned} Mn &= Ts (d - a/2) = Cc (d - a/2) \\ &= A_s f_y (d - a/2) \end{aligned} \quad (4.2-4)$$

Pengecekan momen ultimit, Mu, dimana momen ultimit Mu harus lebih kecil dari momen nominal setelah dikali faktor reduksi, $\phi=0.8$

$$\phi Mn \geq Mu$$

4.2.1 PENYEDERHANAAN FORMULASI UNTUK TABULASI

Bila persamaan (4.2-3) dimasukkan kedalam persamaan (4.2-4) diperoleh :

$$Mn = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.59 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{f_c' \cdot b} \right) \quad (4.2-5)$$

Kemudian bila sisi kiri dan kanan dibagi dengan bd^2 diperoleh

$$\frac{Mn}{bd^2} = \omega \cdot f_c' (1 - 0.59 \cdot \omega) \quad ; \text{ dimana } Mn = Mu/\phi \text{ dan } \omega = \rho f_y/f_c' \quad (4.2-6)$$

Bila Mn disubstitusi dengan Mu/ϕ dan sisi kanan dinamai dengan R, maka

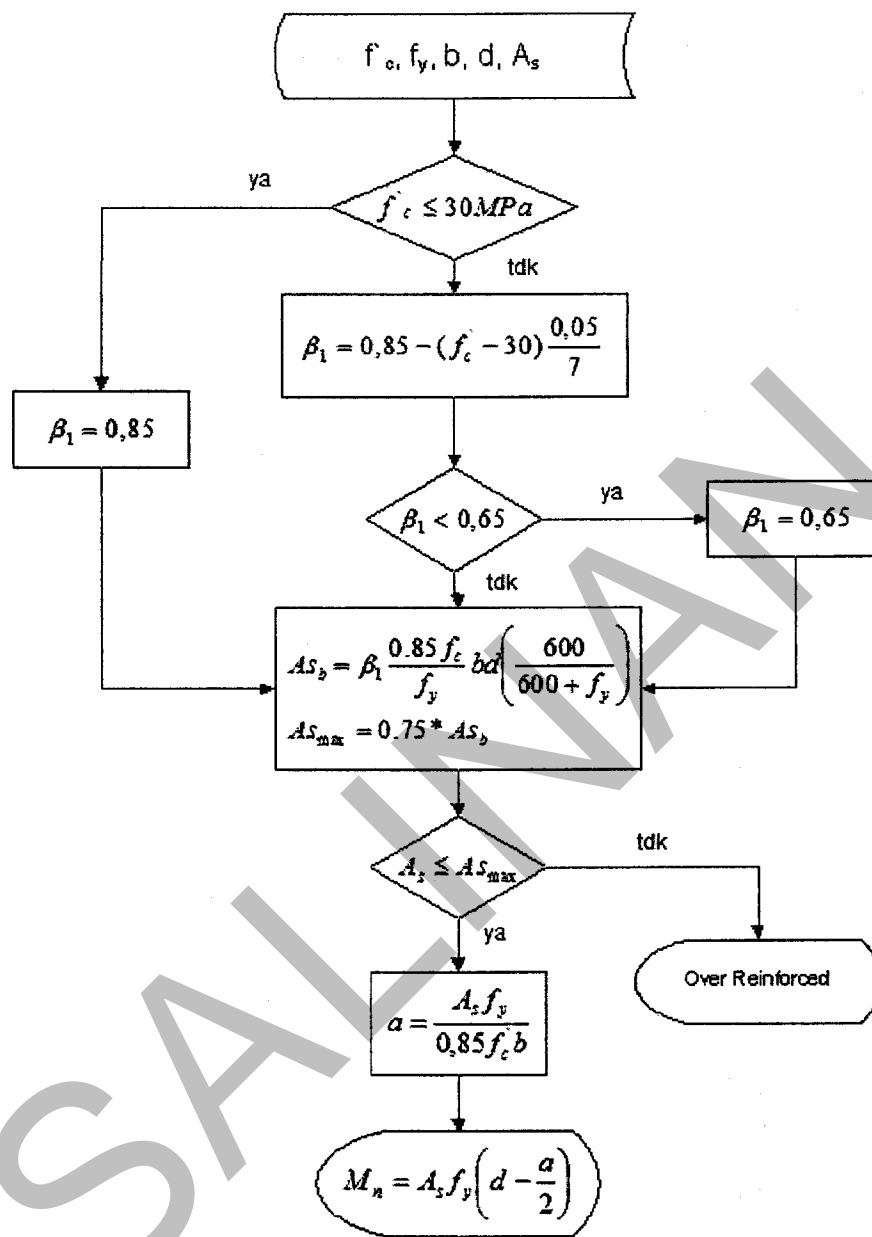
$$\frac{Mu}{bd^2} = \phi \cdot R \quad (4.2-7)$$

Selanjutnya hubungan antara Mu dan R sebagai fungsi dari ρ dapat ditabelkan untuk kepentingan perhitungan analisis dan desain.

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

Adapun langkah-langkah perhitungan analisis balok tulangan tunggal dengan menggunakan tabel dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tentukan mutu beton, f_c dan mutu baja, f_y
2. Hitung $\rho = A_s / b_w \cdot d$
3. Hitung $M_u = \phi M_n = \text{nilai tabel } (M_u / b_w \cdot d^2) \cdot b_w \cdot d^2$
4. Check $\phi M_n \geq M_u \text{ rencana}$



Gambar 4.5 Diagram Alir Analisis Balok Tulangan Tunggal

4.2.2 LANGKAH-LANGKAH MENDESAIN BALOK DENGAN TABEL MANUAL

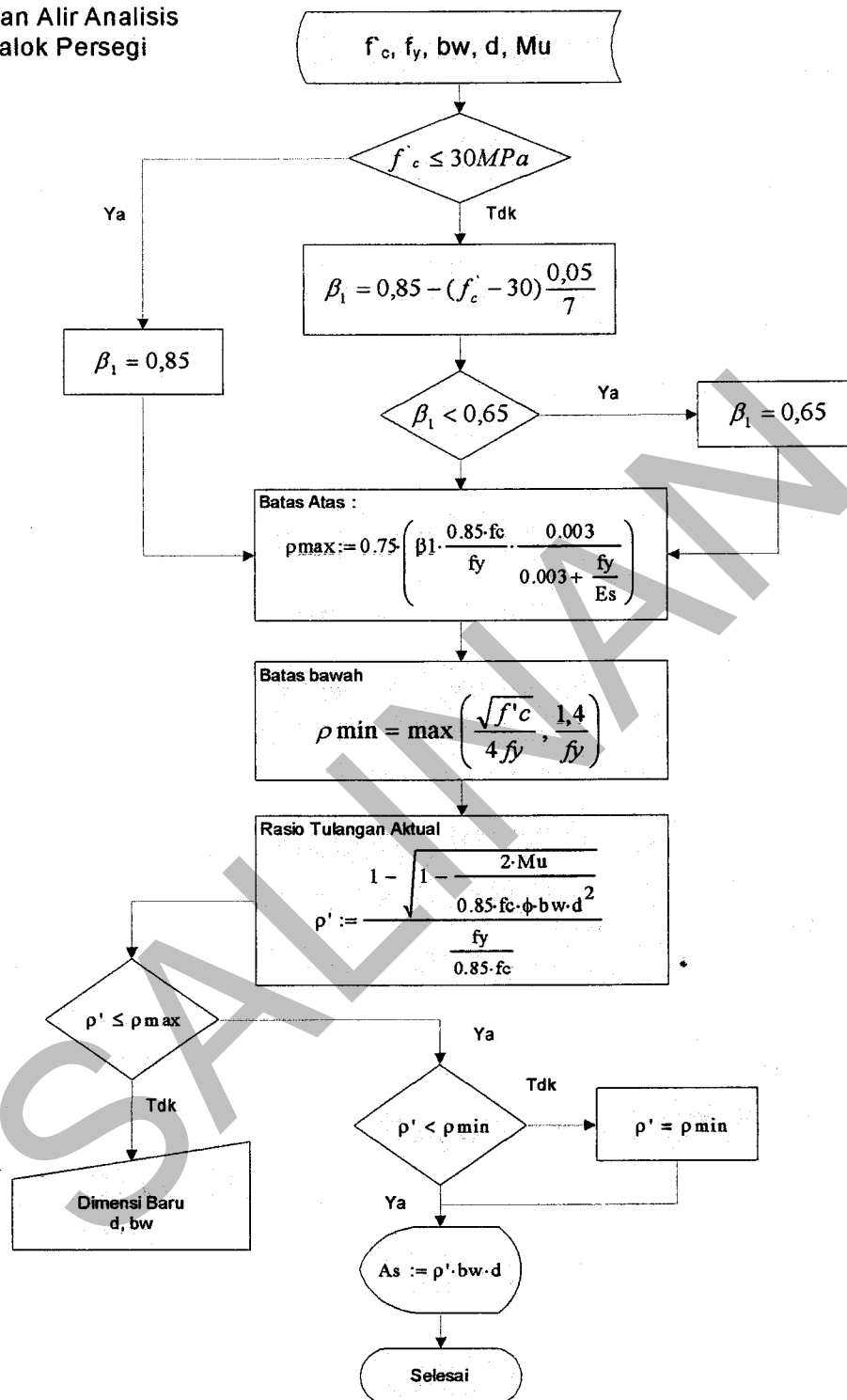
langkah-langkah perhitungan desain balok tulangan tunggal dengan menggunakan tabel adalah sebagai berikut:

1. Hitung momen, M_u dgn metoda analisis struktur
2. Tentukan dimensi balok b, d
3. Tentukan mutu beton, f_c dan mutu baja, f_y
4. Hitung $M_u / (b d^2)$
5. ρ tul. Lihat pada **Tabel Lampiran A**
6. Bila dikehendaki nilai yang lebih akurat, nilai ρ diinterpolasi
7. $A_s = \rho b d$

4.2.3 FORMULASI UNTUK DESAIN SECARA MANUAL

Rasio tulangan beton diperoleh dengan mengganti luas tulangan dalam persamaan (4.2-5) dengan $\rho = A_s / bd$, kemudian dengan rumus ABC diperoleh akar persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{2M_n}{0.85 f_c b d^2}}}{f_y / 0.85 f_c} \quad (4.2-8)$$

Bagan Alir Analisis
Balok Persegi


Gambar 4.6 Diagram Alir Desain Balok Tulangan Tunggal (manual)

4.2.4 KEKUATAN MINIMUM

$M_n \geq 1,2 M_{cr}$ (momen retak), yang dipenuhi oleh suatu persyaratan tulangan tarik minimum sebagaimana disampaikan dalam sub bab dibawah ini.

4.2.5 SYARAT TULANGAN MINIMUM

a) Pada balok persegi, A_s min adalah sebagai berikut

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \quad (4.2-9)$$

dan tidak lebih kecil dari:

$$A_{smin} = \frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (4.2-10)$$

b) Pada balok T sederhana dengan bagian sayap tertarik, A_{smin} tidak boleh kurang dari nilai terkecil di antara:

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{2f_y} b_w d \quad (4.2-11)$$

dan

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_f d \quad (4.2-12)$$

c) Sebagai alternatif, untuk komponen struktur yang besar dan masif diperlukan luas tulangan pada setiap penampang, baik akibat momen positif atau negatif, paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan analisis, atau dihitung sebagai berikut:

$$\phi M_n \geq \frac{4}{3} M_u \quad (4.2-13)$$

4.2.6 SYARAT TULANGAN MAKSIMUM

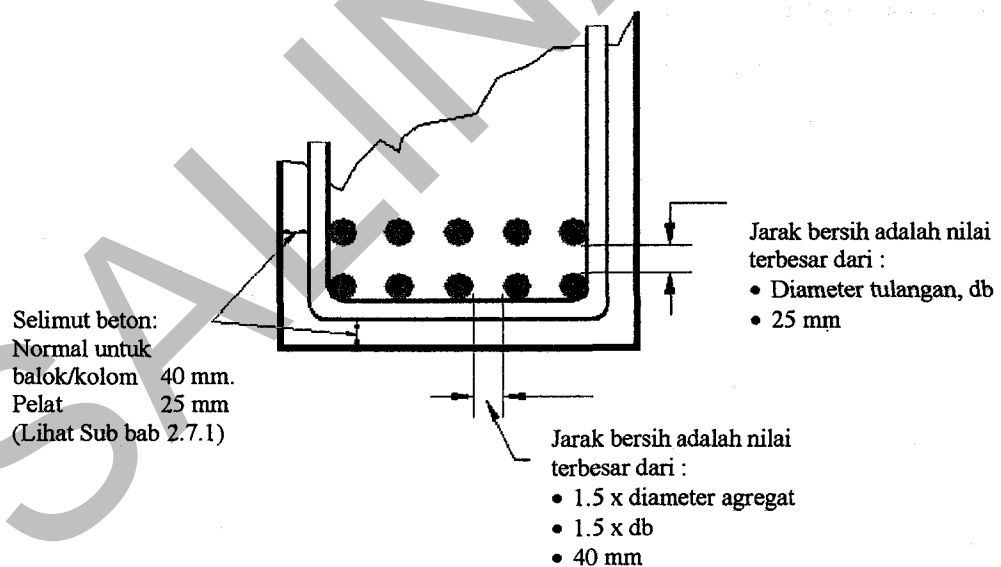
Untuk beton non-prategang dengan beban aksial $P_u \leq 0,1 f'_c A_g$ maka rasio tulangan maksimum, $\rho_{\max} \leq 0,75 \times \rho_b$.

4.2.7 JARAK TULANGAN

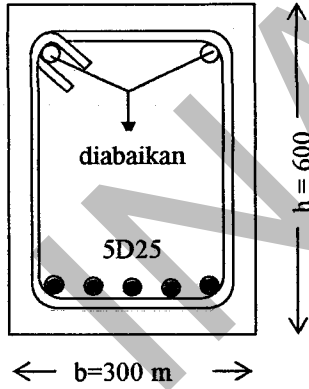
Jarak bersih minimum antara tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya dalam satu lapis tidak boleh kurang dari: (lihat AASHTO bagian 5.10.3)

- 1,5 x diameter agregat; atau
- 1,5 x db (db = diameter tulangan); atau
- 40 mm

Jarak bersih antara lapisan tidak boleh kurang dari diameter tulangan (db) atau 25 mm.

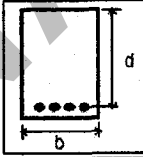


Gambar 4.7 Spasi dan Selimut Tulangan

CONTOH 4.1a	ANALISIS BALOK BETON TULANGAN TUNGGAL	1 1
SOAL : Analisis balok gelagar persegi beton bertulang		
DIBERIKAN :		
Dimensi balok		Mutu material
lebar	$b := 300\text{mm}$	$f_c := 35\text{MPa}$
tinggi	$h := 600\text{mm}$	$f_y := 400\text{MPa}$
$f_c' = 35\text{ MPa}$ $f_y = 400\text{ MPa}$		
LANGKAH 1 : Menentukan faktor β_1		RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1 Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f_c' lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.
$\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \cdot (f_c - 30) & \text{if } f_c > 30 \\ 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \\ 0.65 & \text{if } \beta_1 < 0.65 \end{cases}$		$\beta_1 = 0.814$

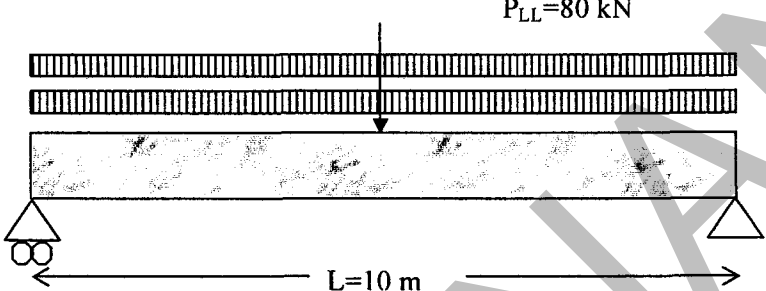
4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

<p>LANGKAH 2 : Menentukan luas tulangan maksimum</p> <p>Tebal selimut beton bersih untuk balok $d_c := 40\text{mm}$</p> <p>tinggi efektif balok $d := h - d_c - 26\text{mm}$ $d = 0.534\text{m}$</p> $\rho_b := \frac{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad \rho_b = 3.634\%$ $A_{sb} := \rho_b \cdot b \cdot d \quad A_{sb} = 5.821 \times 10^3 \text{ mm}^2$ $\rho_{\max} := 0.75 \cdot \rho_b \quad \rho_{\max} = 2.725\%$ $A_{s\max} := \rho_{\max} \cdot b \cdot d \quad A_{s\max} = 4.366 \times 10^3 \text{ mm}^2$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.6 Rasio tulangan maksimum</p>
<p>LANGKAH 3 : Pemeriksaan kondisi keruntuhan</p> <p>Tulangan Beton</p> <p>Diameter $D_s := 25\text{-mm}$</p> <p>Luas unit tulangan $A_b := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 \quad A_b = 4.909\text{cm}^2$</p> <p>Jumlah $n := 5$</p> <p>Luas total tul. $A_s := n \cdot A_b \quad A_s = 2.454 \times 10^3 \text{ mm}^2$</p> $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} \quad \rho = 1.532\%$ <p>ket = "As < Asmax; Under-Reinforced, OK"</p>	
<p>LANGKAH 4 : Menghitung tinggi blok tekan beton, a</p> $a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \quad a = 110\text{mm}$ <p>LANGKAH 5 : Menghitung momen nominal, Mn $\phi = 0.7$</p> $M_n := A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad M_n = 470.257\text{kN}\cdot\text{m}$ $\phi \cdot M_n = 329.18\text{kN}\cdot\text{m}$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 4.5.2 Faktor Reduksi $\phi = 0.8$ (lentur)</p>

CONTOH 4.1b	ANALISIS BALOK BETON TULANGAN TUNGGAL	1 2		
SOAL : Analisis balok gelagar persegi beton dari contoh soal 4.1a dengan menggunakan tabel.				
LANGKAH 1 : Menghitung rasio tulangan ρ				
Luas total tul.	As := n · Ab	As = 2.454 × 10 ³ mm ²		
	ρ := $\frac{As}{b \cdot d}$	ρ = 1.532%		
LANGKAH 2 : Mencari nilai Mu/bd ² dari tabel berdasarkan ρ di atas				
Tabel untuk nilai fc = 35MPa dan fy = 400MPa				
Lampiran A.6 Nilai persentase tulangan baja, As/bd, berdasarkan momen desain (Mu) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok				
fc' = 35 MPa fy = 400 MPa				
No	Mu/(bd ²) Ast/(b · d)	Mu/(bd ²) Ast/(b · d)	Mu/(bd ²) Ast/(b · d)	Mu/(bd ²) Ast/(b · d)
16	1.5462 0.0050	2.5362 0.0084	3.4765 0.0118	4.3670 0.0152
17	1.5760 0.0051	2.5646 0.0085	3.5034 0.0119	4.3924 0.0153
18	1.6058 0.0052	2.5929 0.0086	3.5302 0.0120	4.4178 0.0154
19	1.6356 0.0053	2.6212 0.0087	3.5570 0.0121	4.4432 0.0155
20	1.6653 0.0054	2.6494 0.0088	3.5838 0.0122	4.4685 0.0156
21	1.6949 0.0055	2.6776 0.0089	3.6105 0.0123	4.4937 0.0157
22	1.7245 0.0056	2.7057 0.0090	3.6372 0.0124	4.5190 0.0158
23	1.7541 0.0057	2.7339 0.0091	3.6639 0.0125	4.5441 0.0159
24	1.7836 0.0058	2.7619 0.0092	3.6905 0.0126	4.5693 0.0160
β1 = 0.85 – 0.008 (fc' – 30) 0.81		Catatan :		
ρ min = 0.0035		batasan tulangan ρmin ≤ ρ act < ρ max		
ρ max = 0.0271		Satuan : Mu [N*mm]; b [mm]; d [mm]		
		Ast [mm ²]		

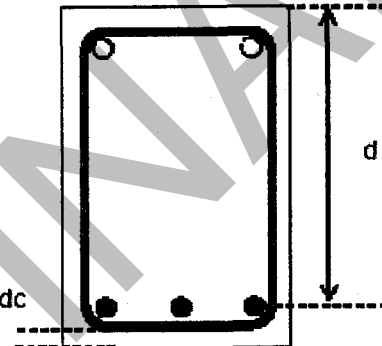
4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

<p>LANGKAH 3 : Interpolasi</p> <p>Interpolasi nilai μ/bd^2 di antara $A_{st}/(b \cdot d) = 0.0153$ dan 0.0154</p> $\mu/bd^2 = 4.3924 + \frac{4.4178 - 4.3924}{0.0154 - 0.0153} \cdot (0.01532 - 0.0153) = 4.397$	
<p>LANGKAH 4 : Menghitung momen kekuatan penampang, ϕM_n</p> <p>$\Rightarrow \mu := 4.397 \text{ MPa} \cdot b \cdot d^2 \quad \mu = 3.761 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$</p> <p>$\Rightarrow \phi M_n = \mu = 376.149 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 4.5.2 Faktor Reduksi $\phi = 0.8$ (lentur)</p>

CONTOH 4.2	DESAIN TULANGAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG	2 1
SOAL : Desain balok gelagar persegi beton bertulang		
<p>DL → 40 kN/m LL → 15 kN/m</p> <p>$P_{LL}=80 \text{ kN}$</p>  <p>$L=10 \text{ m}$</p>		
<p>DIBERIKAN :</p> <ol style="list-style-type: none"> Struktur ditopang secara sederhana (simple span). Panjang span, $L := 10\text{m}$ Mutu beton dan baja tulangan $f_c := 20\text{MPa}$ $f_y := 400\text{MPa}$ Berat isi beton bertulang $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$ Beban mati merata $Q_{dl} = 40 \text{ kN/m}$ Beban Hidup merata / terpusat $Q_{LL} = 15 \text{ kN/m}$; $P_{LL} = 80 \text{ kN}$ 		

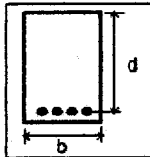
<p>LANGKAH 1 : Menghitung gaya dalam pada balok</p> <p>MOMEN</p> <p>Beban mati $M_{DL} := \frac{1}{8} \cdot Q_{dl} \cdot L^2$ $M_{DL} = 500 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>Beban hidup $M_{LL} := \frac{1}{8} \cdot Q_{LL} \cdot L^2$ $M_{LL} = 187.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>Beban hidup terpusat $M_{LL2} := \frac{1}{4} \cdot P_{LL} \cdot L$ $M_{LL2} = 200 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>Momen ultimate total,</p> <p>$M_u := 1.3 \cdot M_{DL} + 2.0 \cdot M_{LL} + 2.0 \cdot M_{LL2}$ $M_u = 1425 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>GESER</p> <p>Beban mati $V_{DL} := \frac{1}{2} \cdot Q_{dl} \cdot L$ $V_{DL} = 200 \text{ kN}$</p> <p>Beban hidup $V_{LL} := \frac{1}{2} \cdot Q_{LL} \cdot L$ $V_{LL} = 75 \text{ kN}$</p> <p>Beban hidup terpusat $V_{LL2} := \frac{1}{2} \cdot P_{LL}$ $V_{LL2} = 40 \text{ kN}$</p> <p>Geser ultimate total,</p> <p>$V_u := 1.3 \cdot V_{DL} + 2.0 \cdot V_{LL} + 2.0 \cdot V_{LL2}$ $V_u = 490 \text{ kN}$</p>	
<p>LANGKAH 2 : Pradimensi</p> <p>gunakan modifikasi dari rumus</p> <p>asumsi :</p> <p>$\rho_{\text{optimum}} = 0.5 \cdot \rho_b$</p> <p>$b_w = 0.5 \cdot d$</p> <p>berdasarkan gaya lentur</p> <p>$\rho_b := \frac{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y}$ $\rho_b = 0.019$</p> <p>Agar penampang optimum rasio tulangan diambil $\rho = 0.5 \cdot \rho_b$</p> <p>$\rho := 0.5 \cdot \rho_b$ $\rho = 0.969\%$</p>	<p>RSNI-T12-04</p> <p>Pasal 4.5.2</p> <p>Faktor Reduksi</p> <p>$\phi = 0.8$ (lentur)</p>

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

$\omega := \rho \cdot \frac{f_y}{f_c} \quad R := \omega \cdot f_c \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot 0.85} \cdot \omega \right)$ $\omega = 0.194 \quad R = 3.434 \text{ MPa}$ $\phi \cdot R = 2.747 \text{ MPa}$ $b_w \cdot d^2 = \frac{M_u}{\phi \cdot R} \Rightarrow 0.5 \cdot d^3 = \frac{M_u}{\phi \cdot R} \Rightarrow d := \sqrt[3]{\frac{2 M_u}{\phi \cdot R}} \quad d = 1.012 \text{ m}$ <p>digunakan ukuran balok pierhead $h := 1200 \text{ mm} \quad b_w := 600 \text{ mm}$</p>	
<p>LANGKAH 3A : Menghitung penulangan balok tulangan tunggal</p> <p>Tebal selimut beton bersih untuk balok $d_c := 40 \text{ mm}$</p> <p>tinggi efektif balok $d := h - d_c - 26 \text{ mm} \quad d = 1.134 \text{ m}$</p> $\rho' := \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot f_c \cdot \phi \cdot b_w \cdot d^2}}}{\frac{f_y}{0.85 \cdot f_c}}$ $\rho' = 0.62278\%$ 	
<p>LANGKAH 3B : Menghitung penulangan balok dengan cara tabel</p> <p>a) Hitung $\frac{M_u}{b_w \cdot d^2} = 1.847 \text{ MPa}$</p> <p>b) Cari tabel tulangan yang bersesuaian dengan mutu beton, $f_c' = 20 \text{ MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$</p>	

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

Lampiran A1) Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' = 20 \text{ MPa}$		$f_y = 400 \text{ MPa}$						
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$
25	1.7570	0.0059	2.6504	0.0093	3.4568	0.0127	4.1762	0.0161
26	1.7845	0.0060	2.6754	0.0094	3.4792	0.0128	4.1960	0.0162
27	1.8119	0.0061	2.7002	0.0095	3.5015	0.0129	4.2158	0.0163
28	1.8393	0.0062	2.7250	0.0096	3.5238	0.0130		
29	1.8666	0.0063	2.7498	0.0097	3.5459	0.0131		
30	1.8938	0.0064	2.7744	0.0098	3.5680	0.0132		
31	1.9209	0.0065	2.7990	0.0099	3.5901	0.0133		
32	1.9480	0.0066	2.8235	0.0100	3.6120	0.0134		
33	1.9750	0.0067	2.8480	0.0101	3.6339	0.0135		
34	2.0019	0.0068	2.8723	0.0102	3.6557	0.0136		

$\beta_1 = 0.85 - 0.008 (f_c' - 30) = 0.85$
 $\rho_{min} = 0.0035$
 $\rho_{max} = 0.0163$

Catatan :
 batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} \leq \rho_{max}$
 Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Interpolasi nilai rho antara $M_u/bd^2 = 1.8393$ dan 1.8666

$$\rho := 0.0062 + \frac{0.0063 - 0.0062}{1.8666 - 1.8393} \cdot (1.847 - 1.8393) \quad \rho = 0.623\%$$

Berdasarkan RSNI-T12-2004 pasal 5.1.1.5

$$\rho_{min1} := \frac{1.4 \text{ Mpa}}{f_y} \quad \rho_{min1} = 0.35\%$$

$$\rho_{min2} := \frac{\sqrt{f_c} \cdot \text{MPa}}{4 \cdot f_y} \quad \rho_{min2} = 0.28\%$$

$$\rho_{min} := \max(\rho_{min1}, \rho_{min2}) \quad \rho_{min} = 0.35\%$$

Berdasarkan RSNI-T12-2004 pasal 5.1.1.6

$$\rho_{max} := 0.75 \cdot \rho_b \quad \rho_{max} = 1.453\%$$

$$\rho := \begin{cases} \rho' & \text{if } \rho_{min} \leq \rho' \leq \rho_{max} \\ \rho_{min} & \text{if } \rho' < \rho_{min} \\ \text{"Tidak OK"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \rho = 0.623\%$$

RSNI-T12-04

Pasal 5.1.1.5

Rasio tulangan minimum

ρ_{min} adalah nilai

maksimum antara ρ_{min1}

dan ρ_{min2} .

RSNI-T12-04

Pasal 5.1.1.6

Rasio tulangan maksimum

Rasio luas tulangan, ρ

tidak boleh lebih besar dari

$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$ (over

reinforced). Jika lebih

kecil dari ρ_{min} maka

$\rho = \rho_{min}$.

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

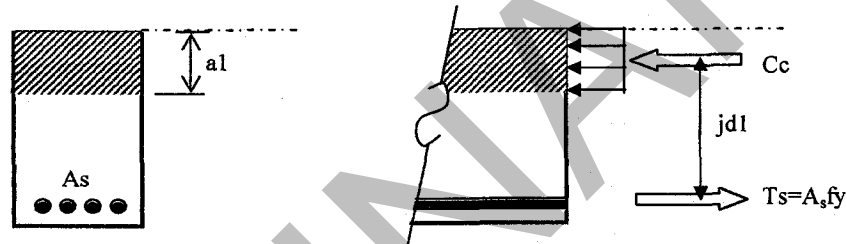
$As_{req} := \rho \cdot bw \cdot d$ $As_{req} = 42.374 \text{ cm}^2$ $Ds := 32 \text{ mm}$ $Asl := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot Ds^2$ $Asl = 8.042 \text{ cm}^2$ Ambil saja jumlah tulangan, $n := \text{ceil}\left(\frac{As_{req}}{Asl}\right)$ $n = 6$ $As := n \cdot Asl$ $As = 48.255 \text{ cm}^2$ Jadi dipakai tulangan 6D32	
<p>LANGKAH 4 : Pemeriksaan Jarak antar Tulangan</p> <p>Berdasarkan RSNI - T12 - 2004 pasal 5.1.1.7 minimum jarak bersih tulangan adalah</p> <p>Ukuran agregat $D_{agr} := 2.0 \text{ cm}$ Diameter tulangan utama $Ds = 32 \text{ mm}$ Selimut beton $dc = 40 \text{ mm}$ $s_{min} := \max(1.5 \cdot D_{agr}, 1.5 \cdot Ds, 40 \text{ mm})$ $s_{min} = 48 \text{ mm}$</p> <p>Spasi aktual</p> $\frac{bw - 2 \cdot dc - 2 \cdot 13 \text{ mm} - Ds}{n - 1} - Ds = 60.4 \text{ mm}$ <p>OK !</p>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.7 Jarak bersih tulangan Spasi antara tulangan adalah nilai terbesar dari $1.5D_{agr}$, $1.5Ds$ atau 40 mm.</p>

4.3 PERENCANAAN KEKUATAN BALOK TULANGAN GANDA

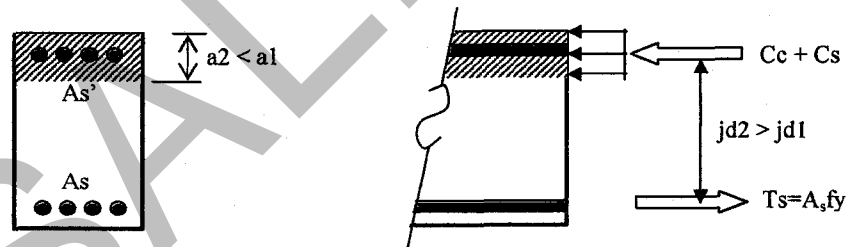
Hampir sering ditemui balok mempunyai tulangan ganda, yaitu tulangan tarik dan tulangan tekan.

Effek dari digunakannya tulangan tekan terhadap kekuatan adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan panjang lengan momen, $jd2$ sedikit lebih besar dari tanpa tulangan tekan ($jd1$) karena tinggi tekan beton, a berkurang dengan demikian meningkatkan momen nominal penampang beton.
2. Secara umum penambahan tulangan tekan untuk $\rho = 0.015$ terdapat peningkatan momen nominal sebesar 5% saja, dengan demikian pengaruhnya sangat kecil.



a) Balok dengan tulangan tarik saja

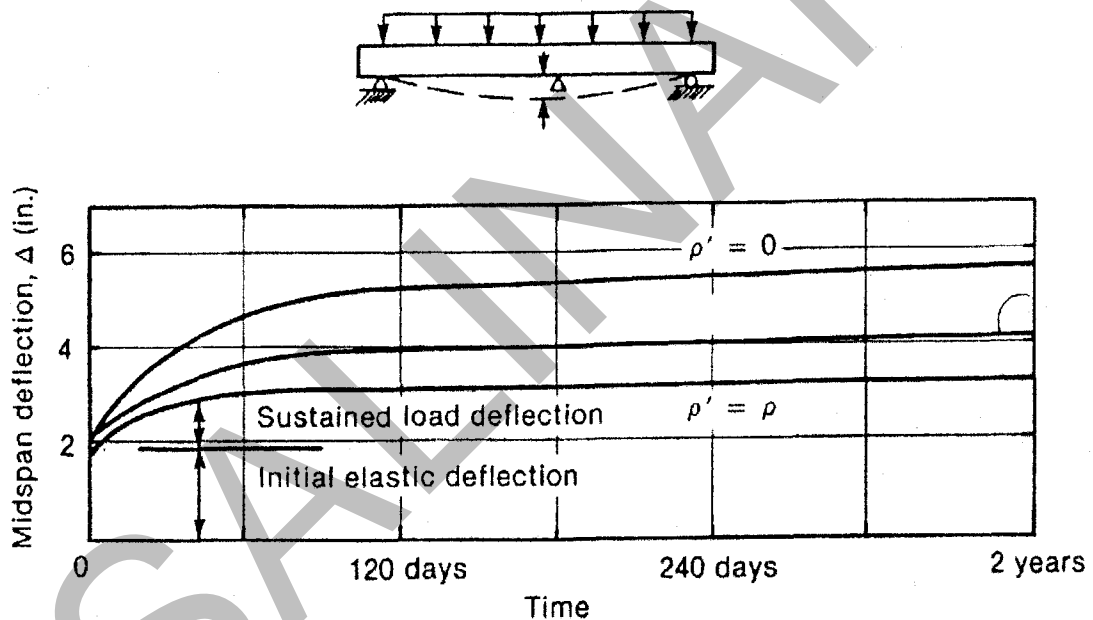


b) Balok dengan tulangan tarik dan tekan

Gambar 4.7 Perbandingan Penampang tanpa tulangan tekan (a) dan dengan tulangan tekan (b)

Alasan diperlukan tulangan tekan dalam desain balok :

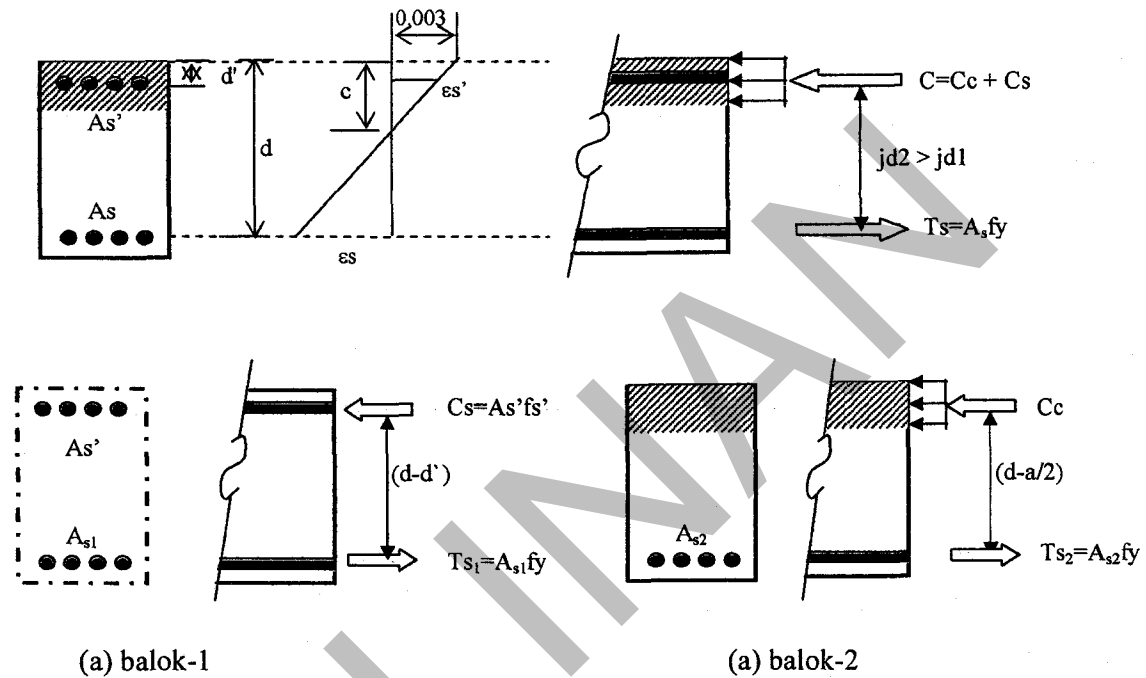
1. Berfungsi mengurangi defleksi jangka panjang, karena rangkai beton dalam daerah tekan beton ditransfer kedalam tulangan tekan, dengan demikian tegangan tekan beton berkurang oleh sebab itu defleksi jangka panjang berkurang.
2. Meningkatkan daktilitas, hal ini penting untuk daerah gempa atau diperlukan redistribusi momen dalam desain.
3. Merubah mode keruntuhan tekan menjadi tarik, dengan demikian keruntuhan getas dapat dihindari.
4. Kemudahan fabrikasi khususnya dalam merangkai tulangan geser.



Gambar 4.8 Efektivitas tulangan tekan dalam mengurangi defleksi akibat beban tetap (sustained), *James G. MacGregor*

4.3.1 ANALISIS BALOK TULANGAN GANDA

Dalam melakukan analisis balok tulangan ganda, dapat kita bayangkan bahwa penampang balok terbagi menjadi *balok-1*, terdiri dari tulangan tekan pada bagian atas dan tulangan tarik yang cukup pada bagian bawah, dan *balok-2* terdiri dari penampang balok tulangan tarik tunggal pada bagian bawah dan daerah tekan beton pada bagian atas.



Gambar 4.7 Penampang, Regangan dan Gaya dalam Beton dengan Tulangan Tekan.

Tegangan tulangan tekan, f_s' seperti ditunjukkan pada *balok-1* Gambar 4.7 menunjukkan distribusi regangan, ϵ_s' pada balok dengan tulangan tekan.

$$\epsilon_s' = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot 0.003 \quad 4.3-1$$

Jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka $f_s' = f_y$, dan $c = a/\beta_1$

$$\epsilon_s' = \left(1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a} \right) \cdot 0.003 \quad 4.3-2$$

Batasan d'/a agar tulangan tekan leleh dapat diperoleh dengan mensubstitusikan $\epsilon_s' = \epsilon_y$ dengan $\epsilon_y = f_y/E_s$ dimana modulus elastisitas beton, $E_s = 200.000 \text{ MPa}$.

$$\left(\frac{d'}{a}\right)_{batas} = \frac{1}{\beta_1} \left(1 - \frac{f_y}{600}\right) \quad 4.3-3$$

4.3.2 ANALISIS BALOK TULANGAN GANDA DENGAN TULANGAN TEKAN LELEH

Balok dengan tulangan tekan leleh dapat dijelaskan dengan membuat dua penampang balok imajiner seperti sudah dijelaskan di atas.

Balok-1 : $f_s' = f_y$ (tulangan tekan leleh)

Keseimbangan gaya dalam balok

$$C_s = T_{s1}$$

$$A_s' f_y = A_{s1} f_y \Leftrightarrow A_s' = A_{s1} \quad 4.3-4$$

Momen nominal pada balok-1 dihitung sebagai momen kopel terhadap tulangan.

$$M_{n1} = A_s' (d-d') \quad 4.3-5$$

Balok-2 : terdiri dari beton dan sisa tulangan , $A_{s2} = A_{st} - A_{s1}$

$$C_c = T_{s2}$$

$$0.85 f_c' a b = (A_s - A_{s1}) f_y \Leftrightarrow a = \frac{(A_s - A_{s1}) f_y}{0.85 f_c' b} \quad 4.3-6$$

$$M_{n2} = (A_s - A_s') f_y (d - a/2) \quad 4.3-7$$

Dengan demikian kapasitas momen nominal total balok dengan tulangan tekan adalah sebagai berikut

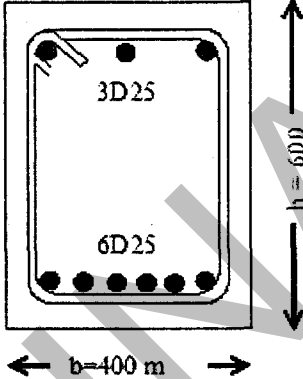
$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$M_n = A_s' (d-d') + (A_s - A_s') f_y (d - a/2) \quad 4.3-8$$

Bila $A_s' = r A_s$ (persentasi terhadap tulangan tarik totalnya) disubstitusikan kedalam pers. 4.3-8, maka dapat dihitung momen nominal tulangan ganda, M_{nD} sebagai perbandingan terhadap momen nominal tulangan tunggal, M_{nS} .

$$Mn_D = \left(1 + r \frac{(1 - 0.5r - d'/a1)}{d/a1 - 0.5} \right) Mn_s \quad 4.3-9$$

$$Mn_D = K_{vd} * Mn_s$$

CONTOH 4.3a	ANALISIS BALOK BETON TULANGAN GANDA	3 1
SOAL : Analisis balok beton tulangan ganda (tulangan tekan leleh)		
		
DIBERIKAN :		
Dimensi balok	Mutu material	
lebar b := 400mm	fc := 35MPa	
tinggi h := 600mm	fy := 400MPa	
	Es := 200000MPa	
LANGKAH 1 : Menentukan faktor β1		RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1 Faktor β1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika fc lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak kurang dari 0.65.
$\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \cdot \left(\frac{f_c}{\text{MPa}} - 30 \right) & \text{if } f_c > 30\text{MPa} \\ 0.85 & \text{if } f_c \leq 30\text{MPa} \end{cases}$ $\beta_1 := \max(0.65, \beta_1) \qquad \beta_1 = 0.814$		$\beta_1 = 0.814$

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

<p>LANGKAH 2 : Menentukan luas tulangan seimbang (balanced) dan luas tulangan maksimum yang diijinkan</p> <p>Tebal selimut beton bersih untuk balok $d' := 20\text{mm}$</p> <p>tinggi efektif balok $d := h - d'$ $d = 0.58\text{ m}$</p> $\rho_b := \frac{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad \rho_b = 3.634\%$ $A_{sb} := \rho_b \cdot b \cdot d \quad A_{sb} = 8430.3\text{mm}^2$ $\rho_{\max} := 0.75 \cdot \rho_b \quad \rho_{\max} = 2.725\%$ $A_{s\max} := \rho_{\max} \cdot b \cdot d \quad A_{s\max} = 6322.73\text{mm}^2$	
<p>LANGKAH 3 : Pemeriksaan kondisi keruntuhan</p> <p><u>Tulangan Tarik Beton</u></p> <p>Diameter $D_s := 25\text{-mm}$</p> <p>Luas unit tulangan $A_b := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 \quad A_b = 4.909\text{cm}^2$</p> <p>Jumlah $n := 6$</p> <p>Luas total tul. $A_s := n \cdot A_b \quad A_s = 2.945 \times 10^3 \text{ mm}^2$</p> $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} \quad \rho = 1.27\%$ <p>ket = "Under-Reinforced, OK"</p>	

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

<p><u>Tulangan Tekan Beton</u></p> <p>Diameter $D_s := 25\text{-mm}$</p> <p>Luas unit tulangan $A_b := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 \quad A_b = 4.909\text{cm}^2$</p> <p>Jumlah $n := 3$</p> <p>Luas total tul. $A_{s'} := n \cdot A_b \quad A_{s'} = 1.473 \times 10^3 \text{ mm}^2$</p> <p>$\rho' := \frac{A_{s'}}{b \cdot d} \quad \rho' = 0.635\%$</p> <p>Perbandingan $A_{s'}/A_s \quad r := \frac{A_{s'}}{A_s} \quad r = 50\%$</p>		
<p>LANGKAH 4 : Menghitung tinggi blok tekan beton, a, asumsi $f_s' = f_y$; $f_s = f_y$</p> <p>$a := \frac{(A_s - A_{s'}) \cdot f_y}{0.85 f_c \cdot b} \quad a = 49.5\text{mm}$</p>		
<p>LANGKAH 5 : Periksa apakah tulangan tekan leleh</p> <p>$\frac{d'}{a} = 0.404 < d'a_{\text{lim}} := \frac{1}{\beta_1} \cdot \left(1 - \frac{f_y}{E_s \cdot 0.003} \right) \quad d'a_{\text{lim}} = 0.409$</p> <p>$f_{s' \text{ aktual}} = "f_y, (f_s' \text{ leleh})"$</p> <p>$f_s' = 400\text{MPa}$</p>		<p>Jika $d'/a < (d'a_{\text{lim}})$ maka tulangan tekan leleh.</p>
<p>LANGKAH 6 : Menghitung momen nominal, $M_n \quad \phi = 0.8$</p> <p>$M_n := A_{s'} \cdot f_s' \cdot (d - d') + (A_s - A_{s'}) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$</p> <p>$M_n = 656.937\text{kN}\cdot\text{m}$</p>		

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

4.3.3 ANALISIS BALOK TULANGAN GANDA DENGAN TULANGAN TEKAN LELEH MENGGUNAKAN TABEL MANUAL

Balok dengan tulangan tekan leleh dapat dihitung menggunakan tabel manual perencanaan (lihat Lampiran B). Adapun langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Lakukan langkah-langkah untuk mencari momen tulangan tunggal.
 - a. Tentukan mutu beton, f_c dan mutu baja, f_y
 - b. Hitung $\rho = A_s / b_w \cdot d$
 - c. Hitung $M_u = \phi M_n = \text{nilai tabel } (M_u / b_w \cdot d^2) \cdot b_w \cdot d^2$
 - d. Check $\phi M_n \geq M_u \text{ rencana}$
2. Mencari faktor pengali momen tulangan tunggal dalam langkah 1, K_{vd}
3. Hitung momen nominal tulangan ganda, M_{nD}

CONTOH 4.3b	ANALISIS BALOK BETON TULANGAN GANDA	3 1
SOAL : Analisis balok beton tulangan ganda (tulangan tekan leleh) menggunakan tabel manual. (Contoh 4.3a)		
LANGKAH 1 : Menghitung rasio tulangan, ρ Luas total tul. $A_s = 2.945 \times 10^3 \text{ mm}^2$ $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} \quad \rho = 1.27\%$		

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

LANGKAH 2 : Mencari nilai Mu/bd^2 dari tabel berdasarkan p di atas

Tabel untuk nilai $f_c = 35 \text{ MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$

Lampiran A.4a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

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

No	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$
19	1.6356	0.0053	2.6212	0.0087	3.5570	0.0121	4.4432	0.0155
20	1.6653	0.0054	2.6494	0.0088	3.5838	0.0122	4.4685	0.0156
21	1.6949	0.0055	2.6776	0.0089	3.6105	0.0123	4.4937	0.0157
22	1.7245	0.0056	2.7057	0.0090	3.6372	0.0124	4.5190	0.0158
23	1.7541	0.0057	2.7339	0.0091	3.6639	0.0125	4.5441	0.0159
24	1.7836	0.0058	2.7619	0.0092	3.6905	0.0126	4.5693	0.0160
25	1.8131	0.0059	2.7899	0.0093	3.7170	0.0127	4.5944	0.0161
26	1.8426	0.0060	2.8179	0.0094	3.7435	0.0128	4.6194	0.0162
27	1.8720	0.0061	2.8458	0.0095	3.7700	0.0129	4.6444	0.0163
28	1.9013	0.0062	2.8737	0.0096	3.7964	0.0130	4.6694	0.0164
29	1.9306	0.0063	2.9016	0.0097	3.8228	0.0131	4.6943	0.0165
30	1.9599	0.0064	2.9294	0.0098	3.8492	0.0132	4.7192	0.0166
31	1.9891	0.0065	2.9572	0.0099	3.8755	0.0133	4.7440	0.0167
32	2.0183	0.0066	2.9849	0.0100	3.9017	0.0134	4.7688	0.0168
33	2.0474	0.0067	3.0125	0.0101	3.9279	0.0135	4.7936	0.0169
34	2.0765	0.0068	3.0402	0.0102	3.9541	0.0136	4.8183	0.0170

Catatan :

batasan tulangan $p_{min} \leq p_{act} < p_{max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

A_s [mm²]

$$\beta_1 = 0.85 - 0.008 (f_c' - 30)$$

$$p_{min} = 0.0035$$

$$p_{max} = 0.0271$$

$$M_u = 3.717 \cdot \text{MPa} \cdot b \cdot d^2 \quad M_u = 500.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

LANGKAH 3 : Mencari faktor pengali momen tulangan tunggal, K_{vd}

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

Lampiran B.4 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

$f_c = 35 \text{ MPa}$									
$f_y = 400 \text{ MPa}$									
$r = A_s'/A_s =$		25%		50%		75%		80%	
No.	$A_s/(b \cdot d)$	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
13	0.0121	0.122	1.025	0.082	1.048	0.041	1.070	0.033	1.074
14	0.0129	0.130	1.027	0.086	1.052	0.043	1.074	0.035	1.078
15	0.0138	0.137	1.029	0.091	1.055	0.046	1.079	0.037	1.083
16	0.0143	0.144	1.030	0.096	1.058	0.048	1.083	0.038	1.088
17	0.0150	0.151	1.032	0.101	1.061	0.050	1.088	0.040	1.093
18	0.0157	0.159	1.034	0.106	1.065	0.053	1.093	0.042	1.098
19	0.0165	0.166	1.035	0.111	1.068	0.055	1.098	0.044	1.103
20	0.0172	0.173	1.037	0.115	1.071	0.058	1.102	0.046	1.108
21	0.0179	0.181	1.039	0.120	1.075	0.060	1.107	0.048	1.113

$\beta_1 = 0.85 - 0.008(f_c' - 30) = 0.81$
 $\rho_{min} = 0.0035$
 $\rho_{max} = 0.0271$
 $d'/a \leq 0.409$
 $a = (A_s' - A_s) \cdot f_y / (0.85 \cdot f_c' \cdot b)$

Catatan:

Momen nominal tul. Ganda, $M_n = Kvd \cdot M_n$

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} \leq \rho_{max}$

Satuan: b [mm]; d [mm]; A_s [mm²]

Interpolasi nilai Kvd di antara $A_s/(b \cdot d) = 0.0121$ dan 0.0129

$$Kvd = 1.048 + \frac{1.052 - 1.048}{0.0129 - 0.0121} \cdot (0.0127 - 0.0121) = 1.051$$

Untuk rasio tulangan, $\rho = 0.0127$ $Kvd := 1.051$

LANGKAH 4 : Menghitung momen nominal penampang tulangan ganda M_{nD}

$$\Rightarrow Mu = 5.002 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\Rightarrow \phi M_{nD} := Mu \cdot Kvd \quad \phi M_{nD} = 525.668 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\Rightarrow M_{nD} = \frac{\phi M_{nD}}{\phi} = 657.085 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{error} := \frac{657.085 - 656.937}{656.937} \quad \text{error} = 0.023\%$$

Perhitungan menggunakan tabel masih cukup teliti dengan kesalahan sebesar 0.023% terhadap nilai dari perhitungan rumus asal pada soal no. 4.3a.

4.4 PERENCANAAN KEKUATAN BALOK TERHADAP GESER

Perencanaan ini berlaku untuk balok beton bertulang yang mengalami gaya geser, momen lentur dan gaya aksial. Namun perencanaan jangan diterapkan pada komponen yang tidak terlentur.

4.4.1 KEKUATAN GESER RENCANA PADA BALOK

Perencanaan penampang akibat geser harus didasarkan pada:

$$V_u \leq \Phi V_n \quad (4.4-1)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (4.4-2)$$

V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

4.4.2 KUAT GESER YANG DISUMBANGKAN OLEH BETON

- a) Sesuai dengan sifat beban yang bekerja, maka kuat geser V_c dapat dihitung dgn pers. 4.4-3 dan 4.4-4.

- 1) Untuk komponen struktur yang dibebani geser dan lentur saja, berlaku:

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (4.4-3)$$

- 2) Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, berlaku:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (4.4-4)$$

- 3) Untuk komponen struktur yang dibebani gaya tarik aksial yang cukup besar. Tulangan geser harus direncanakan untuk memikul geser total yang terjadi, kecuali bila dihitung secara lebih rinci sesuai dengan ketentuan pasal 4.4.2.(b(2)).

- b) Kuat geser V_c boleh dihitung dengan perhitungan yang lebih rinci sebagai berikut.

1. Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja,

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \quad (4.4-5)$$

tetapi tidak boleh diambil lebih besar dari pada $0,3\sqrt{f'_c}b_w d$, dan besaran $\frac{V_u d}{M_u}$, tidak boleh diambil melebihi 1,0 dimana M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

2. Untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar, kuat geser V_u dapat dihitung dengan perhitungan yang lebih rinci sebagai berikut,

$$V_c = \left(1 + \frac{0,3N_u}{A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (4.4-6)$$

tetapi tidak kurang daripada nol, dengan N_u adalah negatif untuk tarik.

Besaran $\frac{N_u}{A_g}$ harus dinyatakan dalam MPa.

4.4.3 SYARAT-SYARAT TULANGAN GESER

- a) Apabila $0,5\Phi V_c < V_u \leq \Phi V_c$, harus dipasang tulangan minimum sesuai sub bab 4.4.5.
- b) Tulangan geser minimum ini tidak diperlukan bila:
 - $V_u \leq 0,5\Phi V_c$, atau
 - $V_u \leq \Phi V_c$ dengan tinggi total balok $h \leq 250 \text{ mm}$, $2,5 \cdot hf$ atau $h \leq \frac{1}{2} \cdot bw$.
(dimana hf = tinggi sayap; bw = lebar badan)

- c) Apabila $V_u > \Phi V_c$, tulangan geser harus dipasang sesuai dengan perencanaan tulangan geser pada sub bab 4.4.4

4.4.4 KUAT GESER YANG DISUMBANGKAN OLEH TULANGAN GESER

Apabila gaya geser, V_u harus ditahan oleh tulangan geser, maka batas spasi maksimum S_{\max} dan luas tulangan geser A_v , dapat dihitung berdasarkan aturan sebagai berikut:

- a) Untuk tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, maka:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4.4-7)$$

- b) Untuk tulangan geser miring:

$$V_s = \frac{A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{s} \quad (4.4-8)$$

Notasi α adalah sudut antara sengkang miring dan sumbu longitudinal komponen struktur.

$$S_{\max} = \frac{d}{2}; \text{ atau } 600 \text{ mm (ambil nilai yang terkecil) bila } V_s \leq \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$S_{\max} = \frac{d}{4}; \text{ atau } 300 \text{ mm (ambil nilai yang terkecil) bila } V_s > \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$$

Namun dalam segala hal, $V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} b_w d$

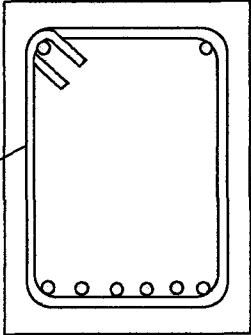
4.4.5 TULANGAN GESER MINIMUM

Luas tulangan geser minimum dapat dihitung sebagai berikut,

$$A_{s(\min)} = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y} \quad (4.4-9)$$

Nilai b_w dan s dinyatakan dalam millimeter.

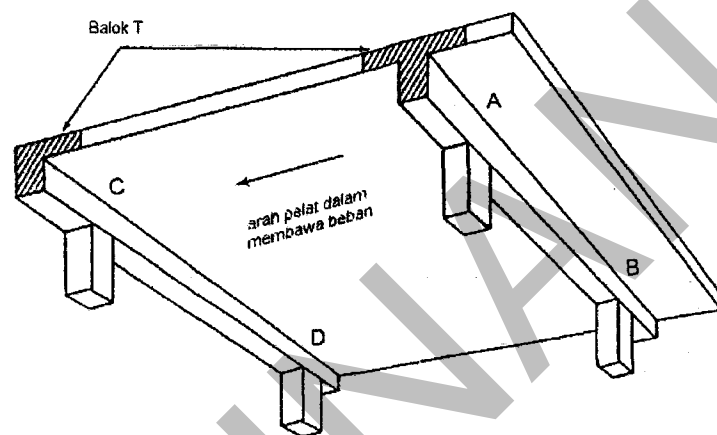
CONTOH 4.4	DESAIN TULANGAN GESER BALOK BETON BERTULANG	4 1
SOAL : Desain tulangan geser balok persegi beton bertulang dari contoh 4.2.		
DIBERIKAN :		
Gaya Geser Ultimate	$V_u = 490\text{kN}$	$\phi := 0.7$
Dimensi Balok	$b_w = 600\text{mm}$	$f_c' = 20\text{MPa}$
	$h = 1200\text{mm}$	$f_y = 400\text{MPa}$
LANGKAH 1 : Menghitung kuat geser yang disumbangkan beton		RSNI-T12-04 Pasal 5.2.4
$V_c := \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c' \text{ (Mpa)}} \cdot b_w \cdot d$		$V_c = 507.14\text{kN}$
LANGKAH 2 : Menghitung kebutuhan geser		RSNI-T12-04 Pasal 5.2.6 V_s tidak boleh > $\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c' \text{ (Mpa)}} \cdot b_w \cdot d$
$V_s := \frac{V_u}{\phi} - V_c$		$V_s = 192.86\text{kN}$
Check : $V_s < \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c' \text{ (Mpa)}} \cdot b_w \cdot d = 2.029 \times 10^3 \text{ kN}$		
Note1 = "OK, Syarat penampang terpenuhi"		
Check : $V_u = 490\text{kN} > 0.5 \phi \cdot V_c = 177.499\text{kN}$		
Note2 = " $V_u > 0.5 \phi \cdot V_c$, Perlu Sengkang"		

<p>LANGKAH 3 : Menghitung luas tulangan geser perlu per spasi, $A_v/s=A_v_s$</p> $A_{vs} := \frac{V_s}{f_y \cdot d} \qquad A_{vs} = 0.425 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$ <p>Tulangan geser minimum</p> $A_{vs \min} := \frac{b_w}{3 \cdot f_y} \qquad A_{vs \min} = 0.5 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$ <p>Tulangan geser yang harus dipasang per jarak spasi</p> $A_{vs} := \max(A_{vs}, A_{vs \min}) \qquad A_{vs} = 0.5 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.2.7</p> <p>Nilai A_{vs} diambil dari nilai terbesar antara A_{vs} dan nilai tulangan geser minimum $A_{vs \min}$.</p>
<p>LANGKAH 4 : Menentukan luas dan spasi yang digunakan</p> <p>Spasi maksimum:</p> $s_{\text{makgeser}} := \begin{cases} \min\left(\frac{d}{2}, 0.75h, 600\text{mm}\right) & \text{if } V_s < \frac{\sqrt{f_c'} \cdot (\text{Mpa})}{3} \cdot b_w \cdot d \\ \min\left(\frac{d}{4}, 0.375h, 300\text{mm}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$ <p>$s_{\text{makgeser}} = 567\text{mm}$</p> <p>Diameter sengkang $D_t := 10\text{mm}$</p> <p>Jumlah kaki sengkang $n_k := 2$</p> <p>Luas sengkang, A_v $A_v := n_k \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot D_t^2 \qquad A_v = 157.08\text{mm}^2$</p> <p>Spasi sengkang perlu $sp := \frac{A_v}{A_{vs}} \qquad sp = 314.159\text{mm}$</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.2.6</p> <p>Spasi maksimum adalah nilai terkecil dari $d/2, 0.75h$ atau 600 mm jika nilai $V_s < \frac{\sqrt{f_c'}}{3} b_w \cdot d$, jika V_s lebih besar atau sama dengan $\frac{\sqrt{f_c'}}{3} b_w \cdot d$ maka spasi maksimum adalah nilai terkecil dari $d/4, 0.375h$ atau 300mm.</p> <p>Desain penulangan geser sepanjang balok dapat diperoleh dengan cara yang sama untuk gaya geser yang diketahui.</p>

4.5 PERENCANAAN BALOK T

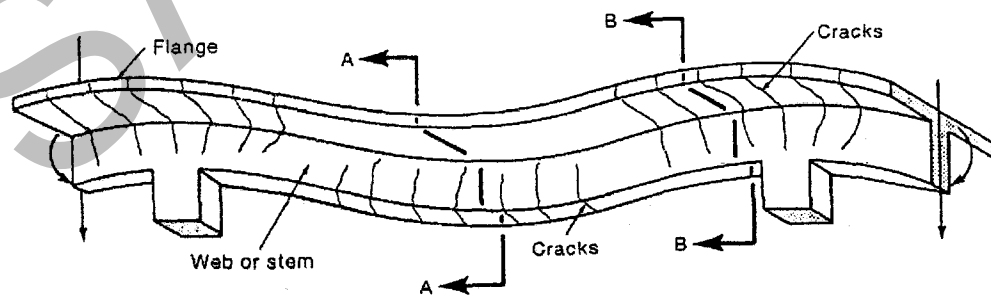
4.5.1 BALOK T DAN BALOK T-SEMU

Dalam sistem pelat lantai seringkali pelat dicor bersamaan dengan balok secara monolit, dalam hal ini pelat dapat bekerja sebagai sayap dari balok 'T' seperti terlihat pada Gambar 4.8. Pada sistem tersebut pelat diasumsikan menyalurkan beban satu arah yaitu tegak lurus terhadap arah axis balok.

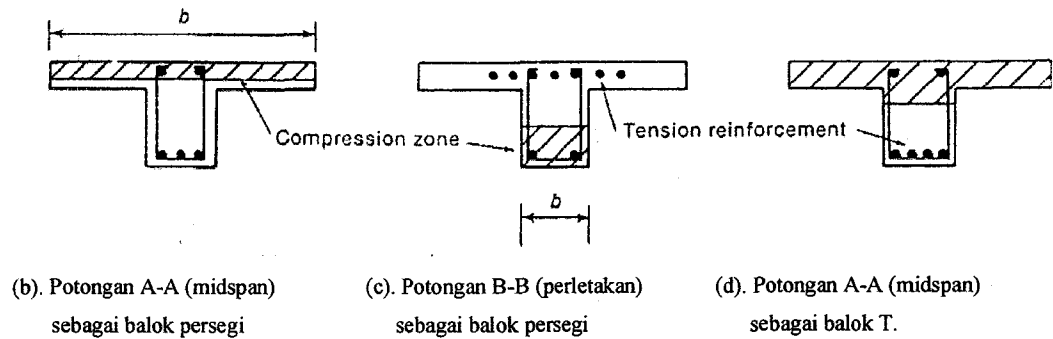


Gambar 4.8 Balok T dalam sistem pelat satu arah

Pada tampak terdefleksi dalam gambar 4.9, balok T ini akan mengalami momen positif di tengah bentang (potongan A-A) dan negatif momen di atas perletakan (potongan B-B).



(a) balok terdefleksi



Gambar 4.9 Balok T dalam momen positif dan negatif

Pada daerah perletakan balok T pada umumnya diperlakukan sebagai balok persegi, karena daerah tekan beton akibat momen negatif berbentuk persegi seperti terlihat pada gambar 4.9c. Adapun pada tengah bentang balok T dapat diperlakukan dengan dua kemungkinan, dapat dianalisis sebagai balok T semu (balok persegi) atau balok T sebenarnya.

Untuk menentukan balok T semu atau sebenarnya perlu digunakan pemeriksaan terlebih dahulu tinggi blok tekan beton, a dengan asumsi awal tinggi blok tekan beton memotong flens.

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b_f}$$

Setelah a asumsi diperoleh, selanjutnya diperiksa apakah a memotong flens atau badan penampang balok:

- jika a (asumsi) $\leq h_f$, maka dianalisis sebagai balok T semu (balok persegi seperti gambar 4.9b),
- jika a (asumsi) $> h_f$, maka dianalisis sebagai balok T sebenarnya, seperti dapat dilihat pada gambar 4.9d

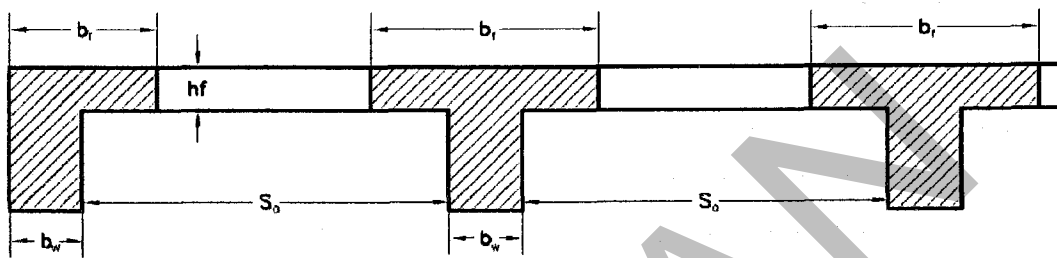
Lebar efektif sayap balok T berdasarkan SNI adalah nilai terkecil dari persyaratan sebagai berikut :

- $b_f = L/4$, dimana L adalah panjang bentang balok tersebut
- $b_f = b_w + 16 h_f$

- $b_f = b_w + S_o$, dimana S_o adalah jarak bersih antara balok dengan balok sebelahnya

Sedangkan lebar efektif balok L (balok yang hanya mempunyai pelat pada satu sisi saja) tidak boleh lebih dari :

- $b_f = b_w + L/12$
- $b_f = b_w + 6 h_f$
- $b_f = b_w + S_o/2$



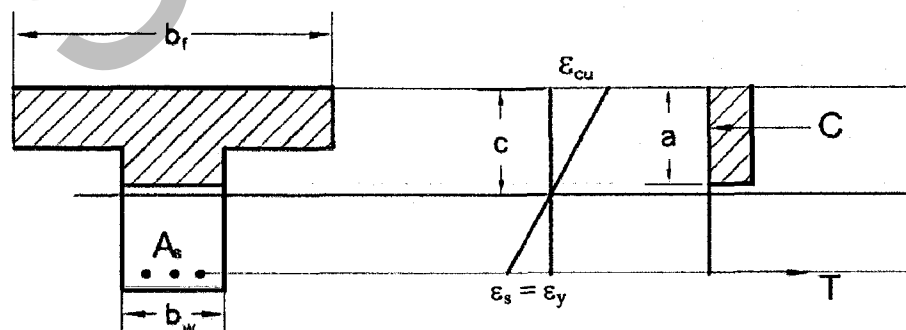
Gambar 4.10 Lebar efektif balok dengan sayap

4.5.2 ANALISIS BALOK T TULANGAN TUNGGAL

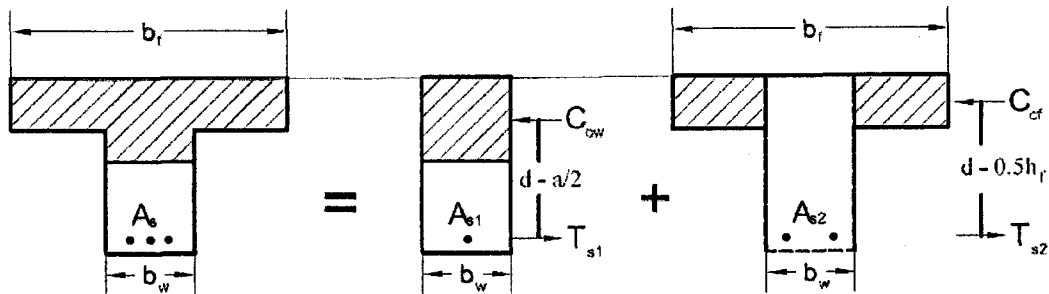
Seperti halnya dengan balok persegi dalam menganalisis balok T terdapat beberapa kondisi yaitu :

a) Keruntuhan balans (seimbang)

Keruntuhan balans atau seimbang terjadi bila regangan maksimum pada serat terluar pada daerah tekan beton telah mencapai $\epsilon_{cu} = 0.003$ dan bersamaan dengan itu tulangan baja mencapai regangan leleh baja $\epsilon_s = \epsilon_y$. Keruntuhan balans ini digunakan untuk memeriksa jenis keruntuhan penampang apakah keruntuhan tarik (under reinforced) atau keruntuhan tekan (over reinforced).



(a) Penampang , Regangan dan Gaya dalam Balok T Kondisi Berimbang



(b) Keseimbangan Kopel Gaya

Gambar 4.11 Analisis Balok T Tulangan Tunggal

Dengan persamaan segitiga sebangun dalam gambar 4.11 (a) diperoleh tinggi blok desak pada kondisi balans, a_b pada balok T.

$$a_b = \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \quad (4.5-1)$$

Keseimbangan kopel gaya secara jelas dapat dilihat pada gambar 4.11 (b)

$$T = C$$

Dimana

$$T = A_{sb} f_y$$

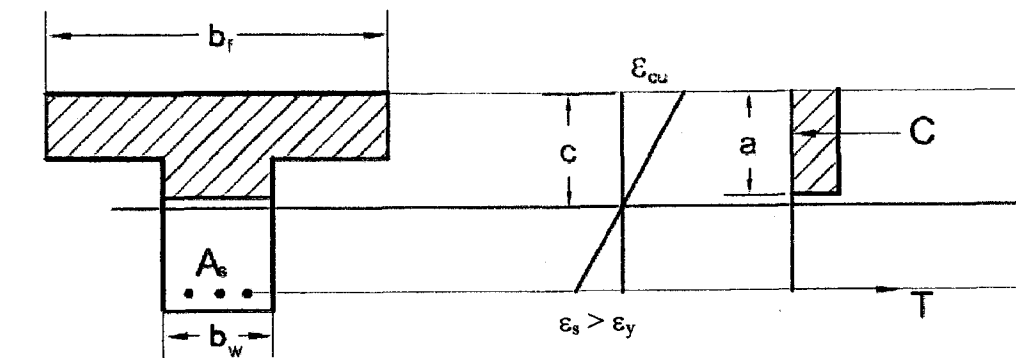
$$C = C_{cw} + C_{cf} = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f \quad (4.5-2)$$

Dengan mensubstitusikan nilai a yang diperoleh dari pers. (4.5-1) kedalam pers. (4.5-2) diperoleh A_{sb}

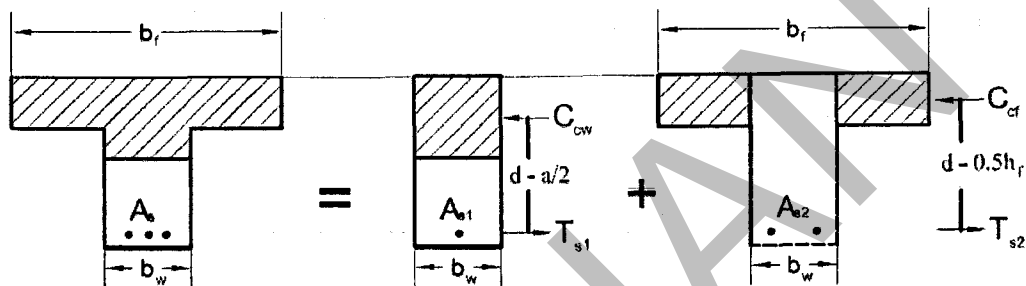
$$A_{sb} = \frac{0.85 f_c}{f_y} \left(\beta_1 b_w \left(\frac{600d}{600 + f_y} \right) + (b_f - b_w) h_f \right) \quad (4.5-1)$$

b) Keruntuhan Tarik (under reinforced)

Keruntuhan tarik terjadi bila keruntuhan dimulai dengan tulangan tarik baja mengalami leleh terlebih dahulu. Hal ini terjadi bila tulangan tarik baja lebih kecil dari luas tulangan balans, A_{sb} yang dihitung pada pers. (4.5-1).



(a) Penampang, Regangan dan Gaya dalam Balok T Kondisi Tarik



(b) Keseimbangan Kopel Gaya

Gambar 4.12 Analisis Balok T Tulangan Tunggal Kondisi Tarik

Keseimbangan kopel gaya secara jelas dapat dilihat pada gambar 4.12 (b)

$$T = C$$

Dimana

$$T = A_s f_y$$

$$C = C_{cw} + C_{cf} = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f \quad (4.5-2)$$

Bila persamaan (4.5-2) diselesaikan maka tinggi balok desak beton, a adalah

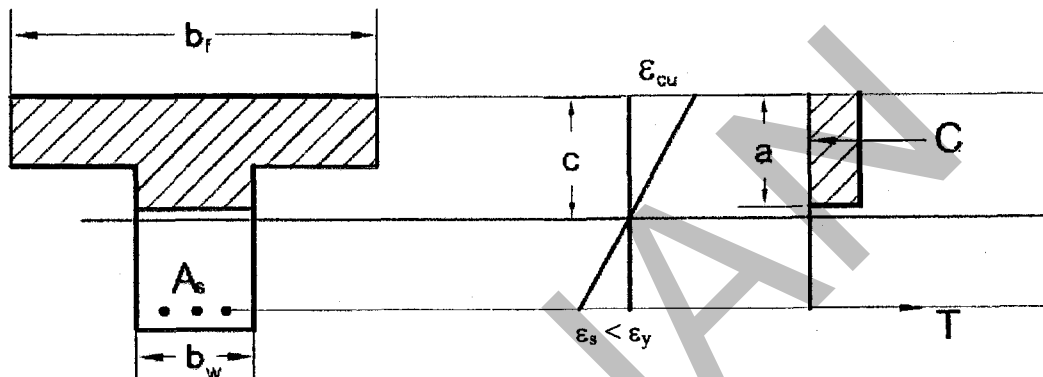
$$a = \frac{A_s f_y - 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f}{0.85 f_c b_w} \quad (4.5-3)$$

Tinggi blok tekan beton, a hasil dari perhitungan sesuai pers. (4.5-3) harus diperiksa. Jika $a \geq h_f$, maka balok dianalisis sebagai balok T jika tidak cukup dianalisis sebagai balok persegi. Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung momen nominal balok T :

$$M_n = C_{cw} (d - 0.5a) + C_{cf} (d - 0.5h_f)$$

c) Keruntuhan Tekan (over reinforced)

Keruntuhan tekan terjadi bila keruntuhan dimulai dengan kehancuran pada daerah tekan beton terlebih dahulu. Hal ini terjadi bila tulangan tarik baja lebih banyak dari luas tulangan balans, A_{sb} yang dihitung pada pers. (4.5-1) atau regangan baja, $\epsilon_s < \epsilon_y$. Keruntuhan tekan bersifat getas sehingga tidak disarankan merencanakan dengan kondisi keruntuhan tekan.



Gambar 4.13 Penampang, Regangan dan Gaya dalam Balok T Kondisi Tekan

Keseimbangan kopel gaya :

$$T = C$$

Dimana

$$T = A_s \epsilon_s E_s$$

$$C = C_{cw} + C_{cf} = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f \quad (4.5-4)$$

Regangan baja, ϵ_s diperoleh dari perbandingan segitiga diagram regangan seperti terlihat pada gambar 4.13.

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \left(\frac{\beta_1 d}{a} - 1 \right) \quad (4.5-5)$$

Untuk mendapatkan nilai tinggi blok tekan beton, a diperoleh dengan mensubstitusikan pers. (4.5-5) kedalam pers. (4.5-4). Selanjutnya persamaan diselesaikan dengan akar persamaan kuadrat.

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

$$T = C_{cw} + C_{cf}$$

$$A_s \varepsilon_{cu} \left(\frac{\beta_1 d}{a} - 1 \right) E_s = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f$$

$$0.85 f_c b_w a^2 + (0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A_s \varepsilon_{cu} E_s) a - (A_s \varepsilon_{cu} \beta_1 d E_s) = 0$$

$$a = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (4.5-6)$$

Dimana :

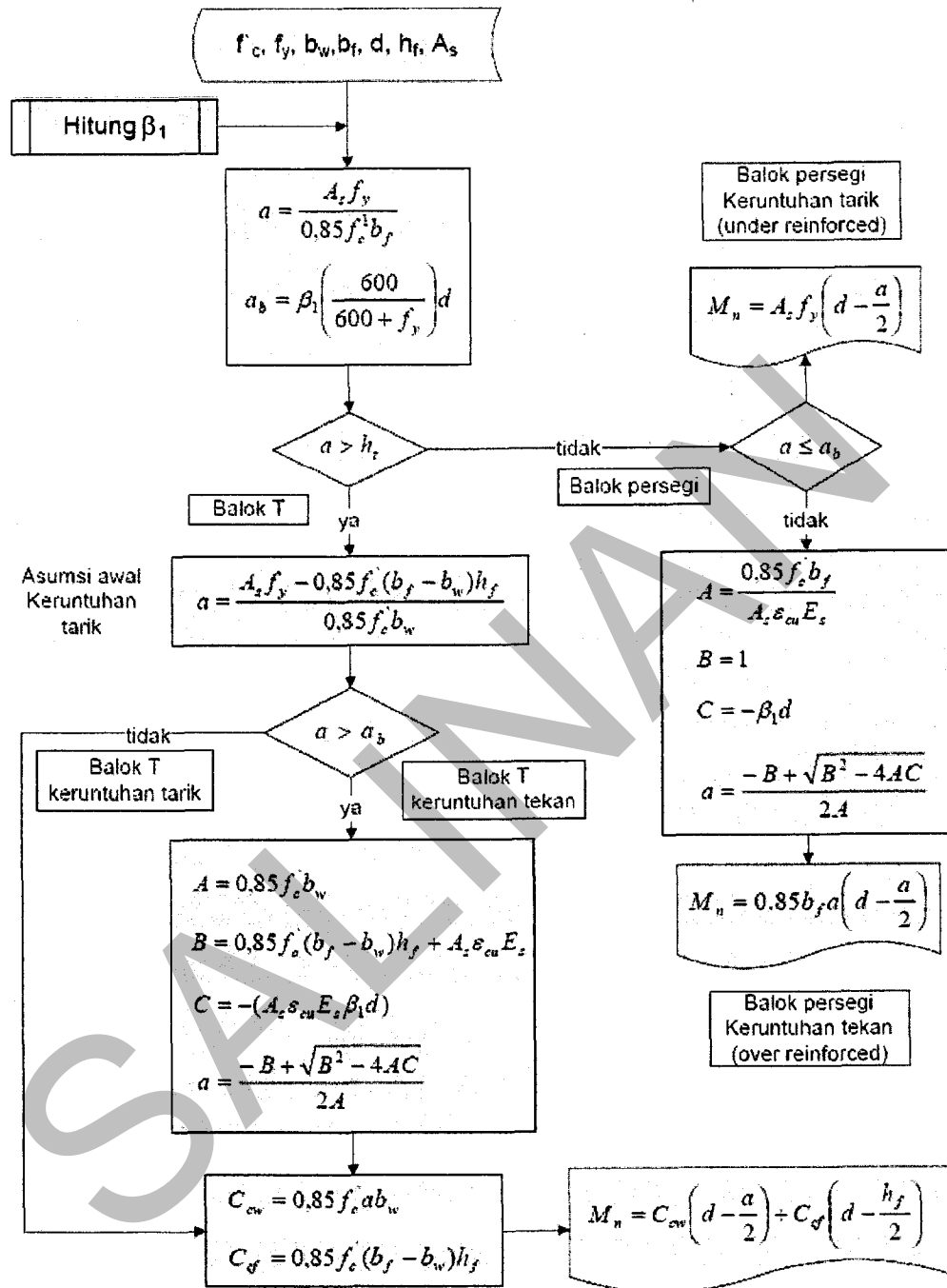
$$A = 0.85 f_c b_w$$

$$B = (0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A_s \varepsilon_{cu} E_s)$$

$$C = - (A_s \varepsilon_{cu} \beta_1 d E_s)$$

Selanjutnya untuk menghitung momen nominal sama seperti menghitung momen dalam kondisi keruntuhan tarik, yaitu :

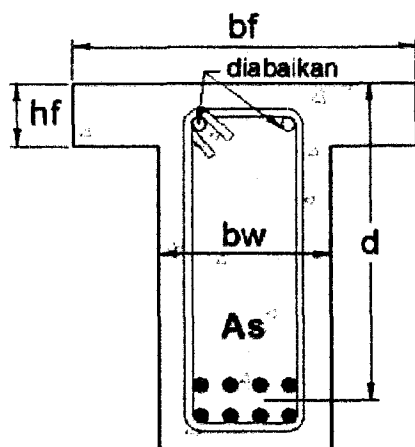
$$M_n = C_{cw} (d - 0.5a) + C_{cf} (d - 0.5h_f) \quad (4.5-7)$$



Gambar 4.14 Diagram Alir Analisis Balok T Tulangan Tunggal

CONTOH 4.5a	ANALISIS BALOK T TULANGAN TUNGGAL	1
-------------	--------------------------------------	---

SOAL : Analisis balok T tulangan tunggal dengan kondisi keruntuhan tarik



DIBERIKAN :

Data penampang	Data material
$b_f := 1500 \text{ mm}$	Mutu beton $f_c := 20 \text{ MPa}$
$b_w := 350 \text{ mm}$	$\epsilon_{cu} := 0.003$
$h_f := 120 \text{ mm}$	Mutu baja $f_y := 400 \text{ MPa}$
$h := 600 \text{ mm}$	$E_s := 2 \cdot 10^5 \cdot \text{MPa}$
$d := 504 \text{ mm}$	
Luas tulangan tarik	$A_s := 6160 \text{ mm}^2$

<p>LANGKAH 1 : Menentukan faktor β_1</p> $\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \cdot \left(\frac{f_c}{\text{MPa}} - 30 \right) & \text{if } f_c > 30 \text{ MPa} \\ 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \text{ MPa} \end{cases}$ $\beta_1 := \max(0.65, \beta_1) \qquad \beta_1 = 0.85$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1</p> <p>Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f_c lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.</p>
<p>LANGKAH 2 : Menentukan a_b</p> $a_b := \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d \qquad a_b = 257.04 \text{ mm}$	
<p>LANGKAH 3 : Menghitung a asumsi awal, blok tekan beton memotong flens.</p> <p>Asumsi awal, tinggi blok tekan beton memotong flens</p> $a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b_f} \qquad a = 96.627 \text{ mm}$ <p>$a < h_f$ maka balok persegi; dengan $a \leq a_b$ adalah keruntuhan tarik.</p>	
<p>LANGKAH 4 : Menghitung momen nominal balok</p> $M_n := A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \qquad M_n = 1122.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$	

CONTOH 4.5b	<p style="text-align: center;">ANALISIS BALOK T TULANGAN TUNGGAL KERUNTUHAN TARIK</p>	1
SOAL : Analisis balok T seperti soal 4.5a namun dengan luas tulangan tarik $A_s = 9240 \text{ mm}^2$		
<p>LANGKAH 1 : Menentukan faktor β_1 $f'_c = 20 \text{ MPa}$</p> $\beta_1 = \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \left(\frac{f'_c}{\text{MPa}} - 30 \right) & \text{if } f'_c > 30 \text{ MPa} \\ 0.85 & \text{if } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \end{cases}$ <p>$\beta_1 = \max(0.65, \beta_1)$ $\beta_1 = 0.85$</p>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1 Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f'_c lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.</p>	
<p>LANGKAH 2 : Menentukan a $f_y = 400 \text{ MPa}$ $d = 504 \text{ mm}$</p> $a_b = \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d$ <p style="text-align: right;">$a_b = 257.04 \text{ mm}$</p>		
<p>LANGKAH 3 : Menghitung a asumsi awal, blok tekan beton memotong flens.</p> <p>Asumsi awal, tinggi blok tekan beton memotong flens</p> $A_s = 9240 \text{ mm}^2$ $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f'_c \cdot b_f}$ <p style="text-align: right;">$a = 144.94 \text{ mm}$</p> <p>Ket = "a > hf, Balok T, dengan keruntuhan Tarik"</p>		
<p>LANGKAH 4 : Menghitung ulang nilai a dengan penampang balok T</p> $a = \frac{A_s \cdot f_y - 0.85 f'_c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f}{0.85 f'_c \cdot b_w}$ <p style="text-align: right;">$a = 226.89 \text{ mm}$</p>		

<p>LANGKAH 5 : Menghitung gaya-gaya kopel C_{cw} dan C_{cf}</p> $C_{cw} = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b_w \quad C_{cw} = 1350000 \text{ N}$ $C_{cf} = 0.85 f'_c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f \quad C_{cf} = 2346000 \text{ N}$	
<p>LANGKAH 6 : Menghitung momen nominal balok</p> $M_n = C_{cw} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_{cf} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$ $M_n = 1.56887 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$	

CONTOH 4.5c	ANALISIS BALOK T TULANGAN TUNGGAL KERUNTUHAN TEKAN	1
SOAL : Analisis balok T dengan penampang sebagai berikut		
DIBERIKAN :		
Data penampang	Data material	
$b_f = 1500\text{ mm}$	Mutu beton	$f_c = 20\text{ MPa}$
$b_w = 450\text{ mm}$		$\epsilon_{cu} = 0.003$
$h_f = 120\text{ mm}$	Mutu baja	$f_y = 400\text{ MPa}$
$h = 600\text{ mm}$		$E_s = 2 \cdot 10^5 \cdot \text{MPa}$
$d = 470\text{ mm}$		
Luas tulangan tarik	$A_s = 12950\text{ mm}^2$	

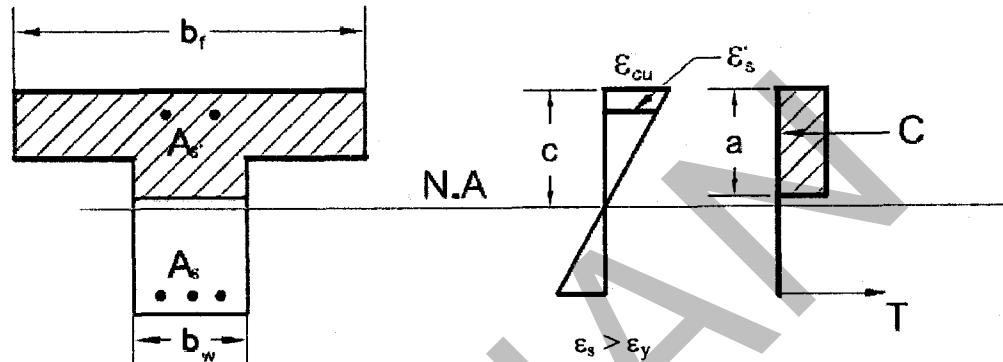
<p>LANGKAH 1 : Menentukan faktor β_1</p> $\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \cdot \left(\frac{f_c}{\text{MPa}} - 30 \right) & \text{if } f_c > 30 \text{ MPa} \\ 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \text{ MPa} \end{cases}$ $\beta_1 := \max(0.65, \beta_1) \qquad \beta_1 = 0.85$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1</p> <p>Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f_c lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.</p>
<p>LANGKAH 2 : Menentukan a_b</p> $a_b = \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d \qquad a_b = 239.7 \text{ mm}$	
<p>LANGKAH 3 : Menghitung blok tekan beton memotong flens</p> $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f_c \cdot b_f} \qquad a = 203.137 \text{ mm}$ <p>Penampang = "Balok T"</p>	
<p>LANGKAH 4 : Menghitung ulang nilai a dengan penampang balok T (asumsi tarik)</p> $a = \frac{A_s \cdot f_y - 0.85 f_c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f}{0.85 f_c \cdot b_w} \qquad a = 397.124 \text{ mm}$ <p>$a > h_f$, balok T; dengan $a > a_b$, keruntuhan tekan.</p>	

<p>LANGKAH 5 : Menghitung ulang nilai a dengan penampang balok T keruntuhan tekan.</p> $A = 0.85 f'_c \cdot b_w \qquad A = 7.65 \times 10^6 \frac{1}{m} N$ $B = 0.85 f'_c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f + A_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s \qquad B = 9.912 \times 10^6 N$ $C = -(A_s \cdot \epsilon_{cu} \cdot E_s \cdot \beta_1 \cdot d) \qquad C = -3.104 \times 10^6 mN$ $a = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$ $a = 260.709 mm$	
<p>Langkah 6 : Menghitung gaya-gaya kopel C_{cw} dan C_{cf}</p> $C_{cw} = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b_w \qquad C_{cw} = 1.994 \times 10^6 N$ $C_{cf} = 0.85 f'_c \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f \qquad C_{cf} = 2.142 \times 10^6 N$	
<p>LANGKAH 7 : Menghitung momen nominal balok</p> $M_n = C_{cw} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_{cf} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$ $M_n = 1.55562 \times 10^9 N \cdot mm$	

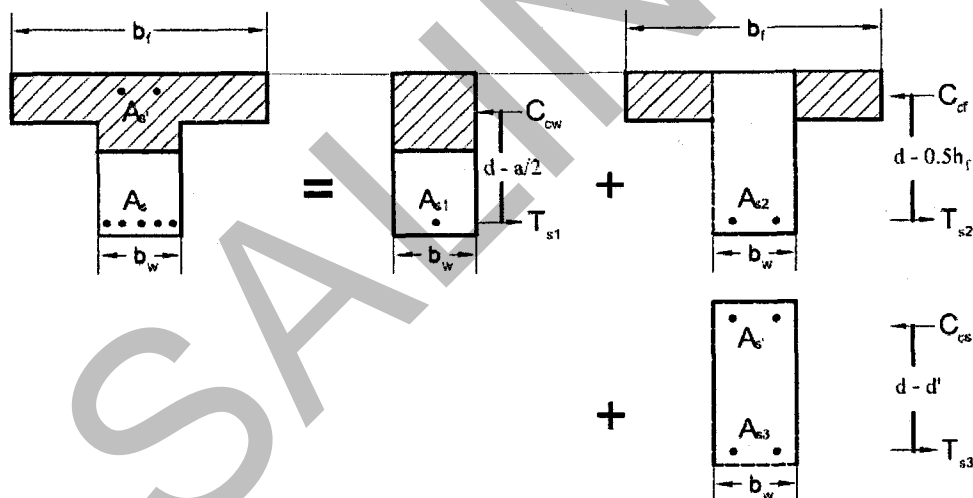
4.5.3 ANALISIS BALOK T TULANGAN GANDA

Seperti halnya dengan balok T tulangan tunggal, analisis balok T sebenarnya dilakukan bila tinggi blok tekan beton, $a \geq h_f$.

Dalam analisis balok T tulangan ganda sama seperti balok T tulangan tunggal dilakukan superposisi dari komponen gaya-gaya kopel.



(a) Penampang, Regangan dan Gaya dalam Balok T Kondisi Tarik



(b) Keseimbangan Kopel Gaya

Gambar 4.15 Analisis Balok T Tulangan Ganda

a) Keruntuhan Tarik dengan Tulangan Tekan Leleh

Untuk memeriksa apakah tulangan tekan leleh, maka perlu dihitung tinggi blok tekan beton, a dengan asumsi tulangan tekan leleh.

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f_c b_f} \quad (4.5-8)$$

Bila $a \leq h_f$, maka balok dianalisis sebagai balok persegi, namun jika $a > h_f$ maka balok dianalisis sebagai balok T.

Keseimbangan kopel gaya secara jelas dapat dilihat pada gambar 4.15b. (anggap tulangan tekan leleh sebagai asumsi awal)

$$T = C$$

Dimana

$$T = A_s f_y$$

$$C = C_{cw} + C_{cf} + C_{cs} = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A'_s f_y \quad (4.5-9)$$

Bila persamaan (4.5-9) diselesaikan maka tinggi balok desak beton, a adalah

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y - 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f}{0.85 f_c b_w} \quad (4.5-10)$$

Selanjutnya nilai a yang diperoleh diperiksa :

$$a \leq \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d, \text{ maka tulangan tarik leleh}$$

$$a \geq \beta_1 \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) d', \text{ maka tulangan tekan leleh.}$$

Jika semua syarat terpenuhi, maka momen nominal balok T tulangan ganda dapat diperoleh dengan menjumlahkan momen dari gaya-gaya kopel sebagai berikut :

$$M_n = C_{cw} (d - 0.5a) + C_{cf} (d - 0.5h_f) + C_{cs} (d - d') \quad (4.5-11)$$

b) Keruntuhan Tarik dengan Tulangan Tekan Tidak Leleh

Keseimbangan kopel gaya secara jelas dapat dilihat pada gambar 4.15b.

$$T = C$$

Dimana

$$T = A_s f_y$$

$$C = C_{cw} + C_{cf} + C_{cs} = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A'_s \epsilon'_s E_s \quad (4.5-12)$$

Regangan baja, ϵ'_s diperoleh dari perbandingan segitiga diagram regangan seperti terlihat pada gambar 4.13.

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \left(1 - \frac{\beta_1 d'}{a} \right) \quad (4.5-13)$$

Untuk mendapatkan nilai tinggi blok tekan beton, a diperoleh dengan mensubstitusikan pers. (4.5-12) kedalam pers. (4.5-13). Selanjutnya persamaan diselesaikan dengan akar persamaan kuadrat.

$$T = C_{cw} + C_{cf} + C_{cs}$$

$$A_s f_y = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A'_s \epsilon_{cu} \left(1 - \frac{\beta_1 d'}{a} \right) E_s$$

$$0.85 f_c b_w a^2 + (0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A'_s \epsilon_{cu} E_s - A_s f_y) a - (A'_s \epsilon_{cu} \beta_1 d' E_s) = 0$$

$$a = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (4.5-14)$$

Dimana :

$$A = 0.85 f_c b_w$$

$$B = (0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A'_s \epsilon_{cu} E_s - A_s f_y)$$

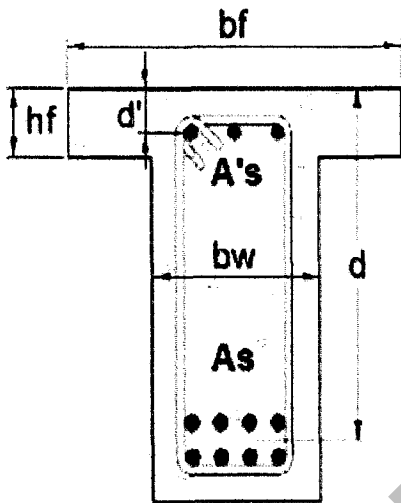
$$C = - (A'_s \epsilon_{cu} \beta_1 d' E_s)$$

Nilai a yang diperoleh dalam persamaan (4.5-14) digunakan untuk menghitung kembali gaya-gaya kopel C_{cw} , C_{cf} , dan C_{cs} . Selanjutnya dihitung momen nominal sebagai berikut:

$$M_n = C_{cw} (d - 0.5a) + C_{cf} (d - 0.5h_f) + C_{cs} (d - d') \quad (4.5-15)$$

CONTOH 4.5d	ANALISIS BALOK T TULANGAN GANDA	- 1
-------------	------------------------------------	--------

SOAL : Analisis balok T tulangan ganda dengan kondisi keruntuhan tarik – tulangan tekan leleh



DIBERIKAN :

Data penampang	Data material
$b_f := 1200 \text{ mm}$	Mutu beton $f'_c := 20 \text{ MPa}$
$t_w := 137.5 \text{ mm}$	$\epsilon_{cu} := 0.003$
$h_f := 100 \text{ mm}$	Mutu baja $f_y := 400 \text{ MPa}$
$h := 600 \text{ mm}$	$E_s := 2 \cdot 10^5 \cdot \text{MPa}$
$d := 470 \text{ mm}$	Tulangan desak $A_{s'} := 400 \text{ mm}^2$
$d' := 65 \text{ mm}$	Tulangan tarik $A_s := 6900 \text{ mm}^2$
$b_w := 2 \cdot t_w$ $b_w = 275 \text{ mm}$	

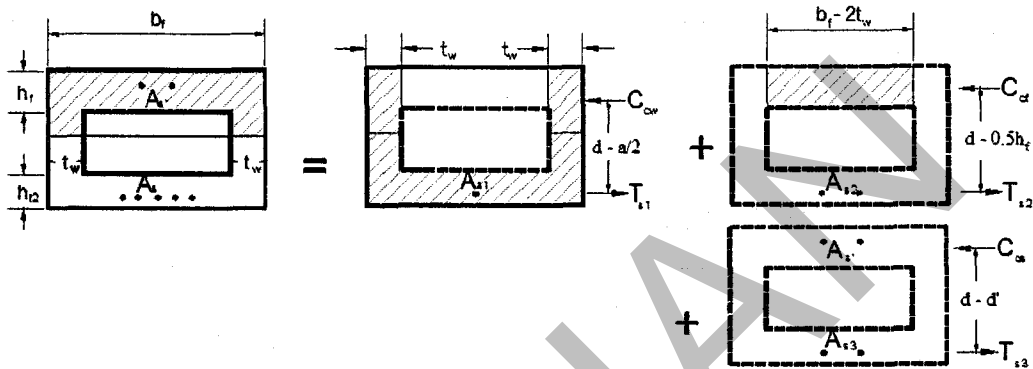
<p>LANGKAH 1 : Menentukan faktor β_1</p> $\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \left(\frac{f_c}{\text{MPa}} - 30 \right) & \text{if } f_c > 30 \text{ MPa} \\ 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \text{ MPa} \end{cases}$ $\beta_1 := \max(0.65, \beta_1) \quad \beta_1 = 0.85$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1</p> <p>Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f_c lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.</p>
<p>LANGKAH 2 : Menentukan a_b</p> $a_b := \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d \quad a_b = 239.7 \text{ mm}$	
<p>LANGKAH 3 : Menghitung blok tekan beton memotong flens</p> $a := \frac{(A_s - A_{s'}) \cdot f_y}{0.85 f_c \cdot b_f} \quad a = 127.45 \text{ mm}$	
<p>LANGKAH 4 : Menghitung ulang nilai a dengan penampang balok T (asumsi tulangan tarik dan tekan leleh)</p> $a := \frac{(A_s - A_{s'}) \cdot f_y - 0.85 f_c \cdot h_f (b_f - b_w)}{0.85 f_c \cdot b_w} \quad a = 219.786 \text{ mm}$ <p>Periksa asumsi</p> $\left(\frac{d'}{a} \right)_{\text{lim}} = \frac{1}{\beta_1} \cdot \left(1 - \frac{f_y}{600} \right)$ $\left(\frac{d'}{a} \right)_{\text{lim}} = \frac{1}{\beta_1} \cdot \left(1 - \frac{f_y}{600 \text{ MPa}} \right) = 0.392$ $\frac{d'}{a} = 0.296$ <p>Tulangan desak \rightarrow telah leleh, karena $d'/a \leq (d'/a)_{\text{lim}}$ Tulangan tarik \rightarrow telah leleh, karena $a \leq a_b$</p>	<p>Jika $d'/a < (d'/a)_{\text{lim}}$ maka tulangan tekan/desak leleh, jika tidak tulangan tidak leleh.</p>

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

LANGKAH 5 : Menghitung gaya-gaya kopel		
$C_{cf} := 0.85 \cdot f_c \cdot h_f (b_f - b_w)$	$C_{cf} = 1.572 \times 10^6 \text{ N}$	
$C_{cw} := 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b_w$	$C_{cw} = 1.028 \times 10^6 \text{ N}$	
$C_{cs} := A_s \cdot f_y$	$C_{cs} = 1.6 \times 10^5 \text{ N}$	
LANGKAH 6 : Menghitung momen nominal		
$M_n := C_{cw} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_{cf} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + C_{cs} \cdot (d - d')$		
$M_n = 1.095 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$		

4.5.4 ANALISIS BALOK KOTAK HOLLOW

Analisis balok kotak hollow dalam segala hal sebenarnya tidak berbeda dengan prinsip balok. Bentuk tidak menjadi sesuatu hal yang rumit bila dapat diperoleh titik berat penampang yang tertekan setinggi blok tekan, a . Bila disamakan $b_w = 2 t_w$ maka balok hollow analisisnya sama persis dengan balok T.



Gambar 4.17 Superposisi Gaya-Gaya Kopel Balok Kotak Hollow

Keseimbangan kopel gaya secara jelas dapat dilihat pada gambar 4.17. (anggap tulangan tekan leleh sebagai asumsi awal)

$$T = C$$

Dimana

$$T = A_s f_y$$

$$C = C_{cw} + C_{cf} + C_{cs} = 0.85 f_c b_w a + 0.85 f_c (b_f - b_w) h_f + A'_s f_y \quad (4.5-16)$$

$$b_w = 2 t_w$$

Persamaan (4.5-16) sama persis dengan persamaan (4.5-9) dengan demikian balok box kotak dapat mengikuti prosedur perhitungan balok T, dengan mengganti $b_w = 2 t_w$.

CONTOH 4.5e	ANALISIS BALOK BOX HOLLOW TULANGAN GANDA	1
-------------	---	---

SOAL : Analisis balok Box Hollow tulangan ganda dengan kondisi keruntuhan tarik – tulangan tekan leleh

DIBERIKAN :

Data penampang	Data material
$b_f := 1200 \text{ mm}$	Mutu beton $f_c := 20 \text{ MPa}$
$t_w := 137.5 \text{ mm}$	$\epsilon_{cu} := 0.003$
$h_f := 100 \text{ mm}$	Mutu baja $f_y := 400 \text{ MPa}$
$h := 600 \text{ mm}$	$E_s := 2 \cdot 10^5 \cdot \text{MPa}$
$d := 470 \text{ mm}$	Tulangan desak $A_{s'} := 400 \text{ mm}^2$
$d' := 65 \text{ mm}$	Tulangan tarik $A_s := 6900 \text{ mm}^2$
$b_w := 2 \cdot t_w$ $b_w = 275 \text{ mm}$	

<p>LANGKAH 1 : Menentukan faktor β_1</p> $\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - \frac{0.05}{7} \cdot \left(\frac{f_c}{\text{MPa}} - 30 \right) & \text{if } f_c > 30 \text{ MPa} \\ 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \text{ MPa} \end{cases}$ $\beta_1 := \max(0.65, \beta_1) \qquad \beta_1 = 0.85$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1</p> <p>Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f_c lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.</p>
<p>LANGKAH 2 : Menentukan a_b</p> $a_b := \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \cdot d \qquad a_b = 239.7 \text{ mm}$	
<p>LANGKAH 3 : Menghitung blok tekan beton memotong flens</p> $a := \frac{(A_s - A_{s'}) \cdot f_y}{0.85 f_c \cdot b_f} \qquad a = 127.45 \text{ mm}$	
<p>LANGKAH 4 : Menghitung ulang nilai a dengan penampang balok box hollow (asumsi tulangan tarik dan tekan leleh)</p> $a := \frac{(A_s - A_{s'}) \cdot f_y - 0.85 f_c \cdot h_f (b_f - b_w)}{0.85 f_c \cdot b_w} \qquad a = 219.786 \text{ mm}$ <p>Periksa asumsi</p> $\left(\frac{d'}{a} \right)_{\text{lim}} = \frac{1}{\beta_1} \cdot \left(1 - \frac{f_y}{600} \right)$ $\left(\frac{d'}{a} \right)_{\text{lim}} = \frac{1}{\beta_1} \cdot \left(1 - \frac{f_y}{600 \text{ MPa}} \right) = 0.392$ $\frac{d'}{a} = 0.296$ <p>Tulangan desak \rightarrow telah leleh, karena $d'/a \leq (d'/a)_{\text{lim}}$ Tulangan tarik \rightarrow telah leleh, karena $a \leq a_b$</p>	<p>Jika $d'/a < (d'/a)_{\text{lim}}$ maka tulangan tekan/desak leleh.</p>

4. PERENCANAAN LENTUR BALOK

LANGKAH 5 : Menghitung gaya-gaya kopel	
$C_{cf} := 0.85 \cdot f_c \cdot h_f (b_f - b_w)$	$C_{cf} = 1.572 \times 10^6 \text{ N}$
$C_{cw} := 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b_w$	$C_{cw} = 1.028 \times 10^6 \text{ N}$
$C_{cs} := A_s \cdot f_y$	$C_{cs} = 1.6 \times 10^5 \text{ N}$
LANGKAH 6 : Menghitung momen nominal	
$M_n := C_{cw} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_{cf} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + C_{cs} \cdot (d - d')$	
$M_n = 1.095 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$	

5 PERENCANAAN KEKUATAN KOLOM

5.1 UMUM

Kolom merupakan elemen struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari lantai atau balok ke sistem fondasi. Konsep dasar perhitungan kolom dapat diuraikan sebagai berikut :

- Perbedaan mendasar antara kolom dengan balok adalah bahwa pada kolom di samping momen pada penampang bekerja pula gaya aksial (*bisa tekan bisa tarik*);
- biasanya arah momen pada kolom bisa berbalik dan/atau berubah (*uniaxial dan biaxial bending*);
- Selain dari pada itu semua asumsi dan ketentuan dasar kolom tetap sama dengan apa yang kita kenal berlaku pada balok yang mengalami beban luar berupa momen lentur.

5.1.1 FAKTOR REDUKSI KEKUATAN

Kekuatan rencana dari kolom harus ditentukan dari kemampuannya menahan gaya aksial dan momen lentur akibat beban rencana dan momen lentur tambahan akibat pengaruh kelangsingan, berdasarkan cara PBKT.

Faktor reduksi kekuatan dapat dilihat pada Tabel 3.2 (juga terdapat dalam pasal 4.5.2 RSNI T-12-2004).

5.1.2 PRINSIP PERENCANAAN

- a) Perencanaan komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial harus didasarkan atas keseimbangan tegangan dan kompatibilitas regangan dengan menggunakan asumsi dalam sub bab 4.1.2.
- b) Komponen struktur yang dibebani kombinasi aksial tekan dan lentur harus direncanakan terhadap momen maksimum yang dapat menyertai beban aksial.

Beban aksial terfaktor P_u dengan eksentrisitas yang ada, tidak boleh melampaui kuat rancang beban aksial $\phi P_{n(max)}$, dimana:

- 1) Untuk komponen dengan tulangan spiral:

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (5.1-1)$$

- 2) Untuk komponen dengan tulangan pengikat (*ties*):

$$\phi P_{n(max)} = 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (5.1-2)$$

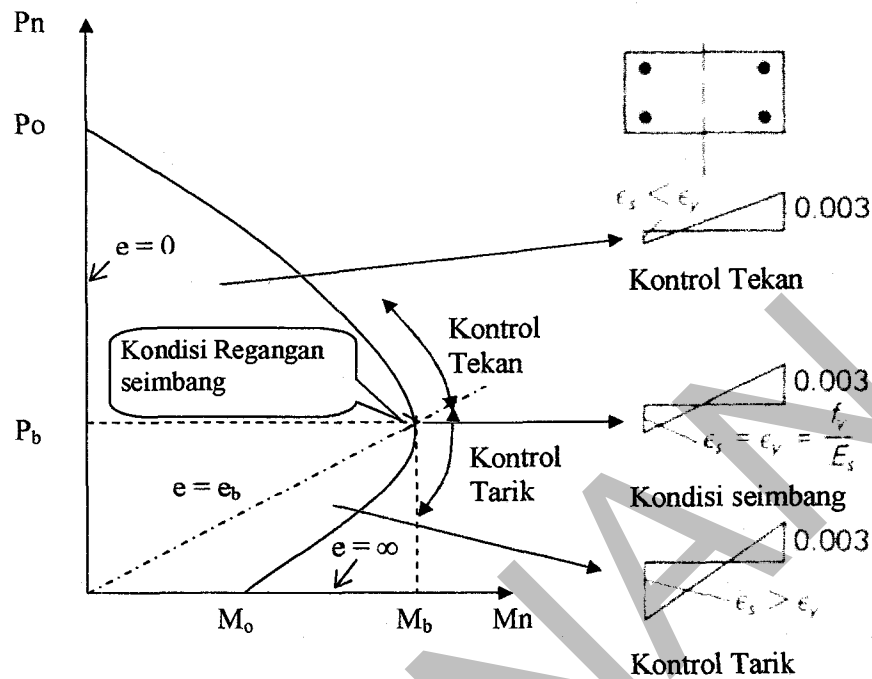
- 3) Momen maksimum terfaktor, M_u harus diperbesar untuk memperhitungkan efek kelangsingan sesuai dengan sub bab 5.3.

5.2 PERENCANAAN KOLOM PENDEK

Kolom pendek bisa direncanakan dengan mengabaikan penambahan momen akibat pengaruh kelangsingan. Dengan demikian, perencanaan kolom pendek bisa dilakukan secara langsung dari hasil analisis struktur, dengan memperhitungkan pengaruh interaksi antara beban aksial terfaktor dengan momen lentur terfaktor.

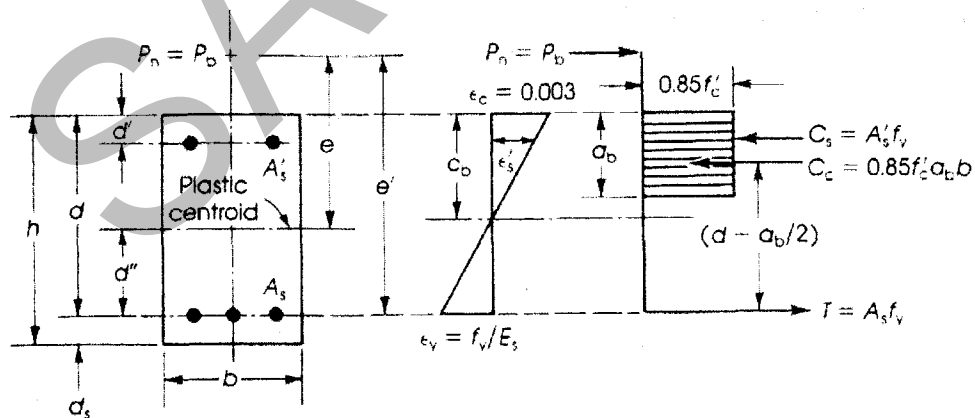
5.2.1 DIAGRAM INTERAKSI KOLOM

Diagram interaksi kolom secara umum dihitung dengan sejumlah distribusi regangan. Titik-titik dalam diagram interaksi dihitung berdasarkan nilai P dan M yang berkorespondensi dengan regangan tersebut.



Gambar 5.1 Diagram Interaksi Kolom

Secara umum penampang elemen struktur yang mengalami kombinasi aksial dan momen dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 5.2 Perhitungan P_n dan M_n untuk suatu distribusi regangan

Aksi Gaya Resultan pada Centroid

$$P_n = \underbrace{C_s + C_c}_{\text{tekan = positif}} - T_s \quad (5.2-1)$$

Momen terhadap pusat geometri

$$M_n = C_s * \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + C_c * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + T_s * \left(d_2 - \frac{h}{2} \right)$$

Atau

$$M_n = C_s * (-d_1) + C_c * \left(-\frac{a}{2} \right) + T_s * (d_2) + P_n * \left(\frac{h}{2} \right) \quad (5.2-2)$$

5.2.2 PERENCANAAN MENGGUNAKAN DIAGRAM INTERAKSI

Perencanaan kolom dengan menggunakan gambar diagram interaksi dari manual dapat dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Hitung beban terfaktor (P_u , M_u) dan e untuk kombinasi beban yang relevan.
- 2) Pilih kasus pembebanan yang berpotensi menjadi penentu.
- 3) Gunakan nilai estimasi h untuk menghitung y_h , e/h untuk kasus yang menentukan.
- 4) Gunakan grafik yang sesuai \rightarrow target ρ_g

Baca dalam diagram $\frac{\phi P_n}{bh} \Leftrightarrow$ diperoleh $Ag = bh = \frac{P_u}{\phi P_n / bh}$

Lakukan juga untuk kasus-kasus lainnya yang menentukan

- 5) Pilih dimensi kolom b dan h
- 6) Jika dimensi terlalu berbeda dari nilai estimasi (step 3), hitung ulang (e / h) dan ulang kembali langkah 4 & 5. Revisi Ag jika diperlukan.
- 7) Pilih tulangan baja , $A_{st} = \rho_g b h$
- 8) Gunakan dimensi aktual & ukuran batang untuk mengecek semua kombinasi beban (gunakan grafik atau diagram interaksi).
- 9) Rencanakan tulangan lateral [selesaikan ρ_g]

5.3 PERENCANAAN KOLOM LANGSING

Kolom harus dikelompokkan sebagai tidak bergoyang atau bergoyang. Kolom tak bergoyang harus direncanakan menurut sub bab 5.3.1, sedangkan kolom bergoyang harus direncanakan menurut sub bab 5.3.2.

- 1) Kolom boleh dianggap tak bergoyang bila pembesaran momen-momen ujung akibat pengaruh orde-dua tidak melebihi 5% dari momen-momen ujung orde-satu.
- 2) Suatu tingkat pada struktur boleh dianggap tak bergoyang bila nilai index kestabilan pada suatu tingkat:

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c} < 0,05 \quad (5.3-1)$$

Dengan :

$\sum P_u$ = jumlah beban vertical terfaktor pada tingkat yang ditinjau

V_u = gaya geser total pada tingkat yang ditinjau

Δ_o = simpangan relative antar tingkat orde-pertama akibat V_u

l_c = tinggi kolom pada tingkat yang ditinjau

5.3.1 PEMBESARAN MOMEN UNTUK KOLOM TAK BERGOYANG

- 1) Komponen struktur tekan harus direncanakan dengan menggunakan beban aksial terfaktor P_u dan momen terfaktor yang diperbesar, M_c yang didefinisikan sebagai :

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \quad (5.3-2)$$

Dimana M_2 adalah nilai momen ujung kolom terbesar.

- 2) Dengan faktor pembesaran momen untuk kolom yang tak bergoyang, δ_{ns} sebesar:

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} > 1,0 \quad (5.3-3)$$

- 3) Untuk komponen struktur yang tak bergoyang dan tanpa beban transversal di antara tumpuan, maka C_m dapat diambil:

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) > 0,4 \quad (5.3-4)$$

Dimana M_1 , M_2 adalah momen ujung kolom, dengan M_2 adalah momen ujung kolom terbesar. Perbandingan $\frac{M_1}{M_2}$ bernilai positif bila kolom melentur dengan kelengkungan tunggal. Untuk komponen struktur dengan beban transversal di antara tumpuannya, C_m harus diambil sama dengan 1,0.

- 4) Momen terfaktor M_2 dalam persamaan (5.3-2) tidak boleh diambil lebih kecil dari :

$$M_{2,min} = P_u (15 + 0,03h) \quad (5.3-5)$$

Untuk masing-masing sumbu yang dihitung secara terpisah, dimana h dalam millimeter. Untuk komponen struktur dengan $M_{2,min} > M_2$, nilai C_m harus ditentukan:

- Sama dengan 1,0 atau
- Berdasarkan pada rasio antara M_1 dan M_2 yang dihitung.

5.3.2 PEMBESARAN MOMEN UNTUK KOLOM BERGOYANG

- a) Untuk komponen tekan yang tidak tertahan terhadap goyangan samping, faktor panjang efektif k , harus lebih besar dari 1,0.
- b) Untuk komponen tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan apabila $\frac{kl_u}{r} < 22$.
- c) Momen M_1 dan M_2 pada ujung-ujung komponen struktur tekan harus diambil sebesar:

$$M_1 = M_{1,ns} + \delta_s M_{1,s} \quad (5.3-6)$$

$$M_2 = M_{2,ns} + \delta_s M_{2,s} \quad (5.3-7)$$

Dengan $\delta_s M_{1,s}$ dan $\delta_s M_{2,s}$ harus dihitung menurut sub bab 5.3.2(d).

- d). Cara menghitung $\delta_s M_s$

Momen-momen goyangan yang diperbesar, $\delta_s M_s$, harus diambil sebesar momen-momen ujung kolom yang dapat dihitung dengan beberapa metode sebagai berikut :

1. Analisis orde-kedua berdasarkan nilai kekakuan komponen struktur yang diberikan pada 5.3.3. Pada metode ini dilakukan iterasi P - Δ sampai selisih defleksi relatif lantai akibat beban lateral iterasi ke-i dengan iterasi sebelumnya mendekati nol atau dapat dituliskan $|\Delta_i - \Delta_{i-1}| \approx 0$.

2. Analisis langsung momen P - Δ (AASHTO)

Sebagai alternatif $\delta_s M_s$, boleh diambil sebesar :

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1-Q} \geq M_s \quad (5.3-8)$$

Apabila nilai δ_s yang dihitung dengan cara ini lebih besar dari 1.5, maka $\delta_s M_s$ harus dihitung dengan menggunakan analisis elastis orde-dua atau $\delta_s M_s$ boleh dihitung dengan cara pembesaran momen portal bergoyang tradisional.

3. Analisis pembesaran momen portal bergoyang tradisional.

Pada metoda ini akan dihitung terlebih dahulu rasio kekakuan kolom-balok, ψ untuk menghitung faktor panjang efektif, k . Faktor panjang efektif, k yang didapat digunakan untuk menghitung P_c .

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq M_s \quad (5.3-9)$$

dengan pengertian:

$\sum P_u$ = jumlah seluruh beban vertikal terfaktor yang bekerja pada suatu tingkat lantai kendaraan.

$\sum P_c$ = jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada satu tingkat lantai kendaraan.

- e). Sebuah komponen struktur tekan dengan kelangsingan:

$$\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c' A_g}}} \quad (5.3-10)$$

Harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor P_u dan momen M_c yang dihitung menurut pers. (5.3-2) dimana M_1 dan M_2 dihitung menurut pers. (5.3-6) dan (5.3-7), β_d pada persamaan (5.3-12) ditentukan sesuai dengan kombinasi beban yang digunakan.

5.3.3 BEBAN TEKUK

- a) Beban tekuk didapat dari:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \quad (5.3-11)$$

- b) Bila tidak menggunakan perhitungan yang lebih akurat, EI dapat diambil sebesar:

$$EI = \frac{(0,2E_c I_g + E_s I_{se})}{1 + \beta_d} \quad (5.3-12)$$

atau lebih konservatif:

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d} \quad (5.3-13)$$

Dimana: I_{se} adalah momen inersia tulangan terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur.

5.3.4 SYARAT KELANGSINGAN

Umum

Apabila gaya dan momen yang bekerja pada kolom telah diperoleh dari analisis elastis linier, pengaruh kelangsingan harus diperhitungkan dengan menggunakan radius girasi r , dan panjang bebas atau panjang efektif sesuai dengan uraian berikut.

A. Radius girasi

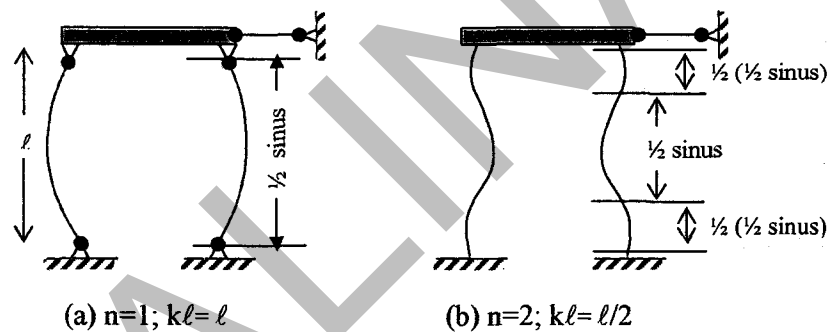
Radius girasi r , untuk komponen struktur tekan persegi diambil sama dengan 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, dan sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan yang berbentuk lingkaran. Untuk bentuk penampang lainnya r , dapat dihitung dari penampang beton bruto.

B. Panjang bebas

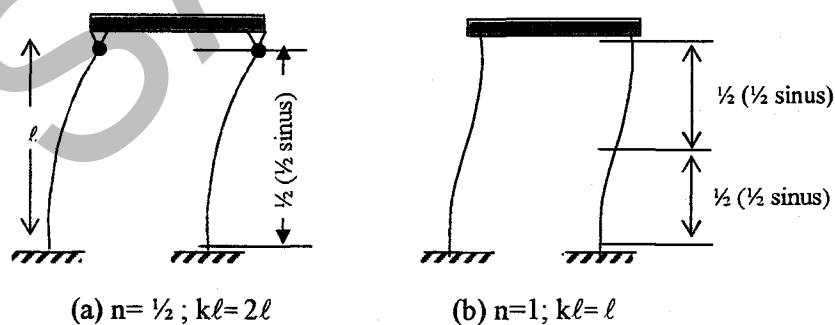
Panjang bebas, l_u dari suatu komponen struktur tekan harus diambil sebesar jarak bersih antara pelat lantai, balok atau komponen struktur lainnya yang mampu memberikan dukungan lateral terhadap komponen struktur tekan tersebut.

C. Panjang efektif

Panjang efektif, kl dapat juga dinyatakan sebagai $kl = \ell/n$; dimana n adalah jumlah "setengah gelombang sinus" atau ($\frac{1}{2}$ sinus yang) dibentuk oleh deformasi elemen kolom. Beberapa panjang efektif kolom yang diidealisasi.

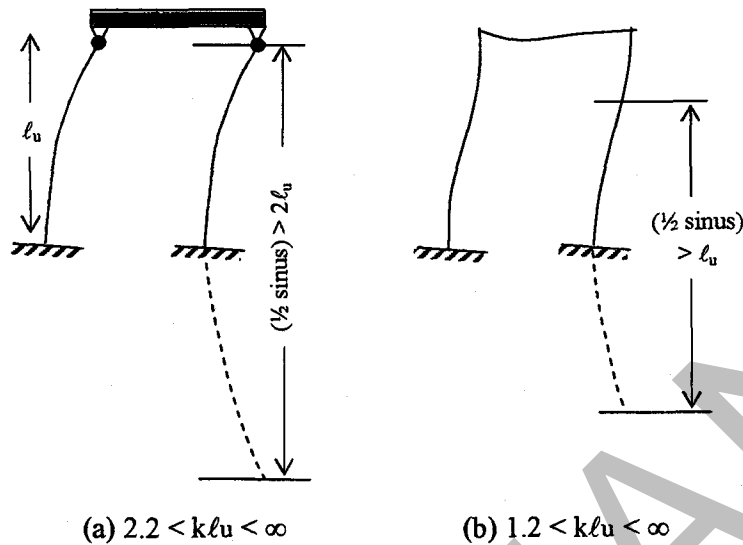


Gambar 5.3 Portal Terkekang Arah Lateral (Non Sway Frame)



Gambar 5.4 Portal Bergoyang (Sway Frame)

Panjang efektif dari suatu portal untuk pondasi yang mengalami rotasi, dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5.5 Portal Bergoyang (Sway Frame)

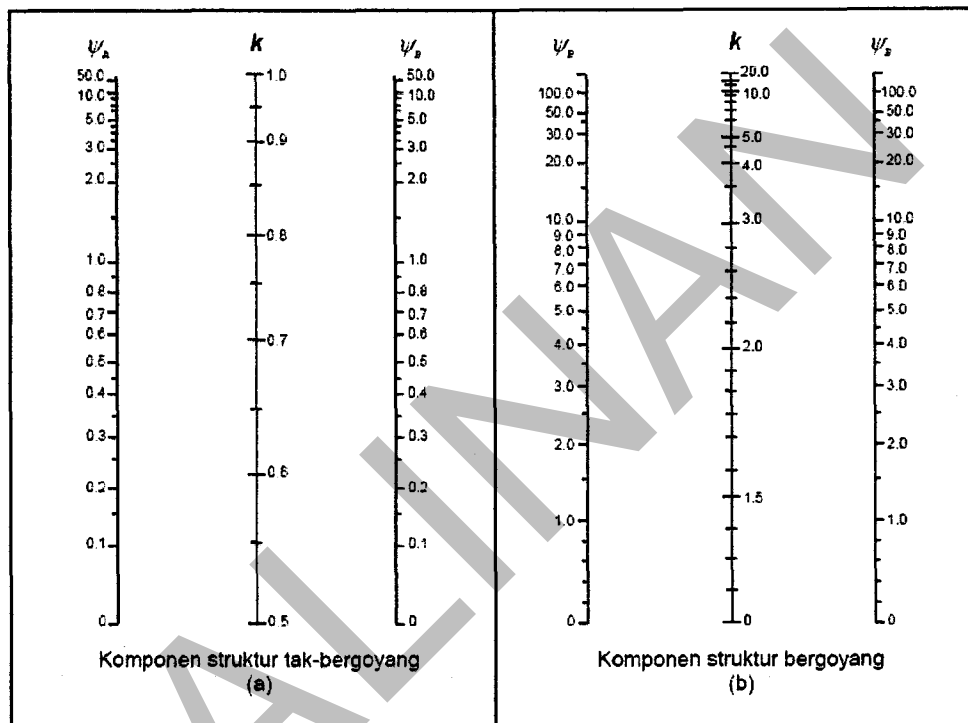
Faktor panjang efektif dipengaruhi oleh jenis kekangan terhadap rotasi dan translasi ujung-ujung kolomnya. Nilai faktor panjang efektif berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada tabel dalam Gambar 5.6.

	Goyangan Ditahan (<i>Braced</i>)			Goyangan Tak Ditahan (<i>Unbraced</i>)		
Bentuk kolom tertekuk ditunjukkan dalam gambar di samping						
Teoritis	$k = 0.5$	$k = 0.70$	$k = 1.0$	$k = 2.0$	$k = 2.0$	$k = 1.0$
Desain	$k = 0.65$	$k = 0.80$	$k = 1.0$	$k = 2.1$	$k = 2.0$	$k = 1.2$

Gambar 5.6 Faktor Panjang Efektif, k (AASHTO LRFD sec. 4.6.2.5)

Pada tabel Faktor panjang efektif, k di atas terdapat dua nilai dari pendekatan teoritis dan desain, yaitu nilai k teoritis untuk kolom dengan perletakan ideal terkekang sempurna, dan nilai k untuk desain, karena sangat jarang ditemui kolom yang benar-benar terkekang sempurna.

Perhitungan faktor panjang efektif dapat juga dilakukan dengan nomograf sebagai berikut.



Gambar 5.7 Nomograf untuk faktor panjang efektif, k

Dimana ψ_A adalah rasio kekakuan kolom dengan balok pada kolom bagian atas, dan ψ_B rasio kekakuan kolom dengan balok pada kolom bagian bawah.

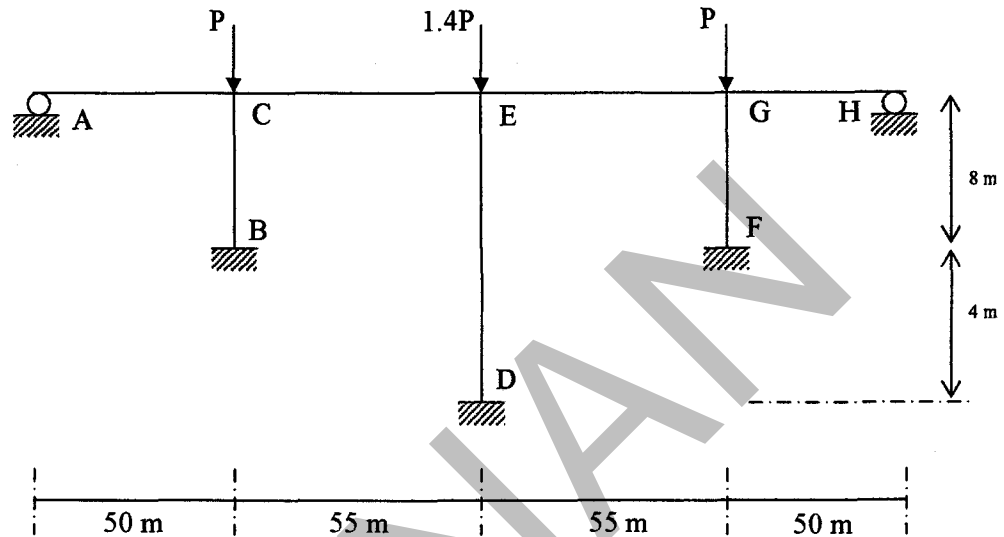
$$\psi = \frac{\sum (E_c I_c / \ell_c)}{\sum (E_b I_b / \ell_b)} \quad (5.3-14)$$

Faktor panjang efektif, k diperoleh dengan menarik garis diantara nilai ψ_A dan ψ_B yang telah dihitung dengan persamaan (5.3-14).

Contoh penggunaan Nomograf

Diberikan: -

Jembatan struktur beton bertulang 4-bentang seperti ditunjukkan gambar di bawah ini. Hitung faktor panjang efektif untuk kolom DE. $E_c = 25000 \text{ MPa}$.



Superstruktur : $I_c = 3.14 \times 10^{12} \text{ mm}^4$; $A = 5.86 \times 10^6 \text{ mm}^2$

Kolom : $I_c = 3.22 \times 10^{11} \text{ mm}^4$; $A = 2.01 \times 10^6 \text{ mm}^2$

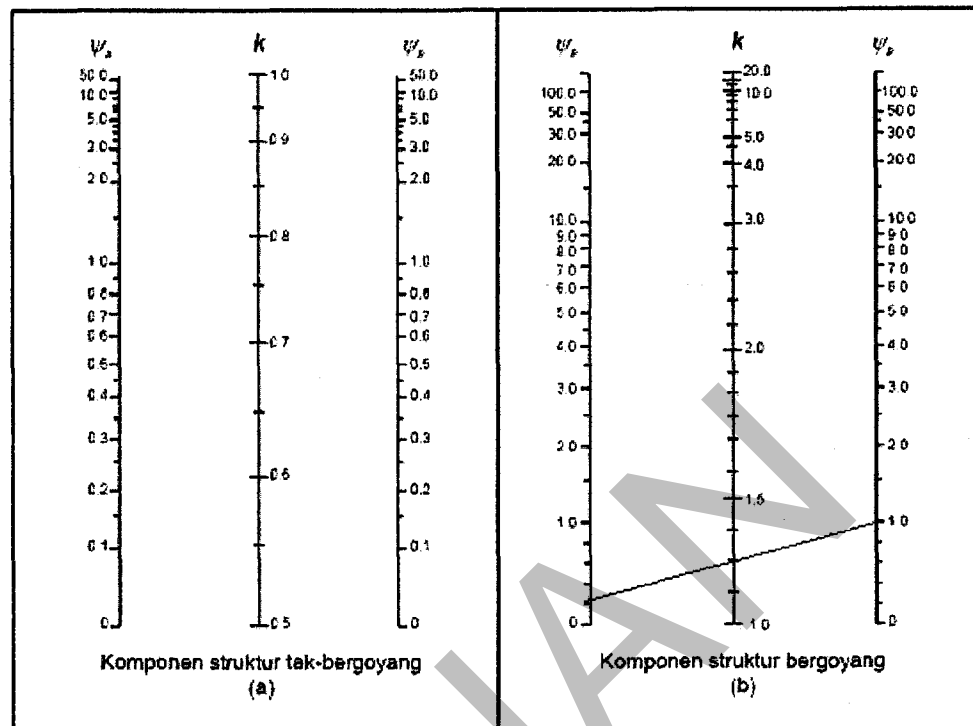
Solusi:

1. Menghitung faktor ψ untuk kolom DE.

$$\psi_D = \frac{\sum (E_c I_c / \ell_c)}{\sum (E_b I_b / \ell_b)} = \frac{3.22(10^{11})/12}{2 \cdot 3.14(10^{12})/55} = 0.235$$

$$\psi_E = 1.0$$

2. Hubungkan titik ψ_D dan ψ_E dengan membuat garis lurus pada nomograf, pada bagian unbraced frame. , $k = 1.23$



D. Pengaruh kelangsingan

Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan untuk komponen struktur tekan tak bergoyang apabila dipenuhi:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - \left(12 \frac{M_1}{M_2} \right) \quad (5.3-13)$$

Untuk komponen struktur tekan bergoyang, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (5.3-14)$$

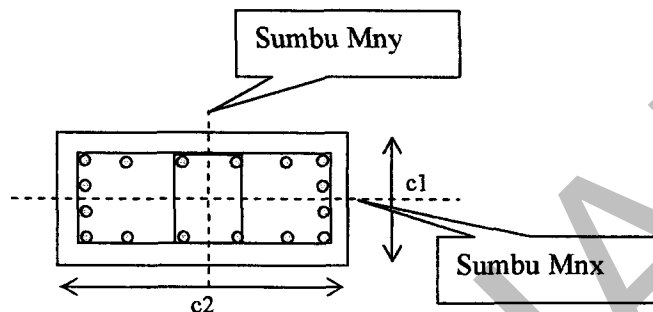
Untuk semua komponen struktur tekan $\frac{kl_u}{r} > 100$, sebaiknya dihindari kecuali semua analisis yang menyeluruh telah memenuhi segala persyaratan yang berlaku sesuai pasal 5.7.4 RSNI T-12.

5.4 KEKUATAN KOLOM DALAM KOMBINASI LENTUR BIAKSIAL DAN TEKAN

5.4.1 ASUMSI PERENCANAAN

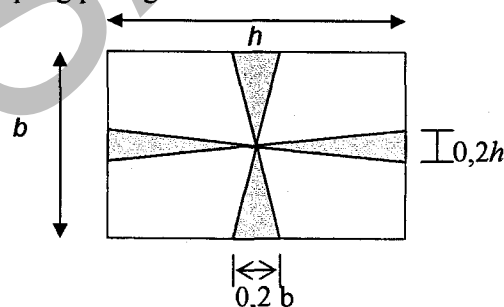
Perhitungan kekuatan penampang melintang akibat kombinasi lentur dan aksial sesuai dengan asumsi perencanaan pada balok. (lihat Sub Bab 4.1.2)

5.4.2 PERENCANAAN BERDASARKAN PADA MASING-MASING MOMEN LENTUR SECARA TERPISAH



Untuk penampang persegi, $c1 \times c2$ dimana bila $c2$ adalah dimensi penampang terbesar dan $c2/c1 \leq 3.0$, maka penampang dapat direncanakan untuk gaya aksial dengan masing-masing momen lentur dihitung secara terpisah, asalkan memenuhi salah satu syarat berikut :

- Eksentrisitas dari resultante gaya aksial pada masing-masing sumbu utama tidak melampaui 0,05 kali seluruh tinggi badan komponen dalam bidang lentur; atau
- Garis kerja aksi dari resultante gaya aksial jatuh didalam luas yang diarsir dari penampang pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.3 Garis kerja aksi dari resultante gaya aksial

5.4.3 PERENCANAAN LENTUR BIAKSIAL DAN TEKAN

Apabila tidak menggunakan analisis penampang berdasarkan kompatibilitas tegangan dan regangan, perencanaan kekuatan dari penampang berbentuk bukan lingkaran akibat lentur biaksial dapat ditentukan dengan:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o} \quad \text{jika } P_u \geq 0,1 f_c' A_g, \text{ atau} \quad (5.4-1)$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1 \quad \text{jika } P_u < 0,1 f_c' A_g \quad (5.4-2)$$

5.4.4 PERSYARATAN TULANGAN UNTUK KOLOM

5.4.4.1 Tulangan memanjang

- Luas dari tulangan memanjang kolom harus, $0,01 A_g < A_{st} \leq 0,08 A_g$:
Namun perlu diperhatikan penempatan atau spasi tulangan agar tidak mempersulit pengecoran beton.
- Rasio tulangan spiral ρ_s tidak boleh kurang dari :

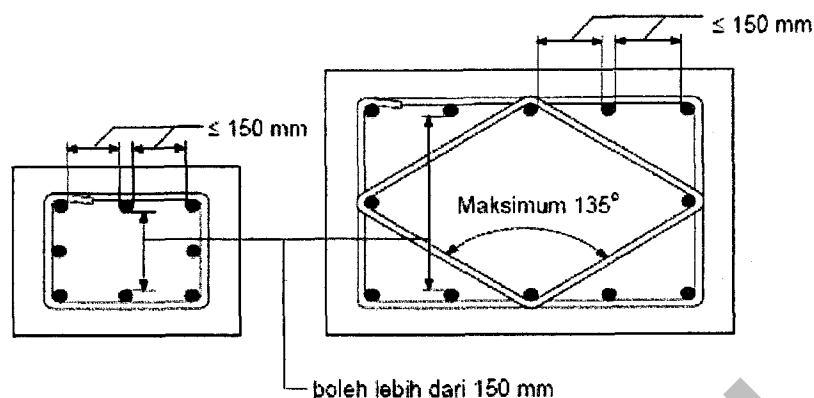
$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_y} \quad (5.4-3)$$

dengan f_y adalah kuat leleh tulangan spiral, tetapi tidak boleh melebihi 400 MPa.

5.4.4.2 Pengekangan tulangan memanjang

Tulangan memanjang kolom berikut ini harus dikekang dalam arah lateral:

- Tulangan tunggal
- Masing-masing tulangan sudut
- Seluruh tulangan dimana jarak pusat ke pusat lebih dari 150 mm
- Sekurang-kurangnya setiap tulangan yang bergantian dimana tulangan diberi jarak 150 mm atau kurang
- Tulangan terkelompok, masing-masing kelompok



Gambar 5.4 Spasi antara tulangan longitudinal kolom

5.4.4.3 Pengekangan lateral

Pengekangan lateral harus dipasang apabila tulangan memanjang ditempatkan didalam dan bersentuhan dengan :

- Ikatan yang tidak melingkar. Pada lengkungan ikatan, dimana lengkungan membentuk sudut 135° atau kurang
- Di antara dua kait yang membentuk sudut 135°
- Di dalam satu kait bersudut 135° atau kait yang kira-kira tegak lurus terhadap muka kolom; atau
- Ikatan melingkar atau spiral dan tulangan memanjang yang mempunyai jarak yang sama terhadap sekelilingnya.

5.4.4.4 Ukuran dan jarak antara sengkang dan spiral

Ukuran dan jarak antara tulangan sengkang dan spiral harus memenuhi ketentuan berikut:

- a). Ukuran tulangan sengkang atau spiral jangan kurang dari ukuran yang diberikan pada Tabel 5.4-1.

Tabel 5.4-1 Ukuran tulangan untuk sengkang dan spiral

Ukuran tulangan arah memanjang (mm)	Ukuran minimum tulangan sengkang dan spiral (mm)
Tulangan tunggal sampai dengan 20	6
Tulangan tunggal 24 sampai 28	10
Tulangan tunggal 32 sampai 36	12
Tulangan tunggal 40	16
Tulangan kelompok	12

- b). Jarak antara sengkang atau spiral tidak melebihi harga terkecil dari :
- h_c atau $15 d_b$ untuk tulangan tunggal;
(dimana h_c = dimensi kolom terkecil, dan d_b = diameter tulangan)
 - $0,5 h_c$ atau $7,5 d_b$ untuk tulangan kelompok;
 - 300 mm
- c). Satu sengkang atau putaran pertama dari spiral harus ditempatkan tidak lebih dari 100 mm arah vertikal di atas puncak perletakan atau puncak pelat lantai.

5.4.4.5 Pendetailan sengkang dan spiral

Pendetailan tulangan sengkang dan spiral harus mengikuti ketentuan-ketentuan berikut:

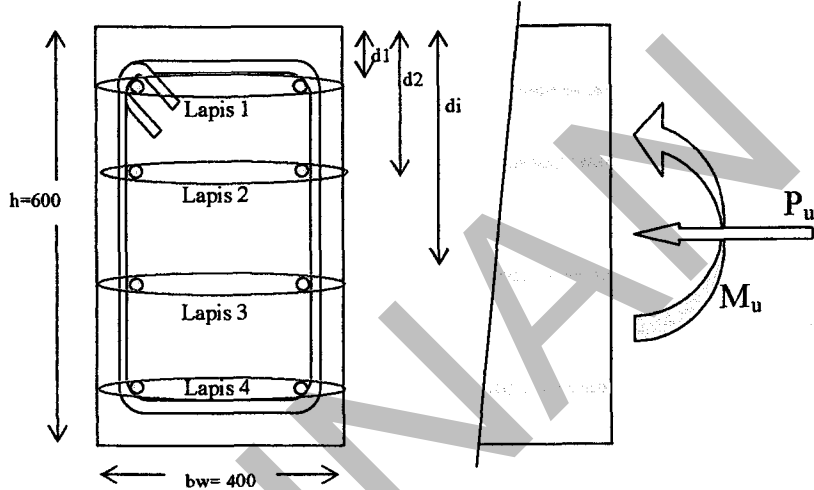
- Sengkang persegi harus disambung dengan las atau dengan membuat dua kait bersudut 135° sekeliling tulangan. Sengkang bagian dalam dapat disambung dengan membuat putaran di dalam inti kolom.
- Sengkang berbentuk lingkaran harus disambung dengan las atau dengan membuat *overlap* dan memasang dua kait bersudut 135° di sekeliling tulangan memanjang atau kelompok tulangan.
- Spiral harus diangkur pada ujung dengan satu atau satu setengah putaran tambahan dari spiral.

- Apabila kait bersudut atau tegak lurus dikombinasikan dengan kelompok tulangan, diameter dalam dari lengkungan harus dinaikkan secukupnya untuk menampung kelompok tulangan.

5.4.4.6 Penyambungan tulangan memanjang

Tulangan memanjang untuk komponen tekan harus disambung sesuai dengan ketentuan:

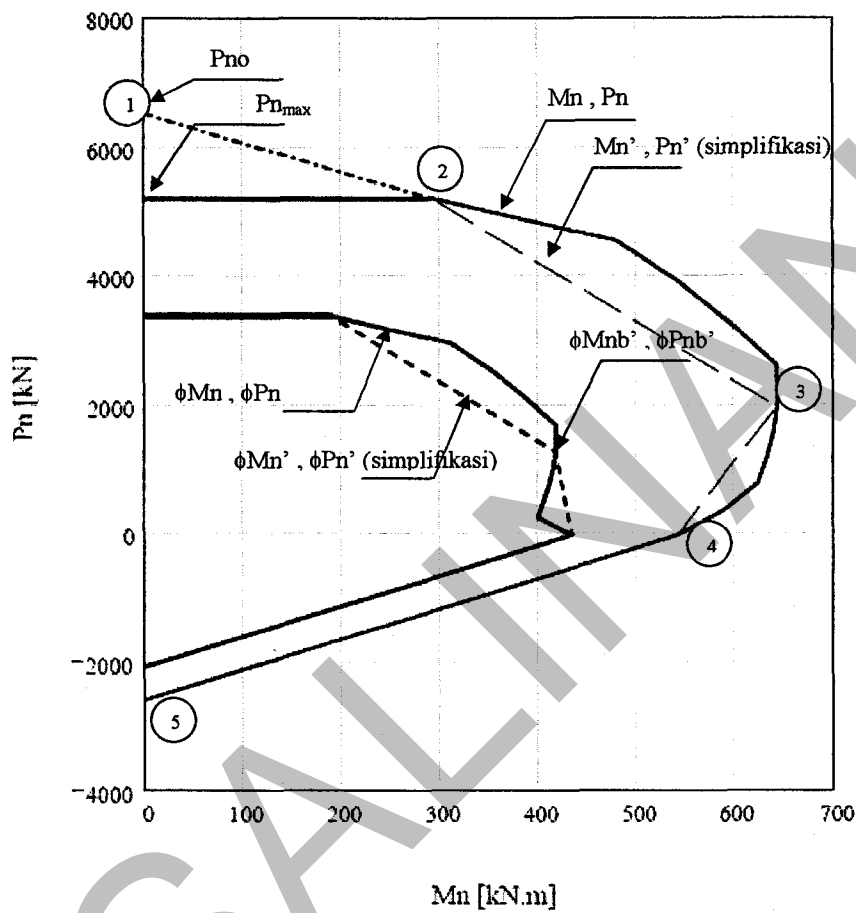
- Pada setiap sambungan dalam kolom, kekuatan tarik tulangan pada masing-masing muka kolom tidak boleh kurang dari $0,25 f_y A_s$.
- Apabila gaya tarik pada tulangan memanjang pada setiap muka kolom akibat beban rencana ultimit melebihi persyaratan kekuatan minimum seperti di atas, gaya pada tulangan harus dialihkan dengan sambungan las atau mekanik, atau sambungan menumpang dalam tarik.

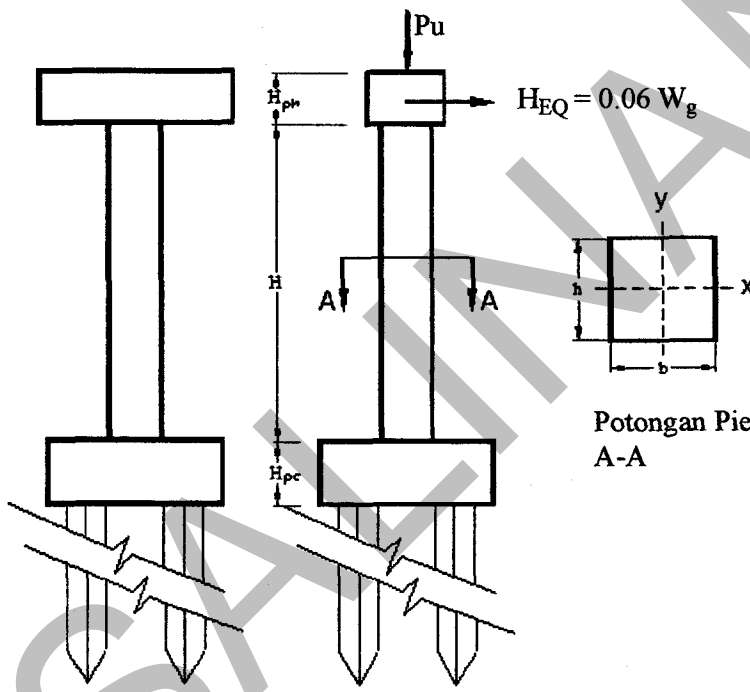
CONTOH 5.1	ANALISIS KOLOM BETON BERTULANG	1
SOAL : Analisis tulangan kolom (arah memutar sumbu mayor)		
<p>DIBERIKAN :</p> <p>Kedalaman tulangan per lapis: $d_1 = 65 \text{ mm}$ $d_2 = 221.67 \text{ mm}$ $d_3 = 378.33 \text{ mm}$ $d_4 = 535 \text{ mm}$</p>  <p>$h = 600$</p> <p>$b_w = 400$</p> <p>d_1, d_2, d_3, d_4</p> <p>Lapis 1, Lapis 2, Lapis 3, Lapis 4</p> <p>P_u, M_u</p>		
<p>MATERIAL</p> <p>Mutu dan Regangan Batas Beton $f_c := 40 \text{ MPa}$ $\epsilon_{cu} := 0.003$</p> <p>Modulus elastisitas baja $E_s := 200000 \text{ MPa}$</p> <p>Tegangan Leleh Baja $f_y := 400 \text{ MPa}$</p> <p>REDUKSI KEKUATAN, ϕ</p> <p>aksial tekan $\phi_k := 0.65$ (senggang biasa)</p> <p>bending $\phi_b := 0.8$</p>		
<p>LANGKAH 1: MENGHITUNG LUAS TULANGAN PADA SETIAP LAPIS</p> $A_{s_i} := 0.25 \pi \cdot (\text{dia}_i)^2 \cdot \text{jum}_i$		<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.2.7 dia = diameter tulangan jum = jumlah tulangan per lapis. i adalah nomor lapis</p>

<p>LANGKAH 2: MENGHITUNG LUAS PENAMPANG</p> $A_g := b_w \cdot h \quad A_g = 240000 \text{ mm}^2$ <p>LANGKAH 3: MENENTUKAN β_1</p> $\beta_1 := \begin{cases} 0.85 - (f_c - 30) \cdot \frac{0.05}{7} & \text{if } f_c > 30 \\ 0.85 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \beta_1 = 0.85$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.1.1.1 Faktor β_1 tergantung dari mutu beton, jika kurang dari 30 MPa nilainya 0.85, namun jika f_c lebih besar 30 MPa nilainya berkurang tapi tidak lebih kecil dari 0.65.</p>
<p>LANGKAH 4: RASIO TULANGAN KOLOM</p> $\rho_{tul} := \frac{\sum A_s}{A_g} \quad \rho_{tul} = 2.681\%$	<p>ρ_{tul} = luas tulangan utama kolom dibagi luas penampang beton.</p>
<p>LANGKAH 5: MENENTUKAN TITIK-TITIK DIAGRAM INTERAKSI</p> <p>1. Beban P_n maksimum teori, P_{n0} (titik 1 pada diagram interaksi)</p> $P_{n0} := 0.85 f_c \left(A_g - \sum A_s \right) + \sum (A_s \cdot f_y) \quad P_{n0} = 6.544 \times 10^6$ <p>2. Beban P_n maksimum ijin kosentris (titik 2 pada diagram interaksi)</p> $P_{n_{max}} := 0.8 P_{n0} \quad P_{n_{max}} = 5.235 \times 10^6 \text{ N}$ <p>$P_{n_x} := P_{n_{max}}$</p> <p>Mencari garis netral, c dengan cara <i>trial-error</i>. Dicoba $c = 606.2$</p> $a := c \cdot \beta_1$ $C_c := 0.85 f_c \cdot b_w \cdot a \quad C_c = 3.504 \times 10^6$ $\epsilon_{s_i} := \epsilon_{cu} \cdot \frac{d_{jy_i} - c}{c}$ $\epsilon_{s_i} := \text{if} \left(\left \epsilon_{s_i} \right < \frac{f_y}{E_s}, \epsilon_{s_i}, \frac{\left \epsilon_{s_i} \right }{\epsilon_{s_i}} \cdot 0.002 \right)$ $C_{s_i} := \epsilon_{s_i} \cdot E_s \cdot A_{s_i} \quad M_{n_{C_{s_i}}} := C_{s_i} \cdot d_{jy_i}$	<p>Nilai c diperoleh dari coba-coba dengan nilai awal antara h sampai $3h$. Dimana h adalah tinggi penampang kolom.</p> <p>C_c = gaya pada daerah serat penampang tekan beton.</p> <p>Regangan baja dihitung dengan segitiga sebangun. Untuk nilai regangan baja, $\epsilon_s \geq f_y/E_s$, maka $\epsilon_s = f_y/E_s = 400/200000 = 0.002$</p> <p>$C_{s_i}$ = gaya pada tiap lapis tulangan.</p> <p>$M_{n_{C_c}}$ = momen akibat gaya</p>

<p>Momen nominal</p> $\sum M_{n_{cs}} = 6.137 \times 10^8$ $M_{nx} := -C_c(0.5a) + \sum M_{n_{cs}} + P_{nx} \cdot \frac{h}{2}$ $M_{nx} = 5.427 \times 10^8 \quad \text{N-mm}$	
<p>5. Beban aksial tarik maksimum (titik 5 pada diagram interaksi)</p> $P_{nx} := -\sum A_s \cdot f_y$ $P_{nx} = -2.574 \times 10^6 \quad \text{N}$ <p>6. Menentukan ϕP_n, ϕM_n</p> <p>batas := min(0.1·Ag·fc, Pnb)</p> <p>batas = 480kN</p> $\phi'_i := \begin{cases} \phi_k & \text{if } P_{n'_i} > \text{batas} \\ \phi_b - \frac{\phi_b - \phi_k}{\text{batas}} \cdot P_{n'_i} & \text{if } \text{batas} \geq P_{n'_i} > 0 \text{ kN} \\ \phi_b & \text{if } P_{n'_i} \leq 0 \text{ kN} \end{cases}$	<p>Nilai Batas , adalah titik kontrol antara daerah tekan dan tarik. Nilai batas adalah nilai terkecil dari 0.1Ag fc dan Pnb.</p> <p>Faktor reduksi penampang kolom, ϕ nilainya bisa bervariasi tergantung dari nilai Pn. Bila $P_n > \text{Batas}$ maka $\phi = \phi_k = 0.65$, sedangkan jika $P_n \leq 0 \text{ kN}$ maka $\phi = \phi_b = 0.8$. Untuk Pn terletak antara Batas dan 0 kN maka nilai faktor reduksi</p> $\phi = \phi_b - \frac{\phi_b - \phi_k}{\text{batas}} P_n$

7. Diagram Interaksi untuk 5 titik (P_n, M_n) diatas digambarkan secara sederhana oleh garis putus-putus (dash)



CONTOH 5.2	ANALISIS KOLOM LANGSING BALOK BETON BERTULANG	1
<p>SOAL : Desain kolom pier interior untuk sistem portal simple span (Portal Bergoyang).</p> <p>Tinjau kasus pembebanan $U_{01} = 1.3 \text{ DL} + 2.0 \text{ LL}$ dan $U_{02} = 0.9 \text{ DL} + 1.0 \text{ EQ}$</p>		
 <p>The diagram illustrates the structural analysis of a rectangular column pier. It shows two views: 'Tampak Melintang' (Cross-section) and 'Tampak Samping' (Side view). The pier is subjected to a vertical load P_u at the top and a horizontal load $H_{EQ} = 0.06 W_g$ at the top. The pier has a total height H and is divided into two sections: H_{ph} (height of the pier above the top slab) and H_{pc} (height of the pier below the top slab). The pier is supported by a foundation. A cross-section A-A is shown with dimensions b (width) and h (height), and axes x and y.</p>		

DIBERIKAN :

Elevasi Kolom

$$H_{ph} = 1.5\text{m}$$

$$H = 10\text{m}$$

$$H_{pc} = 2\text{m}$$

$$\text{Panjang kolom} \quad L_u = H + H_{ph} \quad L_u = 11.5 \text{ m}$$

Material

$$\text{Beton} \quad f_c = 30\text{MPa}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton} \quad E_c &= 4700 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \text{MPa} \\ E_c &= 2.574 \times 10^4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

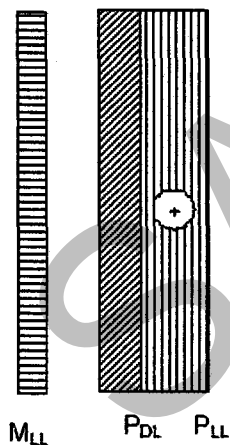
Gaya dalam service pada kolom

$$\text{Gaya aksial DL} \quad P_{DL} = 10000\text{kN}$$

$$\text{Gaya aksial LL} \quad P_{LL} = 4000\text{kN}$$

$$\text{Momen LL} \quad M_{LL} = 1000\text{kN}\cdot\text{m}$$

Diagram Gaya Dalam Kolor



<p><u>Porsi berat struktur yang dikenai percepatan gempa</u></p> <p>Berat struktur $W_g = P_{DL} + 0.25 \cdot P_{LL}$ $W_g = 11000 \text{ kN}$</p> <p>Gaya gempa (Asumsi $0.06 W_g$) $H_{EQ} = 0.06 \cdot W_g$</p> <p>Momen EQ $M_{EQ} = 7590 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>Gaya Geser Batas $V_u = H_{EQ}$ $V_u = 660 \text{ kN}$</p>	
<p>LANGKAH 1 : Menentukan penampang kolom</p> $P_u = 1.3 \cdot P_{DL} + 2.0 P_{LL}$ $A_{g_{trial}} = \frac{P_u}{0.4 \cdot (f_c + f_y \cdot \rho_t)} \quad A_{g_{trial}} = 1.544 \text{ m}^2$ $\sqrt{A_{g_{trial}}} = 1.243 \text{ m}$ <p>Ket = "Dimensi kolom setelah pembesaran momen $1600 \times 1600 \text{ mm}$ $b = 1600 \text{ mm}$ $h = 1600 \text{ mm}$</p>	<p>Penyederhanaan rumusan pada pers. (5.1-1) untuk preliminari menurut ACI.</p>
<p>KOMBINASI 01 = 1.3 DL + 2.0 LL</p> <p>LANGKAH 2 : Penentuan apakah kolom langsing?</p> <p>faktor panjang tekuk, $k = 2.1$ (asumsi kolom bebas berdiri terjepit di pondasi).</p> <p>Panjang kolom $L_u = 11.5 \text{ m}$</p> <p>Inersia kolom $I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$ $I_g = 0.546 \text{ m}^4$</p> <p>Luas $A_g = b \cdot h$ $A_g = 2.56 \text{ m}^2$</p> <p>radius girasi $r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$ $r = 0.462 \text{ m}$</p> <p>Check kelangsingan</p> $\frac{k \cdot L_u}{r} = 52.286 > 22, \text{ kolom langsing}$	<p>Momen M_1 dan M_2 adalah momen ujung pada kolom, adapun momen M_2 adalah momen terbesar pada elemen kolom tersebut.</p>

LANGKAH 3 : Menghitung P_u , M_{ns}
Kombinasi 01 1.3 DL + 2.0 LL
Aksial terfaktor, P_u

$$P_u = 21000 \text{ kN}$$

Momen terfaktor, M_{ns}

$$M_{1b} = 2000 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (atas)}$$

$$M_{2b} = 2000 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (bawah)}$$

LANGKAH 4 : Menghitung momen nonsway, M_{ns}
Rasio beban terfaktor DL dan Total, β_d

$$\beta_d = \frac{1.3 \cdot P_{DL}}{1.3 \cdot P_{DL} + 2.0 \cdot P_{LL}} \quad \beta_d = 0.619$$

Menghitung tekuk kritis

$$EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta_d} \quad EI = 3.473 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot L_u)^2} \quad P_c = 5.878 \times 10^4 \text{ kN}$$

Menghitung faktor pembesaran momen untuk non sway, δ_b

$$C_m = \max \left(0.6 + 0.4 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}}, 0.4 \right) \quad C_m = 1$$

$$\delta_b = \max \left(\frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}}, 1 \right) \quad \delta_b = 1.91$$

$$M_{ns1} = M_{1b} \cdot \delta_b \quad M_{ns1} = 3819.416 \text{ mkN}$$

$$M_{ns2} = M_{2b} \cdot \delta_b \quad M_{ns2} = 3819.416 \text{ mkN}$$

Nilai C_m adalah terbesar antara $0.6 + 0.4M_1/M_2$ dan 0.4 .

Faktor pembesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}}$$

tapi tidak kurang dari 1.

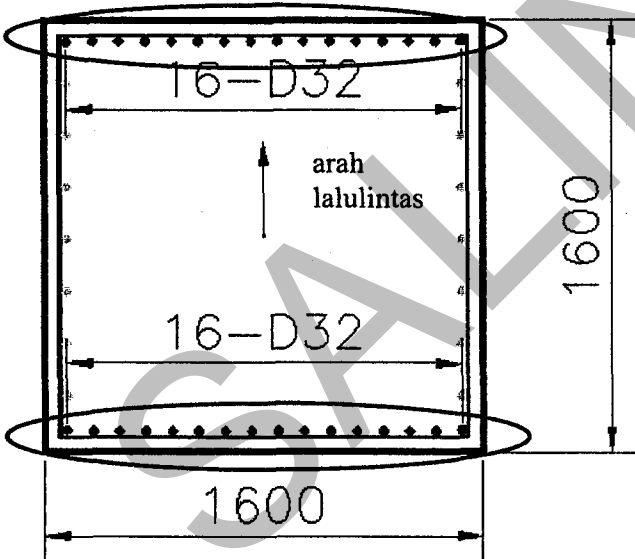
M_{ns1} = momen ujung terkecil akibat kombinasi beban non sway.

M_{ns2} = momen ujung terbesar akibat kombinasi beban non sway.

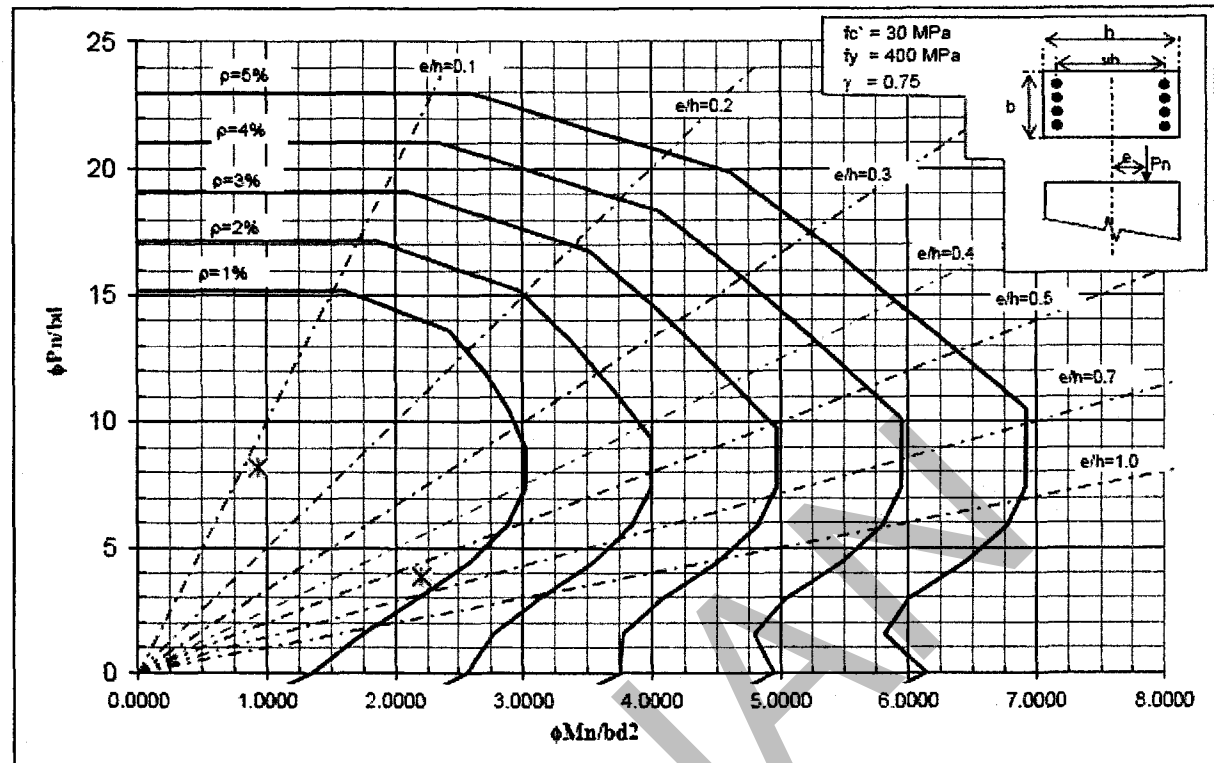
<p>LANGKAH 5 : Menghitung $\delta s M_s$ dan M_c</p> <p>Tidak ada gaya lateral pada kombinasi ini, sehingga $M_s = 0$</p> <p>$\delta s M_s = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>$M_1 = M_{ns1} + \delta s M_s \quad M_1 = 3819.416 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>$M_2 = M_{ns2} + \delta s M_s \quad M_2 = 3819.416 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p>	<p>M_s = momen ujung akibat beban terfaktor yang mengakibatkan struktur sway.</p> <p>M_1 = momen ujung terkecil total setelah ditambah pembesaran momen.</p> <p>M_2 = momen ujung terbesar total setelah ditambah pembesaran momen.</p>
<p>LANGKAH 6 : Kontrol beban gravitasi menimbulkan tekuk kesamping. Tekuk kesamping tidak terjadi bila δs bernilai positif dan < 2.5.</p> <p>$\Sigma P_c = P_c$</p> <p>$\Sigma P_u = P_u$</p> <p>$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0.75 \Sigma P_c}} \quad \delta s = 1.91 < 2.5 \text{ OK!}$</p> <p>Ket = "Tekuk kesamping tidak terjadi"</p>	
<p>LANGKAH 7 : Memeriksa momen minimum. Kolom bergoyang tidak harus memenuhi ini, namun untuk desain konservatif diperhitungkan.</p> <p>$M_{2\min} = P_u \cdot (15\text{mm} + 0.03 \cdot h) \quad M_{2\min} = 1323 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p>	
<p>LANGKAH 8 : Menghitung momen pembesaran, M_c terbesar dari M_2 dan $M_{2\min}$.</p> <p>$M_c = 3819.416 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p> <p>Summary</p> <p>$P_u = 21000 \text{ kN} \quad M_c = 3819.416 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p>	

<p>Kombinasi 02 DL + 0.25LL + EQ</p> <p>LANGKAH 3 : Menghitung P_u, M_{ns}</p> <p>Aksial terfaktor, P_u</p> $P_u = 9900 \text{ kN}$ <p>Momen terfaktor, M_{ns}</p> $M_{1b} = 225 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{atas})$ $M_{2b} = 225 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{bawah})$	
<p>LANGKAH 4 : Memeriksa apakah momen kolom maksimum terjadi</p> $\frac{L_u}{r} = 24.898 < \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c \cdot A_g}}} = 97.483$ <p>Ket = "Momen maksimum, $M_{ns} = M_{2b}$"</p>	
<p>LANGKAH 5 : Menghitung momen nonsway, M_{ns}</p> <p><u>Rasio beban terfaktor DL dan Total, β_d</u></p> $\beta_d = 0 \qquad \beta_d = 0$ <p><u>Menghitung tekuk kritis</u></p> $EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta_d} \qquad EI = 5.624 \times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$ $P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot L_u)^2} \qquad P_c = 9.517 \times 10^4 \text{ kN}$ <p><u>Menghitung faktor pembesaran momen untuk non sway, δ_b</u></p> $C_m = \max \left(0.6 + 0.4 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}}, 0.4 \right) \qquad C_m = 1$ $\delta_b = \max \left(\frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}}, 1 \right) \qquad \delta_b = 1.161$	

$M_{ns1} = \begin{cases} M_{1b} & \text{if } \frac{L_u}{r} \leq \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c \cdot A_g}}} \\ M_{1b} \cdot \delta_b & \text{otherwise} \end{cases} \quad M_{ns1} = 225 \text{ mkN}$ $M_{ns2} = \begin{cases} M_{2b} & \text{if } \frac{L_u}{r} \leq \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f_c \cdot A_g}}} \\ M_{2b} \cdot \delta_b & \text{otherwise} \end{cases} \quad M_{ns2} = 225 \text{ mkN}$	
<p>LANGKAH 6 : Menghitung $\delta_s M_s$ dan M_c (untuk beban angin dan gempa beban geser tetap = 0, sehingga $\beta_d = 0$)</p> <p>Momen sway, $M_{s1} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ $M_{s2} = M_{EQ} \quad M_{s2} = 7590 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$\beta_d = 0$ $EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g}{1 + \beta_d} \quad EI = 5.624 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$</p> <p>$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot L_u)^2} \quad P_c = 9.517 \times 10^4 \text{ kN}$</p> <p>$\Sigma P_c = P_c$</p> <p>$\Sigma P_u = P_u$</p> <p>$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0.75 \Sigma P_c}} \quad \delta_s = 1.161$</p> <p>$\delta_s M_{s1} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$\delta_s M_{s2} = \delta_s \cdot M_{s2}$</p> <p>$M_1 = M_{ns1} + \delta_s M_{s1} \quad M_1 = 225 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$M_2 = M_{ns2} + \delta_s M_{s2} \quad M_2 = 9037.309 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p>	<p>M_{s1} = momen ujung terkecil akibat beban terfaktor yang mengakibatkan struktur sway.</p> <p>M_{s2} = momen ujung terbesar akibat beban terfaktor yang mengakibatkan struktur sway. Biasanya untuk kolom <i>free standing</i> berada di bagian bawah kolom.</p> <p>M_1 = momen ujung terkecil total setelah ditambah pembesaran momen.</p> <p>M_2 = momen ujung terbesar total setelah ditambah pembesaran momen.</p>

<p>LANGKAH 7 : Memeriksa momen minimum. Kolom bergoyang tidak harus memenuhi ini, namun untuk desain konservatif diperhitungkan</p> $M_{2min} = P_u \cdot (15mm + 0.03 \cdot h) \quad M_{2min} = 623.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$	
<p>LANGKAH 8 : Menghitung momen pembesaran, M_c terbesar dari M_2 dan M_{2min}.</p> $M_c = 9037.309 \text{ kN} \cdot \text{m}$ <p>Summary</p> $P_u = 9900 \text{ kN} \quad M_c = 9037.309 \text{ kN} \cdot \text{m}$	
<p>LANGKAH 9: Penentuan tulangan. plot P_u/bh vs M_c/bh^2 hasil perhitungan ke dalam grafik diagram interaksi kolom pada Lampiran C.8 untuk kolom dengan $f_c=30\text{MPa}$, $\rho_t=1.0\%$ dan $\gamma=0.75$.</p> <p>Komb 1: $1.3 \text{ DL} + 2.0 \text{ LL} \rightarrow P_u/bh=8.203$ dan $M_c/bh^2=0.932$ Komb 2: $0.9(\text{DL}+0.25\text{LL})+1.0 \text{ EQ} \rightarrow P_u/bh=3.867$ dan $M_c/bh^2=2.206$</p> <p>Dengan demikian digunakan tulangan $2 \times 16\text{-D}32$.</p> 	

Lampiran C.8 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



CONTOH 5.3	ANALISIS KOLOM BIAKSIAL BETON BERTULANG Metoda Eksentrisitas Ekuivalen	1
SOAL : Desain kolom biaksial dengan data-data sebagai berikut		
MATERIAL		
Mutu beton	$f_c' := 20\text{MPa}$	
Regangan Beton	$\epsilon_{cu} := 0.003$	
Modulus elastisitas baja	$E_s := 200000\text{MPa}$	
Tegangan Leleh Baja	$f_y := 400\text{MPa}$	
REDUKSI KEKUATAN, ϕ		
aksial tekan	$\phi_k := 0.65$	(senggang biasa)
bending	$\phi_b := 0.8$	
GAYA DALAM		
Aksial	$P_u := 1112.05\text{kN}$	
Momen	$M_{ux} := 74.57\text{kN}\cdot\text{m}$	
	$M_{uy} := 149.14\text{kN}\cdot\text{m}$	
LANGKAH 1: Memilih penampang. asumsi tulangan kolom $\rho_t := 1.5\%$		Metode ini digunakan untuk kolom simetris dengan ratio l_x/l_y antara 0.5 dan 2. Dalam hal ini $l_x/l_y=1$
$A_g(\text{trial}) \geq \frac{P_u}{0.4(f_c' + f_y \cdot \rho_t)} = 0.107\text{m}^2$		
$l_x := 400\text{mm}$ (ukuran kolom 400 x 400)		
$l_y := 400\text{mm}$		
$A_g := l_x \cdot l_y$ $A_g = 0.16\text{m}^2$		

5. PERENCANAAN KEKUATAN KOLOM

<p>LANGKAH 2: Menghitung γ</p> $\gamma := \frac{lx - 2 \cdot (61\text{mm})}{lx} \quad \gamma = 0.695$	
<p>LANGKAH 3: Menghitung e_x, e_y</p> $e_x := \frac{M_{uy}}{P_u} \quad e_x = 0.134\text{ m}$ $e_y := \frac{M_{ux}}{P_u} \quad e_y = 0.067\text{ m}$	
<p>LANGKAH 4: Menghitung α</p> $\frac{P_u}{f_c' \cdot A_g} = 0.348$ $\alpha := \begin{cases} \left(0.5 + \frac{P_u}{f_c' \cdot A_g}\right) \cdot \frac{f_y + 275.5}{689.5} & \text{if } \frac{P_u}{f_c' \cdot A_g} \leq 0.4 \\ \left(1.3 - \frac{P_u}{f_c' \cdot A_g}\right) \cdot \frac{f_y + 275.5}{689.5} & \text{if } \frac{P_u}{f_c' \cdot A_g} > 0.4 \end{cases}$ $\alpha = 0.83$	
<p>LANGKAH 5: Menghitung e_0 dan M_0</p> <p>Kontrol $\frac{e_x}{lx} = 0.335 > \frac{e_y}{ly} = 0.168$</p> <p>Ket = "ex/lx > ey/ly, Hitung eox"</p> <p>Ket1 = "dir-X"</p> $e_0 := \begin{cases} e_x + \alpha \cdot \frac{e_y}{ly} \cdot lx & \text{if Ket1 = "dir-X"} \\ e_y + \alpha \cdot \frac{e_x}{lx} \cdot ly & \text{otherwise} \end{cases} \quad e_0 = 0.1898\text{ m}$ $M_0 := P_u \cdot e_0 \quad M_0 = 211.056\text{ kN}\cdot\text{m}$	<p>Jika $\frac{e_x}{lx} \geq \frac{e_y}{ly}$ maka eksentrisitas ekuivalen e_0 akan dihitung paralel dengan arah e_x dan sumbu -x, jika sebaliknya akan dihitung paralel dengan arah e_y dan sumbu -Y.</p> <p>Momen gabungan atau momen ekuivalen, M_0 adalah $P_u e_0$.</p>

5. PERENCANAAN KEKUATAN KOLOM

LANGKAH 6: Menggunakan diagram interaksi untuk memperoleh ρ_t

$$\frac{P_u}{A_g} = 6.95 \text{ MPa}$$

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

$$\frac{M_0}{A_g \cdot h} = 3.298 \text{ MPa}$$

Dari gambar lampiran C1 dan C2.

$$\text{untuk } \gamma = 0.60, \rho_t = 0.027$$

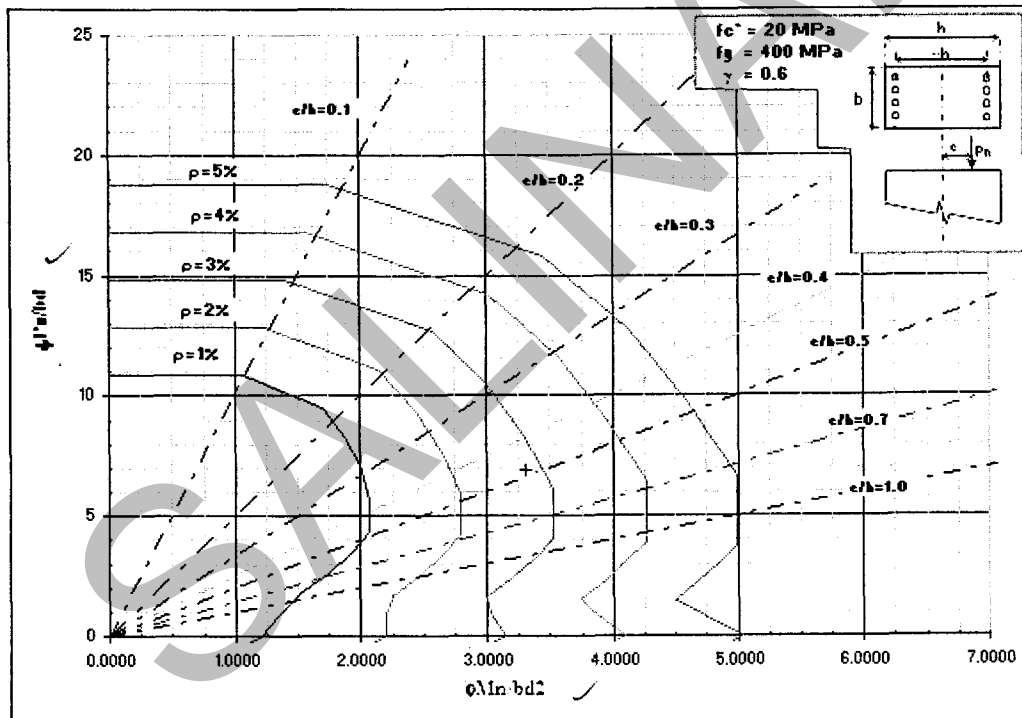
$$\gamma = 0.75, \rho_t = 0.021$$

Dengan interpolasi untuk $\gamma = 0.7$ diperoleh

$$\rho_t := 0.027 + \frac{(0.027 - 0.021)}{(0.6 - 0.75)} \cdot (0.7 - 0.6)$$

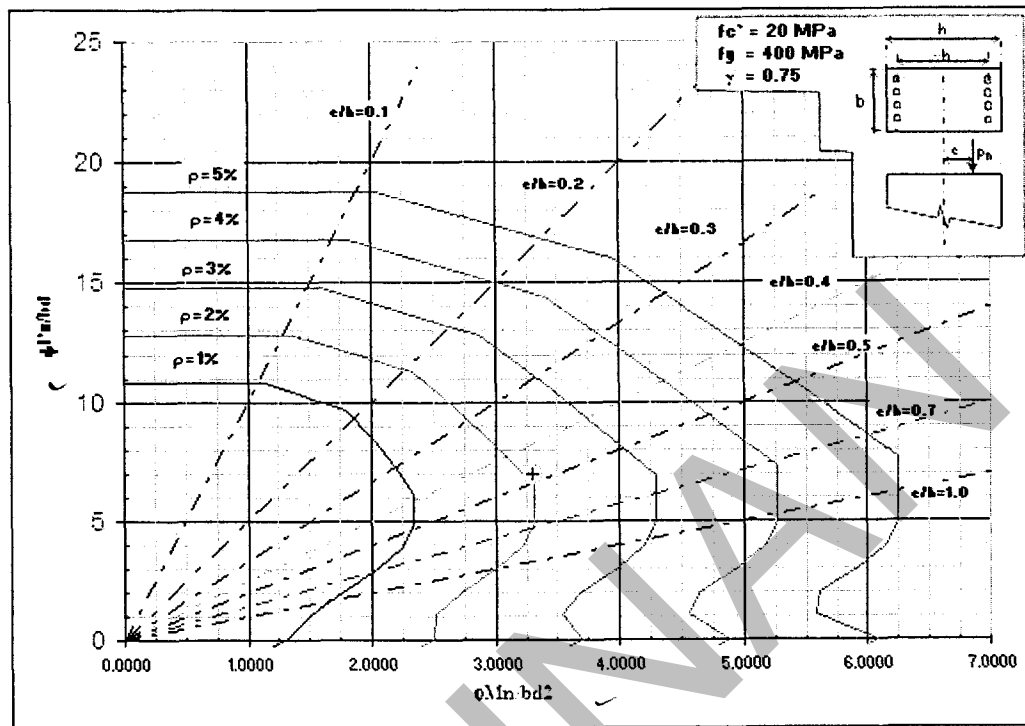
$$\rho_t = 2.3\%$$

Lampiran C.1 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



5. PERENCANAAN KEKUATAN KOLOM

Lampiran C.2 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



6 PERENCANAAN KOMBINASI GESER DAN PUNTIR

6.1 PENGGUNAAN DAN METODE PERENCANAAN

6.1.1 PENGGUNAAN

- a) Perencanaan kekuatan balok berikut diterapkan untuk balok yang memikul puntir yang dikombinasikan dengan lentur dan geser. Cara perencanaan ini tidak diterapkan untuk komponen yang tidak terlentur.
- b) Dalam hal diperlukan tulangan puntir sesuai pasal-pasal dibawah ini, maka tulangan puntir harus disediakan secara penuh disamping tulangan yang diperlukan untuk menahan geser, lentur, aksial.

6.1.2 METODE PERENCANAAN

Perencanaan harus didasarkan pada cara PBKT. Perhitungan puntir yang diterapkan sekarang pada peraturan SNI 03-2847-2002 dan AASHTO LRFD 2004 menggunakan teori tabung tipis (thin-walled tube analogy) dan teori rangka ruang plastic (plastic truss analogy). Dalam teori ini pengaruh T_c dihilangkan, sehingga kekuatan torsi nominal penampang tergantung dari tulangan baja yang terdiri dari sengkang tertutup dan tulangan longitudinal tambahan.

6.2 KEKUATAN PUNTIR BALOK

Kekuatan puntir balok harus direncanakan berdasarkan hubungan:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (6.2-1)$$

dimana puntir nominal,

$$T_n = T_c + T_s, \text{ dengan } T_c=0 \text{ (berdasarkan teori tabung tipis) sehingga } T_n = T_s$$

Adapun T_n dihitung dengan persamaan (6.2-9).

6.2.1 SYARAT TULANGAN PUNTIR

a) Tulangan puntir tidak diperlukan apabila:

$$\frac{T_u}{\phi T_c} < 0,25 \quad \text{atau} \quad (6.2-2)$$

$$\frac{T_u}{\phi T_c} + \frac{V_u}{\phi V_c} < 0,50; \quad \text{atau} \quad (6.2-3)$$

Atau menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6 tulangan puntir boleh diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

- untuk komponen struktur non-prategang

$$\frac{\phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}{12} \quad (6.2-4)$$

- untuk komponen struktur prategang

$$\frac{\phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 f_{cp}}{\sqrt{f_c'}}}}{12} \quad (6.2-5)$$

- untuk komponen struktur non-prategang yang dibebani gaya tarik atau tekan aksial:

$$\frac{\phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 N_u}{A_g \sqrt{f_c'}}}}{12} \quad (6.2-6)$$

Atau untuk balok dengan tinggi total tidak melampaui 250 mm atau setengah dari lebar badan.

- b) Apabila persyaratan di atas tidak dipenuhi, tulangan puntir yang terdiri dari sengkang tertutup melintang dan tulangan memanjang harus dipasang sedemikian sehingga ketidaksamaan berikut dipenuhi:

$$\frac{T_u}{\phi T_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1 \quad (6.2-7)$$

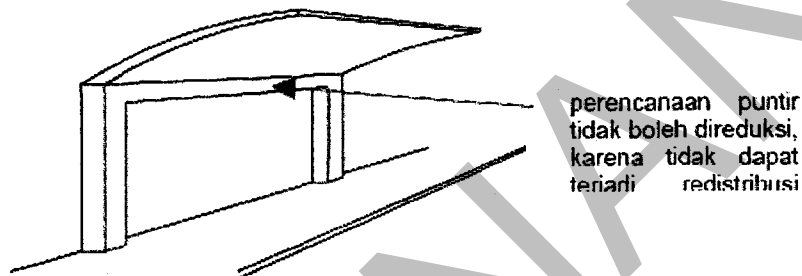
- c) Kuat nominal puntir T_n bisa dihitung dengan anggapan seluruh sengkang tertutup dipasang sedemikian rupa sehingga:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (6.2-8)$$

dimana
$$T_n = f_{yv} \left[\frac{A_t}{s} \right] 2A_o \cot \theta_t \quad (6.2-9)$$

6.2.2 TORSI KESEIMBANGAN DAN TORSI KOMPATIBILITAS.

Torsi dapat dibagi dua kategori: torsi keseimbangan dan torsi kompatibilitas. Torsi keseimbangan (*equilibrium torsion*) adalah torsi yang diperlukan untuk menyeimbangkan Struktur. Dalam hal ini torsi tidak bisa didistribusikan ke elemen struktur lain, karena akan mengganggu stabilitas struktur itu sendiri.



Gambar 6.1 Torsi Keseimbangan

Sedangkan torsi kompatibilitas (*compatibility torsion*) adalah torsi yang boleh didistribusikan ke elemen struktur lain akibat adanya keretakan, sehingga torsi yang terjadi boleh direduksi. Gambar 6.2 menunjukkan torsi kompatibilitas. Torsi kompatibilitas biasanya terdapat pada struktur statis tak tentu. Momen puntir maksimum terfaktor T_u dapat dikurangi menjadi :

- untuk komponen struktur non-prategang

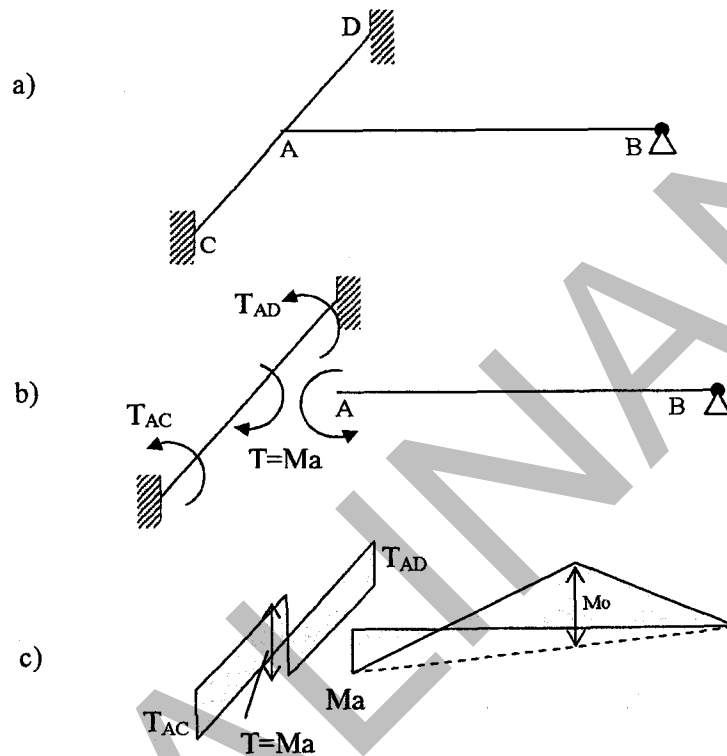
$$\frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (6.2-4)$$

- untuk komponen struktur prategang

$$\frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3f_{cp}}{\sqrt{f_c}}} \quad (6.2-5)$$

- untuk komponen struktur non-prategang yang dibebani gaya tarik atau tekan aksial:

$$\frac{\phi \sqrt{f_c}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3N_u}{A_g \sqrt{f_c}}} \quad (6.2-6)$$



Gambar 6.2 Torsi Kompatibilitas

6.2.3 TULANGAN PUNTIR MINIMUM

Apabila tulangan puntir dibutuhkan, kedua harga tulangan minimum berikut harus dipasang:

Untuk sengkang tertutup sedemikian hingga:

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,2 \frac{y_1}{f_{y,f}} \quad (6.2-7)$$

Dimana y_1 adalah dimensi terbesar dari sengkang tertutup, atau tulangan sengkang tertutup minimum berdasarkan SNI 03-2847-2002 adalah

$$A_v + 2A_t \geq \frac{75\sqrt{f_c}}{1200} \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \quad (6.2-8)$$

Dimana $(A_v + 2A_t)$ tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3} \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}}$

Untuk tulangan memanjang sebagai tambahan seperti yang diperlukan untuk lentur, sedemikian rupa hingga :

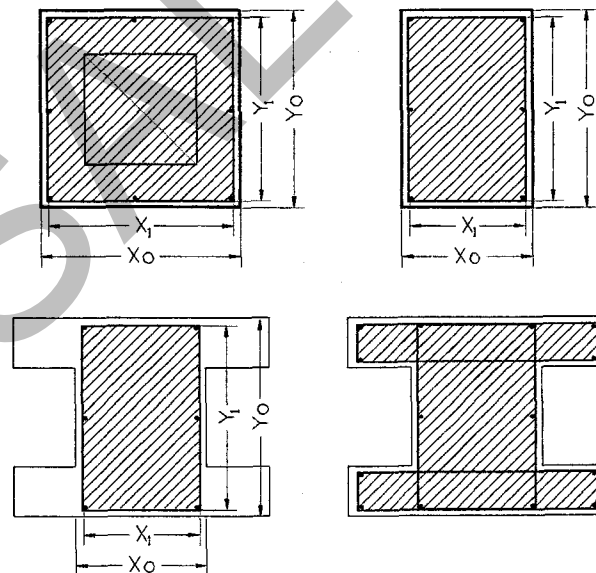
$$A_s \geq 0,2 \frac{y_1 u_t}{f_y} \quad (6.2-9)$$

Tulangan puntir longitudinal tambahan berdasarkan SNI 03-2847-2002 adalah

$$A_{l,min} = \frac{5\sqrt{f_c} A_{cp}}{12} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \quad (6.2-10)$$

6.2.4 DEFINISI A_{CP} DAN P_{CP}

A_{cp} adalah luas area yang berada di dalam perimeter penampang terluar beton termasuk lubang (hollow) bila ada dalam perimeter tersebut. Adapun P_{cp} adalah panjang perimeter / keliling dari luas A_{cp} .



Gambar 6.3 Definisi A_{cp} dan A_{oh}

$$A_{cp} = X_0 Y_0 \quad P_{cp} = 2 (X_0 + Y_0)$$

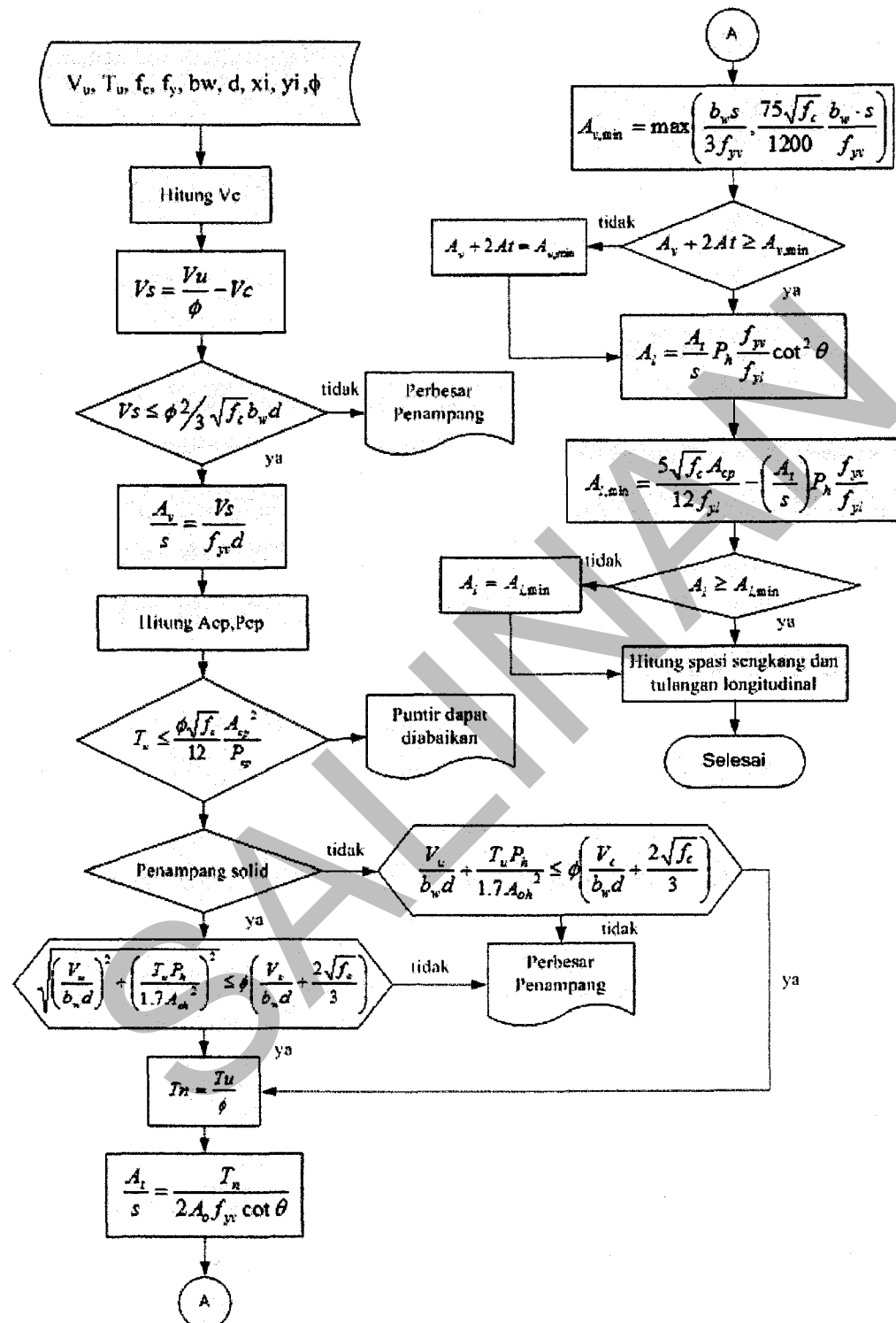
$$A_{oh} = X_1 Y_1 \quad P_h = 2 (X_1 + Y_1)$$

6.2.5 DETAIL TULANGAN PUNTIR

Detail tulangan puntir harus memenuhi ketentuan:

- Harus terdiri dari sengkang tertutup dan sengkang memanjang
- Sengkang tertutup harus menerus sekeliling semua tepi penampang melintang dan diangkur, kecuali dalam analisis yang lebih teliti menunjukkan bahwa sengkang dengan pengankuran penuh tidak dibutuhkan
- Tulangan memanjang harus ditempatkan sedekat mungkin ke sudut penampang melintang, dan sekurang-kurangnya satu tulangan memanjang harus dipasang pada masing-masing sudut sengkang tertutup.

6.2.6 BAGAN ALIR PERENCANAAN PUNTIR DAN GESER



CONTOH 6.1	DESAIN TULANGAN GABUNGAN GESER DAN TORSI	1
SOAL : Desain tulangan geser dan torsi dari balok berikut ini.		
<p>DIBERIKAN : Penampang dari hasil perhitungan kebutuhan lentur sebagai berikut.</p> <div data-bbox="295 705 638 1187"> </div> <div data-bbox="699 705 1276 952"> <p>Penampang Balok</p> <p>$b_w = 350 \text{ mm}$</p> <p>$h = 750 \text{ mm}$</p> <p>$d_c = 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 0.5D_3 \quad d_c = 0.063 \text{ m}$</p> <p>$d = h - d_c \quad d = 687.5 \text{ mm}$</p> </div>		

DIBERIKAN :

Gaya Dalam

Gaya Geser Ultimate $V_u = 240 \text{ kN}$ Momen Torsi Ultimate $T_u = 25 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Material

$$\phi = 0.85$$

Beton :

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

$$\gamma_c = 2400 \text{ kgf}\cdot\text{m}^{-3}$$

Baja : $E_s = 2 \cdot 10^5 \cdot \text{Mpa}$ Tul. Lentur $f_y = 400 \cdot \text{Mpa}$ Tul. Geser $f_{ys} = 240 \text{ Mpa}$

Langkah 1: Kebutuhan Sengkang Akibat Gaya Geser:

Kuat geser yang disumbang beton

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad V_c = 200.521 \text{ kN}$$

Kuat geser yang harus disumbang tulangan geser

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad V_s = 81.832 \text{ kN}$$

Check syarat penampang untuk tul. geser : $V_s \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$

Note1 = "Syarat penampang untuk geser terpenuhi"

Note2 = " $V_u > 0,5 \phi V_c$, Perlu digunakan sengkang"Note3 = " $V_u > \phi V_c$, Sengkang perlu lebih dari minimum"

RSNI-T12-04

Pasal 5.2.4

RSNI-T12-04

Pasal 5.2.6 V_s maksimum.

RSNI-T12-04

Pasal 5.2.5 Syarat
tulangan geser

<p>Luas sengkang geser perlu/jarak, $A_v/s=A_{vs}$</p> $A_{vs} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} \quad A_{vs} = 0.298 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$ <p>Spasi maksimum:</p> $s_{\text{makgeser}} = \begin{cases} \min\left(\frac{d}{2}, 0.75 \cdot h, 600\text{mm}\right) & \text{if } V_s < \frac{\sqrt{f_c'} \cdot M_{pa}}{3} \cdot b_w \cdot d \\ \min\left(\frac{d}{4}, 0.375 \cdot h, 300\text{mm}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$ <p>$s_{\text{makgeser}} = 343.75 \text{ mm}$</p>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.2.6 Spasi maksimum. Lihat keterangan pada contoh 4.4</p>
<p>Langkah 2: Kebutuhan Sengkang Akibat Momen Torsi</p> $A_{cp} = b_w \cdot h \quad P_{cp} = 2 \cdot (b_w + h)$ $A_{cp} = 2.625 \times 10^5 \text{ mm}^2 \quad P_{cp} = 2.2 \times 10^3 \text{ mm}$ $A_{oh} = (b_w - 2 \cdot d_c) \cdot (h - 2 \cdot d_c)$ $A_{oh} = 1.406 \times 10^5 \text{ mm}^2$ $P_{oh} = 2 \cdot [(b_w - 2 \cdot d_c) + (h - 2 \cdot d_c)]$ $P_{oh} = 1.7 \times 10^3 \text{ mm}$ <p>Momen torsi nominal desain</p> $T_{nd} = \frac{T_u}{\phi} \quad T_{nd} = 29.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$ <p>Kapasitas torsi yang disumbang oleh beton</p> $T_c = \frac{\sqrt{f_c'} \cdot M_{pa}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad T_c = 13.05 \text{ kN} \cdot \text{m}$ <p>Note4 = "Tnd > Tc, Torsi Harus Diperhitungkan"</p>	<p>SNI-03-2847-2002 Pasal 13.6 Perencanaan Puntir</p>

Pengecekan penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_{oh}}{1.7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2\sqrt{f_c' \cdot Mpa}}{3}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_{oh}}{1.7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} = 1.61 \text{ MPa}$$

$$\phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2\sqrt{f_c' \cdot Mpa}}{3}\right) = 3.542 \text{ MPa}$$

Note5 = "Luas penampang cukup"

Luas sengkang torsi perlu/Jarak, $A_t/s = A_{ts}$

$$A_{ts} = \frac{T_{nd}}{2 \cdot 0.85 \cdot A_{oh} \cdot f_y \cdot \cot(45^\circ)}$$

$$A_{ts} = 0.513 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Langkah 3: Perencanaan Sengkang Gabungan Geser + Torsi

Pasang sengkang dengan jumlah kaki $n_k = 2$

Luas sengkang tertutup total/satuan jarak, $A_{vt}/s = A_{vts}$

$$A_{vts} = 2 \cdot A_{ts} + A_{vs} \quad A_{vts} = 1.323 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Pasang sengkang dengan diameter $d_s = 13\text{mm}$

$$\text{Luas sengkang, } A_v \quad A_v = n_k \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot d_s^2 \quad A_v = 265.465 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi sengkang perlu} \quad sp = \frac{A_v}{A_{vts}} \quad sp = 200.681 \text{ mm}$$

pasang sengkang dengan spasi $s = 200\text{mm}$

Spasi sengkang maksimum

$$s_{\max} = \min\left(\frac{1}{8} \cdot P_{oh}, 300\text{mm}, s_{\max\text{geser}}\right)$$

$$s_{\max} = 212.5\text{ mm}$$

Note6 = "spasi cukup"

Kontrol luas sengkang minimum

$$A_{vm} = \max\left(\frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_{ys}}, \frac{75 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot s}{1200 \cdot f_{ys}}\right)$$

Luas sengkang minimum

$$A_{vm} = 97.222\text{ mm}^2$$

Luas sengkang terpasang

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_{ys} d} \quad A_v = 99.19\text{ mm}^2$$

Note7 = "Luas Tul. Geser Terpasang > Tul. Geser Minimum, OK!"

Kesimpulan :

digunakan= "Sengkang, D13 - 200"

Langkah 4: Perencanaan Tulangan Torsi Longitudinal

Tulangan puntir longitudinal minimum:

$$A_{lmin} = \begin{cases} \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_y} - (A_{ts}) \cdot P_{oh} & \text{if } A_{ts} > \frac{bw}{6f_y} \\ \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_y} - \left(\frac{bw}{6f_y} \right) \cdot P_{oh} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{lmin} = 495.728 \text{ mm}^2$$

Tulangan puntir longitudinal perlu

$$A_l = A_{ts} \cdot P_{oh} \cdot \cot(45 \cdot \text{deg})^2$$

$$A_l = 871.46 \text{ mm}^2$$

Gunakan luas tulangan longitudinal :

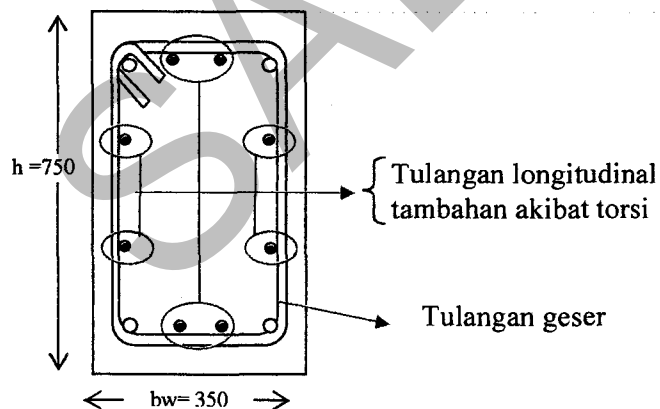
$$A_{tl} = \max(A_{lmin}, A_l) \quad A_{tl} = 871.46 \text{ mm}^2$$

Tulangan torsi dibagikan dalam 4 sisi:

$$A_{ss} = \frac{A_{tl}}{4} \quad A_{ss} = 217.865 \text{ mm}^2$$

Kesimpulan :

digunakan= "Tul. longitudinal tambahan torsi pada setiap sisi, 2D13



Luas tulangan longitudinal minimum,

$$A_{lmin} = 5 \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp} / (12 \cdot f_y) - A_{ts} \cdot P_{oh} \text{ jika } A_{ts} >$$

$bw / (6 \cdot f_y)$, sedangkan untuk A_{ts} kurang dari $bw / (6 \cdot f_y)$

digunakan rumusan

$$5 \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp} / (12 \cdot f_y) -$$

$$bw / (6 \cdot f_y) \cdot P_{oh}$$

7 PERENCANAAN KEKUATAN PELAT

7.1 PERENCANAAN PELAT LANTAI KENDARAAN TERHADAP LENTUR

Kekuatan pelat lantai terhadap lentur harus ditentukan seperti halnya sama dengan balok dalam hal asumsi, faktor reduksi kekuatan dan syarat minimum. Bila momen desain, $M_u < 1.2 M_{cr}$, maka tulangan minimum pelat ditentukan berdasarkan sub bab 7.1.2. Untuk pelat lantai satu arah di atas dua perletakan atau menerus, lebar pelat yang menahan momen lentur akibat beban terpusat dapat ditentukan sesuai dengan:

a). Bila beban tidak dekat dengan sisi yang tidak ditumpu:

$$b_{ef} = \text{lebarbeban} + 2,4a^* \left(1,0 - \left(\frac{a^*}{l_n} \right) \right) \quad (7.1-1)$$

dengan pengertian:

a^* = jarak tegak lurus dari tumpuan terdekat ke penampang yang diperhitungkan

l_n = bentang bersih dari pelat

b). Bila beban dekat dengan sisi yang tidak tumpu, lebar pelat tidak boleh lebih besar dari harga terkecil berikut ini:

- harga sama dengan persamaan (7.1-1); atau
- setengah dari harga di atas ditambah jarak dari titik pusat beban ke sisi yang tidak tumpu.

7.1.1 TEBAL MINIMUM PELAT LANTAI

Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s memenuhi kedua ketentuan:

$$t_s \geq 200 \text{ mm} \quad (7.1-2)$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm} \quad (7.1-3)$$

dengan pengertian:

l = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter)

7.1.2 TULANGAN MINIMUM

Tulangan minimum harus dipasang untuk menahan tegangan tarik utama sebagai berikut:

- Pelat lantai yang ditumpu kolom:
$$\frac{A_s}{bd} = \frac{1,25}{f_y} \quad (7.1-4)$$

- Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding:
$$\frac{A_s}{bd} = \frac{1,0}{f_y} \quad (7.1-5)$$

- Pelat telapak:
$$\frac{A_s}{bd} = \frac{1,0}{f_y} \quad (7.1-6)$$

Apabila pelat lantai ditumpu seperti halnya pelat dua arah, luas minimum tulangan dalam masing-masing arah harus diambil dua pertiga dari harga-harga di atas. Jika tidak, tulangan yang disebarkan harus dipasang sesuai dengan pasal 7.1.4.

7.1.3 PENYEBARAN TULANGAN UNTUK PELAT LANTAI

- a). Tulangan harus dipasang pada bagian bawah dengan arah menyilang terhadap tulangan pokok.
- b). Kecuali bila analisis yang lebih teliti dilaksanakan, jumlah tulangan diambil sebagai persentase dari tulangan pokok yang diperlukan untuk momen positif sebagai berikut:

- c). Tulangan pokok sejajar arah lalu lintas:
$$\text{persentase} = \frac{55}{\sqrt{l}} (\text{max } 50\%, \text{min } 30\%) \quad (7.1-7)$$

- d). Tulangan pokok tegak lurus arah lalu lintas:
$$\text{persentase} = \frac{110}{\sqrt{l}} (\text{max } 67\%, \text{min } 30\%) \quad (7.1-8)$$

- e). Dengan adanya tulangan pokok yang tegak lurus arah lalu lintas, jumlah penyebaran tulangan dalam seperempat bentang bagian luar dapat dikurangi dengan maksimum 50%.

7.1.4 PENGAKU BAGIAN TEPI

7.1.4.1 Pengaku arah memanjang

- Balok tepi harus dipasang untuk pelat lantai yang mempunyai tulangan pokok sejajar arah lalu lintas
- Balok tepi paling sedikit harus identik dengan penambahan 600 mm lebar pelat lantai dengan tulangan yang serupa.

7.1.4.2 Pengaku arah melintang

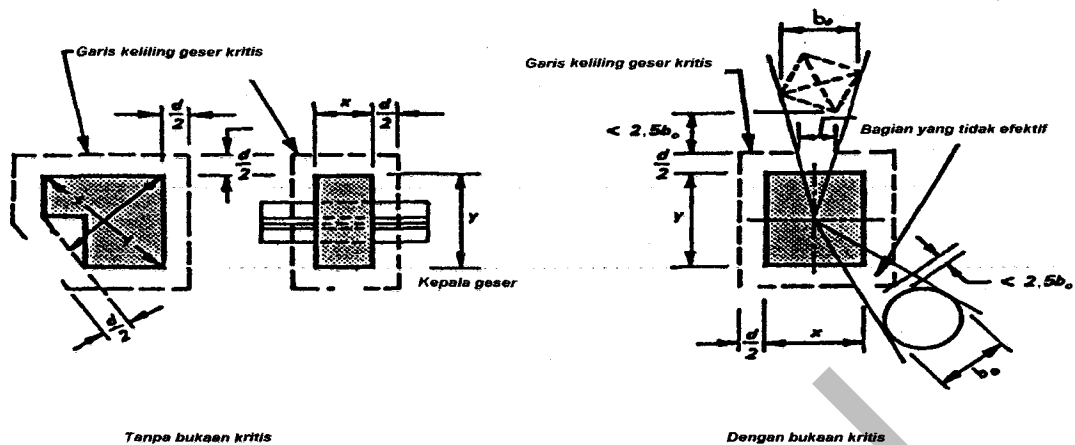
Tepi melintang pada ujung jembatan, dan pada bagian tengah di mana kontinuitas dari pelat terhenti, harus ditumpu oleh diafragma atau yang sejenisnya dan harus direncanakan untuk pengaruh yang paling berbahaya dari beban roda.

7.2 PERENCANAAN PELAT LANTAI TERHADAP GESER

7.2.1 UMUM

Definisi-definisi dan simbol-simbol yang tercantum dalam pasal 4.2 adalah sebagai berikut:

- a). Luas efektif dari tumpuan dan beban terpusat adalah luas yang mengelilingi penuh perletakan atau beban yang ada dimana garis kelilingnya minimum (lihat gambar 7-1).
- b). Garis keliling kritis untuk geser adalah garis keliling yang ditetapkan secara geometris serupa dengan batas dari luas efektif perletakan atau beban terpusat dan terletak pada jarak $d/2$ dari batas tersebut. (lihat gambar 7.1).
- c). Bukaan tersebut adalah setiap bukaan yang menembus ketebalan pelat lantai dimana tepi, atau sebagian dari tepi, dari bukaan terletak pada jarak bersih kurang dari $2,5 b_o$ dari garis keliling geser kritis (lihat gambar 7.1).



Gambar 7.1 Keliling geser kritis

Kekuatan pelat lantai terhadap geser harus ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut:

- I. Apabila keruntuhan geser dapat terjadi sepanjang lebar pelat lantai dan keruntuhan geser dapat terjadi pada lebar yang cukup besar, kuat geser pelat harus dihitung sesuai pasal 5.2.1 kecuali bahwa:

Untuk pelat beton bertulang tanpa tulangan geser, nilai minimum

$$V_c = \frac{1}{6} (\sqrt{f_c'} b d_o) \quad (7.2-1)$$

- II. Apabila keruntuhan geser dapat terjadi secara setempat di sekitar tumpuan atau beban terpusat, kuat rancang geser pelat harus diambil sebesar ϕV_n dimana V_n dihitung sesuai dengan salah satu harga berikut:
 - a) Apabila $M_v^* = 0$, $V_n = V_{no}$ yang dihitung sesuai dengan sub pasal 5.6.2. (a).
 - b) Apabila M_v^* tidak sama dengan nol, V_n dihitung sesuai dengan sub pasal 5.6.2 (b).
- III. Bila kedua bentuk keruntuhan di atas memungkinkan, kuat geser harus dihitung sesuai dengan (a) dan (b) diatas, dan nilai terkecil diambil sebagai kekuatan kritis.

7.2.2 KEKUATAN GESER NOMINAL PADA PELAT LANTAI

- a) Kekuatan geser nominal dari pelat lantai di mana $M_v^* = 0, V_{no}$ diperoleh dari salah satu persamaan ini:

- 1) Bila tidak memiliki kepala geser :

$$V_{no} = ud(f_{cv} + 0,3f_{pe}) \quad (7.2-2)$$

- 2). Bila terdapat kepala geser :

$$V_{no} = ud(0,5\sqrt{f_c'} + 0,3f_{pe}) \leq 0,2udf_c' \quad (7.2-3)$$

$$\text{Dimana : } f_{cv} = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta_h} \right) \sqrt{f_c'} \leq 0,34\sqrt{f_c'} \quad (7.2-4)$$

- b) Dan bila M_v^* tidak sama dengan nol dan tulangan geser dipasang menurut sub-pasal 5.6.3 dan 5.6.4, maka V_n harus ditentukan dari salah satu harga berikut:

- 1) bila tidak dipasang sengkang tertutup pada strip puntir atau balok tepi,

$$V_n = \frac{V_{no}}{1,0 + \frac{uM_v^*}{8V_u ad}} \quad (7.2-3)$$

- 2). bila strip puntir memiliki sengkang tertutup dengan jumlah minimum V_n harus diambil sebesar $V_{n,min}$ yang diperoleh dari:

$$V_{n,min} = \frac{1,2V_{no}}{1,0 + \frac{uM_v^*}{2V_u a^2}} \quad (7.2-4)$$

- 3). bila terdapat balok tepi yang tegak lurus arah M_v^* yang mempunyai sengkang tertutup dengan jumlah minimum, V_n harus diambil sebesar $V_{n,min}$ yang diperoleh dari :

$$V_{n,min} = \frac{1,2V_{no} \frac{h_b}{h_s}}{1,0 + \frac{uM_v^*}{2V_u ab_w}} \quad (7.2-5)$$

- 4). bila strip puntir atau balok tepi memiliki sengkang tertutup lebih besar dari jumlah minimum, V_n diperoleh dari :

$$V_n = V_{n,min} \sqrt{\frac{A_{sw}}{s} \frac{f_{y,f}}{0,2y_l}} \quad (7.2-6)$$

dimana $V_{n,min}$ dihitung dari persamaan di atas, dipilih yang sesuai.

- 5). apabila tidak ada hal lain V_n harus diambil lebih besar dari $V_{n,max}$ yang diperoleh dari :

$$V_{n,max} = 3V_{n,min} \sqrt{\frac{x}{y}} \quad (7.2-7)$$

dimana x dan y adalah dimensi terpendek dan terpanjang dari penampang strip puntir atau balok tepi.

7.2.3 LUAS MINIMUM DARI SENKANG TERTUTUP

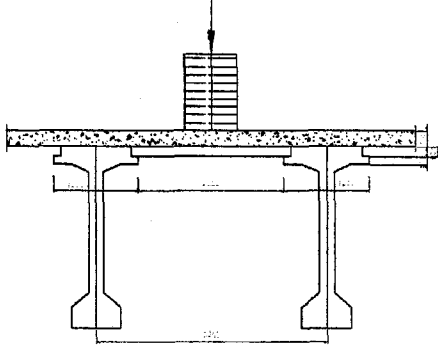
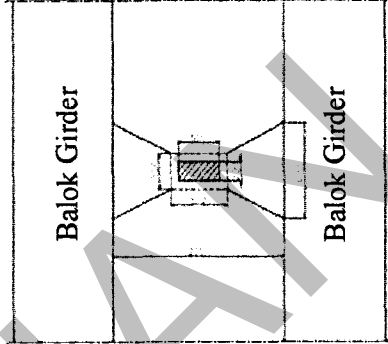
Luas minimum tulangan yang membentuk sengkang tertutup harus memenuhi :

$$\frac{A_{sw}}{s} \leq \frac{0,2y_l}{f_{y,f}} \quad (7.2-8)$$

7.2.4 DETAIL TULANGAN GESER

Tulangan geser pelat lantai pada bagian strip puntir dan balok pinggir harus berbentuk sengkang tertutup yang disusun sesuai dengan :

- 1) Sengkang harus diperluas sepanjang strip puntir dan balok pinggir dengan jarak tidak kurang dari $0,25/t$ dari muka tumpuan atau beban terpusat. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $0,5 s$ dari muka tumpuan.
- 2) Jarak sengkang tidak boleh melampaui nilai terbesar dari 300 mm dan h_b atau h_s ;
- 3) Sekurang-kurangnya harus dipasang satu tulangan memanjang pada masing-masing sudut sengkang.

CONTOH 7.1	DESAIN TULANGAN PELAT LANTAI JEMBATAN	1
<p>SOAL : Desain tulangan pelat lantai jembatan menerus diatas balok-balok girder</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>Beban Roda $P = 1.4 \cdot 100 = 140 \text{ kN}$</p>  <p>Tampak Potongan</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Tampak Atas</p> </div> </div>		
<p>DIBERIKAN :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Beton $f_c' = 30 \text{ Mpa}$</p> <p>Baja $E_s = 2 \cdot 10^5 \cdot \text{Mpa}$</p> <p>Tul. Lentur $f_y = 400 \text{ Mpa}$</p> <p>Tul. Geser $f_{ys} = 400 \text{ Mpa}$</p> <p>faktor reduksi lentur : $\phi = 0.8$</p> <p>Data Penampang Pelat</p> <p>Bentang $L = 2000 \cdot \text{mm}$</p> <p>Tebal $t = 200 \cdot \text{mm}$</p> <p>Aspal $t_{ws} = 0.05 \text{ m}$</p> <p>Cover beton $d_c = 25 \text{ mm}$</p> </div> <div style="text-align: center;"> $\gamma = 24.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ </div> </div>		<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.2.4</p>

7. PERENCANAAN PELAT

<p>LANGKAH 1: Panjang bentang efektif (slab dicor monolit dengan balok girder)</p> $S = L - 700\text{mm}$ $S = 1.3 \text{ m}$	
<p>LANGKAH 2: Tebal minimum pelat (pelat menerus lebih dari dua tumpuan)</p> $t_{\min} = 100 + 40 \cdot S$ $t_{\min} = 152 \text{ mm} < t = 200\text{mm} \quad \text{OK !}$ <p>Pelat direncanakan dengan tebal 200 mm. Struktur pelat ini harus mampu memikul beban gandar kendaraan sebesar 100 kN dengan impact factor sebesar DLA = 1.4</p>	
<p>LANGKAH 3: Cek punching shear akibat beban roda :</p> <p>Tebal pelat 200 mm :</p> <p>Gunakan tulangan D16</p> $D = 16\text{mm} \quad A_{s1} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad A_{s1} = 201.062\text{mm}^2$ $d = t - d_c - \left(\frac{16\text{mm}}{2} \right) \quad d = 167\text{mm}$ <p>Shear area pada penampang kritis :</p> <p>Skematik beban roda truk pada pelat : $bb = 0.2\text{m}$</p> $A_{sh} = 2 \cdot [(bb + d) + (Lb + d)] \cdot d \quad A_{sh} = 0.345\text{m}^2$ $P = DLA \cdot 100\text{kN} \quad P = 140\text{kN}$ $P_u = 2 \cdot (DLA \cdot 100\text{kN}) \quad P_u = 280\text{kN}$	

<p>Panjang bidang geser: $b_0 = 2 \cdot (bb + d + Lb + d)$</p> <p>Kekuatan beton: $f_c' = 29 \text{ MPa}$</p> <p>$\beta_c = \frac{\max(bb, Lb)}{\min(bb, Lb)} \quad \beta_c = 2.5$</p> <p>Kuat geser beton</p> $v_{c1} = \left(2 + \frac{4}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{12} \sqrt{f_c' \cdot \text{MPa}}$ <p>$\alpha_s = 40$ Kolom interior 40, tepi 30, pojok 20</p> $v_{c2} = \left(\alpha_s \cdot \frac{d}{b_0} + 2\right) \cdot \frac{1}{12} \sqrt{f_c' \cdot \text{MPa}}$ $v_{c3} = (4) \cdot \frac{1}{12} \sqrt{f_c' \cdot \text{MPa}}$ $v_c = \min(v_{c1}, v_{c2}, v_{c3})$ <p>Shear Area</p> $A_{sh} = b_0 \cdot d \quad A_{sh} = 3.454 \times 10^5 \text{ mm}^2$ <p>Check Punching</p> $v_{u1} = \frac{P_u}{A_{sh}} \quad v_{u1} = 0.811 \text{ MPa} < v_c = 1.616 \text{ MPa} \quad (\text{ok!})$	
<p>LANGKAH 4: Perhitungan beban mati, DL dan Superimposed, SDL</p> <p>Berat sendiri pelat</p> $q_{DL} = \gamma \cdot t \quad q_{DL} = 4.9 \text{ m}^{-2} \text{ kN}$ <p>Berat Wearing Surface</p> $q_{SDL} = \gamma \cdot t_{ws} \quad q_{SDL} = 1.225 \text{ m}^{-2} \text{ kN}$	

<p>LANGKAH 5: Perhitungan momen negatif</p> <p>$S = 1.3 \text{ m}$</p> <p>$M_{II} = 0.8 \cdot \left(\frac{S + 2ft}{32} \right) \cdot P$</p> <p>$M_{II} = 6.684 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$M_{truck} = M_{II} \quad M_{truck} = 6.684 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$MDL = \frac{1}{11} \cdot qDL \cdot L^2 \cdot 1m \quad MDL = 1.782 \text{ m kN}$</p> <p>$MSDL = \frac{1}{11} \cdot qSDL \cdot L^2 \cdot 1m \quad MSDL = 0.445 \text{ m kN}$</p> <p>$M_u = 1.3 \cdot MDL + 2 \cdot MSDL + 2.2 \cdot M_{truck}$</p> <p>$M_u = 17.911 \text{ m kN}$</p>	
<p>LANGKAH 6: Luas tulangan yang diperlukan :</p> <p>$b_s = 1000 \text{ mm}$</p> <p>$\rho = \left(0.85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot f_c' \cdot \phi \cdot b_s \cdot d^2}} \right)$</p> <p>$\rho = 0.204\%$</p> <p>$A_s = \rho \cdot b_s \cdot d \quad A_s = 340.808 \text{ mm}^2$</p> <p>Pakai D13-200 (A_s aktual = 650 mm^2)</p> <p>Persentase tulangan pembagi :</p> <p>Tegak Lurus arah lalu lintas $30\% < \frac{110}{\sqrt{S}} < 67\%$</p> <p>$\frac{110}{\sqrt{S}} = 96.476 > 67\%$ maka digunakan 67 %</p> <p>maka : $A_{sp} = 0.67 \cdot A_s$</p> <p>$A_{sp} = 228.341 \text{ mm}^2 \quad \text{Digunakan } \mathbf{D13-200}$</p>	

8 PERENCANAAN DINDING

8.1 PENERAPAN

Pasal ini untuk merencanakan dinding bidang seperti dinding penahan dan dinding kepala jembatan, serta untuk perencanaan dinding bidang dengan perbandingan antara lebar dan ketebalan > 4 .

8.2 PROSEDUR PERENCANAAN

8.2.1 UMUM

Dinding bidang dan cara pemasangan tulangan harus direncanakan sesuai dengan penjelasan di bawah ini.

8.2.2 DINDING HANYA DIBEBANI GAYA VERTIKAL SEBIDANG

Harus direncanakan sebagai kolom sesuai dengan bab 5 selama tulangan dalam arah vertikal dipasang pada masing-masing muka. Kecuali bila $N_u \leq 0,5 \phi N_n$, maka syarat pendetailan kolom pada sub bab 5.4.4.2 sampai 5.4.4.5 harus dikesampingkan.

8.2.3 DINDING DIBEBANI GAYA VERTIKAL DAN HORISONTAL SEBIDANG

Harus direncanakan untuk pengaruh aksi vertikal sebagai kolom sesuai dengan bab 5 dan pengaruh aksi horisontal sesuai dengan sub bab 8.5.

8.2.4 DINDING DIBEBANI GAYA HORIZONTAL TEGAK LURUS DINDING

Apabila gaya vertikal rencana N_u tidak melampaui $0,05 f'_c A_g$, maka harus direncanakan sebagai pelat lantai sesuai dengan syarat-syarat dalam bab 7 (sebagai pelat lentur), kecuali bahwa perbandingan antara tinggi efektif dengan ketebalan tidak melebihi 50. Tinggi efektif harus ditentukan dari sub bab 8.4.

8.2.5 DINDING DIBEKANI GAYA VERTIKAL SEBIDANG DAN GAYA HORIZONTAL TEGAK LURUS DINDING

Harus direncanakan sebagai kolom sesuai dengan bab 5 selama tulangan dalam arah vertikal dipasang pada masing-masing muka. Kecuali bila $N_u \leq 0,5 \phi N_n$, maka syarat pendetailan kolom pada sub bab 5.4.4.2 sampai 5.4.4.5 harus dikesampingkan

8.2.6 DINDING MERUPAKAN BAGIAN DARI STRUKTUR PORTAL

Dinding yang dibebani gaya aksial, momen lentur dan gaya geser yang timbul akibat gaya yang bekerja pada portal harus direncanakan baik sebagai pelat maupun kolom.

8.3 PENGAKU/PENGIKAT DINDING

Dinding dapat dianggap terikat jika dalam arah lateral disokong oleh satu struktur dimana semua ketentuan berikut berlaku :

- a) Dinding atau elemen terikat vertikal disusun dalam dua arah untuk memberikan stabilitas arah lateral secara keseluruhan.
- b) Gaya lateral ditahan oleh geser pada bidang dari dinding atau oleh elemen pengaku.
- c) Bangunan atas direncanakan untuk menyalurkan gaya lateral.
- d) Sambungan antara dinding dan penyokong arah lateral direncanakan untuk menahan gaya horizontal yang sama dengan harga terbesar dari harga-harga berikut:
 - 1) reaksi statis sederhana terhadap gaya horizontal total yang bekerja pada ketinggian penyokong lateral.
 - 2) 2,5% dari beban vertikal total dimana dinding direncanakan untuk memikul pada ketinggian penyokong arah lateral, tetapi tidak kurang dari 2 kN per meter panjang dari dinding.

8.4 METODE PERENCANAAN DISEDERHANAKAN UNTUK DINDING TERIKAT YANG MENERIMA HANYA GAYA VERTIKAL

8.4.1 EKSENTRISITAS BEBAN VERTIKAL

- Harus memperhitungkan eksentrisitas sebenarnya dari gaya vertikal tetapi dalam semua hal harus direncanakan momen lentur M_u diambil tidak kurang dari $0.05 t_w N_u$.
- Beban vertikal yang diteruskan ke dinding oleh satu pelat beton tidak menerus, harus dianggap bekerja sepertiga dari tinggi luas tumpuan diukur dari muka bentang dinding. Apabila terdapat satu pelat beton yang dicor ditempat secara menerus pada dinding, maka beban harus dianggap bekerja pada pusat dari dinding.
- Eksentrisitas resultante dari beban vertikal total pada dinding terikat, pada setiap ketinggian antara penyokong lateral horisontal harus dihitung dengan anggapan bahwa eksentrisitas resultante dari seluruh beban vertikal diatas penyokong bagian atas adalah nol.

8.4.2 PERBANDINGAN TINGGI EFEKTIF MAKSIMUM DENGAN KETEBALAN

Perbandingan antara tinggi efektif dengan ketebalan h_{we}/t_w , tidak boleh melebihi 30, kecuali untuk dinding di mana gaya aksial N_u , tidak melebihi $0,05 f'_c A_g$, maka perbandingan boleh dinaikkan menjadi 50.

8.4.3 TINGGI EFEKTIF

Tinggi efektif H_{we} dari dinding terikat harus diambil seperti berikut :

Apabila dikekang terhadap rotasi pada kedua ujung oleh:

- | | |
|--|---------------|
| - pelat lantai beton | $0,75 h_{wu}$ |
| - dinding yang berpotongan atau bagian yang serupa | $0,75 l_l$ |

Tetapi dari nilai-nilai tersebut diambil yang lebih kecil.

Apabila tidak dikekang terhadap rotasi pada kedua ujung oleh:

- | | |
|--|---------------|
| - pelat lantai beton | $1,00 h_{wu}$ |
| - dinding yang berpotongan atau bagian yang serupa | $1,00 l_l$ |

Tetapi dari nilai-nilai tersebut diambil yang lebih kecil.

Dimana :

h_{wu} adalah tinggi dinding yang tidak ditumpu

l_l adalah jarak horisontal antara pusat pegekang lateral.

8.4.4 KEKUATAN AKSIAL RENCANA DARI DINDING

Kekuatan aksial rencana per unit panjang dinding terikat dalam kasus tekan, harus diambil sebesar ϕN_n

di mana:

- ϕ = faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3.2 (atau pasal 4.5.2 RSNI)
- N_n = kekuatan aksial nominal dinding per satuan panjang
- t_w = ketebalan dinding
- e = eksentrisitas beban diukur pada sudut siku-siku terhadap bidang dinding, yang ditentukan sesuai dengan sub bab 8.4.1.
- e_a = eksentrisitas tambahan diambil sebesar $(h_{we})^2 / 2500 t_w$.

8.5 PERENCANAAN DINDING UNTUK GAYA HORIZONTAL SEBIDANG

8.5.1 LENTUR BIDANG

Apabila gaya horizontal bidang, bekerja bersamaan dengan gaya aksial, demikian sehingga pada penampang melintang horisontal:

- a) selalu tertekan pada seluruh penampang maka lentur bidang bisa diabaikan dan dinding direncanakan hanya untuk geser horisontal saja, sesuai dengan pasal yang lainnya; atau

- b) tarikan pada sebagian penampang maka dinding harus direncanakan untuk lentur bidang sesuai bab 4 dan untuk geser horisontal akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

8.5.2 PENAMPANG KRITIS GESER

Untuk geser maksimum, penampang kritis bisa diambil pada jarak dari dasar sebesar $0,5 l_w$ atau $0,5 h_w$, di mana dari kedua nilai tersebut diambil yang terkecil.

Dimana :

h_w adalah tinggi total dinding diukur dari dasar ke puncak

l_w adalah panjang horizontal dinding

8.5.3 KEKUATAN GESER

Perencanaan dinding yang menerima geser bidang harus diambil sebesar ϕV_n , di mana :

$$V_u = V_c + V_s \quad (8.5-1)$$

V_c dan V_s ditentukan berturut-turut dari pasal 8.5.4 dan pasal 8.5.5 tetapi dalam semua hal V_n harus diambil tidak lebih besar dari:

$$V_{n_{max}} = 0,2 f_c (0,8 l_w t_w) \quad (8.5-2)$$

8.5.4 KEKUATAN GESER DINDING TANPA TULANGAN GESER

Kekuatan geser nominal dari beton tanpa tulangan geser V_c harus diambil sebesar:

Apabila $\frac{h_w}{l_w} \leq 1$

$$V_c = [0,66 \sqrt{f_c'} - 0,21 \frac{h_w}{l_w} \sqrt{f_c'}] (0,8 l_w t_w) \quad (8.5-3)$$

Apabila $\frac{h_w}{l_w} > 1$, diambil yang terkecil dari harga yang dihitung dari rumus di atas dan dari:

$$V_c = \left[0,05 \sqrt{f_c'} + \frac{0,1 \sqrt{f_c'}}{\left(\frac{h_w}{l_w} - 1 \right)} \right] (0,8 l_w t_w) \quad (8.5-4)$$

Tetapi dalam setiap hal :

$$V_c \geq \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} (0,8 l_w t_w) \quad (8.5-5)$$

8.5.5 SUMBANGAN KEKUATAN GESER DINDING OLEH TULANGAN GESER

Sumbangan kekuatan geser nominal dinding oleh tulangan geser V_s harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_s = \rho_w f_y (0,8 l_w t_w) \quad (8.5-6)$$

Di mana ρ_w ditentukan seperti berikut:

- Untuk dinding di mana $h_w/l_w \leq 1$, ρ_w diambil yang terkecil dari perbandingan luas tulangan vertikal atau luas tulangan horisontal, terhadap luas penampang dinding pada arah yang berurutan.
- Untuk dinding di mana $h_w/l_w > 1$, ρ_w diambil sebagai perbandingan luas tulangan horisontal dengan luas penampang dinding per meter vertikal.

8.6 PERSYARATAN TULANGAN DINDING

8.6.1 TULANGAN MINIMUM

Rasio tulangan, ρ_w tidak kurang dari seperti yang diperlukan untuk pengendalian retak akibat susut dan kekangan. Berdasarkan ketentuan ini persyaratan rasio tulangan dinding adalah sebagai berikut:

- Luas tulangan minimum $500 \text{ mm}^2/\text{m}$ dalam arah horizontal maupun vertikal.
- Spasi maksimum antar tulangan (pusat ke pusat) 300 mm.

8.6.2 TULANGAN HORIZONTAL UNTUK PENGENDALIAN RETAK

Apabila dinding sepenuhnya dikekang terhadap perpanjangan atau kontraksi arah horizontal akibat penyusutan atau suhu, perbandingan tulangan horizontal tidak boleh kurang dari harga berikut, mana yang sesuai:

- Untuk klasifikasi ketidak terlindungan A $\frac{1,4}{f_c'}$
- Untuk klasifikasi ketidak terlindungan B1,B2 dan C $\frac{2,5}{f_c'}$

Kecuali bahwa dalam semua hal perbandingan tulangan tidak boleh kurang dari yang diperlukan dalam pasal 8.6.1. Satuan dari f_y adalah MPa.

8.6.3 JARAK SPASI TULANGAN

Jarak bersih minimum antara tulangan yang sejajar, selongsong dan tendon harus cukup untuk menjamin bahwa beton bisa dicor dan dipadatkan tetapi tidak boleh kurang dari 3 d_b .

Spasi maksimum dari pusat ke pusat dari tulangan yang sejajar harus 1,5 t_w atau 300 mm, diambil mana yang terkecil.

Untuk dinding dengan ketebalan lebih besar dari 200 mm, tulangan horizontal dan vertikal harus dipasang dalam dua lapis masing-masing dekat muka dinding.

8.6.4 PENGEKANGAN TULANGAN VERTIKAL

Untuk dinding yang direncanakan sebagai kolom sesuai dengan pasal 5.7., ketentuan pengekangan untuk pasal 5.7.8.2 sampai pasal 5.7.8.5 jangan diterapkan apabila :

$$Nu \leq 0,5 \phi Nn \quad (8.6-1)$$

CONTOH 8.1	DESAIN TULANGAN DINDING	1
-------------------	--------------------------------	---

SOAL : Desain tulangan dinding retaining wall

DIBERIKAN :

1. Dimensi Retaining wall

$b1 := 0.35\text{ m}$ $b2 := 0.2\text{ m}$ $b3 := 0.1\text{ m}$ $b4 := 1.5\text{ m}$
 $h0 := 0\text{ m}$ $h1 := 0.35\text{ m}$ $h2 := 2.5\text{ m}$

<p>Badan Retainingwall</p> <p>Lebar retaining wall, $B_b := 1\text{m}$</p> <p>Tinggi retaining wall $h_{wu} = 2.5\text{ m}$</p> <p>Tebal retaining wall $t_w = 300\text{mm}$</p> <p>Pile cap</p> <p>Lebar $b_{pc} := 1\text{m}$</p> <p>Panjang $L_{pc} = 2.15\text{m}$</p> <p>Tebal $h_{pc} = 350\text{mm}$</p> <p>Lebar heel $L_H = 1.5\text{ m}$</p> <p>2. Materials :</p> <p>Concrete : K-250 $f_c := 20\text{Mpa}$ Densitas Beton $\gamma_c := 25\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$</p> <p>Steel : $E_s := 2 \cdot 10^5 \cdot \text{Mpa}$ Flexure Steel $f_y := 400\text{Mpa}$ Shear Steel $f_{ys} := f_y$</p> <p>(SNI / BMS-1992)</p> <p>$\phi := 0.8$ $K_{uD} := 1.3$ $K_{uSA} := 1.4$ $K_{uL} := 2$ $K_{uSP} := 1.25$</p>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.2.4</p>
<p>3. Pemeriksaan persyaratan dinding</p> <p>tinggi efektif dinding, $h_{we} := 1 \cdot h_{wu}$ $h_{we} = 2.5\text{ m}$</p> <p>note1 = "$Nu < 0.05 f_c A_g$ atau $h_{we}/t_w < 50$, direncanakan sebagai pelat"</p>	

4. Tulangan lentur dan geser Retaining Wall daerah tumpuan**Beban-beban**

$$\text{Tinggi tanah urugan} \quad h_{wu} = 2.5 \text{ m} \quad \phi = 0.8$$

$$\text{Lebar analisis} \quad bw = 1 \text{ m}$$

$$\text{LL} \quad q1 = 3.333 \text{ m}^{-1} \text{ kN}$$

$$\text{EP} \quad q2 = 14.167 \text{ m}^{-1} \text{ kN}$$

Gaya dalam momen dan geser daerah tumpuan

$$L := h_{wu} \quad L = 2.5 \text{ m}$$

$$M1 := \frac{1}{2} \cdot q1 \cdot L^2 \quad M1 = 10.417 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M2 := \frac{1}{6} \cdot q2 \cdot L^2 \quad M2 = 14.757 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V1 := q1 \cdot L \quad V1 = 8.333 \text{ kN}$$

$$V2 := 0.5q2 \cdot L \quad V2 = 17.708 \text{ kN}$$

Kombinasi ultimate

$$Mu' := Ku_{SA} \cdot M1 + Ku_{SA} \cdot M2 \quad Mu' = 35.243 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Vu := Ku_{SA} \cdot V1 + Ku_{SA} \cdot V2 \quad Vu = 36.458 \text{ kN}$$

Perencanaan tulangan lentur

$$h := t_w \quad h = 300 \text{ mm}$$

$$d := (h - 70 \text{ mm} - 0.5 \cdot 16 \text{ mm}) \quad d = 222 \text{ mm}$$

$$\beta_1 := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \text{ Mpa} \\ 0.65 & \text{if } f_c \geq 55 \text{ Mpa} \\ 0.85 - 0.008 \left(\frac{f_c}{\text{Mpa}} - 30 \right) & \text{if } 30 \text{ Mpa} < f_c \leq 55 \text{ Mpa} \end{cases} \quad \beta_1 = 0.85$$

$$\rho_{\max} := 0.75 \cdot \left(\beta_1 \cdot \frac{0.85 \cdot f_c}{f_y} \cdot \frac{87000}{87000 + \frac{f_y}{\text{psi}}} \right) \quad \rho_{\max} = 0.016$$

$$M_{cr} := 0.7 \cdot \sqrt{f_c \cdot M_{pa}} \cdot \frac{1}{6} \cdot b_w \cdot h^2 \quad M_{cr} = 46.957 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_u := \max(1.2 M_{cr}, M_u') \quad M_u = 56.349 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\rho' := \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot f_c \cdot \phi \cdot b_w \cdot d^2}}}{\frac{f_y}{0.85 \cdot f_c}} \quad \rho' = 0.37373\%$$

$$\rho' = 0.37373\% \quad A_{sreq} := \rho' \cdot b_w \cdot d$$

$$\rho_{min} := \frac{1}{f_y} \quad \rho_{min} = 0.25\%$$

$$M_u := \text{if} \left(\rho' < \rho_{min}, \frac{4}{3} \cdot M_u', M_u \right) \quad M_u = 56.349 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\rho' := \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot f_c \cdot \phi \cdot b_w \cdot d^2}}}{\frac{f_y}{0.85 \cdot f_c}} \quad \rho' = 0.37373\%$$

$$\rho' = 0.37373\% \quad A_{sreq} := \rho' \cdot b_w \cdot d$$

$$D_s := 16 \text{ mm}$$

$$A_{s1} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 \quad A_{s1} = 2.011 \text{ cm}^2$$

Ambil saja jumlah tulangan, $n = 5$

(per lebar analisis 1m, maka spasi,
 $s = 1000 \text{ mm} / 5 = 200 \text{ mm}$)

spasi yang digunakan $s := 200 \text{ mm}$

Digunakan Tul = "D16-200"

<p>Check tulangan geser $\phi_s := 0.7$</p> <p>$V_u := 1.5 \cdot P_{at}$ $V_u = 43.834 \text{ kN}$</p> <p>$d_s := d$ $d_s = 0.222 \text{ m}$</p> <p>$V_c := \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot M_{pa} \cdot (b_{pc} \cdot d_s)$ $V_c = 165.469 \text{ kN}$</p> <p>$V_n := V_c$ $V_n = 165.469 \text{ kN}$</p> <p>$\phi_s \cdot V_n = 115.828 \text{ kN} > V_u = 43.834 \text{ kN}$</p> <p>note1 = "Tidak Perlu Tul. Geser"</p>	
<p>5. Tulangan lentur dan geser Retaining Wall daerah lapangan</p> <p>Gaya dalam momen dan geser</p> <p>$x := 0.5 \cdot L$</p> <p>$M1 := \frac{1}{2} \cdot q1 \cdot x^2$ $M1 = 2.604 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$M2 := \frac{1}{6} \cdot q2 \cdot x^2 \cdot \frac{x}{L}$ $M2 = 1.845 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$V1 := q1 \cdot x$ $V1 = 4.167 \text{ kN}$</p> <p>$V2 := \frac{1}{2} \cdot q2 \cdot \frac{x^2}{L}$ $V2 = 4.427 \text{ kN}$</p> <p>Kombinasi ultimate</p> <p>$Mu' := K_{uSA} \cdot M1 + K_{uSA} \cdot M2$ $Mu' = 6.228 \text{ kN} \cdot \text{m}$</p> <p>$Vu := K_{uSA} \cdot V1 + K_{uSA} \cdot V2$ $Vu = 12.031 \text{ kN}$</p> <p>Perencanaan tulangan lentur</p> <p>$bw := Bb$ $h := b2 + 0.5b3$ $h = 250 \text{ mm}$</p> <p>$d := (h - 70 \text{ mm} - 0.5 \cdot 16 \text{ mm})$ $d = 172 \text{ mm}$</p>	

$$\beta_1 := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \text{ Mpa} \\ 0.65 & \text{if } f_c \geq 55 \text{ Mpa} \\ 0.85 - 0.008 \left(\frac{f_c}{\text{Mpa}} - 30 \right) & \text{if } 30 \text{ Mpa} < f_c \leq 55 \text{ Mpa} \end{cases} \quad \beta_1 = 0.85$$

$$\rho_{\max} := 0.75 \left(\beta_1 \cdot \frac{0.85 \cdot f_c}{f_y} \cdot \frac{87000}{87000 + \frac{f_y}{\text{psi}}} \right) \quad \rho_{\max} = 1.625\%$$

$$M_{cr} := 0.7 \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{Mpa}} \cdot \frac{1}{6} \cdot b_w \cdot h^2 \quad M_{cr} = 32.609 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_u := 1.33 M_u' \quad M_u = 8.302 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\rho' := \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{0.85 \cdot f_c \cdot \phi \cdot b_w \cdot d^2}}}{\frac{f_y}{0.85 \cdot f_c}} \quad \rho' = 0.37373\%$$

$$\rho' := \rho_{\min}$$

$$\rho' = 0.25\% \quad A_{s\text{req}} := \rho' \cdot b_w \cdot d$$

$$D_s := 16 \text{ mm}$$

$$A_{s1} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 \quad A_{s1} = 2.011 \text{ cm}^2 \quad \rho' = 0.25\%$$

$$\text{Ambil saja jumlah tulangan, } n = 3$$

(per lebar analisis 1m, maka spasi,
 $s = 1000 \text{ mm} / 2 = 500 \text{ mm}$)

$$\text{spasi yang digunakan } s := 400 \text{ mm}$$

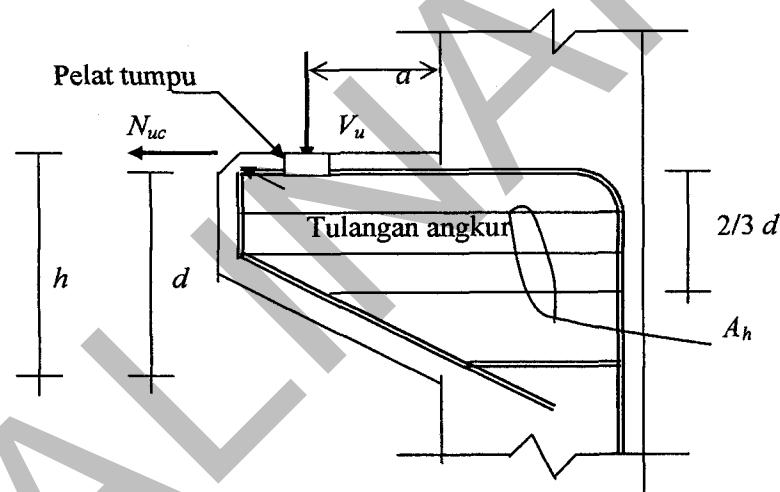
$$\text{Digunakan Tul} = \text{"D16-400"}$$

Check tulangan geser	$\phi_s := 0.7$	
$V_u := 1.5 \cdot P_{at}$	$V_u = 43.834 \text{ kN}$	
$d_s := d$	$d_s = 0.172 \text{ m}$	
$V_c := \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot Mpa \cdot (b_{pc} \cdot d_s)$		
$V_c = 128.201 \text{ kN}$		
$V_n := V_c$	$V_n = 128.201 \text{ kN}$	
$\phi_s \cdot V_n = 89.741 \text{ kN}$	$>$	$V_u = 43.834 \text{ kN}$
note1 = "Tidak Perlu Tul. Geser"		

9 PERENCANAAN KORBEL

9.1 PENERAPAN

Korbel direncanakan sebagai balok tinggi kantilever berdasarkan aksi batang tekan dan tarik, perlu diperlukan juga diperhitungkan adanya gaya horisontal dan pergerakan dari bagian yang ditumpu. Pasal ini mencakup korbel dengan perbandingan bentang geser dan tinggi $a/d < 1$, dan dibebani oleh satu gaya tarik horisontal N_{uc} yang tidak lebih besar daripada V_u . Jarak d harus diukur pada muka perletakan.



Gambar 9.1 Balok Tinggi Kantilever

9.2 FAKTOR-FAKTOR YANG PERLU DIPERTIMBANGKAN DALAM PERENCANAAN

9.2.1 TINGGI MUKA SISI LUAR

Tinggi muka sisi luar tidak boleh kurang daripada $0,5 d$.

9.2.2 AKSI PADA KORBEL

Garis kerja aksi dari beban bisa diambil jatuh pada tepi bagian luar bantalan perletakan kalau ada, atau pada permulaan dari tiap tepi pelandaian, atau pada muka bagian luar dari

korbel. Apabila bagian komponen lentur ditumpu, maka bagian luar korbel harus dilindungi terhadap pengelupasan.

9.3 PROSEDUR PERENCANAAN

9.3.1 UMUM

Dalam semua perhitungan perencanaan yang sesuai dengan bagian ini, faktor reduksi kekuatan harus diambil sesuai dengan Tabel 3.2.

9.3.2 PENAMPANG KRITIS

- a) Potongan penampang kritis pada muka perletakan harus direncanakan menahan secara simultan satu gaya geser V_u , satu moment $V_u a + N_{uc}(h-d)$, dan satu gaya tarik horisontal N_{uc} .
- b) Jarak h harus diukur dari muka perletakan.
- c) Daerah penahan beban pada braket atau korbel tidak boleh diproyeksikan melebihi bagian lurus dari tulangan tarik utama A_s dan tidak boleh diproyeksikan melebihi muka interior dari tulangan angkur transversal (jika dipasang).

9.3.3 KEBUTUHAN TULANGAN TOTAL

- a) Luas dari penulangan tarik primer/pokok A_s diambil dari harga yang terbesar antara $(A_f + A_n)$ atau $A_n + 2 A_{vf}/3$.
- b) Perancangan dari penulangan friksi-geser A_{vf} yang menahan geser V_u dapat diambil sebesar $A_{vf} = V_n / (f_y \mu)$ sesuai dengan RSNI T-12-04 pasal 5.2.8.
 1. Untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,2 f_c' b_w d$ ataupun $5,5 b_w d$ dalam Newton.
 2. Untuk beton ringan total atau beton berpasir ringan, kuat geser V_n tidak boleh diambil melebihi $(0,2 - 0,07 a / d) f_c' b_w d$ ataupun $(5,5 - 1,9 a / d) b_w d$ dalam Newton.

Penulangan A_n yang menahan gaya tarik N_{uc} harus ditentukan dari $N_{uc} \leq \phi A_n f_y$. Gaya tarik N_{uc} harus tidak boleh kurang daripada $0,2 V_u$ kecuali ketentuan khusus yang dibuat untuk menghindari gaya tarik. Gaya tarik N_{uc} harus dipandang sebagai beban hidup walau gaya tarik berasal dari rangkai, susut atau perubahan suhu.

9.4 PERSYARATAN TULANGAN

9.4.1 TULANGAN MINIMUM

Rasio tulangan $\rho = \frac{A_s}{bd}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f_c'}{f_y}$.

9.4.2 SENKANG TERTUTUP

Senkang tertutup atau tulangan pengikat sejajar dengan A_s , dengan luas total A_h tidak kurang dari $0,5 (A_s - A_n)$ harus disebarkan ke dua pertiga dari tinggi efektif yang terkait dengan A_s .

9.4.3 PENGANGKURAN TULANGAN TARIK UTAMA

Pada sisi muka dari braket atau korbek, tulangan tarik utama A_s harus diangkurkan dengan salah satu cara dibawah ini:

- Las struktural pada batang transversal yang berukuran paling tidak berukuran sama. Las direncanakan untuk mengembangkan kekuatan leleh terspesifikasi f_y dari batang-batang A_s .
- Pelengkungan batang-batang tarik utama A_s sebesar 180° hingga membentuk satu *loop* horisontal.
- Cara lainnya dari pengangkuran yang memberikan hasil positif.

CONTOH 9.1	DESAIN KORBEL	1
SOAL : Desain tulangan korbél		
<p>DIBERIKAN :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Dim. Corbel</p> <p>lebar $b_w := 400\text{mm}$</p> <p>tinggi $h := 400\text{mm}$</p> <p>cover $d_c := 50\text{mm}$</p> <p>Beton :</p> <p>$f_c := 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$</p> <p>$f_y := 400 \cdot \text{Mpa} \quad \phi := 0.85$</p> <p>$E_s := 2.0 \cdot 10^5 \cdot \text{Mpa}$</p> <p>Tulangan</p> <p>tulangan utama $d_s := 13\text{mm}$</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> </div> </div>		
<p>LANGKAH 1: Menentukan jarak beban ke muka kolom, a</p> <p>$a = 275\text{mm} \quad c = 400\text{mm}$</p>		
<p>LANGKAH 2: Menghitung ketinggian minimum, d</p> <p>Perhitungan berdasarkan ACI pasal 11.9.3.2.1 $\phi = 0.85$</p> <p>Check : $\phi V_n \geq V_u$</p> $d_{\min} := \frac{V_u}{\phi \cdot (0.2f_c \cdot b_w)} \quad d_{\min} = 74.979\text{mm}$ <p>ambil $d := h - 5 \cdot \text{cm} - \frac{d_s}{2} \quad d = 343.5\text{mm}$</p> <p>check geometri korbél $\frac{a}{d} = 0.801 < 1 \quad \text{OK}$</p>		<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.9.3.3</p> <p>V_n diambil nilai terkecil di antara $0.2f_c b_w d$ dan $5.5(\text{Mpa}) b_w d$.</p>

$V_n := \min((0.2f_c \cdot b_w \cdot d \quad 5.5 \cdot \text{Mpa} \cdot b_w \cdot d)) \quad V_n = 565.922\text{kN}$ $V_n \text{ tidak boleh lebih dari } 5.5 \cdot \text{Mpa} \cdot b_w \cdot d = 755.7\text{kN OK}$ $\phi \cdot V_n = 481.034\text{kN} > V_u = 105\text{kN ok!}$	
LANGKAH 3: Menghitung Gaya-gaya pada korbel Perhitungan berdasarkan ACI pasal 11.9.3.4 $V_u = 105\text{kN}$ $N_{uc} := 0.2 \cdot V_u \quad N_{uc} = 21\text{kN}$ $M_u := V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h - d) \quad M_u = 30.062\text{kN} \cdot \text{m}$	RSNI-T12-04 Pasal 5.9.3.3 Nuc tidak boleh kurang dari 0.2 Vu
LANGKAH 4: Menghitung tulangan geser friksi, Avf $\lambda := 1 \quad (\text{beton normal}) \quad \phi = 0.85$ Harga $\mu = 1.4\lambda$ untuk monolit $\mu = 1.0\lambda$ untuk nonmonolit $\mu := 1.4 \cdot \lambda \quad \mu = 1.4$ $A_{vf} := \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu} \quad A_{vf} = 2.206\text{cm}^2$	
LANGKAH 5: Menghitung tulangan lentur, Af $A_f := \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot (0.9d)} \quad A_f = 2.86\text{cm}^2$ $a_1 := \frac{A_f \cdot f_y}{0.85f_c \cdot b_w} \quad a_1 = 16.338\text{mm}$ $A_f := \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_1}{2}\right)} \quad A_f = 2.637\text{cm}^2$ $\beta_1 := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_c \leq 30 \cdot \text{Mpa} \\ 0.65 & \text{if } f_c \geq 55 \cdot \text{Mpa} \\ 0.85 - 0.008 \cdot \left(\frac{f_c}{\text{Mpa}} - 30\right) & \text{if } 30 \cdot \text{Mpa} < f_c \leq 55 \cdot \text{Mpa} \end{cases} \quad \beta_1 = 0.85$	

$ab_per_d := \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + \frac{f_y}{\text{Mpa}}} \right)$ $ab_per_d = 0.51 \quad ab := d \cdot ab_per_d \quad ab = 175.185\text{mm}$ $\frac{a_l}{d} = 0.048 < 0.75 \cdot \frac{ab}{d} = 0.383 \quad \text{OK!} \quad \{ \rho < 0.75 \rho_b \}$	
<p>LANGKAH 6: Menghitung tulangan, An untuk tarik langsung</p> $A_n := \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} \quad A_n = 0.618\text{cm}^2$ $\frac{2}{3} \cdot A_{vf} + A_n = 2.088\text{cm}^2$ $A_f + A_n = 3.254\text{cm}^2$	
<p>LANGKAH 7: Menghitung luas penulangan tarik</p> $d_s = 13\text{mm} \quad A_b := 0.25 \cdot \pi \cdot d_s^2 \quad A_b = 1.327\text{cm}^2$ <p>Penulangan minimum</p> $A_{smin} := 0.04 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot b_w \cdot d \quad A_{smin} = 2.83\text{cm}^2$ $A_s := \max \left(\left(\frac{2}{3} \cdot A_{vf} + A_n \quad A_f + A_n \quad A_{smin} \right) \right) \quad A_s = 3.254\text{cm}^2$ <p>Digunakan 4D13 $4A_b = 5.309\text{cm}^2$</p>	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.9.3.3 As adalah nilai terbesar diantara $\frac{2}{3}A_{vf} + A_n$, $A_f + A_n$ dan A_{smin}.</p>
<p>LANGKAH 8: Menghitung Senggang Horizontal, Ah</p> $d_h := 10 \cdot \text{mm} \quad A_b := 0.25 \cdot \pi \cdot d_h^2 \quad A_b = 0.785\text{cm}^2$ $A_h := 0.5 \cdot (A_s - A_n) \quad A_h = 1.318\text{cm}^2$ <p>Digunakan 4D10 $4A_b = 3.142\text{cm}^2$</p> <p>Akan didistribusikan dalam $\frac{2}{3}d$ dari tulangan utamanya</p> $\frac{2 \cdot d}{3} = 229\text{mm}$	

<p>LANGKAH 9: Desain angkur corbel</p> <p>Tulangan Tarik yang dibutuhkan :</p> $As_{perlu} := \max \left(\left(\frac{2}{3} \cdot A_v f + A_n \cdot A_f + A_n \cdot A_{smin} \right) \right)$ $As_{perlu} = 325.433 \text{ mm}^2$ $dia := 13 \cdot \text{mm} \quad n := 4$ $As_{pakai} := 0.25 \cdot \pi \cdot dia^2 \cdot n \quad As_{pakai} = 530.929 \text{ mm}^2$ <p>Tegangan Tulangan tarik :</p> $f := \frac{As_{perlu}}{As_{pakai}} \cdot f_y \quad f = 245.18 \text{ Mpa}$ <p>Gaya Tarik pada 1 tulangan :</p> $As := 0.25 \cdot \pi \cdot dia^2 \quad As = 132.732 \text{ mm}^2$ $T := As \cdot f \quad T = 32.543 \text{ kN}$	<p>RSNI-T12-04 Pasal 5.9.4.3</p> <p>Kekuatan las didesain lebih kuat 10% dari gaya tarik yang ada.</p>
---	--

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

Bab 3

a_v	=	ukuran dari keliling geser kritis yang sejajar arah lenturan yang ditinjau.
C_u	=	koefisien rangkai maksimum.
E_c	=	modulus elastisitas beton, MPa.
E_p	=	modulus elastisitas baja prategang, MPa.
E_s	=	modulus elastisitas baja tulangan non-prategang, MPa.
f_{cf}	=	kuat tarik lentur beton, MPa.
f_{ct}	=	kuat tarik langsung dari beton, MPa.
f'_c	=	kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.
f'_{ci}	=	kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dibebani atau dilakukan transfer gaya prategang, MPa.
f_{pu}	=	kuat tarik baja prategang, MPa.
f_{py}	=	kuat tarik leleh ekuivalen baja prategang, MPa.
f_y	=	kuat tarik leleh baja tulangan non-prategang, MPa.
h	=	tinggi total komponen struktur, mm.
K_{ac}^c	=	faktor pengaruh kadar udara dalam beton untuk rangkai.
K_{ac}^s	=	faktor pengaruh kadar udara dalam beton untuk susut.
K_c^s	=	faktor pengaruh jumlah semen dalam beton untuk susut.
K_d^c	=	faktor pengaruh ketebalan komponen beton untuk rangkai.
K_d^s	=	faktor pengaruh ketebalan komponen beton untuk susut.
K_f^c	=	faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton untuk rangkai.
K_f^s	=	faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton untuk susut.
K_h^c	=	faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat untuk rangkai
K_h^s	=	faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat untuk susut.
K_s^c	=	faktor pengaruh konsistensi (<i>slump</i>) adukan beton untuk rangkai.
K_s^s	=	faktor pengaruh konsistensi (<i>slump</i>) adukan beton untuk susut.
K_{to}^c	=	faktor pengaruh umur beton saat dibebani untuk rangkai.
M_n	=	kekuatan momen nominal penampang, Nmm.
M_u	=	momen terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar yang terbesar pada penampang, Nmm.
M_{ux}	=	momen terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar terhadap sumbu x yang terbesar pada penampang, Nmm.
M_{uy}	=	momen terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar terhadap sumbu y yang terbesar pada penampang, Nmm.
N_n	=	kekuatan aksial tekan penampang, N.
N_u	=	beban aksial terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar yang terbesar, yang tegak lurus pada penampang, diambil positif untuk tekan, negatif untuk tarik, dan memperhitungkan pengaruh dari tarik akibat rangkai dan susut, N.
Q_i	=	penjumlahan terkomposisi dari jenis-jenis beban yang berbeda.
R_n	=	besaran ketahanan atau kekuatan nominal dari penampang komponen struktur.

DAFTAR NOTASI

S	=	nilai deviasi standar dari hasil uji tekan, MPa.
u	=	panjang efektif dari keliling geser kritis, mm.
ν	=	angka Poisson.
V_n	=	kekuatan geser nominal penampang, N.
w_c	=	berat jenis beton, kg/m ³
β_h	=	perbandingan antara ukuran terpanjang dari luas efektif geser penampang yang dibebani, terhadap ukuran penampang yang diukur tegak lurus pada ukuran terpanjang tersebut.
$\epsilon_{cc,t}$	=	regangan rangkai beton pada umur t (hari) sejak saat dibebani oleh suatu tegangan tetap.
$\epsilon_{cs,t}$	=	regangan susut beton pada umur t (hari), terhitung 7 hari sejak saat pengecoran untuk beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, atau terhitung 1-3 hari sejak saat pengecoran untuk beton yang dirawat dengan cara penguapan.
$\epsilon_{cs,u}$	=	nilai regangan susut maksimum beton.
ϵ_e	=	regangan elastis beton akibat suatu tegangan tetap.
γ_{cc}	=	faktor besaran rangkai yang dipengaruhi oleh material beton dan kondisi lingkungan pekerjaan.
γ_i	=	faktor beban.
λ_{cs}	=	faktor besaran susut yang dipengaruhi oleh material beton dan kondisi lingkungan pekerjaan.
ϕ	=	faktor reduksi kekuatan.
$\phi_{cc}(t)$	=	koefisien rangkai beton yang tergantung pada waktu t .

Bab 4-9

a	=	tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen beton dalam analisis kekuatan batas penampang beton bertulang akibat lentur.
a^*	=	jarak tegak lurus dari tumpuan terdekat ke penampang yang diperhitungkan.
A_c	=	luas inti dari komponen struktur tekan dengan tulangan spiral diukur hingga diameter luar dari spiral, mm ² .
A_{ct}	=	luas bagian penampang beton yang dibatasi oleh tulangan sengkang, dihitung dari posisi pusat tulangan, mm ² .
A_f	=	luas tulangan di dalam konsol pendek yang menahan momen terfaktor, $[V_u a + N_{uc}(h - d)], \text{ mm}^2$.
A_g	=	luas brutto penampang, mm ² .
A_l	=	luas total tulangan longitudinal yang menahan puntir, mm ² .
A_n	=	luas tulangan dalam korbil yang menahan gaya tarik N_{uc} , mm ² .
A_{ps}	=	luas tulangan prategang dalam daerah tarik, mm ² .
A_s	=	luas tulangan tarik non-prategang, mm ² .
A_{sw}	=	luas tulangan yang membentuk sengkang tertutup.
A_t	=	luas satu kaki dari sengkang tertutup dalam daerah sejarak s yang menahan puntir, mm ² .
A_v	=	luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , atau luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi, mm ² .
A_{vf}	=	luas tulangan geser-friksi, mm ² .

DAFTAR NOTASI

A_{vh}	=	luas tulangan geser yang paralel dengan tulangan lentur tarik dalam suatu jarak s_2 , mm ² .
b	=	lebar dari muka tekan komponen struktur, mm.
b_o	=	keliling dari penampang kritis pada pelat dan pondasi, mm.
b_t	=	lebar bagian penampang yang dibatasi oleh sengkang tertutup yang menahan puntir, mm.
b_v	=	lebar efektif badan balok, atau diameter dari penampang bulat, setelah dikurangi lubang selongsong tendon prategang, mm.
b_w	=	lebar badan balok, atau diameter dari penampang bulat, mm.
c	=	jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm.
c_1	=	ukuran dari kolom persegi atau kolom persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah bentang di mana momen lentur sedang ditentukan, mm.
c_2	=	ukuran dari kolom persegi atau kolom persegi ekuivalen, kepala kolom, atau korbel, diukur dalam arah transversal terhadap arah bentang di mana momen lentur sedang ditentukan, mm.
C_m	=	suatu faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen.
d	=	jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm.
d_c	=	tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat, mm.
E_c	=	modulus elastisitas beton, MPa.
E_s	=	modulus elastisitas tulangan, MPa.
EI	=	kekakuan lentur komponen struktur tekan.
f_{ct}	=	harga rata-rata dari kuat tarik belah beton, MPa.
f_d	=	tegangan akibat beban mati tak terfaktor, pada serat terluar dari penampang di mana terjadi tegangan tarik yang disebabkan oleh beban luar, MPa.
f_{pc}	=	tegangan tekan pada beton (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang pada titik berat penampang yang menahan beban luar atau pada pertemuan dari badan dan sayap jika titik berat penampang terletak dalam sayap, MPa. (Pada komponen struktur komposit, f_{pc} adalah resultante dari tegangan tekan pada titik berat penampang komposit atau pada pertemuan antara badan dan sayap jika titik berat penampang komposit berada di dalam sayap, akibat gaya prategang dan momen yang ditahan oleh komponen struktur pracetak yang bekerja sendiri).
f_{pe}	=	tegangan tekan dalam beton akibat gaya prategang efektif saja (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang pada serat terluar dari penampang di mana tegangan tarik terjadi akibat beban luar, MPa.
f_{pu}	=	kuat tarik yang disyaratkan dari tendon prategang, MPa.
f_s	=	tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, MPa.
f_y	=	tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non-prategang, MPa.
f_{pe}	=	tegangan tekan rata-rata pada penampang beton, termasuk akibat gaya prategang, MPa.
$f_{y,f}$	=	tegangan lelehpengikat
f'_c	=	kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa.
h	=	tinggi total komponen struktur, mm.
h_b	=	tinggi total dari balok tepi.
h_c	=	dimensi kolom terkecil.
h_s	=	tinggi total dari pelat lantai atau panel penguat geser.
h_v	=	tinggi total penampang kepala geser, mm.

DAFTAR NOTASI

h_w	=	tinggi total dinding diukur dari dasar ke puncak, mm.
h_{we}	=	tinggi efektif dari tinggi dinding terikat.
h_{wu}	=	tinggi dinding yang tidak ditumpu.
I	=	momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor yang bekerja.
I_g	=	momen inersia penampang bruto beton terhadap sumbu pusat, dengan mengabaikan tulangan.
I_{se}	=	momen inersia tulangan terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur.
I_t	=	momen inersia baja struktural profil, pipa atau tabung terhadap sumbu penampang komponen struktur komposit.
J_t	=	modulus puntir, yang besarnya bisa diambil sebesar $0,4x^2y$ untuk penampang segiempat masif; atau sebesar $0,4\Sigma x^2y$ untuk penampang masif berbentuk T, L, atau I; atau sebesar $2A_m b_w$ untuk penampang berongga dinding tipis, di mana A_m adalah luas yang dibatasi garis median dinding dari lubang tunggal, mm^3 .
k	=	faktor panjang efektif komponen struktur tekan.
K_{vd}	=	faktor pengali momen tulangan ganda balok terhadap tulangan tunggal.
l	=	panjang komponen struktur diukur dari pusat ke pusat tumpuan.
l_1	=	jarak horizontal antara pusat pengekang lateral
l_n	=	bentang bersih diukur dari muka-ke-muka tumpuan.
l_u	=	panjang komponen struktur tekan yang tidak ditopang.
l_v	=	panjang dari lengan kepala geser diukur dari titik beban terpusat atau reaksi, mm.
l_w	=	panjang horisontal dinding, mm.
M_1	=	momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan, bernilai positif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan tunggal, negatif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan ganda, mm-N.
M_{1ns}	=	nilai yang lebih kecil dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional, positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda, mm-N.
M_{1s}	=	nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional, positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda, mm-N.
M_2	=	momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan; selalu bernilai positif, mm-N.
M_{2ns}	=	nilai yang lebih besar dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional, mm-N.
M_{2s}	=	nilai yang lebih besar dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional, mm-N.
M_c	=	momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan.
M_{cr}	=	momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar.
M_m	=	momen yang telah dimodifikasi.

DAFTAR NOTASI

M_{max}	=	momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar.
M_p	=	kuat momen plastis perlu dari penampang kepala geser.
M_u	=	momen terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar yang terbesar pada penampang.
M_v	=	tahanan momen yang disumbangkan oleh tulangan kepala geser.
M_v^*	=	momen lentur rencana yang dialihkan dari pelat lantai ke tumpuan dalam arah yang ditinjau.
N_u	=	beban aksial terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar yang terbesar, yang tegak lurus pada penampang, diambil positif untuk tekan, negatif untuk tarik, dan memperhitungkan pengaruh dari tarik akibat rangkai dan susut.
N_{uc}	=	gaya tarik terfaktor yang bekerja pada puncak dari konsol pendek yang terjadi bersamaan dengan V_u , diambil positif untuk tarik.
N_n	=	kekuatan aksial nominal dinding per satuan panjang
P_b	=	kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang.
P_c	=	beban kritis dengan memperhitungkan pengaruh tekuk.
P_n	=	kuat aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan.
P_o	=	kuat aksial nominal pada eksentrisitas nol.
P_u	=	beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan $\leq \phi P_n$.
Q	=	indek stabilitas, lihat sub-bab 5.3.
r	=	radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan.
s	=	spasi dari tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal, mm.
s_1	=	spasi dari tulangan vertikal dalam dinding, mm.
s_2	=	spasi dari tulangan geser atau puntir yang tegak lurus terhadap tulangan longitudinal atau spasi dari tulangan horisontal dalam dinding, mm.
T_c	=	kuat puntir nominal yang disumbangkan oleh beton.
T_n	=	kuat puntir nominal dari penampang komponen struktur.
T_s	=	kuat puntir nominal yang disumbangkan oleh tulangan puntir.
T_u	=	momen untir terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar yang terbesar pada penampang.
t_s	=	tebal minimum pelat lantai (dalam millimeter)
t_w	=	ketebalan dinding
u	=	panjang efektif dari garis keliling geser kritis.
u_t	=	keliling poligon dengan puncaknya pada pusat tulangan memajang pada bagian sudut dari penampang melintang.
V_c	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton.
V_{cl}	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser.
V_{cw}	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan di dalam badan.
V_d	=	gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor.

DAFTAR NOTASI

V_l	=	gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max} .
V_n	=	kuat geser nominal dari penampang komponen struktur.
V_p	=	komponen vertikal dari gaya prategang efektif pada penampang.
V_s	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.
V_u	=	gaya geser terfaktor akibat kombinasi pengaruh gaya luar yang terbesar pada penampang.
x	=	dimensi terpendek bagian segiempat dari suatu penampang.
y	=	dimensi terpanjang bagian segiempat dari suatu penampang.
y_1	=	dimensi sengkang terpanjang.
z	=	besaran pembatas distribusi tulangan lentur.
α	=	sudut antara sengkang miring dan sumbu longitudinal dari komponen struktur.
α_f	=	sudut antara tulangan geser-friksi dengan bidang geser.
α_t	=	koefisien sebagai fungsi dari y_1/x_1 .
α_v	=	rasio kekakuan lengan kepala geser terhadap penampang pelat komposit di sekitarnya.
β_1	=	faktor tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen beban.
β_c	=	rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat atau muka tumpuan.
β_d	=	rasio dari beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum, di mana beban yang ditinjau hanya beban gravitasi dalam menghitung P_c , atau rasio dari beban lateral terfaktor maksimum yang bekerja terhadap beban lateral total terfaktor pada tingkat yang ditinjau dalam perhitungan P_c .
δ_b	=	faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur di antara ujung-ujung komponen struktur tekan.
δ_s	=	faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi.
ϕ	=	faktor reduksi kekuatan.
γ_r	=	bagian dari momen tidak berimbang yang dipindahkan sebagai lentur pada hubungan pelat-kolom.
γ_v	=	bagian dari momen tidak berimbang yang dipindahkan sebagai geser eksentris pada hubungan pelat-kolom.
ρ	=	rasio tulangan tarik non-prategang.
ρ_b	=	rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang.
ρ_s	=	rasio dari volume tulangan spiral terhadap volume inti total (diukur dari sisi luar ke sisi luar spiral) dari sebuah komponen struktur tekan dengan tulangan spiral.
Δ_o	=	simpangan relatif antar tingkat orde-pertama akibat V_u .

Bab 10

A	=	luas bagian penampang antara serat muka lentur tertarik dan titik berat penampang brutto, mm ² .
A_c	=	luas beton pada penampang yang ditinjau, mm ² .
A_{cf}	=	luas penampang bruto terbesar dari lajur balok-pelat, yang diambil dari dua lajur yang saling tegak lurus dan memotong pada lokasi sebuah kolom dari pelat dua arah, mm ² .
A_g	=	luas penampang bruto, mm ² .
A_{ps}	=	luas tulangan prategang dalam daerah tarik, mm ² .
A_s	=	luas tulangan tarik non-prategang, mm ² .
A_v	=	luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , atau luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi, mm ² .
b	=	lebar muka tekan komponen struktur, mm.
b_v	=	lebar efektif penampang beton setelah dikurangi lubang selongsong tendon prategang, mm.
b_w	=	lebar badan balok, atau diameter dari penampang bulat, mm.
d	=	jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik non-prategang, mm.
d'	=	jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan, mm.
d_b	=	diameter nominal dari kawat baja, kawat untai, batang baja, atau tendon, mm.
d_p	=	jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang, mm.
e	=	dasar logaritma Napier.
e^*	=	eksentrisitas gaya aksial dari garis berat, mm.
E_c	=	modulus elastisitas beton, MPa.
E_{ci}	=	modulus elastisitas beton pada saat transfer gaya prategang, MPa.
E_p	=	modulus elastisitas baja prategang, MPa.
E_s	=	modulus elastisitas baja non-prategang, MPa.
f'_c	=	kuat tekan beton berdasarkan benda uji silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), MPa.
f_{cf}	=	kuat tarik lentur beton, MPa.
f'_{ci}	=	kuat tekan beton pada saat transfer gaya prategang, MPa.
f_d	=	tegangan akibat beban mati tak terfaktor, pada serat terluar dari penampang, di mana tegangan tarik terjadi akibat beban luar, MPa.
f_{pc}	=	tegangan tekan rata-rata pada beton akibat gaya prategang efektif saja, sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang, pada titik berat penampang (yang bekerja menahan beban luar), atau pada pertemuan dari badan dan sayap jika titik berat penampang terletak dalam sayap, MPa. (Pada komponen struktur komposit, f_{pc} adalah resultante dari tegangan tekan pada titik berat penampang komposit atau pada pertemuan antara badan dan sayap jika titik berat penampang komposit berada di dalam sayap, akibat gaya prategang dan momen yang ditahan oleh komponen struktur pracetak yang bekerja sendiri), MPa.
f_{pci}	=	tegangan tekan beton pada lokasi titik berat baja prategang, segera setelah transfer, akibat gaya prategang dan beban mati, dihitung pada penampang di mana terjadi momen maksimum, MPa.
f_{pe}	=	tegangan tekan dalam beton akibat gaya prategang efektif saja (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang) pada serat terluar dari penampang di mana tegangan tarik terjadi akibat beban luar, MPa.
f_{pi}	=	tegangan baja prategang segera setelah transfer, MPa.

DAFTAR NOTASI

Δf_{pi}	=	pengurangan (kehilangan) tegangan pada baja prategang akibat susut dan rangkai beton, MPa.
f_{ps}	=	tegangan baja prategang pada kekuatan nominal, MPa.
f_{pu}	=	kuat tarik baja prategang, MPa.
f_{py}	=	kuat leleh baja prategang, MPa.
f_{se}	=	tegangan efektif baja prategang (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang), MPa.
f_y	=	kuat leleh baja non-prategang, MPa.
h	=	tinggi penampang, mm.
I	=	momen inersia penampang utuh, mm ⁴ .
k	=	koefisien gesekan akibat simpangan menyudut persatuan panjang tendon yang tidak direncanakan (dalam rad/m), yang bila tidak ada data yang tepat, nilainya dapat ditetapkan berdasarkan rujukan di bawah ini: <ul style="list-style-type: none"> - Untuk selongsong yang diberi pelumas bisa diambil sebesar 0,0003 – 0,0020 rad/m. - Untuk kawat baja (<i>wire</i>) pada selongsong logam yang berpermukaan berprofil bisa diambil sebesar 0,0010 – 0,0020 rad/m. - Untuk kawat untai (<i>strand</i>) pada selongsong logam yang berpermukaan berprofil bisa diambil sebesar 0,0005 – 0,0020 rad/m. - Untuk batang baja (<i>bar</i>) pada selongsong logam yang berpermukaan berprofil bisa diambil sebesar 0,0001 – 0,0006 rad/m.
L_i	=	panjang tendon yang ditinjau (pada jarak a dari <i>jack</i> penegang), mm.
L_p	=	panjang penyaluran untuk pelepasan berangsur, mm.
M_{cr}	=	momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar, mm.N.
M_{max}	=	momen terfaktor pada penampang yang ditinjau, dihitung dari kombinasi beban luar yang menimbulkan momen maksimum pada penampang yang ditinjau, mm.N.
M_n	=	momen (kekuatan) batas nominal lentur, mm.N.
M_u	=	momen terfaktor (ultimit) akibat kombinasi beban luar yang paling berbahaya, mm.N.
n	=	perbandingan modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton.
N_c	=	gaya tarik dalam beton akibat beban mati dan beban hidup tidak terfaktor,
$N.P$	=	gaya pada tendon prategang, N.
P_n	=	kekuatan batas aksial nominal komponen struktur, N.
P_{px}	=	gaya prategang efektif tergesek pada lokasi sejarak x (di mana $x = \sum L_i$) dari ujung penegangan (<i>jacking</i>), setelah kehilangan prategang akibat gesekan, N.
P_{pj}	=	gaya prategang di ujung penegangan (<i>jacking</i>) sebelum memperhitungkan kehilangan prategang, N.
P_u	=	gaya aksial terfaktor (ultimit) yang normal terhadap penampang, akibat kombinasi beban luar yang paling berbahaya, dan yang memperhitungkan pengaruh dari susut dan rangkai, diambil positif untuk tekan, negatif untuk tarik, N.
R_n	=	Kekuatan nominal komponen struktur.
R_t	=	faktor relaksasi rencana pada tendon prategang

DAFTAR NOTASI

R_u	=	Kekuatan rencana komponen struktur.
R_w	=	Kekuatan rencana yang diijinkan (pada kondisi layan).
s	=	spasi dari tulangan geser atau puntir dalam arah sejajar dengan tulangan longitudinal, mm.
S_u	=	Pengaruh aksi batas (ultimit) akibat kombinasi beban luar yang paling berbahaya.
S_w	=	Pengaruh aksi rencana pada kondisi beban layan.
V_c	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, N.
V_{ci}	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadi keretakan diagonal akibat kombinasi lentur dan geser, N.
V_{cw}	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadi keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama di dalam badan (<i>web</i>), N.
V_d	=	gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor, N.
V_i	=	gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max} , N.
V_n	=	kuat geser batas nominal dari penampang komponen struktur, N.
V_p	=	komponen vertikal dari gaya prategang efektif, N.
V_s	=	kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser, N.
V_t	=	gaya geser yang, bila dikombinasikan dengan gaya prategang dan pengaruh aksi lainnya pada penampang, akan menghasilkan tegangan tarik utama sebesar $0,33\sqrt{f'_c}$ pada sumbu pusat atau perpotongan bagian badan dan sayap, mana yang lebih kritis, N.
V_u	=	gaya geser terfaktor (ultimit) pada penampang, akibat kombinasi beban luar yang paling berbahaya, N.
y_t	=	jarak dari sumbu pusat penampang utuh ke serat tarik terluar, mm.
Z	=	modulus penampang utuh, mengacu ke serat tarik terluar di mana retak akan terjadi, dihitung $= I / y_t$, mm ³ .
α	=	sudut antara tulangan geser miring dan sumbu longitudinal dari komponen struktur, rad.
α_i	=	perubahan sudut profil tendon prategang di bagian sepanjang L_i , rad.
β_1	=	faktor tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen beton.
γ_p	=	faktor yang memperhitungkan jenis tendon prategang: = 0,55 untuk nilai f_{py}/f_{pu} yang tidak kurang dari 0,80 = 0,40 untuk nilai f_{py}/f_{pu} yang tidak kurang dari 0,85 = 0,28 untuk nilai f_{py}/f_{pu} yang tidak kurang dari 0,90
ϵ_{cc}	=	regangan rangkai beton, mm/mm.
ϵ_{cs}	=	regangan susut beton, mm/mm.
ϕ	=	faktor reduksi kekuatan.
ϕ_{cc}	=	faktor rangkai rencana yang dihitung sesuai ketentuan pada sub-bab 2.3.8.
μ	=	koefisien gesekan akibat adanya lengkungan tendon, yang bila tidak ada data yang lebih tepat, dan bila semua tendon dalam satu selongsong ditegangkan pada waktu bersamaan, nilainya dapat ditetapkan berdasarkan rujukan di bawah ini: - Untuk selongsong yang diberi pelumas dapat diambil sebesar 0,05 – 0,15. - Untuk selongsong logam dengan permukaan berprofil dapat diambil sebesar 0,15 – 0,25.

DAFTAR NOTASI

ρ	=	rasio tulangan tarik non-prategang terhadap luas penampang beton.
ρ'	=	rasio tulangan tekan terhadap luas penampang beton.
ρ_p	=	rasio tulangan prategang terhadap luas penampang beton.
ρ_s	=	rasio tulangan geser (spiral) terhadap luas penampang beton.
ρ_{s-min}	=	rasio tulangan minimum geser (spiral) terhadap luas penampang beton.
σ_{cc}	=	kehilangan tegangan dalam tendon prategang akibat rangkai beton, MPa
σ_{cs}	=	kehilangan tegangan dalam tendon prategang akibat susut beton, MPa.
σ_{es}	=	kehilangan tegangan dalam tendon prategang akibat perpindahan elastis beton, MPa.
σ_R	=	kehilangan tegangan dalam tendon prategang akibat relaksasi baja prategang, MPa.
ω	=	indeks tulangan tarik non-prategang yang adalah $= \rho f_y / f_c'$
ω'	=	indeks tulangan tekan yang adalah $= \rho' f_y / f_c'$
ω_p	=	indeks tulangan prategang yang adalah $= \rho_p f_{ps} / f_c'$
ω_{pw}	=	indeks tulangan prategang untuk penampang yang mempunyai sayap (balok T), dihitung sebagai ω_p dengan b diambil sebesar lebar badan (<i>web</i>), dan luas tulangan harus sesuai dengan yang diperlukan untuk mengembangkan kuat tekan dari bagian badan saja.
ω_w	=	indeks tulangan tarik non-prategang untuk penampang yang mempunyai sayap (balok T), dihitung sebagai ω dengan b diambil sebesar lebar badan (<i>web</i>), dan luas tulangan harus sesuai dengan yang diperlukan untuk mengembangkan kuat tekan dari bagian badan saja.
ω'_w	=	indeks tulangan tekan untuk penampang yang mempunyai sayap (balok T), dihitung sebagai ω' dengan b diambil sebesar lebar badan (<i>web</i>), dan luas tulangan harus sesuai dengan yang diperlukan untuk mengembangkan kuat tekan dari bagian badan saja.

DAFTAR PUSTAKA

Standar dan buku-buku referensi yang menjadi bahan masukan dalam pembuatan manual perencanaan ini adalah,

1. RSNI-2004 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan
2. Standards Specification for Highway Bridges, 15th Edition, 1992, AASHTO
3. Perencanaan Pembebanan Struktur Atas Jembatan mengikuti Bridge Design Manual BMS yang diterbitkan oleh Direktorat Jalan Raya, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia, Desember 1992 (BMS)
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, SKSNI 03-1726-2002.
5. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002
6. Uniform Building Code (UBC 1997)
7. NEHRP, 1997
8. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-02
9. Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges, 1989
10. ATC, Improved Seismic Design Kriteria for California Bridges: Provisional Recommendations, Applied Technology Council, Report ATC-32, Redwood City, California, 1996
11. Bridge Engineering Handbook
12. CEB-FIP Model Code for Creep and Shrinkage, 1992

DAFTAR PUSTAKA

13. Caltrans Seismic Design Criteria version 1.2, Desember 2001.
14. International Building Code, IBC 2000.
15. ACI 315, Manual of standard practice for detailing reinforced concrete structures,
American Concrete Institute

SALINAN

DEFINISI DAN ISTILAH

Istilah dan Definisi yang digunakan dalam Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan ini adalah:

1. adukan

campuran antara agregat halus dan semen Portland atau jenis semen hidrolik yang lain dan air.

2. agregat

material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku pijar yang digunakan bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik.

3. agregat halus

pasir alam sebagai hasil desintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

4. agregat kasar

kerikil sebagai hasil desintegrasi 'alami' batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5,0 – 40,0 mm.

5. agregat ringan

agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat 1100 kg/m³ atau kurang.

6. angkur

suatu alat yang digunakan untuk menjangkarkan tendon kepada komponen struktur beton dalam sistem pasca tarik atau suatu alat yang digunakan untuk menjangkarkan tendon selama proses pengerasan beton dalam sistem pratarik.

7. bahan tambahan

suatu bahan berupa bubuk atau cair, yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.

8. beban hidup

semua beban yang terjadi akibat penggunaan jembatan berupa beban lalu lintas kendaraan sesuai dengan peraturan pembebanan untuk jembatan jalan raya yang berlaku.

9. beban kerja

beban rencana yang digunakan untuk merencanakan komponen struktur.

10. beban mati

berat semua bagian dari suatu jembatan yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan yang tidak terpisahkan dari suatu struktur jembatan.

11. beban terfaktor

beban kerja yang telah dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

12. beton

campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat.

13. beton bertulang

beton yang diberi baja tulangan dengan luas dan jumlah yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material tersebut bekerja sama dalam menahan gaya yang bekerja.

14. beton normal

beton yang mempunyai berat isi 2200 –2500 kg/m³ dan dibuat dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

15. beton pracetak

elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi jembatan.

16. beton prategang

beton bertulang yang diberi tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.

17. beton polos

beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tetapi kurang dari ketentuan minimum.

18. beton ringan pasir

beton ringan yang semua agregat halusya merupakan pasir normal.

19. beton ringan struktur

beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat isi tidak lebih dari 1900 kg/m³.

20. beton ringan total

beton ringan yang agregat halusya bukan merupakan pasir alami.

21. friksi kelengkungan

friksi yang diakibatkan oleh bengkokan atau lengkungan di dalam profil tendon prategang yang disyaratkan.

22. friksi wobble

friksi yang disebabkan oleh adanya penyimpangan yang tidak disengaja pada penempatan selongsong prategang dari kedudukan yang seharusnya.

23. gaya jacking

gaya sementara yang ditimbulkan oleh alat yang mengakibatkan terjadinya tarik pada tendon prategang dalam beton prategang.

24. kuat tarik leleh

kuat tarik leleh minimum yang disyaratkan atau titik leleh tulangan dalam megapascal (MPa).

25. kuat nominal

kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metoda perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai factor reduksi kekuatan yang sesuai.

26. kuat perlu

kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti yang ditetapkan dalam tata cara ini.

27. kuat rencana

kuat nominal dikalikan dengan suatu factor reduksi kekuatan Φ ;

28. kuat tarik belah fct

kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya.

29. kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c

kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dalam satuan mega paskal (MPa). Bila nilai f'_c di dalam tanda akar, maka hanya nilai numeric dalam tanda akar saja yang dipakai, dan hasilnya tetap mempunyai satuan mega paskal (MPa).

30. modulus elastisitas

rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap yang timbul akibat tegangan tersebut. Nilai rasio ini berlaku untuk tegangan di bawah batas proporsional material.

31. panjang penyaluran

panjang tulangan tertanam yang diperlukan untuk mengembangkan kuat rencana tulangan pada suatu penampang kritis.

32. panjang penanaman

panjang tulangan tertanam yang tersedia dari suatu tulangan diukur dari suatu penampang kritis.

33. pasca tarik

cara pemberian tarikan, dalam sistem prategang dimana tendon ditarik sesudah beton mengeras.

34. perangkat angkur

perangkat yang digunakan pada sistem prategang pasca tarik untuk menyalurkan gaya pasca tarik dari tendon ke beton.

35. perangkat angkur strand majemuk

perangkat angkur yang digunakan untuk strand, batang atau kawat majemuk, atau batang tunggal berdiameter > 16 mm dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku dalam tatacara ini.

36. perangkat angkur strand tunggal

perangkat angkur yang digunakan untuk strand tunggal atau batang tunggal berdiameter 16 mm atau kurang yang sesuai dengan tata cara ini.

37. pratarik

pemberian gaya prategang dengan menarik tendon sebelum beton di cor.

38. prategang efektif

tegangan yang masih bekerja pada tendon setelah semua kehilangan tegangan yang terjadi, di luar pengaruh beban mati dan beban tambahan.

39. sengkang

tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur, terbuat dari batang tulangan, kawat baja atau jarring kawat baja las polos atau ulir, berbentuk kaki tunggal atau dibengkokkan dalam bentuk L, U atau persegi dan dipasang tegak lurus atau membentuk sudut, terhadap tulangan longitudinal, dipakai pada komponen struktur lentur balok.

40. sengkang ikat

sengkang tertutup penuh yang dipakai pada komponen struktur tekan.

41. tendon

elemen baja misalnya kawat baja, kabel batang, kawat untai atau suatu bundle berkas dari elemen-elemen tersebut, yang digunakan untuk memberi gaya prategang pada beton.

42. tegangan

intensitas gaya per satuan luas.

43. tinggi efektif penampang (d)

jarak yang diukur dari serat tekan terluar hingga titik berat tulangan tarik.

44. transfer

proses penyaluran tegangan dalam tendon prategang dari jack atau perangkat angkur pasca tarik kepada komponen struktur beton.

45. tulangan

batang baja berbentuk polos atau ulir atau pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur, tidak termasuk tendon prategang, kecuali bila secara khusus diikuti sertakan.

46. tulangan polos

batang baja yang permukaan sisi luarnya rata, tidak bersirip atau berukir.

47. tulangan spiral

tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris.

48. tulangan ulir

batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, yang berbentuk bersirip atau berukir.

49. zona angkur

bagian komponen struktur prategang pasca tarik dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarkan secara lebih merata ke seluruh bagian penampang.

Istilah dan Definisi yang digunakan dalam Peraturan Beban untuk Jembatan BMS'92 adalah:

1. Aksi lingkungan

pengaruh yang timbul akibat temperatur, angin, aliran air, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya.

2. Aksi nominal

dalam hal tidak tersedianya data statistik, harga nominal diambil kira-kira ekuivalen dengan perioda ulang 50 tahun.

3. Beban primer

beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan

4. Beban sekunder

beban yang merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan

5. Beban khusus

beban yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan

6. Beban mati

semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya

7. Beban hidup

semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan

8. Beban mati primer

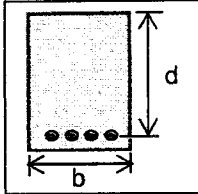
berat sendiri dari pelat dan sistem lainnya yang dipikul langsung oleh masing-masing gelagar jembatan

9. **Beban pelaksanaan**
beban sementara yang mungkin bekerja pada bangunan secara menyeluruh atau sebagian selama pelaksanaan
10. **Beban mati sekunder**
berat kerb, trotoar, tiang sandaran dan lain-lain yang dipasang setelah pelat di cor. Beban tersebut dianggap terbagi rata di seluruh gelagar
11. **Beban lalu-lintas**
seluruh beban hidup, arah vertikal dan horisontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan
12. **Faktor beban**
pengali numerik yang digunakan pada aksi nominal untuk menghitung aksi rencana. Faktor beban diambil untuk:
adanya perbedaan yang tidak diinginkan pada beban;
ketidak-tepatan dalam memperkirakan pengaruh pembebanan;
adanya perbedaan ketepatan dimensi yang dicapai dalam pelaksanaan.
13. **faktor beban biasa**
digunakan apabila pengaruh dari aksi rencana adalah mengurangi keamanan
14. **Faktor beban berkurang**
digunakan apabila pengaruh dari aksi rencana adalah menambah keamanan
15. **Jangka waktu aksi**
perkiraan lamanya aksi bekerja dibandingkan dengan umur rencana jembatan. Ada dua macam kategori jangka waktu yang diketahui:
Aksi tetap adalah bekerja sepanjang waktu dan bersumber pada sifat bahan jembatan, cara jembatan dibangun dan bangunan lain yang mungkin menempel pada jembatan.
Aksi transien bekerja dengan waktu yang pendek, walaupun mungkin terjadi seringkali.
16. **Lantai kendaraan**
seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk menerima beban dari lalu lintas kendaraan. Bebannya disebut Beban "T"

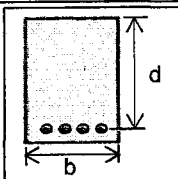
17. **Lajur lalu lintas**
bagian dari lantai kendaraan yang digunakan oleh suatu rangkaian kendaraan. Bebannya disebut Beban "D"
18. **Lajur lalu-lintas rencana**
strip dengan lebar 2,75 m dari jalur yang digunakan dimana pembebanan lalu lintas rencana bekerja
19. **Lajur lalu-lintas biasa**
lajur yang diberi marka pada permukaan untuk mengendalikan lalu-lintas.
20. **Lebar jalan**
lebar keseluruhan dari jembatan yang dapat digunakan oleh kendaraan, termasuk lajur lalu-lintas biasa, bahu yang diperkeras, marka median dan marka yang berupa strip. Lebar jalan membentang dari kerb yang dipertinggi ke kerb yang lainnya. Atau apabila kerb tidak dipertinggi, adalah dari penghalang bagian dalam ke penghalang lainnya
21. **Profil ruang bebas jembatan**
ukuran ruang dengan syarat tertentu yaitu meliputi tinggi bebas minimum jembatan tertutup, lebar bebas jembatan dan tinggi bebas minimum terhadap banjir
22. **Tipe aksi**
Dalam hal tertentu aksi bisa meningkatkan respon total jembatan (mengurangi keamanan) pada salah satu bagian jembatan, tetapi mengurangi respon total (menambah keamanan) pada bagian lainnya.
Tak dapat dipisah-pisahkan, artinya aksi tidak dapat dipisah kedalam salah satu bagian yang mengurangi keamanan dan bagian lain yang menambah keamanan (misalnya pembebanan "T")
Tersebar dimana bagian aksi yang mengurangi keamanan dapat diambil berbeda dengan bagian aksi yang menambah keamanan (misalnya, beban mati tambahan)
23. **Berat**
Berat dari suatu benda adalah gaya gravitasi yang bekerja pada massa benda tersebut (kN)
$$\text{Berat} = \text{massa} \times g$$

dengan pengertian g adalah percepatan akibat gravitasi.

Lampiran A.1 Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		20 MPa		$f_y =$		400 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.0739	0.0035	2.0288	0.0069	2.8966	0.0103	3.6774	0.0137	
2	1.1032	0.0036	2.0555	0.0070	2.9208	0.0104	3.6990	0.0138	
3	1.1325	0.0037	2.0822	0.0071	2.9449	0.0105	3.7206	0.0139	
4	1.1616	0.0038	2.1088	0.0072	2.9690	0.0106	3.7421	0.0140	
5	1.1907	0.0039	2.1354	0.0073	2.9930	0.0107	3.7635	0.0141	
6	1.2198	0.0040	2.1618	0.0074	3.0169	0.0108	3.7849	0.0142	
7	1.2487	0.0041	2.1882	0.0075	3.0407	0.0109	3.8062	0.0143	
8	1.2776	0.0042	2.2146	0.0076	3.0645	0.0110	3.8274	0.0144	
9	1.3064	0.0043	2.2408	0.0077	3.0882	0.0111	3.8485	0.0145	
10	1.3351	0.0044	2.2670	0.0078	3.1118	0.0112	3.8695	0.0146	
11	1.3638	0.0045	2.2930	0.0079	3.1353	0.0113	3.8905	0.0147	
12	1.3923	0.0046	2.3191	0.0080	3.1587	0.0114	3.9114	0.0148	
13	1.4208	0.0047	2.3450	0.0081	3.1821	0.0115	3.9322	0.0149	
14	1.4493	0.0048	2.3709	0.0082	3.2054	0.0116	3.9529	0.0150	
15	1.4776	0.0049	2.3966	0.0083	3.2286	0.0117	3.9736	0.0151	
16	1.5059	0.0050	2.4224	0.0084	3.2518	0.0118	3.9942	0.0152	
17	1.5341	0.0051	2.4480	0.0085	3.2749	0.0119	4.0147	0.0153	
18	1.5622	0.0052	2.4736	0.0086	3.2979	0.0120	4.0352	0.0154	
19	1.5902	0.0053	2.4990	0.0087	3.3208	0.0121	4.0555	0.0155	
20	1.6182	0.0054	2.5245	0.0088	3.3437	0.0122	4.0758	0.0156	
21	1.6461	0.0055	2.5498	0.0089	3.3664	0.0123	4.0960	0.0157	
22	1.6739	0.0056	2.5751	0.0090	3.3891	0.0124	4.1162	0.0158	
23	1.7017	0.0057	2.6002	0.0091	3.4118	0.0125	4.1362	0.0159	
24	1.7294	0.0058	2.6254	0.0092	3.4343	0.0126	4.1562	0.0160	
25	1.7570	0.0059	2.6504	0.0093	3.4568	0.0127	4.1762	0.0161	
26	1.7845	0.0060	2.6754	0.0094	3.4792	0.0128	4.1960	0.0162	
27	1.8119	0.0061	2.7002	0.0095	3.5015	0.0129	4.2158	0.0163	
28	1.8393	0.0062	2.7250	0.0096	3.5238	0.0130			
29	1.8666	0.0063	2.7498	0.0097	3.5459	0.0131			
30	1.8938	0.0064	2.7744	0.0098	3.5680	0.0132			
31	1.9209	0.0065	2.7990	0.0099	3.5901	0.0133			
32	1.9480	0.0066	2.8235	0.0100	3.6120	0.0134			
33	1.9750	0.0067	2.8480	0.0101	3.6339	0.0135			
34	2.0019	0.0068	2.8723	0.0102	3.6557	0.0136			
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$				0.85	Catatan : batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$				
$\rho_{min} =$				0.0035	Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]				
$\rho_{max} =$				0.0163	A_{st} [mm ²]				

Lampiran A.2 Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		25 MPa		$f_y =$		400 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.0831	0.0035	2.3944	0.0081	3.5782	0.0127	4.6346	0.0173	
2	1.1130	0.0036	2.4215	0.0082	3.6026	0.0128	4.6562	0.0174	
3	1.1428	0.0037	2.4485	0.0083	3.6268	0.0129	4.6776	0.0175	
4	1.1725	0.0038	2.4755	0.0084	3.6510	0.0130	4.6991	0.0176	
5	1.2022	0.0039	2.5024	0.0085	3.6752	0.0131	4.7204	0.0177	
6	1.2318	0.0040	2.5292	0.0086	3.6992	0.0132	4.7418	0.0178	
7	1.2614	0.0041	2.5560	0.0087	3.7232	0.0133	4.7630	0.0179	
8	1.2909	0.0042	2.5828	0.0088	3.7472	0.0134	4.7842	0.0180	
9	1.3203	0.0043	2.6094	0.0089	3.7711	0.0135	4.8053	0.0181	
10	1.3497	0.0044	2.6360	0.0090	3.7949	0.0136	4.8264	0.0182	
11	1.3790	0.0045	2.6626	0.0091	3.8187	0.0137	4.8474	0.0183	
12	1.4083	0.0046	2.6891	0.0092	3.8424	0.0138	4.8683	0.0184	
13	1.4375	0.0047	2.7155	0.0093	3.8661	0.0139	4.8892	0.0185	
14	1.4666	0.0048	2.7419	0.0094	3.8897	0.0140	4.9100	0.0186	
15	1.4957	0.0049	2.7682	0.0095	3.9132	0.0141	4.9308	0.0187	
16	1.5247	0.0050	2.7944	0.0096	3.9367	0.0142	4.9515	0.0188	
17	1.5537	0.0051	2.8206	0.0097	3.9601	0.0143	4.9722	0.0189	
18	1.5826	0.0052	2.8468	0.0098	3.9835	0.0144	4.9928	0.0190	
19	1.6114	0.0053	2.8728	0.0099	4.0068	0.0145	5.0133	0.0191	
20	1.6402	0.0054	2.8988	0.0100	4.0300	0.0146	5.0337	0.0192	
21	1.6689	0.0055	2.9248	0.0101	4.0532	0.0147	5.0541	0.0193	
22	1.6976	0.0056	2.9507	0.0102	4.0763	0.0148	5.0745	0.0194	
23	1.7261	0.0057	2.9765	0.0103	4.0994	0.0149	5.0948	0.0195	
24	1.7547	0.0058	3.0022	0.0104	4.1224	0.0150	5.1150	0.0196	
25	1.7832	0.0059	3.0280	0.0105	4.1453	0.0151	5.1352	0.0197	
26	1.8116	0.0060	3.0536	0.0106	4.1682	0.0152	5.1553	0.0198	
27	1.8399	0.0061	3.0792	0.0107	4.1910	0.0153	5.1753	0.0199	
28	1.8682	0.0062	3.1047	0.0108	4.2137	0.0154	5.1953	0.0200	
29	1.8965	0.0063	3.1302	0.0109	4.2364	0.0155	5.2152	0.0201	
30	1.9246	0.0064	3.1556	0.0110	4.2591	0.0156	5.2351	0.0202	
31	1.9528	0.0065	3.1809	0.0111	4.2816	0.0157	5.2549	0.0203	
32	1.9808	0.0066	3.2062	0.0112	4.3041	0.0158			
33	2.0088	0.0067	3.2314	0.0113	4.3266	0.0159			
34	2.0367	0.0068	3.2566	0.0114	4.3490	0.0160			
35	2.0646	0.0069	3.2817	0.0115	4.3713	0.0161			
36	2.0924	0.0070	3.3067	0.0116	4.3936	0.0162			
37	2.1202	0.0071	3.3317	0.0117	4.4158	0.0163			
38	2.1479	0.0072	3.3566	0.0118	4.4380	0.0164			
39	2.1755	0.0073	3.3815	0.0119	4.4600	0.0165			
40	2.2031	0.0074	3.4063	0.0120	4.4821	0.0166			
41	2.2306	0.0075	3.4310	0.0121	4.5040	0.0167			
42	2.2580	0.0076	3.4557	0.0122	4.5260	0.0168			
43	2.2854	0.0077	3.4804	0.0123	4.5478	0.0169			
44	2.3128	0.0078	3.5049	0.0124	4.5696	0.0170			
45	2.3400	0.0079	3.5294	0.0125	4.5913	0.0171			
46	2.3672	0.0080	3.5539	0.0126	4.6130	0.0172			

Catatan :

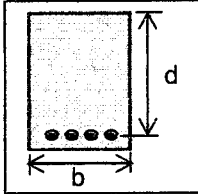
batasan tulangan $\rho_{\min} \leq \rho_{act} < \rho_{\max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

Ast [mm²]

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$	0.85
$\rho_{\min} =$	0.0035
$\rho_{\max} =$	0.0203

Lampiran A.3 Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		30 MPa		$f_y =$		400 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.0893	0.0035	2.0885	0.0069	3.0297	0.0103	3.9129	0.0137	
2	1.1195	0.0036	2.1170	0.0070	3.0565	0.0104	3.9380	0.0138	
3	1.1496	0.0037	2.1455	0.0071	3.0833	0.0105	3.9631	0.0139	
4	1.1798	0.0038	2.1739	0.0072	3.1100	0.0106	3.9881	0.0140	
5	1.2098	0.0039	2.2023	0.0073	3.1367	0.0107	4.0130	0.0141	
6	1.2398	0.0040	2.2306	0.0074	3.1633	0.0108	4.0379	0.0142	
7	1.2698	0.0041	2.2588	0.0075	3.1898	0.0109	4.0628	0.0143	
8	1.2997	0.0042	2.2870	0.0076	3.2163	0.0110	4.0876	0.0144	
9	1.3296	0.0043	2.3152	0.0077	3.2428	0.0111	4.1123	0.0145	
10	1.3594	0.0044	2.3433	0.0078	3.2692	0.0112	4.1370	0.0146	
11	1.3892	0.0045	2.3714	0.0079	3.2955	0.0113	4.1617	0.0147	
12	1.4189	0.0046	2.3994	0.0080	3.3218	0.0114	4.1863	0.0148	
13	1.4486	0.0047	2.4273	0.0081	3.3481	0.0115	4.2108	0.0149	
14	1.4782	0.0048	2.4552	0.0082	3.3743	0.0116	4.2353	0.0150	
15	1.5077	0.0049	2.4831	0.0083	3.4004	0.0117	4.2597	0.0151	
16	1.5373	0.0050	2.5109	0.0084	3.4265	0.0118	4.2841	0.0152	
17	1.5667	0.0051	2.5387	0.0085	3.4526	0.0119	4.3085	0.0153	
18	1.5961	0.0052	2.5664	0.0086	3.4786	0.0120	4.3328	0.0154	
19	1.6255	0.0053	2.5940	0.0087	3.5045	0.0121	4.3570	0.0155	
20	1.6548	0.0054	2.6216	0.0088	3.5304	0.0122	4.3812	0.0156	
21	1.6841	0.0055	2.6492	0.0089	3.5563	0.0123	4.4054	0.0157	
22	1.7133	0.0056	2.6767	0.0090	3.5821	0.0124	4.4295	0.0158	
23	1.7425	0.0057	2.7042	0.0091	3.6078	0.0125	4.4535	0.0159	
24	1.7716	0.0058	2.7316	0.0092	3.6335	0.0126	4.4775	0.0160	
25	1.8006	0.0059	2.7589	0.0093	3.6592	0.0127	4.5014	0.0161	
26	1.8296	0.0060	2.7862	0.0094	3.6848	0.0128	4.5253	0.0162	
27	1.8586	0.0061	2.8135	0.0095	3.7103	0.0129	4.5492	0.0163	
28	1.8875	0.0062	2.8407	0.0096	3.7358	0.0130	4.5730	0.0164	
29	1.9164	0.0063	2.8679	0.0097	3.7613	0.0131	4.5967	0.0165	
30	1.9452	0.0064	2.8950	0.0098	3.7867	0.0132	4.6204	0.0166	
31	1.9740	0.0065	2.9220	0.0099	3.8120	0.0133	4.6440	0.0167	
32	2.0027	0.0066	2.9490	0.0100	3.8373	0.0134	4.6676	0.0168	
33	2.0313	0.0067	2.9760	0.0101	3.8626	0.0135	4.6912	0.0169	
34	2.0599	0.0068	3.0029	0.0102	3.8878	0.0136	4.7147	0.0170	

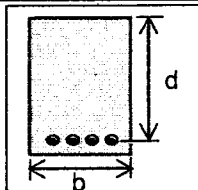
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$
 $\rho_{min} =$
 $\rho_{max} =$

0.85
0.0035
0.0244

Catatan :

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Lampiran A.4 Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

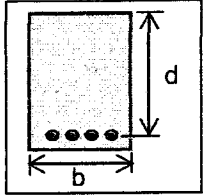
$f_c' =$		30 MPa		$f_y =$		400 MPa		
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$
1	4.7147	0.0170	5.1515	0.0189	5.5702	0.0208	5.9707	0.0227
2	4.7381	0.0171	5.1740	0.0190	5.5917	0.0209	5.9913	0.0228
3	4.7615	0.0172	5.1964	0.0191	5.6132	0.0210	6.0118	0.0229
4	4.7848	0.0173	5.2188	0.0192	5.6346	0.0211	6.0323	0.0230
5	4.8081	0.0174	5.2411	0.0193	5.6560	0.0212	6.0527	0.0231
6	4.8314	0.0175	5.2634	0.0194	5.6773	0.0213	6.0731	0.0232
7	4.8546	0.0176	5.2856	0.0195	5.6986	0.0214	6.0935	0.0233
8	4.8777	0.0177	5.3078	0.0196	5.7198	0.0215	6.1137	0.0234
9	4.9008	0.0178	5.3300	0.0197	5.7410	0.0216	6.1340	0.0235
10	4.9238	0.0179	5.3521	0.0198	5.7622	0.0217	6.1541	0.0236
11	4.9468	0.0180	5.3741	0.0199	5.7832	0.0218	6.1743	0.0237
12	4.9698	0.0181	5.3961	0.0200	5.8043	0.0219	6.1943	0.0238
13	4.9927	0.0182	5.4180	0.0201	5.8253	0.0220	6.2144	0.0239
14	5.0155	0.0183	5.4399	0.0202	5.8462	0.0221	6.2344	0.0240
15	5.0383	0.0184	5.4617	0.0203	5.8671	0.0222	6.2543	0.0241
16	5.0610	0.0185	5.4835	0.0204	5.8879	0.0223	6.2742	0.0242
17	5.0837	0.0186	5.5053	0.0205	5.9087	0.0224	6.2940	0.0243
18	5.1063	0.0187	5.5269	0.0206	5.9294	0.0225	6.3138	0.0244
19	5.1289	0.0188	5.5486	0.0207	5.9501	0.0226	6.3335	0.0245

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$
 $\rho_{min} =$
 $\rho_{max} =$

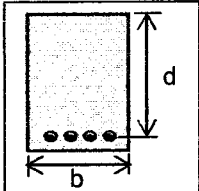
0.85
0.0035
0.0244

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
Ast [mm2]

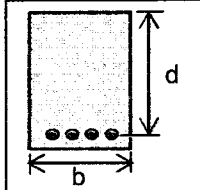
Lampiran A.5a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		35 MPa		$f_y =$		400 MPa		
No	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$
1	1.0936	0.0035	2.1056	0.0069	3.0678	0.0103	3.9802	0.0137
2	1.1241	0.0036	2.1346	0.0070	3.0953	0.0104	4.0063	0.0138
3	1.1545	0.0037	2.1636	0.0071	3.1228	0.0105	4.0324	0.0139
4	1.1849	0.0038	2.1925	0.0072	3.1503	0.0106	4.0584	0.0140
5	1.2153	0.0039	2.2214	0.0073	3.1777	0.0107	4.0843	0.0141
6	1.2456	0.0040	2.2502	0.0074	3.2051	0.0108	4.1102	0.0142
7	1.2758	0.0041	2.2790	0.0075	3.2324	0.0109	4.1361	0.0143
8	1.3061	0.0042	2.3077	0.0076	3.2597	0.0110	4.1619	0.0144
9	1.3362	0.0043	2.3365	0.0077	3.2869	0.0111	4.1877	0.0145
10	1.3664	0.0044	2.3651	0.0078	3.3141	0.0112	4.2134	0.0146
11	1.3964	0.0045	2.3937	0.0079	3.3413	0.0113	4.2391	0.0147
12	1.4265	0.0046	2.4223	0.0080	3.3684	0.0114	4.2648	0.0148
13	1.4565	0.0047	2.4509	0.0081	3.3955	0.0115	4.2904	0.0149
14	1.4864	0.0048	2.4793	0.0082	3.4225	0.0116	4.3160	0.0150
15	1.5163	0.0049	2.5078	0.0083	3.4495	0.0117	4.3415	0.0151
16	1.5462	0.0050	2.5362	0.0084	3.4765	0.0118	4.3670	0.0152
17	1.5760	0.0051	2.5646	0.0085	3.5034	0.0119	4.3924	0.0153
18	1.6058	0.0052	2.5929	0.0086	3.5302	0.0120	4.4178	0.0154
19	1.6356	0.0053	2.6212	0.0087	3.5570	0.0121	4.4432	0.0155
20	1.6653	0.0054	2.6494	0.0088	3.5838	0.0122	4.4685	0.0156
21	1.6949	0.0055	2.6776	0.0089	3.6105	0.0123	4.4937	0.0157
22	1.7245	0.0056	2.7057	0.0090	3.6372	0.0124	4.5190	0.0158
23	1.7541	0.0057	2.7339	0.0091	3.6639	0.0125	4.5441	0.0159
24	1.7836	0.0058	2.7619	0.0092	3.6905	0.0126	4.5693	0.0160
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$				0.81	Catatan :			
$\rho_{min} =$				0.0035	batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$			
$\rho_{max} =$				0.0271	Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]			
					A_s [mm ²]			

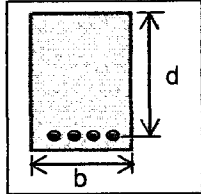
Lampiran A.5b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		35 MPa		$f_y =$		400 MPa		
No	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$
1	4.8183	0.0170	5.4926	0.0198	6.1332	0.0226	6.7401	0.0254
2	4.8429	0.0171	5.5161	0.0199	6.1555	0.0227	6.7611	0.0255
3	4.8676	0.0172	5.5395	0.0200	6.1777	0.0228	6.7821	0.0256
4	4.8921	0.0173	5.5629	0.0201	6.1999	0.0229	6.8031	0.0257
5	4.9167	0.0174	5.5862	0.0202	6.2220	0.0230	6.8240	0.0258
6	4.9412	0.0175	5.6095	0.0203	6.2441	0.0231	6.8449	0.0259
7	4.9656	0.0176	5.6327	0.0204	6.2661	0.0232	6.8657	0.0260
8	4.9900	0.0177	5.6559	0.0205	6.2881	0.0233	6.8865	0.0261
9	5.0144	0.0178	5.6791	0.0206	6.3101	0.0234	6.9073	0.0262
10	5.0387	0.0179	5.7022	0.0207	6.3320	0.0235	6.9280	0.0263
11	5.0630	0.0180	5.7253	0.0208	6.3538	0.0236	6.9487	0.0264
12	5.0872	0.0181	5.7483	0.0209	6.3757	0.0237	6.9693	0.0265
13	5.1114	0.0182	5.7713	0.0210	6.3974	0.0238	6.9899	0.0266
14	5.1356	0.0183	5.7942	0.0211	6.4192	0.0239	7.0104	0.0267
15	5.1597	0.0184	5.8171	0.0212	6.4409	0.0240	7.0309	0.0268
16	5.1837	0.0185	5.8400	0.0213	6.4625	0.0241	7.0513	0.0269
17	5.2077	0.0186	5.8628	0.0214	6.4841	0.0242	7.0717	0.0270
18	5.2317	0.0187	5.8856	0.0215	6.5057	0.0243	7.0921	0.0271
19	5.2557	0.0188	5.9083	0.0216	6.5272	0.0244	7.1124	0.0272
20	5.2795	0.0189	5.9310	0.0217	6.5487	0.0245	7.1327	0.0273
21	5.3034	0.0190	5.9536	0.0218	6.5701	0.0246	7.1529	0.0274
22	5.3272	0.0191	5.9762	0.0219	6.5915	0.0247	7.1731	0.0275
23	5.3510	0.0192	5.9988	0.0220	6.6129	0.0248	7.1933	0.0276
24	5.3747	0.0193	6.0213	0.0221	6.6342	0.0249	7.2134	0.0277
25	5.3984	0.0194	6.0438	0.0222	6.6555	0.0250	7.2334	0.0278
26	5.4220	0.0195	6.0662	0.0223	6.6767	0.0251	7.2534	0.0279
27	5.4456	0.0196	6.0886	0.0224	6.6979	0.0252	7.2734	0.0280
28	5.4691	0.0197	6.1109	0.0225	6.7190	0.0253	7.2933	0.0281
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$				0.81	Catatan :			
$\rho_{min} =$				0.0035	batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$			
$\rho_{max} =$				0.0271	Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]			
					A_s [mm ²]			

Lampiran A.6a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' = 40 \text{ MPa}$		$f_y = 400 \text{ MPa}$						
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$
1	1.0969	0.0035	2.1184	0.0069	3.0963	0.0103	4.0307	0.0137
2	1.1276	0.0036	2.1478	0.0070	3.1244	0.0104	4.0575	0.0138
3	1.1582	0.0037	2.1771	0.0071	3.1525	0.0105	4.0843	0.0139
4	1.1888	0.0038	2.2064	0.0072	3.1805	0.0106	4.1111	0.0140
5	1.2194	0.0039	2.2357	0.0073	3.2085	0.0107	4.1378	0.0141
6	1.2499	0.0040	2.2649	0.0074	3.2364	0.0108	4.1644	0.0142
7	1.2804	0.0041	2.2941	0.0075	3.2644	0.0109	4.1911	0.0143
8	1.3108	0.0042	2.3233	0.0076	3.2922	0.0110	4.2177	0.0144
9	1.3412	0.0043	2.3524	0.0077	3.3201	0.0111	4.2442	0.0145
10	1.3716	0.0044	2.3815	0.0078	3.3479	0.0112	4.2708	0.0146
11	1.4019	0.0045	2.4105	0.0079	3.3756	0.0113	4.2972	0.0147
12	1.4322	0.0046	2.4395	0.0080	3.4034	0.0114	4.3237	0.0148
13	1.4624	0.0047	2.4685	0.0081	3.4311	0.0115	4.3501	0.0149
14	1.4926	0.0048	2.4974	0.0082	3.4587	0.0116	4.3765	0.0150
15	1.5228	0.0049	2.5263	0.0083	3.4863	0.0117	4.4028	0.0151
16	1.5529	0.0050	2.5552	0.0084	3.5139	0.0118	4.4291	0.0152
17	1.5830	0.0051	2.5840	0.0085	3.5414	0.0119	4.4554	0.0153
18	1.6131	0.0052	2.6128	0.0086	3.5689	0.0120	4.4816	0.0154
19	1.6431	0.0053	2.6415	0.0087	3.5964	0.0121	4.5078	0.0155
20	1.6731	0.0054	2.6702	0.0088	3.6238	0.0122	4.5339	0.0156
21	1.7031	0.0055	2.6989	0.0089	3.6512	0.0123	4.5600	0.0157
22	1.7330	0.0056	2.7275	0.0090	3.6786	0.0124	4.5861	0.0158
23	1.7628	0.0057	2.7561	0.0091	3.7059	0.0125	4.6121	0.0159
24	1.7927	0.0058	2.7847	0.0092	3.7332	0.0126	4.6381	0.0160
25	1.8225	0.0059	2.8132	0.0093	3.7604	0.0127	4.6641	0.0161
26	1.8522	0.0060	2.8417	0.0094	3.7876	0.0128	4.6900	0.0162
27	1.8820	0.0061	2.8701	0.0095	3.8148	0.0129	4.7159	0.0163
28	1.9116	0.0062	2.8985	0.0096	3.8419	0.0130	4.7417	0.0164
29	1.9413	0.0063	2.9269	0.0097	3.8690	0.0131	4.7675	0.0165
30	1.9709	0.0064	2.9552	0.0098	3.8960	0.0132	4.7933	0.0166
31	2.0005	0.0065	2.9835	0.0099	3.9230	0.0133	4.8190	0.0167
32	2.0300	0.0066	3.0118	0.0100	3.9500	0.0134	4.8447	0.0168
33	2.0595	0.0067	3.0400	0.0101	3.9769	0.0135	4.8704	0.0169
34	2.0890	0.0068	3.0682	0.0102	4.0038	0.0136	4.8960	0.0170
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) = 0.77$ $\rho_{min} = 0.0035$ $\rho_{max} = 0.0295$				Catatan : batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$ Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm] A_{st} [mm ²]				

Lampiran A.6b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

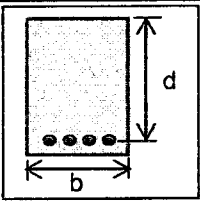
$f_c' =$		40 MPa		$f_y =$		400 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	4.8960	0.0170	5.7446	0.0204	6.5498	0.0238	7.3114	0.0272	
2	4.9216	0.0171	5.7689	0.0205	6.5728	0.0239	7.3331	0.0273	
3	4.9471	0.0172	5.7932	0.0206	6.5958	0.0240	7.3548	0.0274	
4	4.9726	0.0173	5.8174	0.0207	6.6187	0.0241	7.3765	0.0275	
5	4.9981	0.0174	5.8416	0.0208	6.6416	0.0242	7.3981	0.0276	
6	5.0235	0.0175	5.8658	0.0209	6.6645	0.0243	7.4197	0.0277	
7	5.0489	0.0176	5.8899	0.0210	6.6873	0.0244	7.4412	0.0278	
8	5.0743	0.0177	5.9140	0.0211	6.7101	0.0245	7.4628	0.0279	
9	5.0996	0.0178	5.9380	0.0212	6.7329	0.0246	7.4842	0.0280	
10	5.1249	0.0179	5.9620	0.0213	6.7556	0.0247	7.5057	0.0281	
11	5.1501	0.0180	5.9860	0.0214	6.7783	0.0248	7.5271	0.0282	
12	5.1753	0.0181	6.0099	0.0215	6.8009	0.0249	7.5484	0.0283	
13	5.2005	0.0182	6.0338	0.0216	6.8235	0.0250	7.5698	0.0284	
14	5.2256	0.0183	6.0576	0.0217	6.8461	0.0251	7.5911	0.0285	
15	5.2507	0.0184	6.0814	0.0218	6.8686	0.0252	7.6123	0.0286	
16	5.2758	0.0185	6.1052	0.0219	6.8911	0.0253	7.6335	0.0287	
17	5.3008	0.0186	6.1289	0.0220	6.9136	0.0254	7.6547	0.0288	
18	5.3258	0.0187	6.1526	0.0221	6.9360	0.0255	7.6758	0.0289	
19	5.3507	0.0188	6.1763	0.0222	6.9584	0.0256	7.6969	0.0290	
20	5.3756	0.0189	6.1999	0.0223	6.9807	0.0257	7.7180	0.0291	
21	5.4005	0.0190	6.2235	0.0224	7.0030	0.0258	7.7390	0.0292	
22	5.4253	0.0191	6.2471	0.0225	7.0253	0.0259	7.7600	0.0293	
23	5.4501	0.0192	6.2706	0.0226	7.0475	0.0260	7.7810	0.0294	
24	5.4748	0.0193	6.2940	0.0227	7.0697	0.0261	7.8019	0.0295	
25	5.4996	0.0194	6.3175	0.0228	7.0919	0.0262			
26	5.5242	0.0195	6.3409	0.0229	7.1140	0.0263			
27	5.5489	0.0196	6.3642	0.0230	7.1361	0.0264			
28	5.5735	0.0197	6.3876	0.0231	7.1581	0.0265			
29	5.5980	0.0198	6.4108	0.0232	7.1801	0.0266			
30	5.6226	0.0199	6.4341	0.0233	7.2021	0.0267			
31	5.6471	0.0200	6.4573	0.0234	7.2240	0.0268			
32	5.6715	0.0201	6.4805	0.0235	7.2459	0.0269			
33	5.6959	0.0202	6.5036	0.0236	7.2678	0.0270			
34	5.7203	0.0203	6.5267	0.0237	7.2896	0.0271			

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$
 $\rho_{min} =$
 $\rho_{max} =$

0.77
0.0035
0.0295

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Lampiran A.7a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		20 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	
1	1.0739	0.0058	1.6573	0.0092	2.2093	0.0126	2.7300	0.0160	
2	1.0915	0.0059	1.6739	0.0093	2.2251	0.0127	2.7448	0.0161	
3	1.1091	0.0060	1.6906	0.0094	2.2408	0.0128	2.7597	0.0162	
4	1.1266	0.0061	1.7072	0.0095	2.2565	0.0129	2.7744	0.0163	
5	1.1441	0.0062	1.7238	0.0096	2.2722	0.0130	2.7892	0.0164	
6	1.1616	0.0063	1.7404	0.0097	2.2878	0.0131	2.8039	0.0165	
7	1.1791	0.0064	1.7570	0.0098	2.3035	0.0132	2.8186	0.0166	
8	1.1966	0.0065	1.7735	0.0099	2.3191	0.0133	2.8333	0.0167	
9	1.2140	0.0066	1.7900	0.0100	2.3346	0.0134	2.8480	0.0168	
10	1.2314	0.0067	1.8064	0.0101	2.3502	0.0135	2.8626	0.0169	
11	1.2487	0.0068	1.8229	0.0102	2.3657	0.0136	2.8772	0.0170	
12	1.2660	0.0069	1.8393	0.0103	2.3812	0.0137	2.8918	0.0171	
13	1.2834	0.0070	1.8557	0.0104	2.3966	0.0138	2.9063	0.0172	
14	1.3006	0.0071	1.8720	0.0105	2.4121	0.0139	2.9208	0.0173	
15	1.3179	0.0072	1.8884	0.0106	2.4275	0.0140	2.9353	0.0174	
16	1.3351	0.0073	1.9047	0.0107	2.4429	0.0141	2.9498	0.0175	
17	1.3523	0.0074	1.9209	0.0108	2.4582	0.0142	2.9642	0.0176	
18	1.3695	0.0075	1.9372	0.0109	2.4736	0.0143	2.9786	0.0177	
19	1.3866	0.0076	1.9534	0.0110	2.4889	0.0144	2.9930	0.0178	
20	1.4037	0.0077	1.9696	0.0111	2.5041	0.0145	3.0073	0.0179	
21	1.4208	0.0078	1.9858	0.0112	2.5194	0.0146	3.0217	0.0180	
22	1.4379	0.0079	2.0019	0.0113	2.5346	0.0147	3.0360	0.0181	
23	1.4549	0.0080	2.0180	0.0114	2.5498	0.0148	3.0502	0.0182	
24	1.4719	0.0081	2.0341	0.0115	2.5650	0.0149	3.0645	0.0183	
25	1.4889	0.0082	2.0502	0.0116	2.5801	0.0150	3.0787	0.0184	
26	1.5059	0.0083	2.0662	0.0117	2.5952	0.0151	3.0929	0.0185	
27	1.5228	0.0084	2.0822	0.0118	2.6103	0.0152	3.1070	0.0186	
28	1.5397	0.0085	2.0982	0.0119	2.6254	0.0153	3.1212	0.0187	
29	1.5566	0.0086	2.1142	0.0120	2.6404	0.0154	3.1353	0.0188	
30	1.5734	0.0087	2.1301	0.0121	2.6554	0.0155	3.1494	0.0189	
31	1.5902	0.0088	2.1460	0.0122	2.6704	0.0156	3.1634	0.0190	
32	1.6070	0.0089	2.1618	0.0123	2.6853	0.0157	3.1774	0.0191	
33	1.6238	0.0090	2.1777	0.0124	2.7002	0.0158	3.1914	0.0192	
34	1.6405	0.0091	2.1935	0.0125	2.7151	0.0159	3.2054	0.0193	

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$

0.85

$\rho_{min} =$

0.0058

$\rho_{max} =$

0.0271

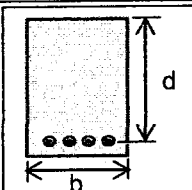
Catatan :

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

A_{st} [mm²]

Lampiran A.7b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

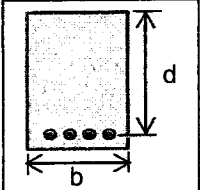
$f_c' =$		20 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	3.2194	0.0194	3.5193	0.0216	3.8062	0.0238	4.0799	0.0260	
2	3.2333	0.0195	3.5326	0.0217	3.8189	0.0239	4.0920	0.0261	
3	3.2472	0.0196	3.5459	0.0218	3.8316	0.0240	4.1041	0.0262	
4	3.2610	0.0197	3.5592	0.0219	3.8443	0.0241	4.1162	0.0263	
5	3.2749	0.0198	3.5724	0.0220	3.8569	0.0242	4.1282	0.0264	
6	3.2887	0.0199	3.5857	0.0221	3.8695	0.0243	4.1402	0.0265	
7	3.3025	0.0200	3.5988	0.0222	3.8821	0.0244	4.1522	0.0266	
8	3.3162	0.0201	3.6120	0.0223	3.8947	0.0245	4.1642	0.0267	
9	3.3300	0.0202	3.6251	0.0224	3.9072	0.0246	4.1762	0.0268	
10	3.3437	0.0203	3.6382	0.0225	3.9197	0.0247	4.1881	0.0269	
11	3.3573	0.0204	3.6513	0.0226	3.9322	0.0248	4.1999	0.0270	
12	3.3710	0.0205	3.6644	0.0227	3.9447	0.0249	4.2118	0.0271	
13	3.3846	0.0206	3.6774	0.0228	3.9571	0.0250	0.0000		
14	3.3982	0.0207	3.6904	0.0229	3.9695	0.0251	0.0000		
15	3.4118	0.0208	3.7034	0.0230	3.9819	0.0252	0.0000		
16	3.4253	0.0209	3.7163	0.0231	3.9942	0.0253	0.0000		
17	3.4388	0.0210	3.7292	0.0232	4.0065	0.0254	0.0000		
18	3.4523	0.0211	3.7421	0.0233	4.0188	0.0255	0.0000		
19	3.4658	0.0212	3.7550	0.0234	4.0311	0.0256	0.0000		
20	3.4792	0.0213	3.7678	0.0235	4.0433	0.0257	0.0000		
21	3.4926	0.0214	3.7806	0.0236	4.0555	0.0258	0.0000		
22	3.5060	0.0215	3.7934	0.0237	4.0677	0.0259	0.0000		

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$
 $\rho_{min} =$
 $\rho_{max} =$

0.85
0.0058
0.0271

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
Ast [mm2]

Lampiran A.8a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		25 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.0831	0.0058	1.6804	0.0092	2.2526	0.0126	2.7997	0.0160	
2	1.1010	0.0059	1.6976	0.0093	2.2690	0.0127	2.8154	0.0161	
3	1.1189	0.0060	1.7147	0.0094	2.2854	0.0128	2.8311	0.0162	
4	1.1368	0.0061	1.7319	0.0095	2.3018	0.0129	2.8468	0.0163	
5	1.1547	0.0062	1.7490	0.0096	2.3182	0.0130	2.8624	0.0164	
6	1.1725	0.0063	1.7661	0.0097	2.3346	0.0131	2.8780	0.0165	
7	1.1903	0.0064	1.7832	0.0098	2.3509	0.0132	2.8936	0.0166	
8	1.2081	0.0065	1.8002	0.0099	2.3672	0.0133	2.9092	0.0167	
9	1.2259	0.0066	1.8173	0.0100	2.3835	0.0134	2.9248	0.0168	
10	1.2436	0.0067	1.8343	0.0101	2.3998	0.0135	2.9403	0.0169	
11	1.2614	0.0068	1.8513	0.0102	2.4161	0.0136	2.9558	0.0170	
12	1.2791	0.0069	1.8682	0.0103	2.4323	0.0137	2.9713	0.0171	
13	1.2968	0.0070	1.8852	0.0104	2.4485	0.0138	2.9868	0.0172	
14	1.3144	0.0071	1.9021	0.0105	2.4647	0.0139	3.0022	0.0173	
15	1.3321	0.0072	1.9190	0.0106	2.4809	0.0140	3.0177	0.0174	
16	1.3497	0.0073	1.9359	0.0107	2.4970	0.0141	3.0331	0.0175	
17	1.3673	0.0074	1.9528	0.0108	2.5131	0.0142	3.0485	0.0176	
18	1.3849	0.0075	1.9696	0.0109	2.5292	0.0143	3.0638	0.0177	
19	1.4024	0.0076	1.9864	0.0110	2.5453	0.0144	3.0792	0.0178	
20	1.4200	0.0077	2.0032	0.0111	2.5614	0.0145	3.0945	0.0179	
21	1.4375	0.0078	2.0200	0.0112	2.5774	0.0146	3.1098	0.0180	
22	1.4550	0.0079	2.0367	0.0113	2.5934	0.0147	3.1251	0.0181	
23	1.4724	0.0080	2.0535	0.0114	2.6094	0.0148	3.1403	0.0182	
24	1.4899	0.0081	2.0702	0.0115	2.6254	0.0149	3.1556	0.0183	
25	1.5073	0.0082	2.0869	0.0116	2.6414	0.0150	3.1708	0.0184	
26	1.5247	0.0083	2.1035	0.0117	2.6573	0.0151	3.1860	0.0185	
27	1.5421	0.0084	2.1202	0.0118	2.6732	0.0152	3.2012	0.0186	
28	1.5594	0.0085	2.1368	0.0119	2.6891	0.0153	3.2163	0.0187	
29	1.5768	0.0086	2.1534	0.0120	2.7049	0.0154	3.2314	0.0188	
30	1.5941	0.0087	2.1700	0.0121	2.7208	0.0155	3.2465	0.0189	
31	1.6114	0.0088	2.1865	0.0122	2.7366	0.0156	3.2616	0.0190	
32	1.6287	0.0089	2.2031	0.0123	2.7524	0.0157	3.2767	0.0191	
33	1.6459	0.0090	2.2196	0.0124	2.7682	0.0158	3.2917	0.0192	
34	1.6632	0.0091	2.2361	0.0125	2.7839	0.0159	3.3067	0.0193	

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$

0.85

$\rho_{min} =$

0.0058

$\rho_{max} =$

0.0339

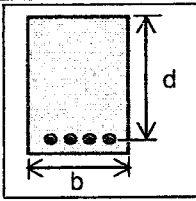
Catatan :

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

A_{st} [mm2]

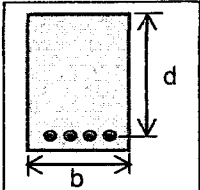
Lampiran A.8b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		25 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	
1	3.3217	0.0194	3.8614	0.0231	4.3713	0.0268	4.8516	0.0305	
2	3.3367	0.0195	3.8755	0.0232	4.3847	0.0269	4.8642	0.0306	
3	3.3517	0.0196	3.8897	0.0233	4.3980	0.0270	4.8767	0.0307	
4	3.3666	0.0197	3.9038	0.0234	4.4114	0.0271	4.8892	0.0308	
5	3.3815	0.0198	3.9179	0.0235	4.4247	0.0272	4.9017	0.0309	
6	3.3964	0.0199	3.9320	0.0236	4.4380	0.0273	4.9142	0.0310	
7	3.4113	0.0200	3.9461	0.0237	4.4512	0.0274	4.9267	0.0311	
8	3.4261	0.0201	3.9601	0.0238	4.4645	0.0275	4.9391	0.0312	
9	3.4409	0.0202	3.9741	0.0239	4.4777	0.0276	4.9515	0.0313	
10	3.4557	0.0203	3.9881	0.0240	4.4909	0.0277	4.9639	0.0314	
11	3.4705	0.0204	4.0021	0.0241	4.5040	0.0278	4.9763	0.0315	
12	3.4853	0.0205	4.0161	0.0242	4.5172	0.0279	4.9886	0.0316	
13	3.5000	0.0206	4.0300	0.0243	4.5303	0.0280	5.0010	0.0317	
14	3.5147	0.0207	4.0439	0.0244	4.5434	0.0281	5.0133	0.0318	
15	3.5294	0.0208	4.0578	0.0245	4.5565	0.0282	5.0256	0.0319	
16	3.5441	0.0209	4.0717	0.0246	4.5696	0.0283	5.0378	0.0320	
17	3.5587	0.0210	4.0855	0.0247	4.5826	0.0284	5.0501	0.0321	
18	3.5734	0.0211	4.0994	0.0248	4.5957	0.0285	5.0623	0.0322	
19	3.5880	0.0212	4.1132	0.0249	4.6087	0.0286	5.0745	0.0323	
20	3.6026	0.0213	4.1269	0.0250	4.6217	0.0287	5.0867	0.0324	
21	3.6171	0.0214	4.1407	0.0251	4.6346	0.0288	5.0988	0.0325	
22	3.6317	0.0215	4.1544	0.0252	4.6475	0.0289	5.1110	0.0326	
23	3.6462	0.0216	4.1682	0.0253	4.6605	0.0290	5.1231	0.0327	
24	3.6607	0.0217	4.1819	0.0254	4.6734	0.0291	5.1352	0.0328	
25	3.6752	0.0218	4.1955	0.0255	4.6862	0.0292	5.1472	0.0329	
26	3.6896	0.0219	4.2092	0.0256	4.6991	0.0293	5.1593	0.0330	
27	3.7040	0.0220	4.2228	0.0257	4.7119	0.0294	5.1713	0.0331	
28	3.7184	0.0221	4.2364	0.0258	4.7247	0.0295	5.1833	0.0332	
29	3.7328	0.0222	4.2500	0.0259	4.7375	0.0296	5.1953	0.0333	
30	3.7472	0.0223	4.2636	0.0260	4.7503	0.0297	5.2073	0.0334	
31	3.7616	0.0224	4.2771	0.0261	4.7630	0.0298	5.2192	0.0335	
32	3.7759	0.0225	4.2906	0.0262	4.7757	0.0299	5.2311	0.0336	
33	3.7902	0.0226	4.3041	0.0263	4.7884	0.0300	5.2430	0.0337	
34	3.8045	0.0227	4.3176	0.0264	4.8011	0.0301	5.2549	0.0338	
35	3.8187	0.0228	4.3311	0.0265	4.8137	0.0302	5.2667	0.0339	
36	3.8330	0.0229	4.3445	0.0266	4.8264	0.0303			
37	3.8472	0.0230	4.3579	0.0267	4.8390	0.0304			

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$ 0.85
 $\rho_{min} =$ 0.0058
 $\rho_{max} =$ 0.0339

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm2]

Lampiran A.9a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		30 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.0893	0.0058	1.6958	0.0092	2.2814	0.0126	2.8461	0.0160	
2	1.1074	0.0059	1.7133	0.0093	2.2983	0.0127	2.8624	0.0161	
3	1.1255	0.0060	1.7308	0.0094	2.3152	0.0128	2.8787	0.0162	
4	1.1436	0.0061	1.7483	0.0095	2.3321	0.0129	2.8950	0.0163	
5	1.1617	0.0062	1.7658	0.0096	2.3489	0.0130	2.9112	0.0164	
6	1.1798	0.0063	1.7832	0.0097	2.3658	0.0131	2.9274	0.0165	
7	1.1978	0.0064	1.8006	0.0098	2.3826	0.0132	2.9436	0.0166	
8	1.2158	0.0065	1.8180	0.0099	2.3994	0.0133	2.9598	0.0167	
9	1.2338	0.0066	1.8354	0.0100	2.4162	0.0134	2.9760	0.0168	
10	1.2518	0.0067	1.8528	0.0101	2.4329	0.0135	2.9921	0.0169	
11	1.2698	0.0068	1.8702	0.0102	2.4497	0.0136	3.0083	0.0170	
12	1.2878	0.0069	1.8875	0.0103	2.4664	0.0137	3.0244	0.0171	
13	1.3057	0.0070	1.9048	0.0104	2.4831	0.0138	3.0405	0.0172	
14	1.3236	0.0071	1.9222	0.0105	2.4998	0.0139	3.0565	0.0173	
15	1.3415	0.0072	1.9394	0.0106	2.5165	0.0140	3.0726	0.0174	
16	1.3594	0.0073	1.9567	0.0107	2.5331	0.0141	3.0886	0.0175	
17	1.3773	0.0074	1.9740	0.0108	2.5498	0.0142	3.1047	0.0176	
18	1.3951	0.0075	1.9912	0.0109	2.5664	0.0143	3.1207	0.0177	
19	1.4130	0.0076	2.0084	0.0110	2.5830	0.0144	3.1367	0.0178	
20	1.4308	0.0077	2.0256	0.0111	2.5996	0.0145	3.1526	0.0179	
21	1.4486	0.0078	2.0428	0.0112	2.6161	0.0146	3.1686	0.0180	
22	1.4663	0.0079	2.0599	0.0113	2.6327	0.0147	3.1845	0.0181	
23	1.4841	0.0080	2.0771	0.0114	2.6492	0.0148	3.2004	0.0182	
24	1.5018	0.0081	2.0942	0.0115	2.6657	0.0149	3.2163	0.0183	
25	1.5196	0.0082	2.1113	0.0116	2.6822	0.0150	3.2322	0.0184	
26	1.5373	0.0083	2.1284	0.0117	2.6987	0.0151	3.2481	0.0185	
27	1.5549	0.0084	2.1455	0.0118	2.7151	0.0152	3.2639	0.0186	
28	1.5726	0.0085	2.1625	0.0119	2.7316	0.0153	3.2797	0.0187	
29	1.5903	0.0086	2.1796	0.0120	2.7480	0.0154	3.2955	0.0188	
30	1.6079	0.0087	2.1966	0.0121	2.7644	0.0155	3.3113	0.0189	
31	1.6255	0.0088	2.2136	0.0122	2.7808	0.0156	3.3271	0.0190	
32	1.6431	0.0089	2.2306	0.0123	2.7971	0.0157	3.3428	0.0191	
33	1.6607	0.0090	2.2475	0.0124	2.8135	0.0158	3.3586	0.0192	
34	1.6782	0.0091	2.2645	0.0125	2.8298	0.0159	3.3743	0.0193	

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$

$\rho_{min} =$

$\rho_{max} =$

0.85

0.0058

0.0406

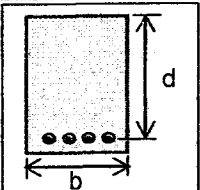
Catatan :

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

A_{st} [mm²]

Lampiran A.9b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		30 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b*d)$	
1	3.3900	0.0194	3.9129	0.0228	4.4150	0.0262	4.8962	0.0296	
2	3.4057	0.0195	3.9280	0.0229	4.4295	0.0263	4.9100	0.0297	
3	3.4213	0.0196	3.9430	0.0230	4.4439	0.0264	4.9238	0.0298	
4	3.4370	0.0197	3.9581	0.0231	4.4583	0.0265	4.9376	0.0299	
5	3.4526	0.0198	3.9731	0.0232	4.4727	0.0266	4.9514	0.0300	
6	3.4682	0.0199	3.9881	0.0233	4.4871	0.0267	4.9652	0.0301	
7	3.4838	0.0200	4.0031	0.0234	4.5014	0.0268	4.9789	0.0302	
8	3.4994	0.0201	4.0180	0.0235	4.5158	0.0269	4.9927	0.0303	
9	3.5149	0.0202	4.0329	0.0236	4.5301	0.0270	5.0064	0.0304	
10	3.5304	0.0203	4.0479	0.0237	4.5444	0.0271	5.0201	0.0305	
11	3.5460	0.0204	4.0628	0.0238	4.5587	0.0272	5.0337	0.0306	
12	3.5615	0.0205	4.0777	0.0239	4.5730	0.0273	5.0474	0.0307	
13	3.5769	0.0206	4.0925	0.0240	4.5872	0.0274	5.0610	0.0308	
14	3.5924	0.0207	4.1074	0.0241	4.6014	0.0275	5.0746	0.0309	
15	3.6078	0.0208	4.1222	0.0242	4.6157	0.0276	5.0882	0.0310	
16	3.6233	0.0209	4.1370	0.0243	4.6299	0.0277	5.1018	0.0311	
17	3.6387	0.0210	4.1518	0.0244	4.6440	0.0278	5.1154	0.0312	
18	3.6541	0.0211	4.1666	0.0245	4.6582	0.0279	5.1289	0.0313	
19	3.6694	0.0212	4.1813	0.0246	4.6723	0.0280	5.1425	0.0314	
20	3.6848	0.0213	4.1961	0.0247	4.6865	0.0281	5.1560	0.0315	
21	3.7001	0.0214	4.2108	0.0248	4.7006	0.0282	5.1695	0.0316	
22	3.7154	0.0215	4.2255	0.0249	4.7147	0.0283	5.1829	0.0317	
23	3.7307	0.0216	4.2402	0.0250	4.7287	0.0284	5.1964	0.0318	
24	3.7460	0.0217	4.2549	0.0251	4.7428	0.0285	5.2098	0.0319	
25	3.7613	0.0218	4.2695	0.0252	4.7568	0.0286	5.2233	0.0320	
26	3.7765	0.0219	4.2841	0.0253	4.7708	0.0287	5.2367	0.0321	
27	3.7918	0.0220	4.2987	0.0254	4.7848	0.0288	5.2500	0.0322	
28	3.8070	0.0221	4.3133	0.0255	4.7988	0.0289	5.2634	0.0323	
29	3.8222	0.0222	4.3279	0.0256	4.8128	0.0290	5.2768	0.0324	
30	3.8373	0.0223	4.3425	0.0257	4.8267	0.0291	5.2901	0.0325	
31	3.8525	0.0224	4.3570	0.0258	4.8407	0.0292	5.3034	0.0326	
32	3.8676	0.0225	4.3715	0.0259	4.8546	0.0293	5.3167	0.0327	
33	3.8828	0.0226	4.3860	0.0260	4.8685	0.0294	5.3300	0.0328	
34	3.8979	0.0227	4.4005	0.0261	4.8823	0.0295	5.3432	0.0329	

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$

0.85

$\rho_{min} =$

0.0058

$\rho_{max} =$

0.0406

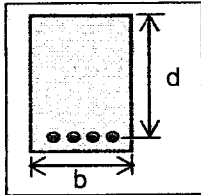
Catatan :

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

A_{st} [mm2]

Lampiran A.9c Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

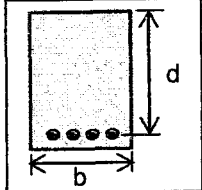
$f_c' =$		30 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	5.3565	0.0330	5.6046	0.0349	5.8462	0.0368	6.0813	0.0387	
2	5.3697	0.0331	5.6175	0.0350	5.8587	0.0369	6.0935	0.0388	
3	5.3829	0.0332	5.6303	0.0351	5.8712	0.0370	6.1056	0.0389	
4	5.3961	0.0333	5.6432	0.0352	5.8837	0.0371	6.1178	0.0390	
5	5.4092	0.0334	5.6560	0.0353	5.8962	0.0372	6.1299	0.0391	
6	5.4224	0.0335	5.6688	0.0354	5.9087	0.0373	6.1420	0.0392	
7	5.4355	0.0336	5.6816	0.0355	5.9211	0.0374	6.1541	0.0393	
8	5.4486	0.0337	5.6944	0.0356	5.9336	0.0375	6.1662	0.0394	
9	5.4617	0.0338	5.7071	0.0357	5.9460	0.0376	6.1783	0.0395	
10	5.4748	0.0339	5.7198	0.0358	5.9584	0.0377	6.1903	0.0396	
11	5.4879	0.0340	5.7326	0.0359	5.9707	0.0378	6.2024	0.0397	
12	5.5009	0.0341	5.7453	0.0360	5.9831	0.0379	6.2144	0.0398	
13	5.5139	0.0342	5.7579	0.0361	5.9954	0.0380	6.2264	0.0399	
14	5.5269	0.0343	5.7706	0.0362	6.0077	0.0381	6.2383	0.0400	
15	5.5399	0.0344	5.7832	0.0363	6.0200	0.0382	6.2503	0.0401	
16	5.5529	0.0345	5.7959	0.0364	6.0323	0.0383	6.2622	0.0402	
17	5.5658	0.0346	5.8085	0.0365	6.0446	0.0384	6.2742	0.0403	
18	5.5788	0.0347	5.8211	0.0366	6.0568	0.0385	6.2861	0.0404	
19	5.5917	0.0348	5.8336	0.0367	6.0691	0.0386	6.2979	0.0405	

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$
 $\rho_{min} =$
 $\rho_{max} =$

0.85
0.0058
0.0406

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Lampiran A.10a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		35 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.1538	0.0062	1.7652	0.0096	2.3587	0.0130	2.9343	0.0164	
2	1.1720	0.0063	1.7829	0.0097	2.3759	0.0131	2.9509	0.0165	
3	1.1903	0.0064	1.8006	0.0098	2.3930	0.0132	2.9676	0.0166	
4	1.2085	0.0065	1.8183	0.0099	2.4102	0.0133	2.9842	0.0167	
5	1.2267	0.0066	1.8359	0.0100	2.4273	0.0134	3.0008	0.0168	
6	1.2448	0.0067	1.8536	0.0101	2.4445	0.0135	3.0174	0.0169	
7	1.2630	0.0068	1.8712	0.0102	2.4616	0.0136	3.0340	0.0170	
8	1.2811	0.0069	1.8889	0.0103	2.4787	0.0137	3.0505	0.0171	
9	1.2993	0.0070	1.9065	0.0104	2.4957	0.0138	3.0671	0.0172	
10	1.3174	0.0071	1.9240	0.0105	2.5128	0.0139	3.0836	0.0173	
11	1.3355	0.0072	1.9416	0.0106	2.5298	0.0140	3.1001	0.0174	
12	1.3536	0.0073	1.9592	0.0107	2.5469	0.0141	3.1167	0.0175	
13	1.3716	0.0074	1.9767	0.0108	2.5639	0.0142	3.1331	0.0176	
14	1.3897	0.0075	1.9942	0.0109	2.5809	0.0143	3.1496	0.0177	
15	1.4077	0.0076	2.0117	0.0110	2.5979	0.0144	3.1661	0.0178	
16	1.4257	0.0077	2.0292	0.0111	2.6148	0.0145	3.1825	0.0179	
17	1.4437	0.0078	2.0467	0.0112	2.6318	0.0146	3.1989	0.0180	
18	1.4617	0.0079	2.0642	0.0113	2.6487	0.0147	3.2153	0.0181	
19	1.4797	0.0080	2.0816	0.0114	2.6656	0.0148	3.2317	0.0182	
20	1.4977	0.0081	2.0991	0.0115	2.6825	0.0149	3.2481	0.0183	
21	1.5156	0.0082	2.1165	0.0116	2.6994	0.0150	3.2645	0.0184	
22	1.5335	0.0083	2.1339	0.0117	2.7163	0.0151	3.2808	0.0185	
23	1.5515	0.0084	2.1513	0.0118	2.7332	0.0152	3.2972	0.0186	
24	1.5694	0.0085	2.1686	0.0119	2.7500	0.0153	3.3135	0.0187	
25	1.5872	0.0086	2.1860	0.0120	2.7668	0.0154	3.3298	0.0188	
26	1.6051	0.0087	2.2033	0.0121	2.7837	0.0155	3.3461	0.0189	
27	1.6230	0.0088	2.2207	0.0122	2.8004	0.0156	3.3623	0.0190	
28	1.6408	0.0089	2.2380	0.0123	2.8172	0.0157	3.3786	0.0191	
29	1.6586	0.0090	2.2553	0.0124	2.8340	0.0158	3.3948	0.0192	
30	1.6764	0.0091	2.2725	0.0125	2.8507	0.0159	3.4111	0.0193	
31	1.6942	0.0092	2.2898	0.0126	2.8675	0.0160	3.4273	0.0194	
32	1.7120	0.0093	2.3070	0.0127	2.8842	0.0161	3.4435	0.0195	
33	1.7297	0.0094	2.3243	0.0128	2.9009	0.0162	3.4596	0.0196	
34	1.7475	0.0095	2.3415	0.0129	2.9176	0.0163	3.4758	0.0197	
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$					0.81				
$\rho_{min} =$					0.0062				
$\rho_{max} =$					0.0452				
Catatan :					batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$				
Satuan :					M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]				
					A_{st} [mm ²]				

Lampiran A.10b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$ 35 MPa

$f_y =$ 240 MPa

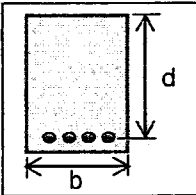
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$
1	3.4758	0.0197	4.0161	0.0231	4.5385	0.0265	5.0430	0.0299
2	3.4919	0.0198	4.0317	0.0232	4.5536	0.0266	5.0575	0.0300
3	3.5081	0.0199	4.0473	0.0233	4.5687	0.0267	5.0721	0.0301
4	3.5242	0.0200	4.0629	0.0234	4.5837	0.0268	5.0866	0.0302
5	3.5403	0.0201	4.0785	0.0235	4.5988	0.0269	5.1012	0.0303
6	3.5564	0.0202	4.0940	0.0236	4.6138	0.0270	5.1157	0.0304
7	3.5724	0.0203	4.1096	0.0237	4.6288	0.0271	5.1301	0.0305
8	3.5885	0.0204	4.1251	0.0238	4.6438	0.0272	5.1446	0.0306
9	3.6045	0.0205	4.1406	0.0239	4.6588	0.0273	5.1591	0.0307
10	3.6206	0.0206	4.1561	0.0240	4.6738	0.0274	5.1735	0.0308
11	3.6366	0.0207	4.1716	0.0241	4.6887	0.0275	5.1879	0.0309
12	3.6526	0.0208	4.1871	0.0242	4.7037	0.0276	5.2024	0.0310
13	3.6685	0.0209	4.2025	0.0243	4.7186	0.0277	5.2168	0.0311
14	3.6845	0.0210	4.2180	0.0244	4.7335	0.0278	5.2311	0.0312
15	3.7004	0.0211	4.2334	0.0245	4.7484	0.0279	5.2455	0.0313
16	3.7164	0.0212	4.2488	0.0246	4.7633	0.0280	5.2599	0.0314
17	3.7323	0.0213	4.2642	0.0247	4.7781	0.0281	5.2742	0.0315
18	3.7482	0.0214	4.2795	0.0248	4.7930	0.0282	5.2885	0.0316
19	3.7641	0.0215	4.2949	0.0249	4.8078	0.0283	5.3028	0.0317
20	3.7799	0.0216	4.3102	0.0250	4.8226	0.0284	5.3171	0.0318
21	3.7958	0.0217	4.3256	0.0251	4.8374	0.0285	5.3314	0.0319
22	3.8116	0.0218	4.3409	0.0252	4.8522	0.0286	5.3456	0.0320
23	3.8274	0.0219	4.3562	0.0253	4.8670	0.0287	5.3599	0.0321
24	3.8433	0.0220	4.3714	0.0254	4.8817	0.0288	5.3741	0.0322
25	3.8590	0.0221	4.3867	0.0255	4.8965	0.0289	5.3883	0.0323
26	3.8748	0.0222	4.4020	0.0256	4.9112	0.0290	5.4025	0.0324
27	3.8906	0.0223	4.4172	0.0257	4.9259	0.0291	5.4167	0.0325
28	3.9063	0.0224	4.4324	0.0258	4.9406	0.0292	5.4308	0.0326
29	3.9221	0.0225	4.4476	0.0259	4.9553	0.0293	5.4450	0.0327
30	3.9378	0.0226	4.4628	0.0260	4.9699	0.0294	5.4591	0.0328
31	3.9535	0.0227	4.4780	0.0261	4.9846	0.0295	5.4732	0.0329
32	3.9691	0.0228	4.4931	0.0262	4.9992	0.0296	5.4873	0.0330
33	3.9848	0.0229	4.5083	0.0263	5.0138	0.0297	5.5014	0.0331
34	4.0005	0.0230	4.5234	0.0264	5.0284	0.0298	5.5155	0.0332

Catatan :

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$ 0.81
 $\rho_{min} =$ 0.0062
 $\rho_{max} =$ 0.0452

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Lampiran A.10c Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		35 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	5.5296	0.0333	5.9982	0.0367	6.4490	0.0401	6.8819	0.0435	
2	5.5436	0.0334	6.0118	0.0368	6.4620	0.0402	6.8943	0.0436	
3	5.5576	0.0335	6.0252	0.0369	6.4750	0.0403	6.9068	0.0437	
4	5.5716	0.0336	6.0387	0.0370	6.4879	0.0404	6.9192	0.0438	
5	5.5856	0.0337	6.0522	0.0371	6.5009	0.0405	6.9316	0.0439	
6	5.5996	0.0338	6.0657	0.0372	6.5138	0.0406	6.9440	0.0440	
7	5.6136	0.0339	6.0791	0.0373	6.5267	0.0407	6.9564	0.0441	
8	5.6275	0.0340	6.0925	0.0374	6.5396	0.0408	6.9688	0.0442	
9	5.6414	0.0341	6.1059	0.0375	6.5525	0.0409	6.9811	0.0443	
10	5.6554	0.0342	6.1193	0.0376	6.5653	0.0410	6.9935	0.0444	
11	5.6693	0.0343	6.1327	0.0377	6.5782	0.0411	7.0058	0.0445	
12	5.6832	0.0344	6.1460	0.0378	6.5910	0.0412	7.0181	0.0446	
13	5.6970	0.0345	6.1594	0.0379	6.6038	0.0413	7.0304	0.0447	
14	5.7109	0.0346	6.1727	0.0380	6.6166	0.0414	7.0427	0.0448	
15	5.7247	0.0347	6.1860	0.0381	6.6294	0.0415	7.0549	0.0449	
16	5.7385	0.0348	6.1993	0.0382	6.6422	0.0416	7.0672	0.0450	
17	5.7523	0.0349	6.2126	0.0383	6.6549	0.0417	7.0794	0.0451	
18	5.7661	0.0350	6.2259	0.0384	6.6677	0.0418	7.0916	0.0452	
19	5.7799	0.0351	6.2391	0.0385	6.6804	0.0419	7.1038	0.0453	
20	5.7937	0.0352	6.2523	0.0386	6.6931	0.0420			
21	5.8074	0.0353	6.2656	0.0387	6.7058	0.0421			
22	5.8212	0.0354	6.2788	0.0388	6.7185	0.0422			
23	5.8349	0.0355	6.2920	0.0389	6.7311	0.0423			
24	5.8486	0.0356	6.3051	0.0390	6.7438	0.0424			
25	5.8623	0.0357	6.3183	0.0391	6.7564	0.0425			
26	5.8759	0.0358	6.3314	0.0392	6.7690	0.0426			
27	5.8896	0.0359	6.3446	0.0393	6.7816	0.0427			
28	5.9032	0.0360	6.3577	0.0394	6.7942	0.0428			
29	5.9168	0.0361	6.3708	0.0395	6.8068	0.0429			
30	5.9304	0.0362	6.3838	0.0396	6.8193	0.0430			
31	5.9440	0.0363	6.3969	0.0397	6.8319	0.0431			
32	5.9576	0.0364	6.4100	0.0398	6.8444	0.0432			
33	5.9712	0.0365	6.4230	0.0399	6.8569	0.0433			
34	5.9847	0.0366	6.4360	0.0400	6.8694	0.0434			

$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$

0.81

$\rho_{min} =$

0.0062

$\rho_{max} =$

0.0452

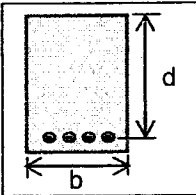
Catatan :

batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$

Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]

A_{st} [mm²]

Lampiran A.11a Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		40 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	1.2355	0.0066	1.8501	0.0100	2.4490	0.0134	3.0323	0.0168	
2	1.2538	0.0067	1.8679	0.0101	2.4664	0.0135	3.0492	0.0169	
3	1.2721	0.0068	1.8858	0.0102	2.4838	0.0136	3.0661	0.0170	
4	1.2904	0.0069	1.9036	0.0103	2.5011	0.0137	3.0830	0.0171	
5	1.3086	0.0070	1.9214	0.0104	2.5185	0.0138	3.0999	0.0172	
6	1.3269	0.0071	1.9392	0.0105	2.5358	0.0139	3.1168	0.0173	
7	1.3451	0.0072	1.9569	0.0106	2.5531	0.0140	3.1336	0.0174	
8	1.3633	0.0073	1.9747	0.0107	2.5704	0.0141	3.1505	0.0175	
9	1.3815	0.0074	1.9924	0.0108	2.5877	0.0142	3.1673	0.0176	
10	1.3997	0.0075	2.0102	0.0109	2.6050	0.0143	3.1841	0.0177	
11	1.4179	0.0076	2.0279	0.0110	2.6222	0.0144	3.2009	0.0178	
12	1.4361	0.0077	2.0456	0.0111	2.6395	0.0145	3.2177	0.0179	
13	1.4542	0.0078	2.0633	0.0112	2.6567	0.0146	3.2344	0.0180	
14	1.4723	0.0079	2.0810	0.0113	2.6739	0.0147	3.2512	0.0181	
15	1.4905	0.0080	2.0986	0.0114	2.6911	0.0148	3.2679	0.0182	
16	1.5086	0.0081	2.1163	0.0115	2.7083	0.0149	3.2847	0.0183	
17	1.5267	0.0082	2.1339	0.0116	2.7255	0.0150	3.3014	0.0184	
18	1.5448	0.0083	2.1515	0.0117	2.7426	0.0151	3.3181	0.0185	
19	1.5628	0.0084	2.1691	0.0118	2.7598	0.0152	3.3348	0.0186	
20	1.5809	0.0085	2.1867	0.0119	2.7769	0.0153	3.3514	0.0187	
21	1.5989	0.0086	2.2043	0.0120	2.7940	0.0154	3.3681	0.0188	
22	1.6170	0.0087	2.2219	0.0121	2.8112	0.0155	3.3848	0.0189	
23	1.6350	0.0088	2.2394	0.0122	2.8283	0.0156	3.4014	0.0190	
24	1.6530	0.0089	2.2570	0.0123	2.8453	0.0157	3.4180	0.0191	
25	1.6710	0.0090	2.2745	0.0124	2.8624	0.0158	3.4346	0.0192	
26	1.6889	0.0091	2.2920	0.0125	2.8795	0.0159	3.4512	0.0193	
27	1.7069	0.0092	2.3095	0.0126	2.8965	0.0160	3.4678	0.0194	
28	1.7249	0.0093	2.3270	0.0127	2.9135	0.0161	3.4844	0.0195	
29	1.7428	0.0094	2.3445	0.0128	2.9305	0.0162	3.5009	0.0196	
30	1.7607	0.0095	2.3620	0.0129	2.9475	0.0163	3.5174	0.0197	
31	1.7786	0.0096	2.3794	0.0130	2.9645	0.0164	3.5340	0.0198	
32	1.7965	0.0097	2.3968	0.0131	2.9815	0.0165	3.5505	0.0199	
33	1.8144	0.0098	2.4143	0.0132	2.9984	0.0166	3.5670	0.0200	
34	1.8323	0.0099	2.4317	0.0133	3.0154	0.0167	3.5835	0.0201	

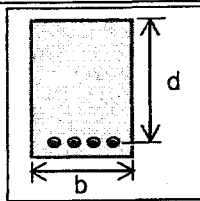
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$ 0.77

$\rho_{min} =$ 0.0066

$\rho_{max} =$ 0.0491

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Lampiran A.11b Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' =$		40 MPa		$f_y =$		240 MPa			
No	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_{st}/(b \cdot d)$	
1	3.5999	0.0202	4.1519	0.0236	4.6881	0.0270	5.2087	0.0304	
2	3.6164	0.0203	4.1679	0.0237	4.7037	0.0271	5.2238	0.0305	
3	3.6328	0.0204	4.1838	0.0238	4.7192	0.0272	5.2389	0.0306	
4	3.6493	0.0205	4.1998	0.0239	4.7347	0.0273	5.2539	0.0307	
5	3.6657	0.0206	4.2158	0.0240	4.7502	0.0274	5.2690	0.0308	
6	3.6821	0.0207	4.2317	0.0241	4.7657	0.0275	5.2840	0.0309	
7	3.6985	0.0208	4.2476	0.0242	4.7812	0.0276	5.2990	0.0310	
8	3.7148	0.0209	4.2636	0.0243	4.7966	0.0277	5.3140	0.0311	
9	3.7312	0.0210	4.2795	0.0244	4.8120	0.0278	5.3290	0.0312	
10	3.7476	0.0211	4.2953	0.0245	4.8275	0.0279	5.3439	0.0313	
11	3.7639	0.0212	4.3112	0.0246	4.8429	0.0280	5.3589	0.0314	
12	3.7802	0.0213	4.3271	0.0247	4.8583	0.0281	5.3738	0.0315	
13	3.7965	0.0214	4.3429	0.0248	4.8737	0.0282	5.3888	0.0316	
14	3.8128	0.0215	4.3588	0.0249	4.8890	0.0283	5.4037	0.0317	
15	3.8291	0.0216	4.3746	0.0250	4.9044	0.0284	5.4186	0.0318	
16	3.8454	0.0217	4.3904	0.0251	4.9198	0.0285	5.4334	0.0319	
17	3.8616	0.0218	4.4062	0.0252	4.9351	0.0286	5.4483	0.0320	
18	3.8779	0.0219	4.4220	0.0253	4.9504	0.0287	5.4632	0.0321	
19	3.8941	0.0220	4.4377	0.0254	4.9657	0.0288	5.4780	0.0322	
20	3.9103	0.0221	4.4535	0.0255	4.9810	0.0289	5.4929	0.0323	
21	3.9265	0.0222	4.4692	0.0256	4.9963	0.0290	5.5077	0.0324	
22	3.9427	0.0223	4.4849	0.0257	5.0115	0.0291	5.5225	0.0325	
23	3.9589	0.0224	4.5007	0.0258	5.0268	0.0292	5.5373	0.0326	
24	3.9750	0.0225	4.5164	0.0259	5.0420	0.0293	5.5520	0.0327	
25	3.9912	0.0226	4.5320	0.0260	5.0573	0.0294	5.5668	0.0328	
26	4.0073	0.0227	4.5477	0.0261	5.0725	0.0295	5.5816	0.0329	
27	4.0234	0.0228	4.5634	0.0262	5.0877	0.0296	5.5963	0.0330	
28	4.0395	0.0229	4.5790	0.0263	5.1028	0.0297	5.6110	0.0331	
29	4.0556	0.0230	4.5946	0.0264	5.1180	0.0298	5.6257	0.0332	
30	4.0717	0.0231	4.6103	0.0265	5.1332	0.0299	5.6404	0.0333	
31	4.0877	0.0232	4.6259	0.0266	5.1483	0.0300	5.6551	0.0334	
32	4.1038	0.0233	4.6415	0.0267	5.1634	0.0301	5.6698	0.0335	
33	4.1198	0.0234	4.6570	0.0268	5.1786	0.0302	5.6844	0.0336	
34	4.1359	0.0235	4.6726	0.0269	5.1937	0.0303	5.6991	0.0337	

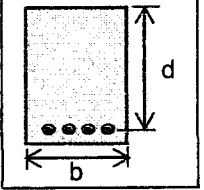
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) =$ 0.77

$\rho_{min} =$ 0.0066

$\rho_{max} =$ 0.0491

Catatan :
batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$
Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]
 A_{st} [mm²]

Lampiran A.11c Nilai persentase tulangan baja, A_s/bd , berdasarkan momen desain (M_u) untuk penampang persegi tulangan tunggal dengan b = lebar balok dan d = tinggi efektif balok

$f_c' = 40 \text{ MPa}$ $f_y = 240 \text{ MPa}$ 								
No	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$	$M_u/(bd^2)$	$A_s/(b \cdot d)$
1	5.7137	0.0338	6.2030	0.0372	6.6766	0.0406	7.1345	0.0440
2	5.7283	0.0339	6.2171	0.0373	6.6903	0.0407	7.1477	0.0441
3	5.7429	0.0340	6.2312	0.0374	6.7039	0.0408	7.1609	0.0442
4	5.7575	0.0341	6.2454	0.0375	6.7176	0.0409	7.1742	0.0443
5	5.7721	0.0342	6.2595	0.0376	6.7312	0.0410	7.1873	0.0444
6	5.7866	0.0343	6.2736	0.0377	6.7449	0.0411	7.2005	0.0445
7	5.8012	0.0344	6.2877	0.0378	6.7585	0.0412	7.2137	0.0446
8	5.8157	0.0345	6.3017	0.0379	6.7721	0.0413	7.2268	0.0447
9	5.8302	0.0346	6.3158	0.0380	6.7857	0.0414	7.2400	0.0448
10	5.8447	0.0347	6.3298	0.0381	6.7993	0.0415	7.2531	0.0449
11	5.8592	0.0348	6.3439	0.0382	6.8129	0.0416	7.2662	0.0450
12	5.8737	0.0349	6.3579	0.0383	6.8264	0.0417	7.2793	0.0451
13	5.8882	0.0350	6.3719	0.0384	6.8400	0.0418	7.2924	0.0452
14	5.9026	0.0351	6.3859	0.0385	6.8535	0.0419	7.3055	0.0453
15	5.9170	0.0352	6.3999	0.0386	6.8670	0.0420	7.3185	0.0454
16	5.9315	0.0353	6.4138	0.0387	6.8805	0.0421	7.3315	0.0455
17	5.9459	0.0354	6.4278	0.0388	6.8940	0.0422	7.3446	0.0456
18	5.9603	0.0355	6.4417	0.0389	6.9075	0.0423	7.3576	0.0457
19	5.9747	0.0356	6.4556	0.0390	6.9209	0.0424	7.3706	0.0458
20	5.9890	0.0357	6.4695	0.0391	6.9344	0.0425	7.3836	0.0459
21	6.0034	0.0358	6.4834	0.0392	6.9478	0.0426	7.3966	0.0460
22	6.0177	0.0359	6.4973	0.0393	6.9613	0.0427	7.4095	0.0461
23	6.0321	0.0360	6.5112	0.0394	6.9747	0.0428	7.4225	0.0462
24	6.0464	0.0361	6.5251	0.0395	6.9881	0.0429	7.4354	0.0463
25	6.0607	0.0362	6.5389	0.0396	7.0014	0.0430	7.4483	0.0464
26	6.0750	0.0363	6.5527	0.0397	7.0148	0.0431	7.4612	0.0465
27	6.0892	0.0364	6.5665	0.0398	7.0282	0.0432	7.4741	0.0466
28	6.1035	0.0365	6.5803	0.0399	7.0415	0.0433	7.4870	0.0467
29	6.1178	0.0366	6.5941	0.0400	7.0548	0.0434	7.4999	0.0468
30	6.1320	0.0367	6.6079	0.0401	7.0681	0.0435	7.5127	0.0469
31	6.1462	0.0368	6.6217	0.0402	7.0814	0.0436	7.5255	0.0470
32	6.1604	0.0369	6.6354	0.0403	7.0947	0.0437	7.5384	0.0471
33	6.1746	0.0370	6.6491	0.0404	7.1080	0.0438	7.5512	0.0472
34	6.1888	0.0371	6.6629	0.0405	7.1213	0.0439	7.5640	0.0473
<p>Catatan :</p> <p>$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) = 0.77$</p> <p>$\rho_{min} = 0.0066$</p> <p>$\rho_{max} = 0.0491$</p> <p>batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$</p> <p>Satuan : M_u [N*mm]; b [mm]; d [mm]</p> <p>A_s [mm²]</p>								

Lampiran B.1 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd
untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

fc = 20 MPa															
fy = 400 MPa															
r = As'/As =		25%		50%		75%		80%		85%		90%		95%	
No	Ast/(b*d)	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
1	0.0035	0.062	1.012	0.041	1.024	0.021	1.034	0.016	1.036	0.012	1.038	0.008	1.039	0.004	1.041
2	0.0039	0.069	1.014	0.046	1.027	0.023	1.038	0.018	1.040	0.014	1.042	0.009	1.044	0.005	1.046
3	0.0043	0.076	1.015	0.050	1.029	0.025	1.042	0.020	1.044	0.015	1.047	0.010	1.049	0.005	1.051
4	0.0047	0.082	1.017	0.055	1.032	0.027	1.046	0.022	1.049	0.016	1.051	0.011	1.053	0.005	1.056
5	0.0051	0.089	1.018	0.060	1.035	0.030	1.050	0.024	1.053	0.018	1.056	0.012	1.058	0.006	1.061
6	0.0055	0.096	1.020	0.064	1.038	0.032	1.054	0.026	1.057	0.019	1.060	0.013	1.063	0.006	1.066
7	0.0058	0.103	1.021	0.069	1.041	0.034	1.058	0.027	1.062	0.021	1.065	0.014	1.068	0.007	1.071
8	0.0062	0.110	1.023	0.073	1.044	0.037	1.063	0.029	1.066	0.022	1.069	0.015	1.073	0.007	1.076
9	0.0066	0.117	1.025	0.078	1.047	0.039	1.067	0.031	1.070	0.023	1.074	0.016	1.078	0.008	1.081
10	0.0070	0.124	1.026	0.082	1.050	0.041	1.071	0.033	1.075	0.025	1.079	0.016	1.083	0.008	1.086
11	0.0074	0.131	1.028	0.087	1.053	0.044	1.075	0.035	1.080	0.026	1.084	0.017	1.088	0.009	1.092
12	0.0078	0.137	1.029	0.092	1.056	0.046	1.080	0.037	1.084	0.027	1.089	0.018	1.093	0.009	1.097
13	0.0082	0.144	1.031	0.096	1.059	0.048	1.084	0.038	1.089	0.029	1.093	0.019	1.098	0.010	1.102
14	0.0086	0.151	1.033	0.101	1.062	0.050	1.089	0.040	1.094	0.030	1.098	0.020	1.103	0.010	1.108
15	0.0090	0.158	1.034	0.105	1.065	0.053	1.093	0.042	1.098	0.032	1.103	0.021	1.108	0.011	1.113
16	0.0094	0.165	1.036	0.110	1.068	0.055	1.098	0.044	1.103	0.033	1.108	0.022	1.114	0.011	1.119
17	0.0097	0.172	1.038	0.115	1.072	0.057	1.102	0.046	1.108	0.034	1.114	0.023	1.119	0.011	1.124
18	0.0101	0.179	1.039	0.119	1.075	0.060	1.107	0.048	1.113	0.036	1.119	0.024	1.124	0.012	1.130
19	0.0105	0.186	1.041	0.124	1.078	0.062	1.112	0.050	1.118	0.037	1.124	0.025	1.130	0.012	1.136
20	0.0109	0.193	1.043	0.128	1.082	0.064	1.116	0.051	1.123	0.039	1.129	0.026	1.135	0.013	1.141
21	0.0113	0.199	1.045	0.133	1.085	0.066	1.121	0.053	1.128	0.040	1.135	0.027	1.141	0.013	1.147
22	0.0117	0.206	1.046	0.138	1.088	0.069	1.126	0.055	1.133	0.041	1.140	0.028	1.147	0.014	1.153
23	0.0121	0.213	1.048	0.142	1.092	0.071	1.131	0.057	1.138	0.043	1.145	0.028	1.152	0.014	1.159
24	0.0125	0.220	1.050	0.147	1.095	0.073	1.136	0.059	1.143	0.044	1.151	0.029	1.158	0.015	1.165
25	0.0129	0.227	1.052	0.151	1.099	0.076	1.141	0.061	1.149	0.045	1.156	0.030	1.164	0.015	1.171
26	0.0133	0.234	1.054	0.156	1.102	0.078	1.146	0.062	1.154	0.047	1.162	0.031	1.170	0.016	1.177
27	0.0136	0.241	1.056	0.160	1.106	0.080	1.151	0.064	1.160	0.048	1.168	0.032	1.176	0.016	1.184
28	0.0140	0.248	1.057	0.165	1.110	0.083	1.156	0.066	1.165	0.050	1.173	0.033	1.182	0.017	1.190
29	0.0144	0.254	1.059	0.170	1.113	0.085	1.161	0.068	1.170	0.051	1.179	0.034	1.188	0.017	1.196
30	0.0148	0.261	1.061	0.174	1.117	0.087	1.167	0.070	1.176	0.052	1.185	0.035	1.194	0.017	1.203
31	0.0152	0.268	1.063	0.179	1.121	0.089	1.172	0.072	1.182	0.054	1.191	0.036	1.200	0.018	1.209
32	0.0156	0.275	1.065	0.183	1.124	0.092	1.178	0.073	1.187	0.055	1.197	0.037	1.207	0.018	1.216
33	0.0160	0.282	1.067	0.188	1.128	0.094	1.183	0.075	1.193	0.056	1.203	0.038	1.213	0.019	1.222
34	0.0164	0.289	1.069	0.193	1.132	0.096	1.189	0.077	1.199	0.058	1.209	0.039	1.219	0.019	1.229
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) = 0,85$		Catatan :													
$\rho_{min} = 0,0035$		Momen nominal tul. Ganda, $M_n = Kvd M_n$													
$\rho_{max} = 0,0163$		batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$													
$d'/a \leq 0,392$		Satuan : b [mm]; d [mm]; Ast [mm ²]													
$a = (Ast - As') * fy / (0,85 * f_c' * b)$															

Lampiran B.2 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd
untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

fc = 25 MPa fy = 400 MPa r = As'/As =															
		25%		50%		75%		80%		85%		90%		95%	
No	Ast/(b*d)	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
1	0.0035	0.049	1.010	0.033	1.019	0.016	1.027	0.013	1.028	0.010	1.030	0.007	1.031	0.003	1.033
2	0.0040	0.057	1.011	0.038	1.022	0.019	1.031	0.015	1.033	0.011	1.034	0.008	1.036	0.004	1.038
3	0.0045	0.064	1.013	0.043	1.025	0.021	1.035	0.017	1.037	0.013	1.039	0.009	1.041	0.004	1.043
4	0.0050	0.071	1.014	0.047	1.028	0.024	1.039	0.019	1.041	0.014	1.044	0.009	1.046	0.005	1.048
5	0.0055	0.078	1.016	0.052	1.030	0.026	1.043	0.021	1.046	0.016	1.048	0.010	1.051	0.005	1.053
6	0.0061	0.085	1.018	0.057	1.033	0.028	1.048	0.023	1.050	0.017	1.053	0.011	1.056	0.006	1.058
7	0.0066	0.093	1.019	0.062	1.036	0.031	1.052	0.025	1.055	0.019	1.058	0.012	1.061	0.006	1.063
8	0.0071	0.100	1.021	0.067	1.039	0.033	1.056	0.027	1.059	0.020	1.063	0.013	1.066	0.007	1.068
9	0.0076	0.107	1.022	0.071	1.043	0.036	1.061	0.029	1.064	0.021	1.067	0.014	1.071	0.007	1.074
10	0.0081	0.114	1.024	0.076	1.046	0.038	1.065	0.030	1.069	0.023	1.072	0.015	1.076	0.008	1.079
11	0.0086	0.121	1.026	0.081	1.049	0.040	1.070	0.032	1.073	0.024	1.077	0.016	1.081	0.008	1.085
12	0.0091	0.129	1.027	0.086	1.052	0.043	1.074	0.034	1.078	0.026	1.082	0.017	1.086	0.009	1.090
13	0.0096	0.136	1.029	0.091	1.055	0.045	1.079	0.036	1.083	0.027	1.087	0.018	1.092	0.009	1.096
14	0.0101	0.143	1.031	0.095	1.058	0.048	1.083	0.038	1.088	0.029	1.092	0.019	1.097	0.010	1.101
15	0.0106	0.150	1.032	0.100	1.062	0.050	1.088	0.040	1.093	0.030	1.098	0.020	1.102	0.010	1.107
16	0.0112	0.157	1.034	0.105	1.065	0.052	1.093	0.042	1.098	0.031	1.103	0.021	1.108	0.010	1.113
17	0.0117	0.165	1.036	0.110	1.068	0.055	1.097	0.044	1.103	0.033	1.108	0.022	1.113	0.011	1.118
18	0.0122	0.172	1.038	0.115	1.072	0.057	1.102	0.046	1.108	0.034	1.114	0.023	1.119	0.011	1.124
19	0.0127	0.179	1.039	0.119	1.075	0.060	1.107	0.048	1.113	0.036	1.119	0.024	1.125	0.012	1.130
20	0.0132	0.186	1.041	0.124	1.079	0.062	1.112	0.050	1.118	0.037	1.124	0.025	1.130	0.012	1.136
21	0.0137	0.193	1.043	0.129	1.082	0.064	1.117	0.052	1.124	0.039	1.130	0.026	1.136	0.013	1.142
22	0.0142	0.201	1.045	0.134	1.086	0.067	1.122	0.053	1.129	0.040	1.135	0.027	1.142	0.013	1.148
23	0.0147	0.208	1.047	0.139	1.089	0.069	1.127	0.055	1.134	0.042	1.141	0.028	1.148	0.014	1.154
24	0.0152	0.215	1.049	0.143	1.093	0.072	1.132	0.057	1.140	0.043	1.147	0.029	1.154	0.014	1.161
25	0.0157	0.222	1.051	0.148	1.096	0.074	1.137	0.059	1.145	0.044	1.153	0.030	1.160	0.015	1.167
26	0.0163	0.229	1.052	0.153	1.100	0.076	1.143	0.061	1.151	0.046	1.158	0.031	1.166	0.015	1.173
27	0.0168	0.237	1.054	0.158	1.104	0.079	1.148	0.063	1.156	0.047	1.164	0.032	1.172	0.016	1.180
28	0.0173	0.244	1.056	0.163	1.108	0.081	1.153	0.065	1.162	0.049	1.170	0.033	1.178	0.016	1.186
29	0.0178	0.251	1.058	0.167	1.111	0.084	1.159	0.067	1.168	0.050	1.176	0.033	1.185	0.017	1.193
30	0.0183	0.258	1.060	0.172	1.115	0.086	1.164	0.069	1.174	0.052	1.182	0.034	1.191	0.017	1.200
31	0.0188	0.265	1.062	0.177	1.119	0.088	1.170	0.071	1.179	0.053	1.189	0.035	1.198	0.018	1.206
32	0.0193	0.273	1.065	0.182	1.123	0.091	1.176	0.073	1.185	0.055	1.195	0.036	1.204	0.018	1.213
33	0.0198	0.280	1.067	0.187	1.127	0.093	1.181	0.075	1.191	0.056	1.201	0.037	1.211	0.019	1.220
34	0.0203	0.287	1.069	0.191	1.131	0.096	1.187	0.077	1.197	0.057	1.208	0.038	1.218	0.019	1.227
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (fc' - 30) = 0,85$ $\rho_{min} = 0,0035$ $\rho_{max} = 0,0203$ $d'/a \leq 0,392$ $a = (Ast - As') \cdot fy / (0,85 \cdot fc' \cdot b)$															
Catatan : Momen nominal tul. Ganda, $M_n = K_{vd} M_n$ batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$ Satuan : b [mm]; d [mm]; Ast [mm2]															

Lampiran B.3 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd
untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

$f_c = 30 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $r = A_s'/A_s =$															
		25%		50%		75%		80%		85%		90%		95%	
No	Ast/(b*d)	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
1	0.0035	0.041	1.008	0.027	1.016	0.014	1.022	0.011	1.024	0.008	1.025	0.005	1.026	0.003	1.027
2	0.0041	0.049	1.010	0.032	1.019	0.016	1.026	0.013	1.028	0.010	1.029	0.006	1.031	0.003	1.032
3	0.0048	0.056	1.011	0.037	1.021	0.019	1.031	0.015	1.032	0.011	1.034	0.007	1.036	0.004	1.037
4	0.0054	0.063	1.013	0.042	1.024	0.021	1.035	0.017	1.037	0.013	1.039	0.008	1.041	0.004	1.042
5	0.0060	0.071	1.014	0.047	1.027	0.024	1.039	0.019	1.041	0.014	1.043	0.009	1.046	0.005	1.048
6	0.0067	0.078	1.016	0.052	1.030	0.026	1.043	0.021	1.046	0.016	1.048	0.010	1.051	0.005	1.053
7	0.0073	0.086	1.018	0.057	1.034	0.029	1.048	0.023	1.051	0.017	1.053	0.011	1.056	0.006	1.058
8	0.0079	0.093	1.019	0.062	1.037	0.031	1.052	0.025	1.055	0.019	1.058	0.012	1.061	0.006	1.064
9	0.0085	0.100	1.021	0.067	1.040	0.033	1.057	0.027	1.060	0.020	1.063	0.013	1.066	0.007	1.069
10	0.0092	0.108	1.023	0.072	1.043	0.036	1.061	0.029	1.065	0.022	1.068	0.014	1.071	0.007	1.074
11	0.0098	0.115	1.024	0.077	1.046	0.038	1.066	0.031	1.069	0.023	1.073	0.015	1.077	0.008	1.080
12	0.0104	0.123	1.026	0.082	1.049	0.041	1.070	0.033	1.074	0.025	1.078	0.016	1.082	0.008	1.086
13	0.0111	0.130	1.028	0.087	1.053	0.043	1.075	0.035	1.079	0.026	1.083	0.017	1.087	0.009	1.091
14	0.0117	0.138	1.029	0.092	1.056	0.046	1.080	0.037	1.084	0.028	1.089	0.018	1.093	0.009	1.097
15	0.0123	0.145	1.031	0.097	1.059	0.048	1.085	0.039	1.089	0.029	1.094	0.019	1.098	0.010	1.103
16	0.0130	0.152	1.033	0.102	1.063	0.051	1.089	0.041	1.094	0.030	1.099	0.020	1.104	0.010	1.109
17	0.0136	0.160	1.035	0.107	1.066	0.053	1.094	0.043	1.099	0.032	1.105	0.021	1.110	0.011	1.114
18	0.0142	0.167	1.036	0.111	1.069	0.056	1.099	0.045	1.105	0.033	1.110	0.022	1.115	0.011	1.120
19	0.0148	0.175	1.038	0.116	1.073	0.058	1.104	0.047	1.110	0.035	1.116	0.023	1.121	0.012	1.126
20	0.0155	0.182	1.040	0.121	1.076	0.061	1.109	0.049	1.115	0.036	1.121	0.024	1.127	0.012	1.133
21	0.0161	0.189	1.042	0.126	1.080	0.063	1.114	0.051	1.121	0.038	1.127	0.025	1.133	0.013	1.139
22	0.0167	0.197	1.044	0.131	1.084	0.066	1.119	0.052	1.126	0.039	1.133	0.026	1.139	0.013	1.145
23	0.0174	0.204	1.046	0.136	1.087	0.068	1.125	0.054	1.132	0.041	1.138	0.027	1.145	0.014	1.151
24	0.0180	0.212	1.048	0.141	1.091	0.071	1.130	0.056	1.137	0.042	1.144	0.028	1.151	0.014	1.158
25	0.0186	0.219	1.050	0.146	1.095	0.073	1.135	0.058	1.143	0.044	1.150	0.029	1.157	0.015	1.164
26	0.0193	0.226	1.052	0.151	1.099	0.075	1.141	0.060	1.148	0.045	1.156	0.030	1.163	0.015	1.171
27	0.0199	0.234	1.054	0.156	1.102	0.078	1.146	0.062	1.154	0.047	1.162	0.031	1.170	0.016	1.177
28	0.0205	0.241	1.056	0.161	1.106	0.080	1.152	0.064	1.160	0.048	1.168	0.032	1.176	0.016	1.184
29	0.0211	0.249	1.058	0.166	1.110	0.083	1.157	0.066	1.166	0.050	1.174	0.033	1.183	0.017	1.191
30	0.0218	0.256	1.060	0.171	1.114	0.085	1.163	0.068	1.172	0.051	1.181	0.034	1.189	0.017	1.198
31	0.0224	0.264	1.062	0.176	1.118	0.088	1.168	0.070	1.178	0.053	1.187	0.035	1.196	0.018	1.205
32	0.0230	0.271	1.064	0.181	1.122	0.090	1.174	0.072	1.184	0.054	1.193	0.036	1.203	0.018	1.212
33	0.0237	0.278	1.066	0.186	1.126	0.093	1.180	0.074	1.190	0.056	1.200	0.037	1.209	0.019	1.219
34	0.0243	0.286	1.068	0.191	1.130	0.095	1.186	0.076	1.196	0.057	1.207	0.038	1.216	0.019	1.226
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) = 0,85$ $p_{min} = 0,0035$ $p_{max} = 0,0244$ $d'/a \leq 0,392$ $a = (A_{st}-A_{s'}) \cdot f_y / (0,85 \cdot f_c' \cdot b)$															
Catatan : Momen nominal tul. Ganda, $M_n = K_{vd} M_{n1}$ batasan tulangan $p_{min} \leq p_{act} < p_{max}$ Satuan : b [mm]; d [mm]; Ast [mm ²]															

Lampiran B.4 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd
untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

$f_c = 35 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $r = A_s'/A_s =$															
		25%		50%		75%		80%		85%		90%		95%	
No	Ast/(b*d)	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
1	0.0035	0.035	1.007	0.024	1.013	0.012	1.019	0.009	1.020	0.007	1.021	0.005	1.022	0.002	1.023
2	0.0042	0.043	1.008	0.028	1.016	0.014	1.023	0.011	1.024	0.009	1.025	0.006	1.027	0.003	1.028
3	0.0049	0.050	1.010	0.033	1.019	0.017	1.027	0.013	1.028	0.010	1.030	0.007	1.031	0.003	1.033
4	0.0057	0.057	1.011	0.038	1.022	0.019	1.031	0.015	1.033	0.011	1.035	0.008	1.036	0.004	1.038
5	0.0064	0.064	1.013	0.043	1.024	0.021	1.035	0.017	1.037	0.013	1.039	0.009	1.041	0.004	1.043
6	0.0071	0.072	1.014	0.048	1.027	0.024	1.039	0.019	1.042	0.014	1.044	0.010	1.046	0.005	1.048
7	0.0078	0.079	1.016	0.053	1.030	0.026	1.044	0.021	1.046	0.016	1.048	0.011	1.051	0.005	1.053
8	0.0085	0.086	1.017	0.057	1.033	0.029	1.048	0.023	1.050	0.017	1.053	0.011	1.056	0.006	1.058
9	0.0093	0.093	1.019	0.062	1.036	0.031	1.052	0.025	1.055	0.019	1.058	0.012	1.061	0.006	1.064
10	0.0100	0.101	1.020	0.067	1.039	0.034	1.056	0.027	1.060	0.020	1.063	0.013	1.066	0.007	1.069
11	0.0107	0.108	1.022	0.072	1.042	0.036	1.061	0.029	1.064	0.022	1.068	0.014	1.071	0.007	1.074
12	0.0114	0.115	1.024	0.077	1.045	0.038	1.065	0.031	1.069	0.023	1.073	0.015	1.076	0.008	1.080
13	0.0121	0.122	1.025	0.082	1.048	0.041	1.070	0.033	1.074	0.024	1.078	0.016	1.081	0.008	1.085
14	0.0129	0.130	1.027	0.086	1.052	0.043	1.074	0.035	1.078	0.026	1.083	0.017	1.087	0.009	1.091
15	0.0136	0.137	1.029	0.091	1.055	0.046	1.079	0.037	1.083	0.027	1.088	0.018	1.092	0.009	1.096
16	0.0143	0.144	1.030	0.096	1.058	0.048	1.083	0.038	1.088	0.029	1.093	0.019	1.097	0.010	1.102
17	0.0150	0.151	1.032	0.101	1.061	0.050	1.088	0.040	1.093	0.030	1.098	0.020	1.103	0.010	1.108
18	0.0157	0.159	1.034	0.106	1.065	0.053	1.093	0.042	1.098	0.032	1.103	0.021	1.108	0.011	1.113
19	0.0165	0.166	1.035	0.111	1.068	0.055	1.098	0.044	1.103	0.033	1.109	0.022	1.114	0.011	1.119
20	0.0172	0.173	1.037	0.115	1.071	0.058	1.102	0.046	1.108	0.035	1.114	0.023	1.120	0.012	1.125
21	0.0179	0.181	1.039	0.120	1.075	0.060	1.107	0.048	1.113	0.036	1.119	0.024	1.125	0.012	1.131
22	0.0186	0.188	1.041	0.125	1.078	0.063	1.112	0.050	1.119	0.038	1.125	0.025	1.131	0.013	1.137
23	0.0193	0.195	1.042	0.130	1.081	0.065	1.117	0.052	1.124	0.039	1.130	0.026	1.137	0.013	1.143
24	0.0201	0.202	1.044	0.135	1.085	0.067	1.122	0.054	1.129	0.040	1.136	0.027	1.143	0.013	1.149
25	0.0208	0.210	1.046	0.140	1.089	0.070	1.127	0.056	1.135	0.042	1.142	0.028	1.149	0.014	1.156
26	0.0215	0.217	1.048	0.145	1.092	0.072	1.132	0.058	1.140	0.043	1.148	0.029	1.155	0.014	1.162
27	0.0222	0.224	1.050	0.149	1.096	0.075	1.138	0.060	1.146	0.045	1.153	0.030	1.161	0.015	1.168
28	0.0229	0.231	1.052	0.154	1.099	0.077	1.143	0.062	1.151	0.046	1.159	0.031	1.167	0.015	1.175
29	0.0237	0.239	1.054	0.159	1.103	0.080	1.148	0.064	1.157	0.048	1.165	0.032	1.173	0.016	1.181
30	0.0244	0.246	1.056	0.164	1.107	0.082	1.154	0.066	1.163	0.049	1.171	0.033	1.180	0.016	1.188
31	0.0251	0.253	1.058	0.169	1.111	0.084	1.159	0.067	1.168	0.051	1.177	0.034	1.186	0.017	1.195
32	0.0258	0.260	1.060	0.174	1.115	0.087	1.165	0.069	1.174	0.052	1.183	0.035	1.192	0.017	1.201
33	0.0265	0.268	1.062	0.178	1.118	0.089	1.170	0.071	1.180	0.054	1.190	0.036	1.199	0.018	1.208
34	0.0273	0.275	1.064	0.183	1.122	0.092	1.176	0.073	1.186	0.055	1.196	0.037	1.206	0.018	1.215
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) = 0,81$ $p_{min} = 0,0035$ $p_{max} = 0,0271$ $d'/a \leq 0,409$ $a = (A_s - A_s') \cdot f_y / (0,85 \cdot f_c' \cdot b)$															
Catatan : Momen nominal tul. Ganda, $M_n = K_vd M_{n_s}$ batasan tulangan $p_{min} \leq p_{act} < p_{max}$ Satuan : b [mm]; d [mm]; Ast [mm ²]															

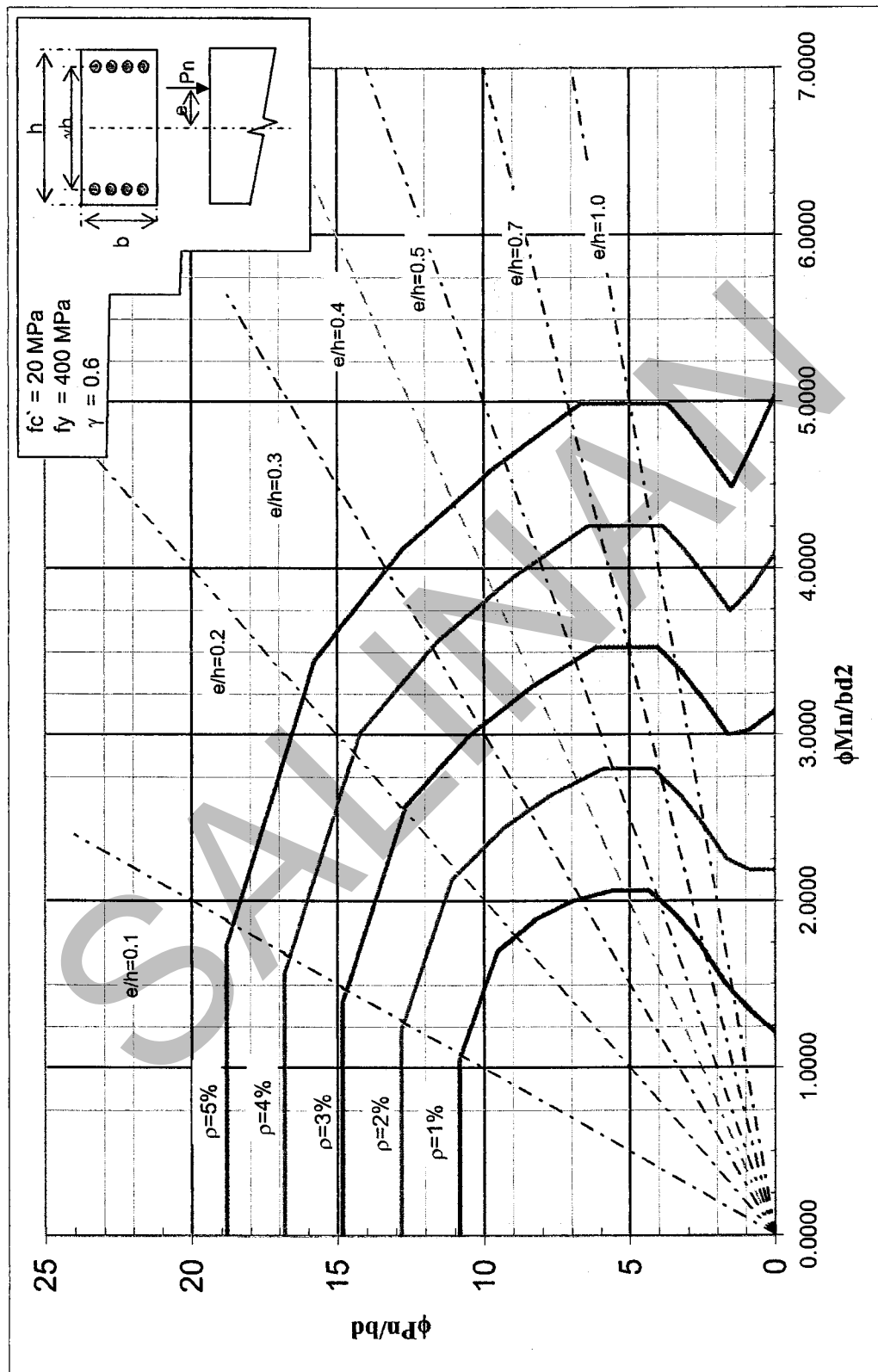
Lampiran B.5 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd
untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

$f_c = 40 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $r = A_s'/A_s =$															
		25%		50%		75%		80%		85%		90%		95%	
No	$A_{st}/(b \cdot d)$	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
1	0.0035	0.031	1.006	0.021	1.011	0.010	1.016	0.008	1.017	0.006	1.018	0.004	1.019	0.002	1.020
2	0.0043	0.038	1.007	0.025	1.014	0.013	1.020	0.010	1.021	0.008	1.022	0.005	1.024	0.003	1.025
3	0.0051	0.045	1.009	0.030	1.017	0.015	1.024	0.012	1.025	0.009	1.027	0.006	1.028	0.003	1.029
4	0.0059	0.052	1.010	0.035	1.019	0.017	1.028	0.014	1.029	0.010	1.031	0.007	1.033	0.003	1.034
5	0.0067	0.059	1.011	0.039	1.022	0.020	1.032	0.016	1.034	0.012	1.035	0.008	1.037	0.004	1.039
6	0.0075	0.066	1.013	0.044	1.025	0.022	1.036	0.018	1.038	0.013	1.040	0.009	1.042	0.004	1.044
7	0.0082	0.073	1.014	0.048	1.027	0.024	1.040	0.019	1.042	0.015	1.044	0.010	1.047	0.005	1.049
8	0.0090	0.080	1.016	0.053	1.030	0.027	1.044	0.021	1.046	0.016	1.049	0.011	1.051	0.005	1.054
9	0.0098	0.087	1.017	0.058	1.033	0.029	1.048	0.023	1.050	0.017	1.053	0.012	1.056	0.006	1.059
10	0.0106	0.094	1.018	0.062	1.036	0.031	1.052	0.025	1.055	0.019	1.058	0.012	1.061	0.006	1.064
11	0.0114	0.101	1.020	0.067	1.039	0.034	1.056	0.027	1.059	0.020	1.062	0.013	1.066	0.007	1.069
12	0.0122	0.108	1.021	0.072	1.041	0.036	1.060	0.029	1.064	0.022	1.067	0.014	1.071	0.007	1.074
13	0.0130	0.115	1.023	0.076	1.044	0.038	1.064	0.031	1.068	0.023	1.072	0.015	1.075	0.008	1.079
14	0.0138	0.122	1.024	0.081	1.047	0.041	1.068	0.032	1.073	0.024	1.077	0.016	1.080	0.008	1.084
15	0.0146	0.128	1.026	0.086	1.050	0.043	1.073	0.034	1.077	0.026	1.081	0.017	1.086	0.009	1.090
16	0.0154	0.135	1.027	0.090	1.053	0.045	1.077	0.036	1.082	0.027	1.086	0.018	1.091	0.009	1.095
17	0.0161	0.142	1.029	0.095	1.056	0.047	1.082	0.038	1.086	0.028	1.091	0.019	1.096	0.009	1.100
18	0.0169	0.149	1.031	0.100	1.059	0.050	1.086	0.040	1.091	0.030	1.096	0.020	1.101	0.010	1.106
19	0.0177	0.156	1.032	0.104	1.062	0.052	1.090	0.042	1.096	0.031	1.101	0.021	1.106	0.010	1.111
20	0.0185	0.163	1.034	0.109	1.065	0.054	1.095	0.044	1.101	0.033	1.106	0.022	1.112	0.011	1.117
21	0.0193	0.170	1.035	0.114	1.069	0.057	1.100	0.045	1.105	0.034	1.111	0.023	1.117	0.011	1.123
22	0.0201	0.177	1.037	0.118	1.072	0.059	1.104	0.047	1.110	0.035	1.116	0.024	1.122	0.012	1.128
23	0.0209	0.184	1.039	0.123	1.075	0.061	1.109	0.049	1.115	0.037	1.122	0.025	1.128	0.012	1.134
24	0.0217	0.191	1.040	0.127	1.078	0.064	1.114	0.051	1.120	0.038	1.127	0.025	1.133	0.013	1.140
25	0.0225	0.198	1.042	0.132	1.082	0.066	1.118	0.053	1.125	0.040	1.132	0.026	1.139	0.013	1.146
26	0.0233	0.205	1.044	0.137	1.085	0.068	1.123	0.055	1.130	0.041	1.138	0.027	1.145	0.014	1.152
27	0.0240	0.212	1.046	0.141	1.088	0.071	1.128	0.057	1.136	0.042	1.143	0.028	1.150	0.014	1.158
28	0.0248	0.219	1.047	0.146	1.092	0.073	1.133	0.058	1.141	0.044	1.149	0.029	1.156	0.015	1.164
29	0.0256	0.226	1.049	0.151	1.095	0.075	1.138	0.060	1.146	0.045	1.154	0.030	1.162	0.015	1.170
30	0.0264	0.233	1.051	0.155	1.099	0.078	1.143	0.062	1.151	0.047	1.160	0.031	1.168	0.016	1.176
31	0.0272	0.240	1.053	0.160	1.102	0.080	1.148	0.064	1.157	0.048	1.165	0.032	1.174	0.016	1.182
32	0.0280	0.247	1.055	0.165	1.106	0.082	1.153	0.066	1.162	0.049	1.171	0.033	1.180	0.016	1.189
33	0.0288	0.254	1.056	0.169	1.109	0.085	1.158	0.068	1.168	0.051	1.177	0.034	1.186	0.017	1.195
34	0.0296	0.261	1.058	0.174	1.113	0.087	1.164	0.070	1.173	0.052	1.183	0.035	1.192	0.017	1.201
$\beta_1 = 0.85 - 0.008 (f_c' - 30) = 0.77$ $\rho_{min} = 0.0035$ $\rho_{max} = 0.0295$ $d'/a \leq 0.428$ $a = (A_{st} - A_s') \cdot f_y / (0.85 \cdot f_c' \cdot b)$															
Catatan : Momen nominal tul. Ganda, $M_n = K_{vd} M_n$ batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$ Satuan : b [mm]; d [mm]; A_{st} [mm ²]															

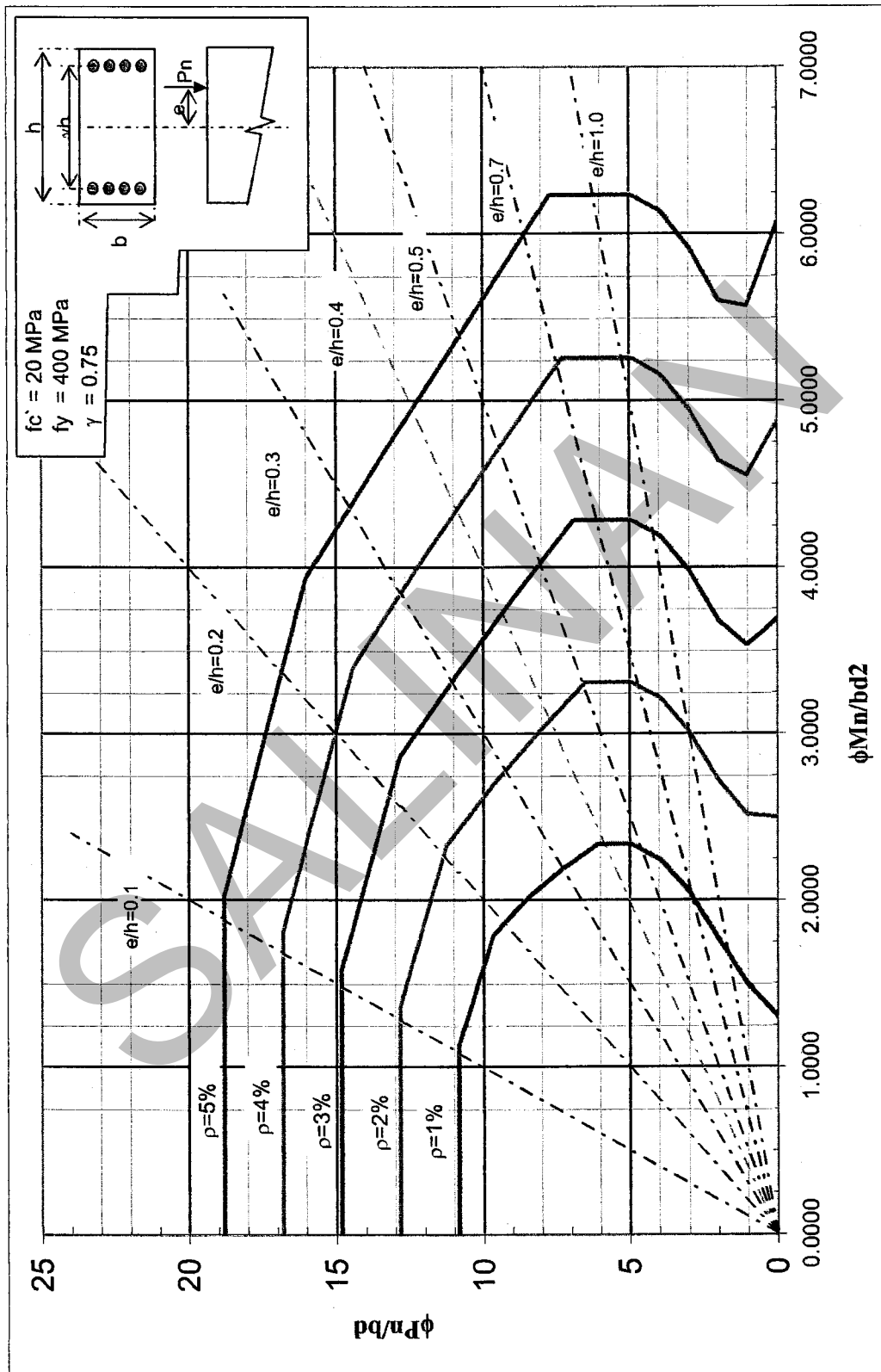
Lampiran B.6 Tabel Faktor Pengali Momen Tulangan Tunggal, Kvd
untuk mendapatkan Momen Tulangan Ganda

$f_c = 45 \text{ MPa}$ $f_y = 400 \text{ MPa}$ $r = A_s'/A_s =$															
		25%		50%		75%		80%		85%		90%		95%	
No	$A_{st}/(b \cdot d)$	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd	a/d	kvd
1	0.0035	0.027	1.005	0.018	1.010	0.009	1.014	0.007	1.015	0.005	1.016	0.004	1.017	0.002	1.018
2	0.0044	0.034	1.006	0.023	1.012	0.011	1.018	0.009	1.019	0.007	1.020	0.005	1.021	0.002	1.022
3	0.0052	0.041	1.008	0.027	1.015	0.014	1.021	0.011	1.023	0.008	1.024	0.005	1.025	0.003	1.027
4	0.0061	0.047	1.009	0.032	1.017	0.016	1.025	0.013	1.027	0.009	1.028	0.006	1.030	0.003	1.031
5	0.0069	0.054	1.010	0.036	1.020	0.018	1.029	0.014	1.031	0.011	1.032	0.007	1.034	0.004	1.036
6	0.0078	0.061	1.011	0.041	1.022	0.020	1.032	0.016	1.034	0.012	1.036	0.008	1.038	0.004	1.040
7	0.0086	0.067	1.013	0.045	1.025	0.022	1.036	0.018	1.038	0.013	1.041	0.009	1.043	0.004	1.045
8	0.0095	0.074	1.014	0.049	1.027	0.025	1.040	0.020	1.042	0.015	1.045	0.010	1.047	0.005	1.050
9	0.0103	0.081	1.015	0.054	1.030	0.027	1.044	0.022	1.046	0.016	1.049	0.011	1.052	0.005	1.054
10	0.0112	0.087	1.017	0.058	1.033	0.029	1.048	0.023	1.051	0.017	1.053	0.012	1.056	0.006	1.059
11	0.0120	0.094	1.018	0.063	1.035	0.031	1.051	0.025	1.055	0.019	1.058	0.013	1.061	0.006	1.064
12	0.0129	0.101	1.019	0.067	1.038	0.034	1.055	0.027	1.059	0.020	1.062	0.013	1.065	0.007	1.069
13	0.0137	0.107	1.021	0.072	1.041	0.036	1.059	0.029	1.063	0.021	1.067	0.014	1.070	0.007	1.074
14	0.0146	0.114	1.022	0.076	1.043	0.038	1.063	0.030	1.067	0.023	1.071	0.015	1.075	0.008	1.079
15	0.0154	0.121	1.024	0.081	1.046	0.040	1.067	0.032	1.071	0.024	1.076	0.016	1.080	0.008	1.084
16	0.0163	0.127	1.025	0.085	1.049	0.042	1.071	0.034	1.076	0.025	1.080	0.017	1.084	0.008	1.089
17	0.0171	0.134	1.026	0.089	1.052	0.045	1.076	0.036	1.080	0.027	1.085	0.018	1.089	0.009	1.094
18	0.0180	0.141	1.028	0.094	1.054	0.047	1.080	0.038	1.085	0.028	1.089	0.019	1.094	0.009	1.099
19	0.0188	0.147	1.029	0.098	1.057	0.049	1.084	0.039	1.089	0.029	1.094	0.020	1.099	0.010	1.104
20	0.0197	0.154	1.031	0.103	1.060	0.051	1.088	0.041	1.093	0.031	1.099	0.021	1.104	0.010	1.109
21	0.0205	0.161	1.032	0.107	1.063	0.054	1.092	0.043	1.098	0.032	1.104	0.021	1.109	0.011	1.115
22	0.0214	0.167	1.034	0.112	1.066	0.056	1.097	0.045	1.103	0.033	1.108	0.022	1.114	0.011	1.120
23	0.0222	0.174	1.035	0.116	1.069	0.058	1.101	0.046	1.107	0.035	1.113	0.023	1.119	0.012	1.125
24	0.0231	0.181	1.037	0.121	1.072	0.060	1.105	0.048	1.112	0.036	1.118	0.024	1.125	0.012	1.131
25	0.0239	0.187	1.038	0.125	1.075	0.062	1.110	0.050	1.117	0.037	1.123	0.025	1.130	0.012	1.136
26	0.0248	0.194	1.040	0.129	1.078	0.065	1.114	0.052	1.121	0.039	1.128	0.026	1.135	0.013	1.142
27	0.0256	0.201	1.042	0.134	1.081	0.067	1.119	0.054	1.126	0.040	1.133	0.027	1.141	0.013	1.148
28	0.0265	0.207	1.043	0.138	1.084	0.069	1.123	0.055	1.131	0.041	1.139	0.028	1.146	0.014	1.153
29	0.0273	0.214	1.045	0.143	1.088	0.071	1.128	0.057	1.136	0.043	1.144	0.029	1.151	0.014	1.159
30	0.0282	0.221	1.046	0.147	1.091	0.074	1.133	0.059	1.141	0.044	1.149	0.029	1.157	0.015	1.165
31	0.0290	0.227	1.048	0.152	1.094	0.076	1.137	0.061	1.146	0.045	1.154	0.030	1.163	0.015	1.171
32	0.0299	0.234	1.050	0.156	1.097	0.078	1.142	0.062	1.151	0.047	1.160	0.031	1.168	0.016	1.177
33	0.0307	0.241	1.051	0.161	1.101	0.080	1.147	0.064	1.156	0.048	1.165	0.032	1.174	0.016	1.183
34	0.0316	0.247	1.053	0.165	1.104	0.082	1.152	0.066	1.161	0.049	1.171	0.033	1.180	0.016	1.189
$\beta_1 = 0.85 - 0.008(f_c' - 30) = 0.73$ $\rho_{min} = 0.0035$ $\rho_{max} = 0.0314$ $d'/a \leq 0.449$ $a = (A_{st} - A_{s}') \cdot f_y / (0.85 \cdot f_c' \cdot b)$															
Catatan : Momen nominal tul. Ganda, $M_n = K_{vd} M_{n_0}$ batasan tulangan $\rho_{min} \leq \rho_{act} < \rho_{max}$ Satuan : b [mm]; d [mm]; A_{st} [mm ²]															

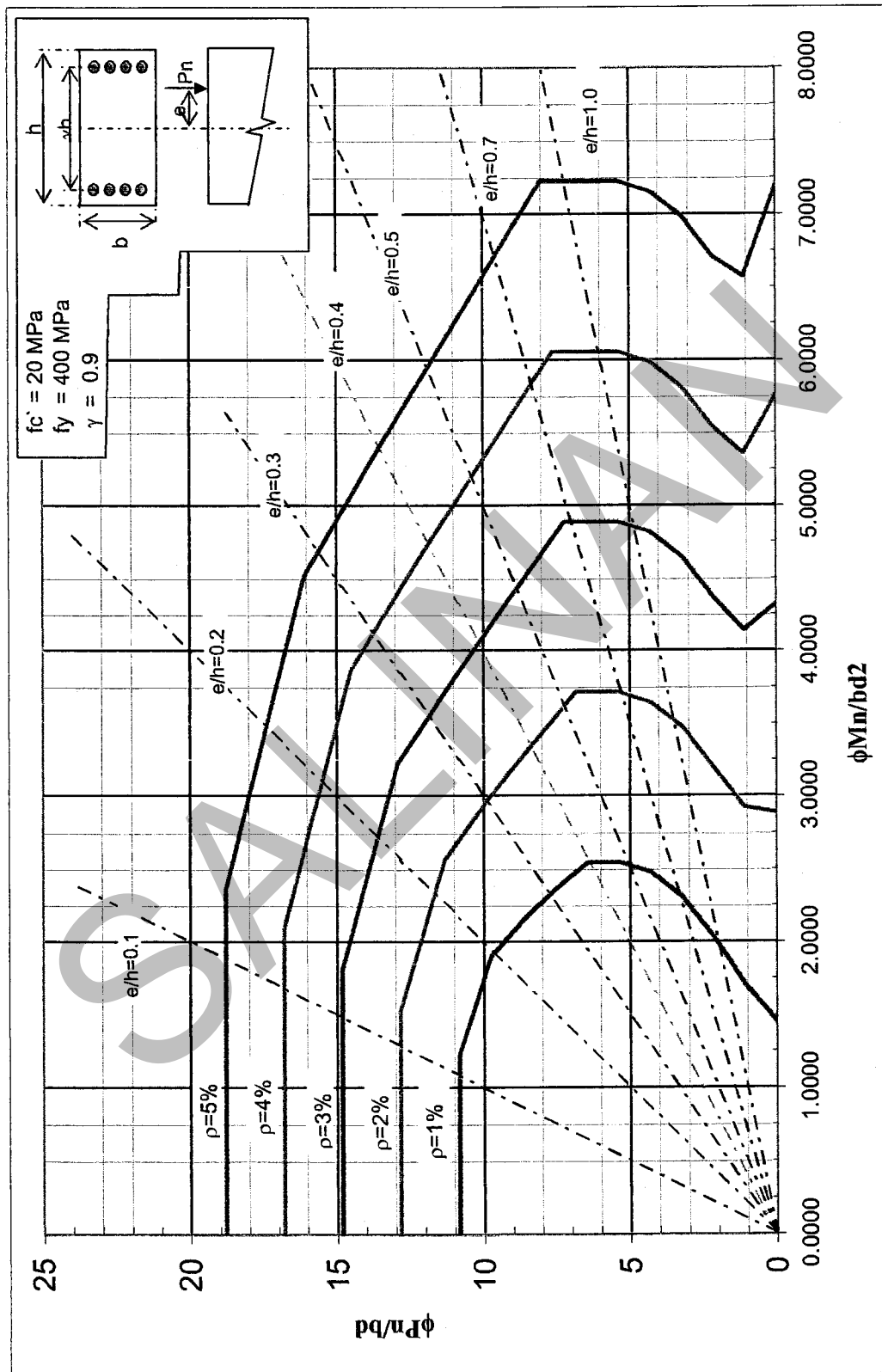
Lampiran C.1 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



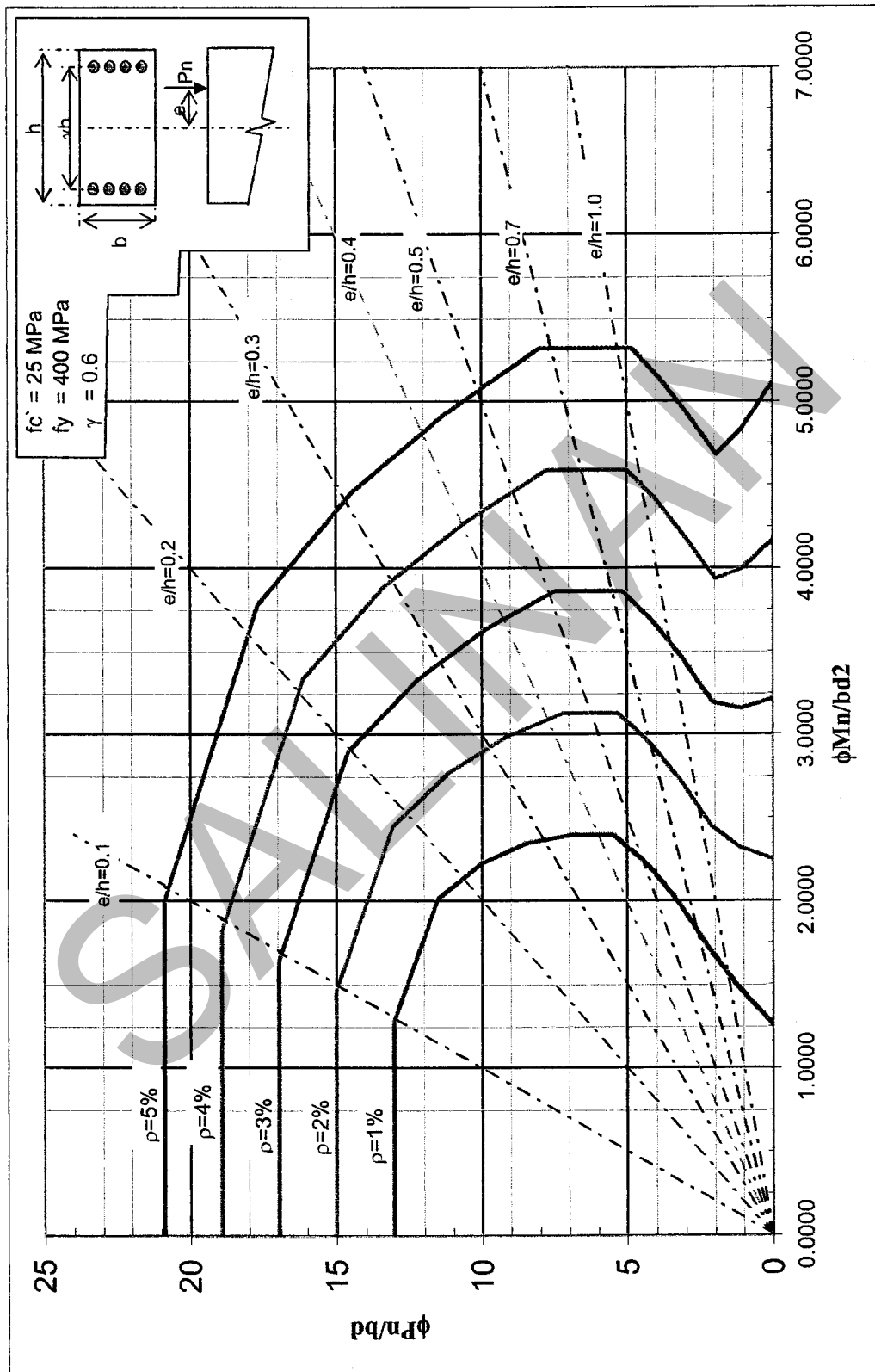
Lampiran C.2 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



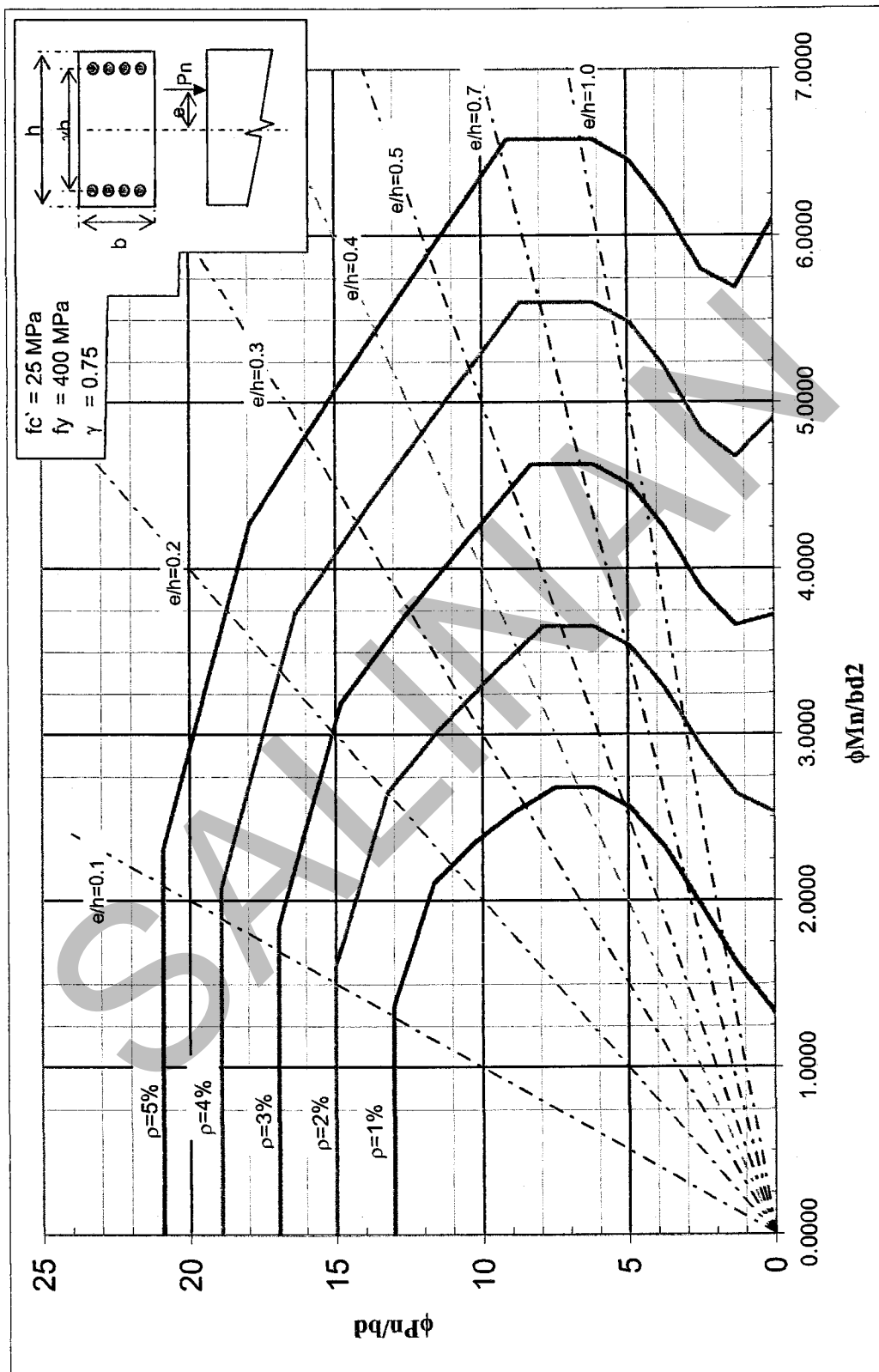
Lampiran C.3 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



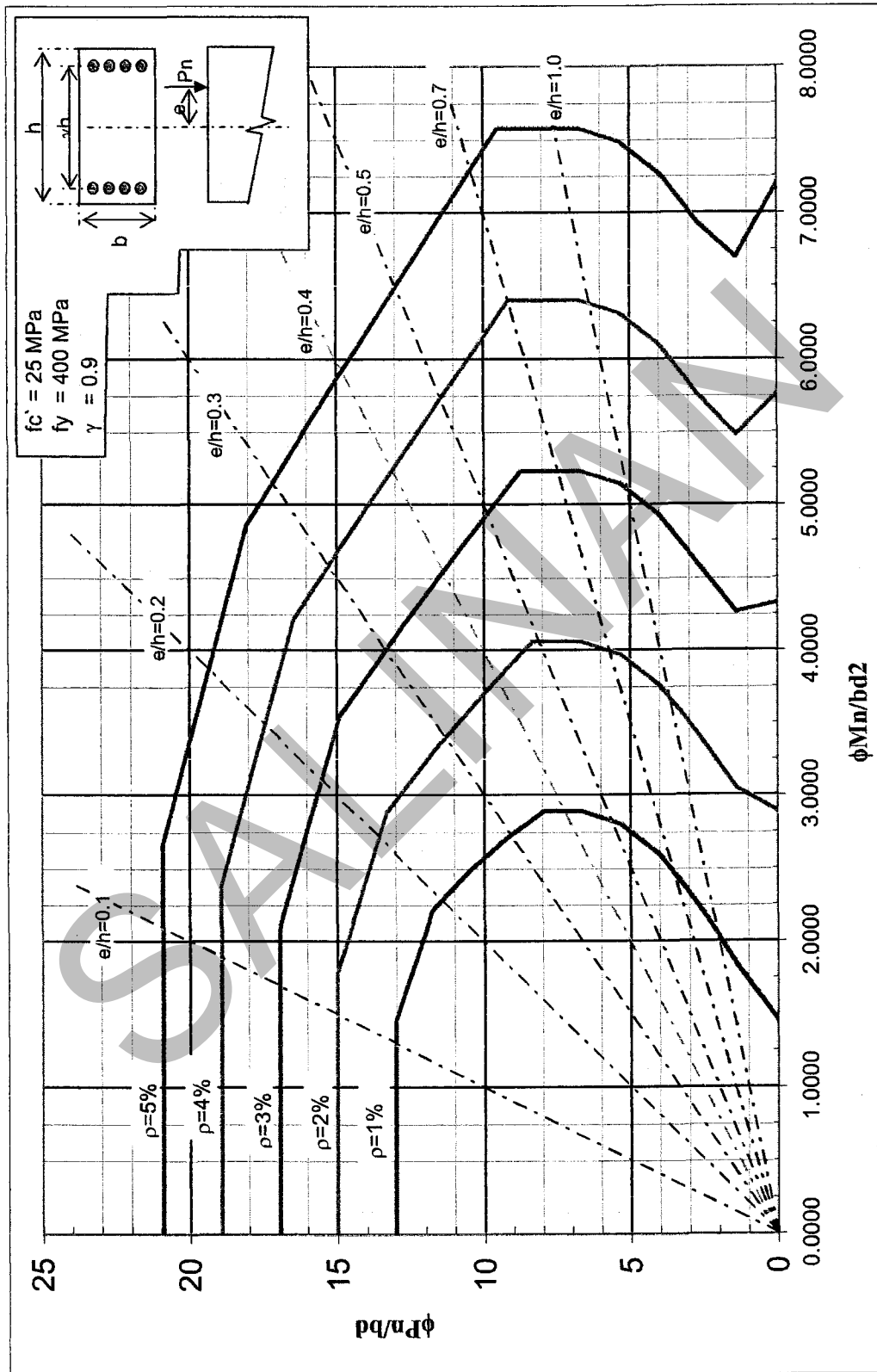
Lampiran C.4 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



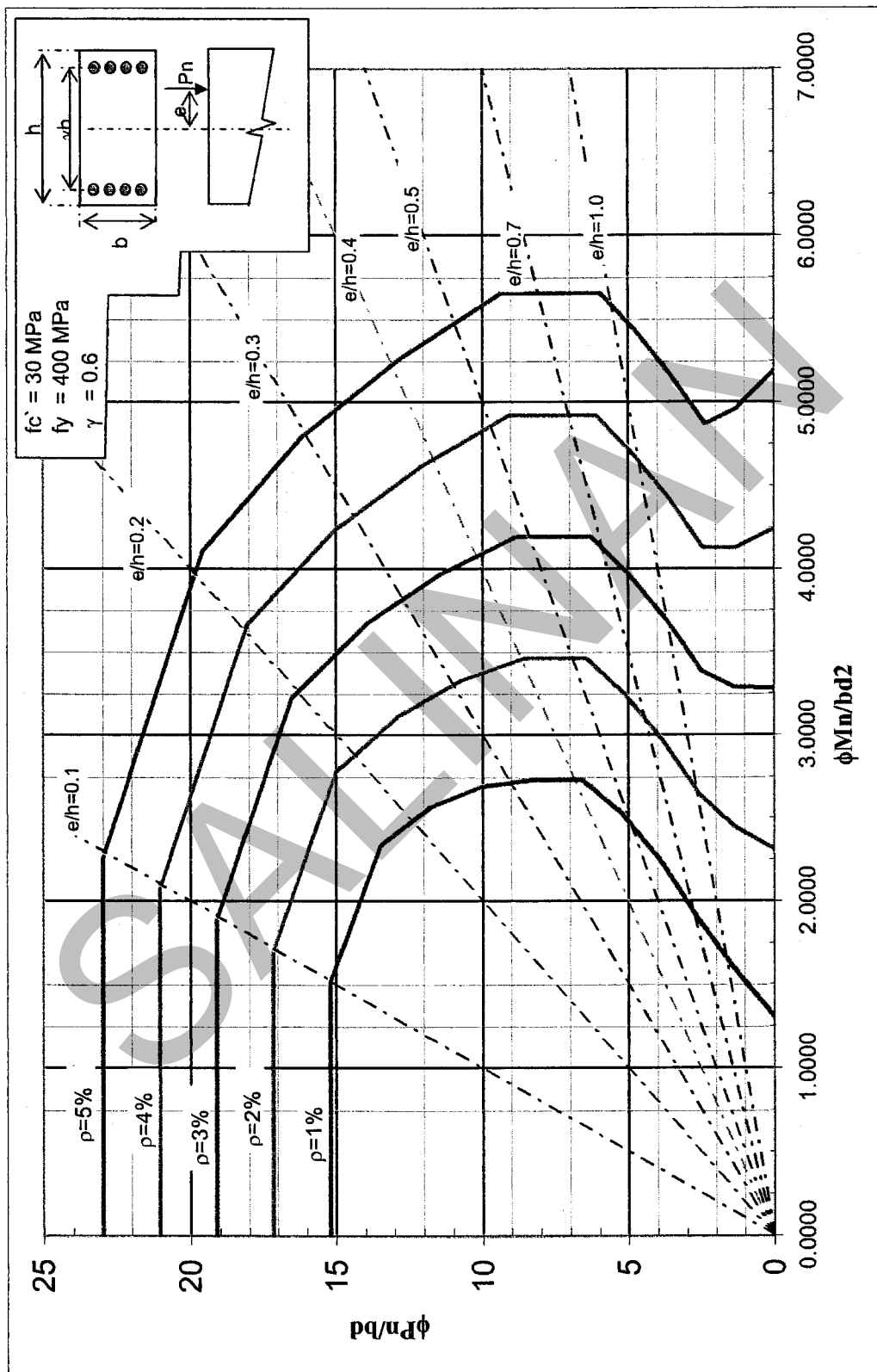
Lampiran C.5 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



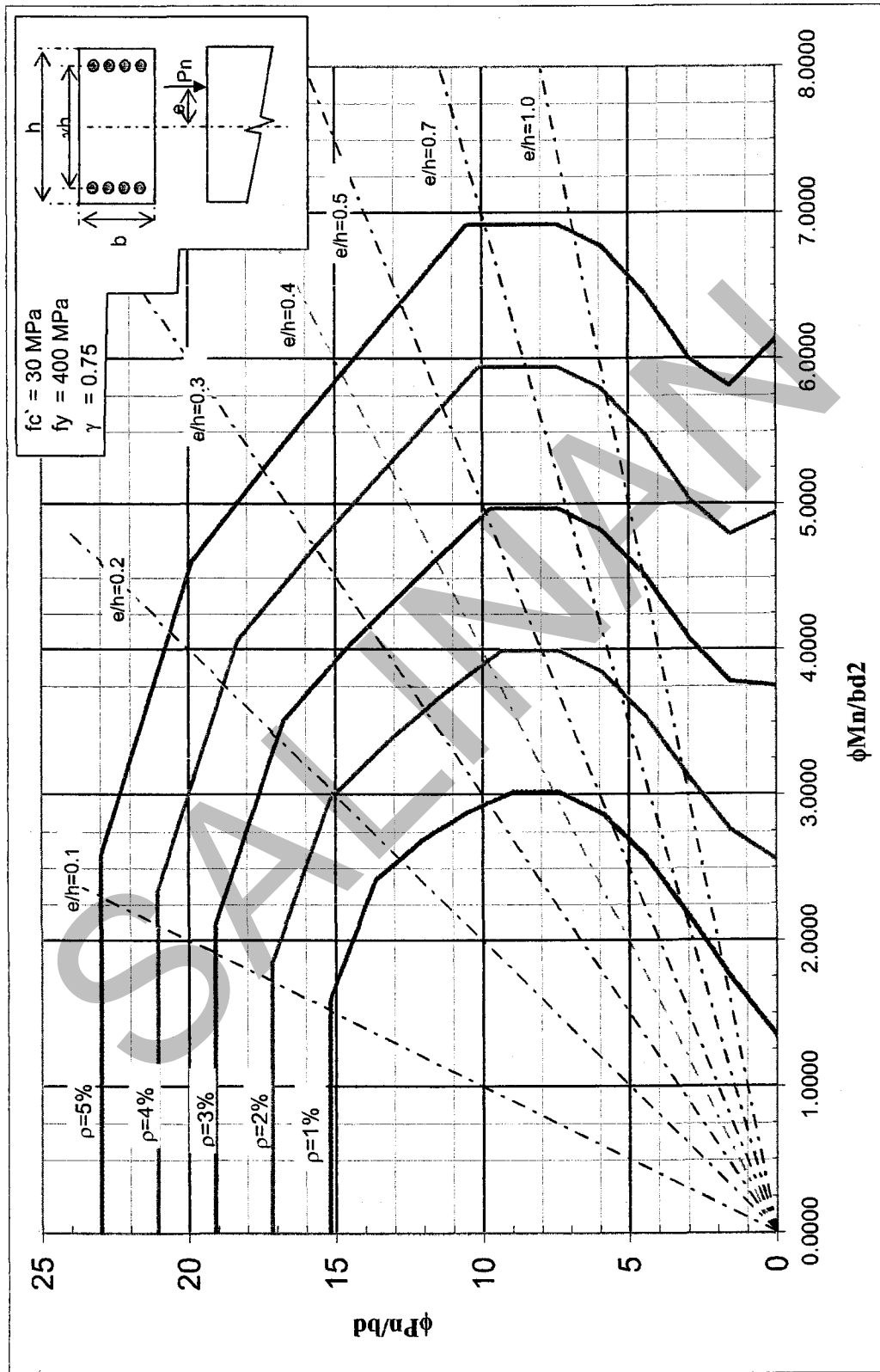
Lampiran C.6 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



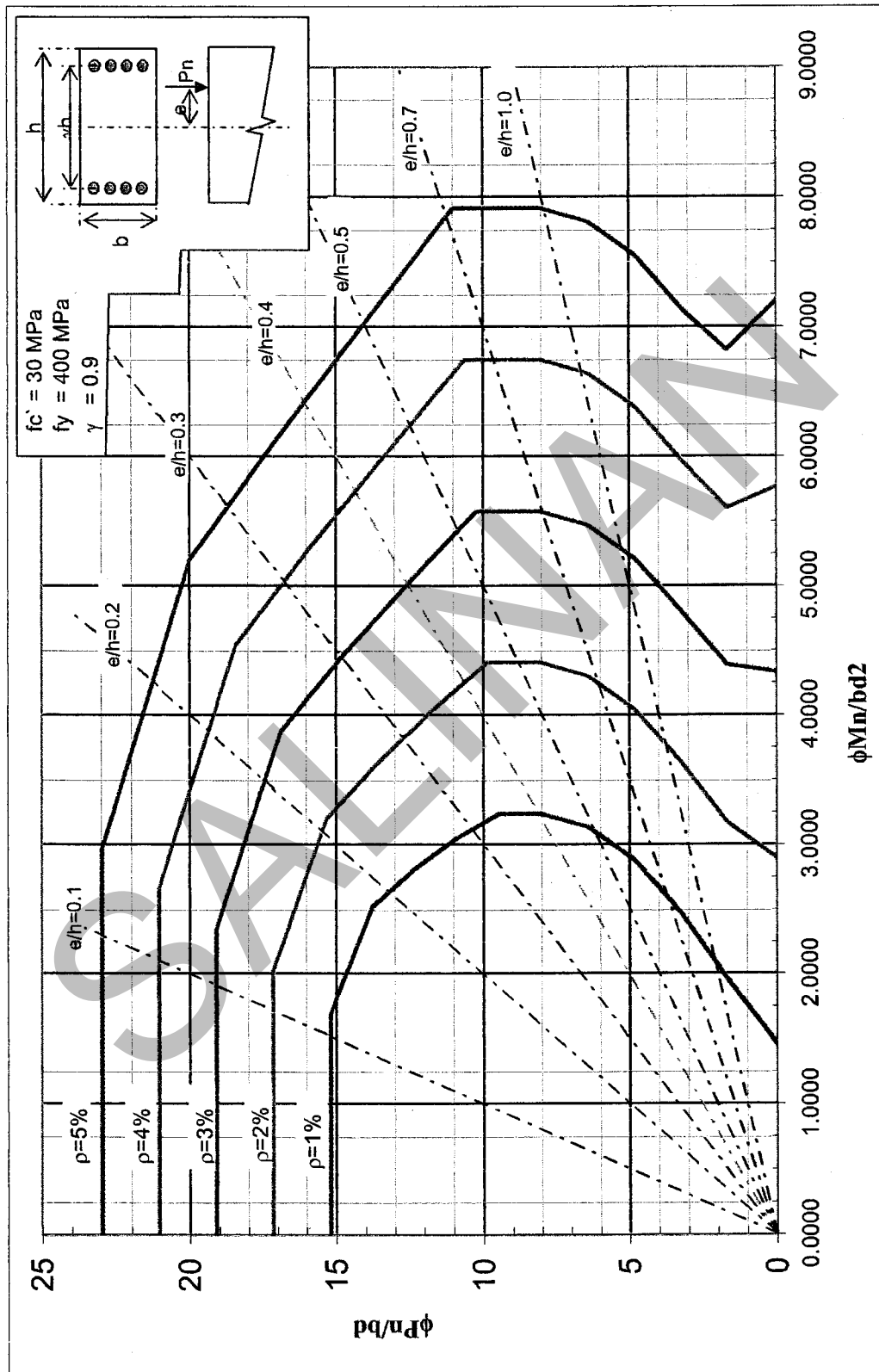
Lampiran C.7 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



Lampiran C.8 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



Lampiran C.9 Diagram interaksi Kolom Normalisasi



LAMPIRAN A

Lampiran A

Daftar Nama

a) Pemrakarsa / Penyusun

Subdit Penyiapan Standar dan Pedoman, Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.

b) Tim Pembahas

- Ir. Palgunadi, M.Eng.Sc
- Ir. Agus Nugroho, MM
- Ir. Herry Vaza, M.Eng.Sc
- Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc
- Prof. Ir. Laneke Trisanto
- Ir. Jaja Pryadi, M.Eng.Sc
- Ir. Joko Sulistyono, M.Eng.Sc
- Ir. Wilan Oktavian, MPPM
- Ir. Bambang Widiyanto, M.Sc
- Ir. Didi Irahadi
- Asep Hilmansyah, ST. MT
- Heri Yugiantoro, ST. MT
- Budianto, ST
- Yudho Dwi Hadiarto, ST
- Sukisno, ST
- Sarmin, BE