

BAB I

PENDAHULUAN

Struktur beton merupakan salah satu jenis struktur yang sangat populer dan banyak digunakan dalam suatu konstruksi dewasa ini. Dan sesuai dengan laju perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK), maka struktur beton-pun berkembang memenuhi tuntutan jaman. Kalau pada mulanya hanya dikenal struktur beton yang kemudian berkembang menjadi struktur beton bertulang, maka dewasa ini sudah dikenal secara luas penggunaan struktur beton prategang.

Pembahasan penggunaan balok beton bertulang maupun balok beton prategang pada suatu struktur dimaksudkan untuk mengetahui sampai dimana balok beton bertulang dan mulai bentang berapa balok beton prategang efisien digunakan untuk suatu bentang dengan panjang tertentu.

Dalam pembahasan tugas akhir ini penyusun mencoba membandingkan penggunaan desain beton bertulang yang banyak dijumpai pada suatu struktur seperti perkantoran, pertokoan, perumahan dan rumah susun yang dewasa ini sedang dikembangkan diberbagai daerah, ataupun desain beton bertulang yang banyak digunakan untuk jembatan sebagai alat untuk mempermudah dan memperlancar transportasi lalu-lintas.

Menurut sejarah perkembangannya, desain beton pada awalnya merupakan suatu kesatuan yang terdiri dari semen, pasir, batu, atau agregat lainnya serta air yang dicampur

dengan proporsi tertentu yang kemudian dibentuk dengan dimensi struktur yang diinginkan, kemudian mengeras yang disebut beton. Sesuai perkembangan dan tuntutan untuk suatu konstruksi yang tahan terhadap keruntuhan maka para ahli mencoba membuat suatu disain beton dengan menggunakan baja tulangan yang berkekuatan tinggi untuk memperkuat beton, terutama sekali pada tempat-tempat dimana kekuatan tarik beton kecil sekali. Apabila beton telah mengeras maka kekuatan tersebut akan merupakan bagian yang terpadu yang dikenal dengan istilah beton bertulang. Dari perkembangan disain beton tersebut dewasa ini kita mengenal istilah beton prategang yang banyak digunakan untuk struktur jembatan ataupun struktur gedung.[1]

Beton prategang merupakan suatu kombinasi beton dan baja dengan mutu tinggi yang bajanya sebagian besar berbentuk kabel atau kawat tetapi kadang-kadang juga dalam bentuk batang yang ditanamkan kedalam beton dibagian tarik yang diimbangi dengan tegangan desak beton yang ada disekitarnya setelah mengeras. Proses prategang memberikan tekan terlebih dahulu pada batang bajanya untuk dapat mengurangi atau menghilangkan tegangan-tegangan tarik yang tidak diinginkan yang ada pada batang tersebut. Melalui cara ini retak-retak yang terjadi pada kondisi beban kerja dapat dikurangi seminimum mungkin. Dengan demikian memungkinkan beton prategang ini dipergunakan secara lebih meluas untuk suatu struktur gedung ataupun struktur jembatan.[2]

Batasan-batasan yang dipakai dalam tugas akhir baik itu pada beton bertulang maupun pada beton prategang antara lain :

1. Perhitungan dilakukan hanya untuk beban vertikal.
2. Perhitungan dilakukan untuk bentang tunggal.
3. Perhitungan dilakukan untuk bentang panjang 6m, 8m, 10m, 12m, 14m, 16, 18m, 20m.
4. Tumpuan yang dipakai adalah tumpuan sederhana.
5. Penampang balok adalah balok persegi.
6. Untuk mutu beton dipakai
mutu beton $f'c = 30$ mpa
mutu baja $f_y = 300$ mpa
dengan umur beton 28 hari.
7. perhitungan untuk bentang 6m dilakukan dengan cara manual dan untuk bentang selanjutnya mempergunakan program komputer.
8. Analisa pada beton bertulang direncanakan balok dengan tulangan rangkap dan dianalisa dengan metode ultimit yang disesuaikan dengan ketentuan SKSNI T-15-1991-03.
9. Analisa beton Prategang ditinjau pada kondisi **Post Tensioning**.
10. Keefisien suatu struktur baik itu beton bertulang ataupun beton Prategang dengan asumsi :
 1. Direncanakan berat sendiri balok lebih kecil dari beban yang dipikul.
 2. Dimensi balok dan tulangan direncanakan sehemat

mungkin tetapi masih pada batas-batas keamanan yang diijinkan.

Adapun peraturan yang dipergunakan yaitu:

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SKSNI T-15-1991-03.
2. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318- 89).
3. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, N.I.- 2.
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.

BAB II

BETON BERTULANG

II.1. LATAR BELAKANG HISTORIS

Joseph Monier seorang warga negara Perancis yang pertama menggunakan beton bertulang pada tahun 1867. Dia telah banyak mengenal penggunaan beton dan berhasil menemukan dan mengembangkan cara-cara baru dalam penggunaan beton. Pada tahun 1867 Monier mendapatkan satu hak paten dari Perancis untuk balok beton bertulang dan diikuti yang lainnya untuk pipa dan tangki pada tahun 1868, plat datar pada tahun 1869 dan jembatan tahun 1873 dan tangga tahun 1875, serta diikuti hak paten lainnya yang ia peroleh. Selain di Perancis beton bertulang juga sudah mulai berkembang seperti di Amerika, Jerman, Austria, dan Hungaria.

Selama Jangka waktu 1850-1900 penerbitan mengenai beton bertulang ataupun analisis desain bertulang relatif sedikit karena para teknisi menganggap pengetahuan beton bertulang ataupun analisisnya serta pelaksanaan pembangunannya adalah rahasia dagang. Salah satu terbitan buku pedoman beton bertulang yang pertama dikeluarkan adalah dikeluarkan oleh Considere pada tahun 1899. Pada pergantian alat terjadi pelipat gandaan yang dilakukan oleh beberapa negara, tetapi belum terjadi keseragaman didalam prosedur perencanaan, tegangan yang diijinkan dan sistem penguatan. Percobaan yang seksama tentang sifat balok, kekuatan-kekuatan dari beton

dan modulus elastisitas dilakukan oleh Arthur N Talbot di University of Illinois, Frederick E. Turneure dan Morton O. Whitney di Univerity of Wiconsin dan Bach di Jerman. Dari sekitar tahun 1916 sampai dengan tahun 1930-an penelitian terpusat pada sifat dari kolom terhadap pembebanan aksial. Diakhir tahun 1930-an dan 1940-an kolom dengan beban eksentris, fondasi dan kekuatan batas dari balok mendapat perhatian khusus. Pada pertengahan tahun 1950 perencanaan analisa beton bertulang mulai berkembang diantaranya metode elastis dan metode ultimit.[1]

II.2. STRUKTUR BETON BERTULANG

Tiga jenis bahan yang paling sering dipakai dalam suatu struktur adalah kayu, baja dan beton dengan tulangan penguat. Beton bertulang adalah dua jenis bahan yang terdiri dari baja tulangan dan beton yang dipadukan menjadi satu kesatuan. Baja dan beton dapat bekerja sama atas dasar beberapa alasan:

1. Lekatan (bond, atau interaksi antara baja dengan beton keras sekelilingnya) yang mencegah slip dari baja terhadap beton.
2. Campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja.

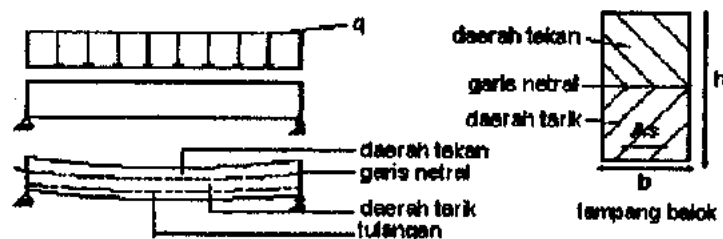
Beton bertulang merupakan gabungan dua jenis bahan yaitu:

1. Beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang relatif tinggi dan kekuatan tarik yang relatif rendah. Kuat tarik beton berkisar $\pm 10\%$ dari kuat tekan dan biasanya kuat

tarik ini diabaikan, maka untuk memikul gaya tarik yang bekerja pada beton ini diberikan baja tulangan yang akan memikul gaya tarik yang bekerja pada beton.

2. Batangan baja yang ditanamkan kedalam beton mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang relatif besar dimana baja tulangan ini akan mampu memikul gaya tekan dan tarik pada suatu struktur beton bertulang.

Penggabungan kedua elemen tersebut yaitu beton dan baja akan menjadikan kesatuan kekuatan tarik dan tekan yang saling melengkapi, maka struktur beton bertulang ini akan mampu menahan beban-beban yang bekerja pada suatu struktur yang akan menimbulkan gaya dalam, baik itu didaerah tarik ataupun daerah tekan. [2,3]



Gbr.2.1. Bagian tarik dan tekan balok beton bertulang.

II.2.1. BETON

Beton polos merupakan campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan kadang-kadang campuran lain sebagai bahan tambah. Kekuatan beton tergantung dari proporsi campuran, kondisi temperatur dan kelembapan dari tempat dimana

campuran dilakukan dan kemudian mengeras. Apabila baja penguat ditempatkan dalam suatu tempat dengan jarak tertentu dan dituangkan beton yang basah yang kemudian mengeras maka dinamakan beton bertulang.[2]

II.2.2. SEMEN

Semen adalah jenis bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya mineral-mineral lain menjadi suatu massa yang padat dengan adanya campuran air.

Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah dengan pasir menjadi mortar semen, dan jika ditambah lagi dengan kerikil atau batu pecah disebut beton. Semen yang biasa dipakai untuk beton bertulang biasanya semen portland, karena setelah dicampur air akan mengeras seperti batu portland (pulau Portland, Inggris).

Beton yang dibuat dengan semen portland umumnya membutuhkan waktu sekitar 14 hari sudah mempunyai kekuatan yang cukup, tetapi kekuatan rencana dari beton dicapai umur 28 hari dimana beban-beban yang bekerja sudah dapat dipikul oleh konstruksi.[2,3,4]

II.2.3. AGREGAT

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton.

Agregat biasanya mengisi 75 % dari isi total beton maka

agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras. Agregat mempunyai pengaruh terhadap mutu beton, karena agregat lebih murah dari semen maka sangat wajar apabila menggunakannya, dengan persentase setinggi mungkin. Umumnya untuk kekuatan yang maksimum, ketahanan dan ekonomis, agregat dan semen harus disesuaikan persentasenya. Dengan demikian agregat diatur takarannya berdasarkan ukuran. Suatu campuran yang layak telah menyatakan persentase yang sesuai antara perbandingan agregat kasar dan agregat halus. [1,3]

II.2.4. AIR

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 30% dari berat semen namun dalam kenyataan nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan akan rendah serta betonnya porous. Selain itu kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak kepermukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*), yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang disebut selaput tipis (*laitance*) yang akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah.

Apabila ada kebocoran cetakan, air bersama-sama semen juga dapat keluar, sehingga terjadilah sarang-sarang kerikil.

Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter.[3]

II.2.5. BAHAN TAMBAH

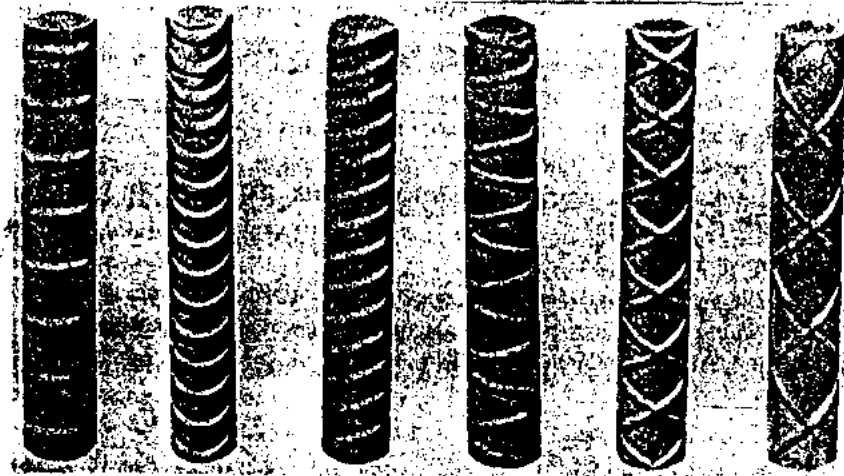
Selain semen, agregat halus dan agregat kasar serta air, bahan-bahan yang dikenal sebagai bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan kecampuran beton ketika sedang mencampur. Bahan tambah berfungsi untuk merubah sifat dari beton agar dapat berfungsi lebih baik atau agar lebih ekonomis. Kegunaan dari campuran adalah diantaranya sebagai berikut :

1. Meningkatkan kekuatan dengan mengurangi kadar air sesuai porsinya.
2. Mempercepat perkembangan kekuatan dan pengeringan.[1,4]

II.2.6. TULANGAN PENGUAT

Tulangan penguat dapat terdiri dari batang tulangan yang mempunyai diameter tertentu. Bahan yang terbuat dari anyaman kawat yang dilas atau tali kawat . Untuk konstruksi

biasa digunakan tulangan yang mempunyai penonjolan (tulangan profil), tonjolan ini untuk mencegah pergeseran dari tulangan relatif terhadap beton sekelilingnya, seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Serta untuk baja tulangan terdiri atas beberapa dimensi seperti diberikan dalam tabel 2.1. dibawah ini. [1,2,4]



Gbr.2.2 Baja - baja tulangan yang berprofil (Courtesy of Concrete Reinforcing Steel Institut .)

Tabel.2.1. Dimensi dan berat batang tulangan baja Standar Industri Indonesia (SII 01386-80)

Tulangan baja		diameter nominal (mm)	luas nominal (cm ²)	berat nominal (kg/m)
Polos	Deform			
P6	D6	6,00	0,283	0,222
P8	D8	8,00	0,503	0,395
P9	D9	9,00	0,636	0,499
P10	D10	10,00	0,785	0,617
P12	D12	12,00	1,131	0,888
P13	D13	13,00	1,327	1,040
P14	D14	14,00	1,540	1,210
P16	D16	16,00	2,011	1,580
P18	D18	18,00	2,545	2,000
P19	D19	19,00	2,835	2,230
P20	D20	20,00	3,142	2,470
P22	D22	22,00	3,801	2,980
P25	D25	25,00	4,909	3,850
P28	D28	28,00	6,157	4,830
	D29	29,00	6,605	5,190
	D32	32,00	8,043	6,310
P32	D36	36,00	10,179	7,990
	D40	40,00	12,565	9,870
	D50	50,00	19,635	15,400

II.2.7. KUAT TEKAN

Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, air serta berbagai jenis bahan tambah. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air-semen semakin tinggi kuat tekan. Suatu perbandingan yang tepat air-semen diperlukan untuk memberikan aksi kimia didalam pengerasan beton, jika kelebihan air akan memudahkan pengerjaan pengecoran akan tetapi akan menurunkan kekuatan beton.

Percobaan slump dimana suatu cetakan logam berbentuk kerucut dengan tinggi 30 cm dapat menentukan jenis mutu beton secara kasar ditinjau dari perbandingan faktor air-semen. Kerucut tersebut diisi dengan adukan beton kemudian cetakan tersebut diangkat dan pengukuran dilakukan dengan merosotnya ketinggian puncak dari ketinggian semula. Lebih kecil nilai slump lebih kaku dan lebih besar nilai kuat tekan beton dan lebih sukar pengerjaan beton tersebut. Didalam pelaksanaan konstruksi penurunan slump 75 mm - 100 mm adalah umum. Penggetaran campuran beton dengan Vibrator akan memudahkan pengecoran beton sekalipun tanpa slump.

Kekuatan beton yang sebenarnya dilapangan dipengaruhi oleh pemeriksaan mutu untuk pengecoran, pengawasan dan pemeriksaan kuat tekan beton. Pemeriksaan kuat tekan biasanya dilakukan dengan uji desak beton yang berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selain berbentuk silinder juga dapat berupa kubus yang mempunyai ukuran sisi

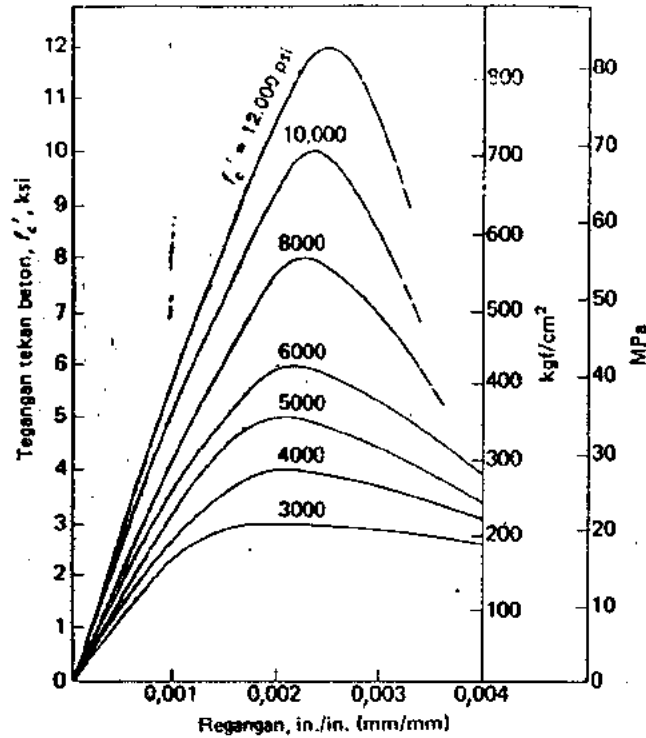
200 mm. Uji desak beton dilakukan dalam umur beton mencapai 7,14,21 dan 28 hari .

Penting untuk disadari bahwa kekuatan beton masing-masing berbeda tergantung kekuatan dari bentuk benda uji standar dan cara-cara percobaan. kekuatan silinder tidak sama persis dengan kekuatan benda uji kubus karena faktor kuat tarik beton dan ukuran bidang kontak dari mesin uji mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap kekuatan kubus daripada kekuatan silinder, sebagai rata-rata dapat dimisalkan untuk beton biasa kekuatan silinder ukuran 150 X 300 mm yaitu mempunyai kekuatan 80 % dari kubus berukuran 150 X 150 X 150 mm serta mempunyai kekuatan 83 % dari kekuatan kubus yang berukuran 200 X 200 X 200 mm. Untuk beton ringan kekuatan silinder dan kubus hampir sama.

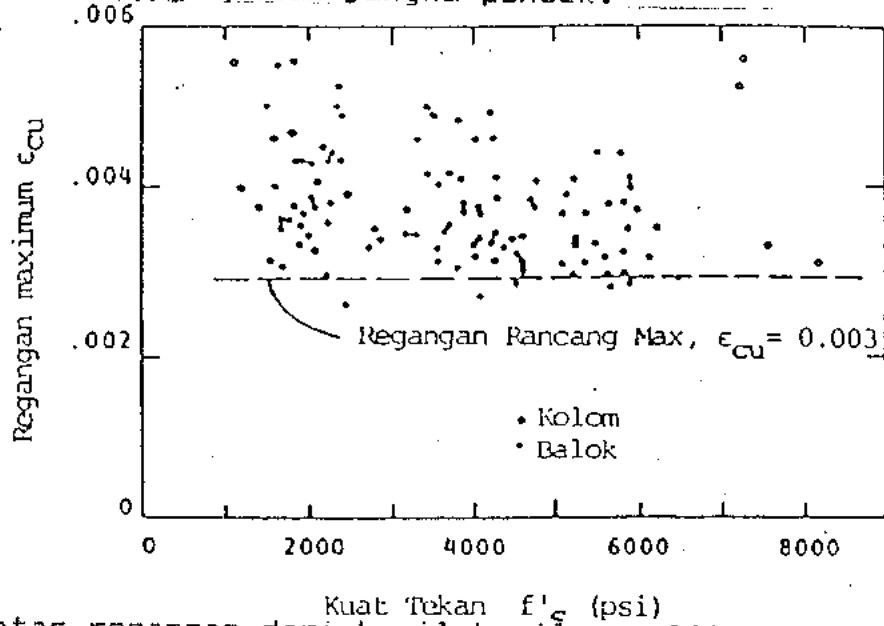
Sifat tegangan regangan adalah tergantung dari kekuatan, umur pada saat pembebanan, kecepatan pembebanan, sifat dari agregat dan semen serta jenis dan ukuran dari benda uji. Gambar 2.3. menyajikan kurva cirian (*Typical Curve*) untuk benda uji yang dibebani tekan pada umur 28 hari.

Dari gambar 2.4. diperlihatkan Regangan ultimit pada saat hancur berkisar antara 0,003 sampai 0,008 tetapi harga regangan maximum yang dapat dipakai dalam praktek adalah 0,003 sampai dengan 0,004. ACI menyatakan (ACI-10.2.3) bahwa "regangan maximum yang dapat dipakai pada serat tekan ekstrim harus diambil 0,003" tetapi regangan maximum 0,003 boleh jadi tidak konservatif untuk beton berkekuatan tinggi yang mempunyai $f'c$ antara 55 sampai dengan 83 Mpa (8000-

12000 lb/in) untuk beton berkekuatan tinggi tidak ada kesepakatan apakah kurva setelah tegangan maximum benar-benar bermanfaat atau tidak. [1,2,4,14]



Gbr.2.3. Hubungan tegangan dan regangan beton dalam tekan dibawah pembebanan jangka pendek.



Gbr.2.4. Batas regangan dari hasil-hasil penelitian.



II.2.8. KUAT TARIK

Kekuatan beton didalam tarik yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak didalam struktur. Kuat tarik dapat ditentukan dengan dengan percobaan pembelahan silinder, menurut ASTM C 496 (37) dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan sisinya diatas mesin uji dan diberi gaya P secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji. Benda uji silinder akan terbelah dua pada saat dicapainya kuat tarik. Tegangan dihitung dengan dengan [1]

$$2P/(\pi \times \text{diameter} \times \text{panjang}) \dots \dots \dots 2.1$$

Berdasarkan teori elastisitas untuk bahan yang homogen dalam pengaruh keadaan tegangan beraksial, kuat tarik adalah suatu sifat yang bervariasi dibanding dengan kuat tekan, dan besarnya berkisar 10-15 % dari kuat tekan.

kuat tarik didalam lentur dikenal sebagai modulus runtuh (*Modulus Of Rupturt*) atau f_r yang dihitung berdasarkan rumus lentur [1]

$$f = \frac{M Y}{I} \dots \dots \dots 2.2$$

suatu harga rata-rata untuk f_r diambil sebesar [1]

$$f_r = 7,5 \sqrt{f'c} \text{ Mpa} \dots \dots \dots 2.3$$

dipandang sebagai suatu pilihan praktis untuk keperluan perencanaan. [1,5]

II.2.9. MODULUS ELASTISITAS

Modulus elastisitas beton tergantung pada umur beton, sifat agregat, semen, kecepatan pembebanan jenis dan ukuran

benda yang diuji. Biasanya modulus elastisitas diambil antara 25 % sampai dengan 50 % dari kuat desak beton ($f'c$), dari benda yang diuji, untuk beton normal dan baja tulangan, modulus elastisitas diambil [8]

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad \text{Mpa} \dots \dots \dots 2.4$$

$$E_s = 200000 \quad \text{Mpa} \dots \dots \dots 2.5$$

II.2.10. RANGKAK DAN SUSUT

Rangkak adalah salah satu sifat dari beton dimana beton mengalami deformasi yang terus menerus menurut waktu di bawah beban yang dipikul pada satu satuan tegangan dalam batas elastis yang diperbolehkan. susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan. Seringkali rangkak ini dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan.

Rangkak terjadi akibat salah satu gabungan :

1. aliran kristal didalam agregat dan pasta semen yang mengeras
2. aliran air keluar dari rongga semen karena pengeringan
3. menutupnya rongga-rongga dalam

Faktor yang mempengaruhi besarnya rangkak :

1. Komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu, dan isi mineral dari agregat.
2. perbandingan seperti kadar air, air dan semen.
3. suhu pada pengerasan.
4. lamanya pembebanan.
5. slump. [1,4,5]

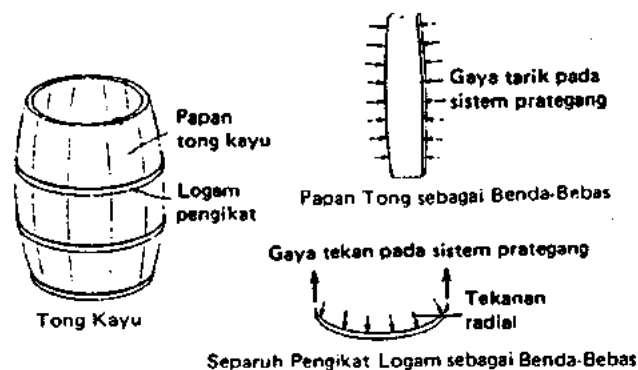
BAB III

BETON PRATEGANG

III.1 SEJARAH PERKEMBANGAN

Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan dalam dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan. Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangnya.[9]

Prinsip dasar sistem prategang ini telah digunakan pada konstruksi-konstruksi berabad-abad yang lalu pada waktu tali atau pita logam diikatkan mengelilingi papan kayu yang melengkung dan membentuk sebuah tiang (gambar 3.1). Pada waktu pita dikencangkan, pelat akan tertarik yang kemudian akan menekan kayu-kayu kedalam sehingga mampu menahan tarikan akibat tekanan cairan dari dalam. Dengan perkataan lain, pita dan kayu dalam keadaan tertegang sebelum dibebani.



Gbr.3.1. Prinsip sistem prategang yang digunakan pada konstruksi tong.

Akan tetapi prinsip yang sama tersebut tidak dipakai sampai tahun 1886, ketika P.H. Jakson, seorang insinyur dari San Fransisco, California, mendapatkan hak paten untuk pengikatan batangan baja pengikat ke batu buatan dan lengkungan beton yang berfungsi sebagai plat lantai. Sekitar tahun 1888, C.E.W. Doehring dari Jerman secara perorangan mendapatkan hak paten untuk beton yang diperkuat dengan logam yang ditarik sebelum pelat dibebani. Pemakaian ini berdasarkan konsep bahwa beton, walaupun kuat terhadap tekanan, lemah terhadap tarikan, dan dengan menarik baja serta menahannya ke beton akan membuat beton tertekan yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengimbangi tegangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati maupun beban hidup.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang melelahkan terhadap sifat-sifat beton dan baja, Freyssinet dalam tahun 1928 menunjukkan keuntungan-keuntungan dari pemakaian baja dan beton berkekuatan tinggi untuk memperhitungkan berbagai kehilangan prategang yang disebabkan oleh rangkak (*creep*) dan susut (*shrinkage*) pada beton.

Penggunaan beton prategang menyebar secara cepat. Dalam 25 tahun terakhir beton prategang telah dipakai secara luas untuk konstruksi jembatan dengan bentang panjang, atau cangkang (*shell roofs*) untuk bangunan industri, struktur bangunan laut, bejana tekanan nuklir, struktur bangunan penahan air, tiang jaringan transmisi, bantalan jalan baja dan berbagai jenis struktur lainnya. [9,10]

III.2 KONSEP DASAR BETON PRATEGANG

Beton prategang adalah beton yang telah diberikan tegangan-tegangan dalam, dalam jumlah dan distribusi tertentu sehingga dapat menetralkan sejumlah tertentu tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh beban luar sesuai dengan yang direncanakan.

Pada dasarnya beton merupakan material kompresif yang kekuatan tariknya sangat rendah sehingga tidak dapat dimanfaatkan. Proses prategang memberikan tekan terlebih dahulu pada batang bajanya untuk dapat mengurangi atau menghilangkan tegangan-tegangan tarik yang tidak diinginkan yang ada pada batang tersebut. Melalui cara ini retak-retak yang terjadi pada kondisi beban kerja dapat dikurangi sampai semimumum mungkin. Lendutan-lendutan yang terjadi dapat dibatasi sampai suatu harga tertentu yang masih dapat diterima, walaupun sesungguhnya dengan mengkombinasikan gaya dalam dan luar pada beban kerja dan gaya-gaya prategang, batang-batang dapat direncanakan dengan lendutan sekecil mungkin. [2]

Ada tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang yaitu :

III.2.1. SISTEM PRATEGANG UNTUK MENGUBAH BETON MENJADI BAHAN YANG ELASTIS

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis dan mungkin merupakan pendapat yang umum dari para

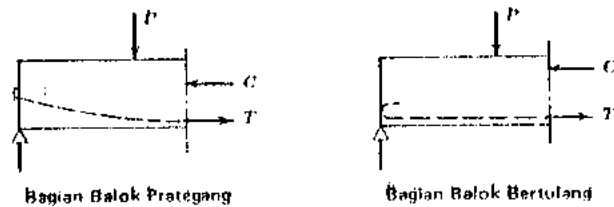
insinyur. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan batang baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini lahirlah kriteria "tidak ada tegangan tarik" pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

Atas dasar pandangan ini beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan : gaya internal prategang dan beban eksternal, dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Begitu juga retak pada beton akibat beban eksternal dicegah atau diperlambat dengan pratekan yang dihasilkan oleh tendon. Sejauh tidak terjadi retak-retak, tegangan-tegangan, regangan-regangan, dan lendutan-lendutan pada beton akibat kedua sistem pembebanan dapat dipandang secara terpisah dan bersama-sama bila perlu.[10]

III.2.2. SISTEM PRATEGANG UNTUK KOMBINASI BAJA MUTU TINGGI DENGAN BETON

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai

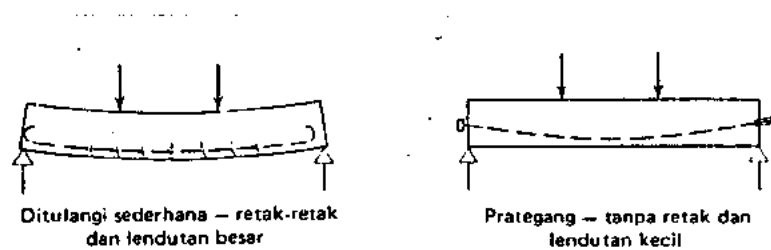
gabungan dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal, gambar 3.2 memperlihatkan baja menahan gaya tarik dan beton menahan gaya tekan, dan keduanya membentuk momen kopel dengan lengan momen diantaranya.



Gbr.3.2. Momen penahan internal pada balok beton prategang dan balok beton bertulang.

Pada beton prategang baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, seperti terlihat pada gambar 3.3, oleh karena itu baja perlu ditarik sebelumnya terhadap beton. Dengan menarik dan menjangkarkan baja kebeton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan. Tegangan dan regangan tekan pada beton tekan, dan tegangan dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Pada

masalah yang tanpa prategang, baja secara khusus diberi ulir untuk membuat rekatan (*bond*), dengan maksud untuk mendistribusikan retak. Cara ini menghindari pengeluaran biaya untuk meregangkan dan mengangkurkan baja mutu tinggi tetapi tidak memberikan hasil yang diinginkan seperti gaya pratekan pada beton dan pengontrolan lendutan.



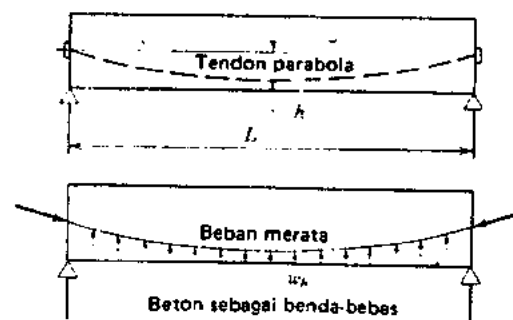
Gbr.3.3. Balok Beton menggunakan baja mutu tinggi.

Dalam sudut pandangan ini, beton prategang tidak lagi merupakan hal yang aneh dalam desain. Meskipun banyak akal digunakan untuk membuat desain yang memadai dan ekonomis dari beton prategang, tidak ada metode yang ajaib untuk menghindari kenyataan akan keharusan untuk memikul momen eksternal dengan kopel internal. Dan kopel penahan internal harus disuplai oleh baja untuk menahan tarikan dan disuplai oleh beton untuk menahan tekanan, baik beton prategang atau beton bertulang biasa. Konsep ini telah digunakan dengan baik untuk menentukan kekuatan batas balok beton prategang dan juga dapat dipakai dalam keadaan elastis.[10]

III.2.3. SISTEM PRATEGANG UNTUK MENCAPAI PERIMBANGAN BEBAN

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah beton. Konsep ini dikembangkan oleh T.Y. Lin dan digunakan oleh praktisi lain untuk hal yang lebih sederhana.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga beton yang mengalami lenturan seperti pelat (*slab*), balok, dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari beton lentur menjadi beton yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda-benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang, seperti terlihat pada gambar 3.4. dibawah ini. [10]



Gbr.3.4. Balok prategang dengan tendon parabola.

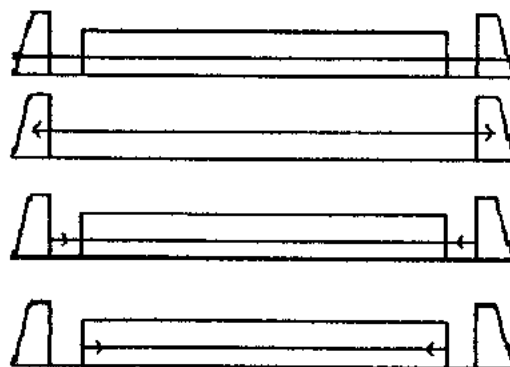
III.3. SISTEM PRATEGANG

Ada dua teknik dasar yang umum dipakai didalam pelaksanaan beton prategang, perbedaan utama adalah apakah proses penarikan baja dilakukan sebelum atau sesudah pengerasan beton:

III.3.1. SISTEM PRATARIK (*PRETENSIONING*)

Yaitu sistem untuk memberi prategang pada beton dimana tendon ditarik terlebih dahulu sebelum beton dicor. Setelah beton mengeras (sudah mencapai kekuatan yang disyaratkan) tendon dipotong pada kedua ujung-ujungnya. Dalam metode ini gaya prategang diberikan pada beton melalui rekatan antara tendon dengan beton, maka terjadilah pemindahan gaya tarik tendon kebeton berupa gaya tekan. [2,10,12,13]

Secara ideal metode ini cocok untuk diproduksi di pabrik dimana cetakan dapat dipakai berulang-ulang untuk bagian bangunan dengan ukuran standar.



Gbr.3.5. Sistem Pratarik.

III.3.2. SISTEM PASCATARIK (POSTTENSIONING)

Yaitu sistem untuk memberi prategang pada beton untuk menarik tendon terhadap beton yang telah mengeras. Tendon dipasang didalam lubang atau saluran yang dibentuk terlebih dahulu pada beton, dengan profil yang telah direncanakan. Dengan demikian tidak akan terjadi lekatan antara baja dengan beton. [9,10,11,12,13]

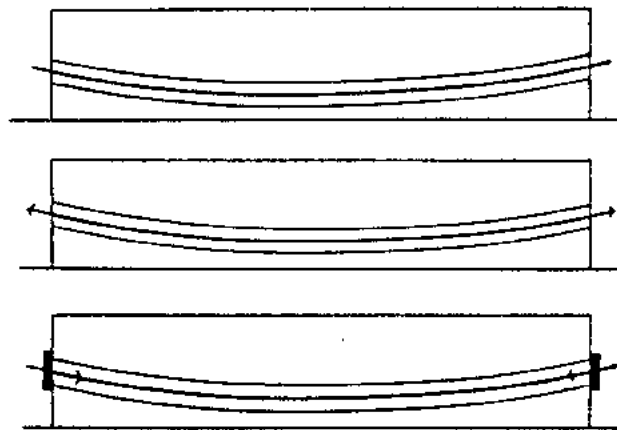
Bila kekuatan beton yang diperlukan telah tercapai, tendon ditegangkan/ditarik dan diangkurkan pada ujung-ujungnya. Penarikan tendon dengan perantara dongkrak dengan reaksi yang bekerja melawan beton, sehingga gaya prategang ditransfer kebeton melalui angkur. Dengan demikian beton menjadi tertekan.

Sistem ini dapat digunakan pada beton yang monolit atau susunan elemen-elemen yang terpisah, sambungan antar elemen tidak perlu diisi adukan beton jika antar elemen dapat menempel dengan tepat dan baik. Jika tidak demikian sambungan diisi terlebih dahulu dengan adukan beton yang sama kekuatannya dengan tebal yang cukup sebelum diberi gaya prategang.

Penarikan tendon dapat dilakukan bertahap dan dapat sekaligus. Jika bertahap, tendon yang ditarik lebih dahulu tidak boleh mengganggu pergerakan tendon yang ditarik setelahnya.

Setelah tendon diangkurkan, ruang antara tendon dan beton dapat diisi adukan (*grouting*), sehingga masih mungkin terjadi lekatan antara tendon dan beton, disebut tendon

terekat (*bounded*), kecuali jika digunakan *unbound tendons* (tendon dilapisi minyak, kertas atau plastik). Efisiensi lekatan tergantung pada jarak tendon, efektifitas adukan dan bentuk selubung. Jika lekatan yang terjadi dapat dijamin baik angkur dapat dihilangkan, sehingga transfer gaya prategang dilakukan melalui lekatan. Bila tendon tidak terekat, yaitu bila ruang antara tendon dan beton tidak diisi adukan, penjagaan terhadap korosi dilakukan dengan minyak pelumas tertentu atau gas nitrogen. [9,11,12,13]



Gbr.3.6. Sistem Pascatarik

III.4. JENIS BETON PRATEGANG

Jenis prategang kadang-kadang dibuat berdasarkan tingkatan prategang yang akan bekerja pada komponen struktur :

III.4.1. STRUKTUR BETON PRATEGANG PENUH (FULLY PRESTRESSED CONCRETE)

Adalah komponen struktur yang didesain sedemikian sehingga pada beban kerja tidak terjadi tegangan tarik. [9,10]

III.4.2. STRUKTUR BETON PRATEGANG SEBAGIAN (PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE)

Adalah komponen struktur yang didesain sedemikian sehingga pada beban kerja masih memungkinkan terjadinya tegangan tarik pada komponen struktur akibat beban kerja. [9,10]

III.5. KEUNTUNGAN BETON PRATEGANG

Struktur beton prategang mempunyai beberapa keuntungan, antara lain:

- a. Terhindar retak terbuka didaerah tarik, jadi lebih tahan terhadap keadaan korosit.
- b. Kedap air, cocok untuk pipa dan tanki.
- c. Karena terbentuknya lawan lendut sebelum beban rencana bekerja, maka lendutan akhirnya akan lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang.
- d. Penampang struktur lebih kecil/langsing, sebab seluruh luas penampang dipakai secara efektif.

Bila ditinjau dari segi ekonomis maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- a. Jumlah adukan beton yang diperlukan lebih sedikit.
- b. Biaya awalnya tidak sebanding dengan pengurangan beratnya. Harga baja dan beton mutu tinggi lebih mahal. juga bekisting dan penegangan baja perlu tambahan biaya. Perbedaan harga awal ini menjadi lebih kecil apabila beton prategang yang dibuat adalah beton pracetak dalam jumlah yang besar.

c. Beton prategang hampir tidak memerlukan pemeliharaan, lebih tahan lama karena tidak adanya retak-retak, berkurangnya beban mati yang diterima pondasi, dapat mempunyai bentang yang lebih besar, dan tinggi penampang konstruksi berkurang. [9.11]

tabel.3.1. Tabel Prestressing Tendons

Type	Prestressing tendons					
	U.S. customary			SI		
	Nominal diameter, in	Nominal area, in ²	Nominal weight, lb/ft	Nominal diameter, mm	Nominal area, mm ²	Nominal mass, kg/m
Seven-wire strand (Grade 250)	0.250	0.036	0.12	6.350	23.2	0.179
	0.313	0.058	0.20	7.950	37.4	0.298
	0.375	0.080	0.27	9.525	51.6	0.402
	0.438	0.108	0.37	11.125	69.7	0.551
	0.500	0.144	0.49	12.700	92.9	0.729
	0.600	0.216	0.74	15.240	139.4	1.101
Seven-wire strand (Grade 270)	0.375	0.085	0.29	9.525	54.8	0.432
	0.438	0.115	0.40	11.125	74.2	0.595
	0.500	0.153	0.53	12.700	98.7	0.789
	0.600	0.215	0.74	15.240	138.7	1.101
Prestressing wire	0.192	0.029	0.098	4.877	18.7	0.146
	0.196	0.030	0.10	4.978	19.4	0.149
	0.250	0.049	0.17	6.350	31.6	0.253
	0.276	0.060	0.20	7.010	38.7	0.298
Prestressing bars (smooth)	$\frac{1}{2}$	0.44	1.50	19.050	283.9	2.232
	$\frac{3}{4}$	0.60	2.04	22.225	387.1	3.036
	1	0.78	2.67	25.400	503.2	3.973
	$1\frac{1}{4}$	0.99	3.38	28.575	638.7	5.030
	$1\frac{1}{2}$	1.23	4.17	31.750	793.5	6.206
	$1\frac{3}{4}$	1.48	5.05	34.925	954.8	7.515
Prestressing bars (deformed)	$\frac{1}{2}$	0.28	0.98	15.875	180.6	1.458
	$\frac{3}{4}$	0.42	1.49	19.050	271.0	2.217
	1	0.85	3.01	25.400	548.4	4.480
	$1\frac{1}{4}$	1.25	4.39	31.750	806.5	6.535
	$1\frac{1}{2}$	1.56	5.56	34.925	1006.5	8.274

BAB IV

KETENTUAN-KETENTUAN UNTUK KEAMANAN

IV.1. FAKTOR KEAMANAN.

Perencanaan suatu struktur harus direncanakan mampu memikul beban dari kapasitas beban yang direncanakan atau dengan kata lain struktur tersebut mempunyai kapasitas cadangan dalam pemikulan beban. Kapasitas cadangan itu diadakan atas beberapa faktor diantaranya :

IV.1.1. FAKTOR BEBAN.

Agar supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan laik pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban maka harus dipenuhi ketentuan dan faktor-faktor beban yang diijinkan. Baik itu oleh beban hidup, beban mati atau berat sendiri konstruksi. Peraturan SKSNI T-15-1991-03 memisalkan faktor keamanan untuk menahan beban dalam faktor U dan untuk faktor reduksi kekuatan dalam faktor ϕ . Persamaan dasar kuat perlu untuk suatu struktur dengan mengabaikan pengaruh angin dan gempa sebagai berikut [1,8]

$$U = 1,2 D + 1,6 L \dots\dots\dots 4.1.$$

dimana :

U = kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau moment dan gaya dalam yang berhubungan dengannya.

D = beban mati pada keadaan layan.

L = beban hidup pada keadaan layan.

IV.1.2. FAKTOR REDUKSI KEKUATAN (ϕ).

Faktor reduksi kekuatan diadakan untuk memperhitungkan variasi dalam bahan, dimensi struktur serta pendekatan perhitungan agar didapat suatu kekuatan yang layak untuk suatu perencanaan. Reduksi kekuatan yaitu kekuatan yang berada dibawah kuat desak yang diijinkan berdasarkan prosedur perhitungan dalam batas toleransi yang masih dapat diterima. Faktor reduksi kekuatan dikalikan dengan kekuatan nominal untuk memperoleh kekuatan yang dapat diandalkan. Faktor reduksi kekuatan menurut SKSNI T-15-1991-03 ditetapkan oleh beberapa nilai adalah sebagai berikut :

	faktor ϕ
1. Beban lentur tanpa gaya aksial	0,80
2. Gaya aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,80
3. Gaya aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur	0,65
4. Gaya lintang dan torsi	0,60

Tujuan dari faktor keamanan adalah untuk mengurangi kemungkinan runtuhnya suatu struktur serta diharapkan akan menjadikan struktur itu ekonomis. [1,8]