

BAB 1

PENGANTAR UMUM

1.1. PENDAHULUAN

Bahan yang dipakai sebagai elemen struktur pada umumnya adalah kayu, baja, dan beton bertulang. Beton adalah batu buatan, jadi bersifat getas. Beton bisa dibentuk dan kekuatannya bisa dibuat. Beton sangat bagus menahan tekan tetapi kurang bagus dalam menahan tarik. Baja sangat bagus menahan tekan dan tarik. Penyatuan baja dan beton yang disebut beton bertulang membuat bahan tersebut kuat menahan tekan dan tarik. Beton bertulang adalah gabungan dari beton dan batang tulangan yang ditanamkan di dalamnya terutama di daerah yang menahan tarik kemudian di cor. Penemu beton bertulang adalah Joseph Monier pada tahun 1867 [18]. Beton bertulang menjadi suatu bahan pilihan karena kemampuannya menahan beban yang besar juga dapat dibentuk sesuai kebutuhan.

Wang dan Salmon, 1990 [17] menyatakan beton dan baja dapat bekerja sama karena:

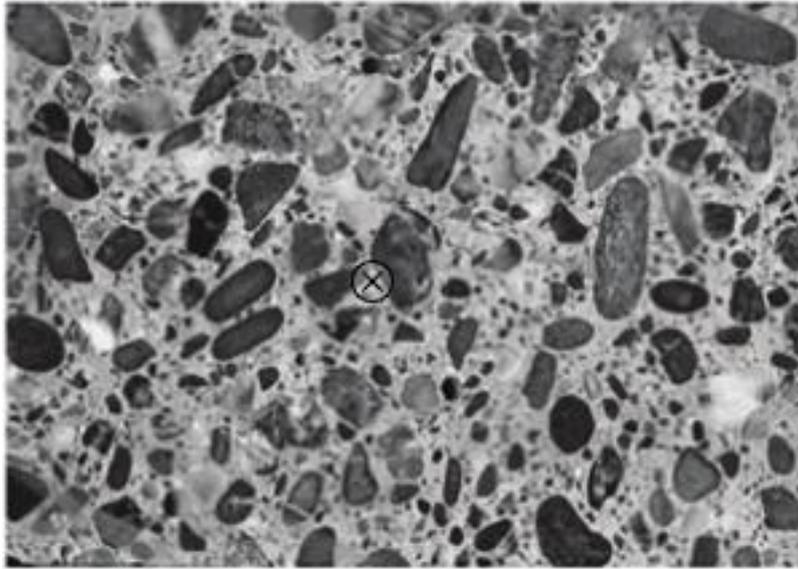
1. Baja memiliki lekatan terhadap beton di sekelilingnya yang mencegah slip dan menjadikan beton bertulang sebagai satu kesatuan
2. Campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja
3. Beton dan baja memiliki kecepatan muai serupa yaitu 1.10^{-5} sampai dengan $1,3.10^{-5}$ untuk beton dan $1,2.10^{-5}$ untuk baja per derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$). Hal ini membuat perubahan tegangan antara baja dan beton dapat diabaikan dibawah perubahan suhu udara.

Tahun 1985-1990 penerbitan tentang beton sangat sedikit karena para teknisi menganggap bahwa pelaksanaan dan cara perhitungan adalah rahasia dagang. Pada tahun 1903 mulai dibentuk suatu komite di Amerika Serikat untuk menyeragamkan penerapan beton bertulang. Sebelum tahun 1950 perencanaan beton memakai metode elastis. Sesudah tahun 1950 memakai metode kekuatan. Pengetahuan tentang beton bertulang terus berkembang, penelitian terus dilakukan sehingga persyaratan-persyaratan yang mengatur tata-cara perencanaan secara terus menerus diperbaharui.

Beton bertulang harus didesain dengan kehancuran daktail. Hal ini berarti bahwa bila beton sudah diambang kekuatan kritisnya, beton tidak boleh hancur secara tiba-tiba, namun memberikan suatu tanda yaitu berupa kelengkungan.

1.2. BETON

Beton adalah batu buatan yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil, split), dan semen sebagai bahan pengikat. Semen adalah bahan pengikat hidrolis yang akan bereaksi bila bersentuhan dengan air. Kekuatan beton sangat tergantung pada jumlah dan kualitas semen serta jumlah air. Agregat menempati volume $\pm 75\%$ dari beton. Gradasi agregat yang mampu memiliki kepadatan terbesar memberikan kontribusi yang besar pada kekuatan beton Gambar 1.1.



Hilal [9]

Gambar 1.1. Potongan beton

1.2.1. Kuat Tekan Beton

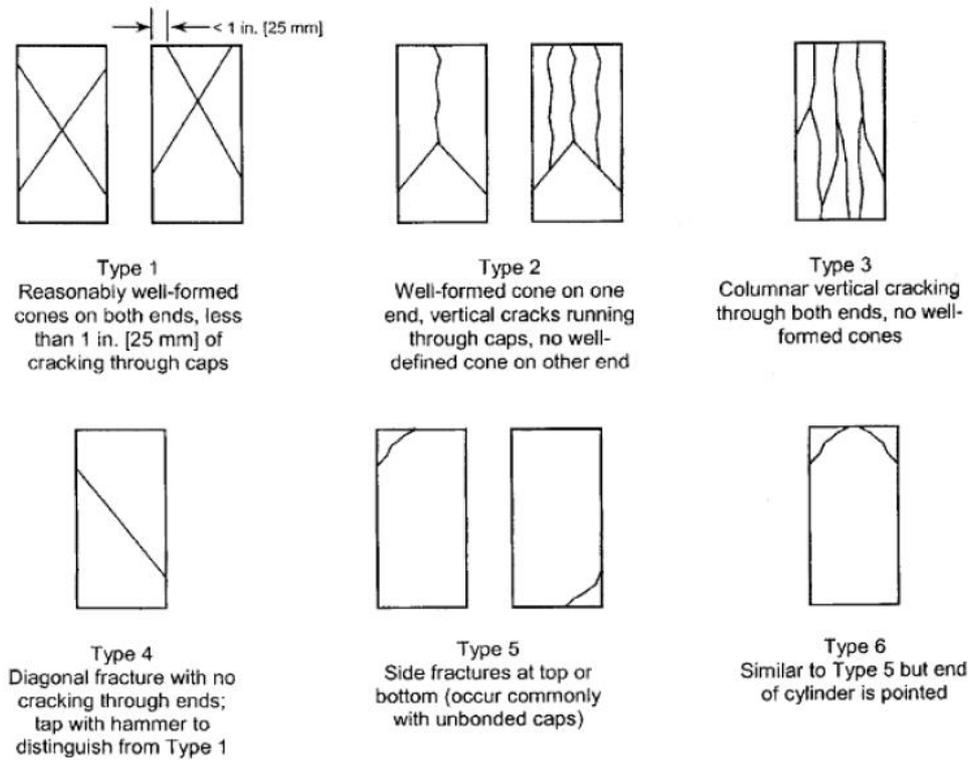
Kuat tekan beton f_c' adalah kuat tekan benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari. Kuat tekan beton f_c' untuk keperluan umum minimal 17 MPa, sedangkan untuk sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural 17-35 MPa (Pasal 19.2.1.1) [15].

Tegangan tekan dan tarik aksial berbeda dengan tegangan tekan lentur dan tarik lentur. Beban lentur biasa digambarkan sebagai Bidang Momen. Untuk mengetahui secara pasti kekuatan lentur beton dapat dilakukan uji lentur. Bentuk benda uji pada pengujian lentur biasanya balok $600\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ [5].

Kekuatan beton tergantung pada pertumbuhan produk hidrasi. Sebagian besar produk hidrasi telah terbentuk pada umur 28 hari apabila digunakan Ordinary Portland Cement (OPC). Produk hidrasi akan tumbuh optimum apabila dilakukan *curing* kelembaban pada suhu minimal 10°C paling tidak selama 7 hari setelah pengecoran. Karena deformasi beton ditentukan oleh bentuk elemen strukturnya, maka perletakan benda uji harus mengikuti posisi elemen struktur yang sebenarnya [10].

Konversi kuat tekan beton yang diuji pada berbagai umur terhadap kuat tekan umur 28 hari, sebaiknya ditentukan berdasarkan uji coba dengan jenis material yang sama

Tipe kehancuran benda uji tersebut menurut ASTM 39/39M-05 [1] seperti Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Tipe kehancuran pada uji tekan [1]

Wujud kehancuran beton pada salah satu pengujian disajikan pada Gambar 1.3.



Herdiawan,2020 [8]

Gambar 1.3. Tipe kehancuran pada salah satu pengujian

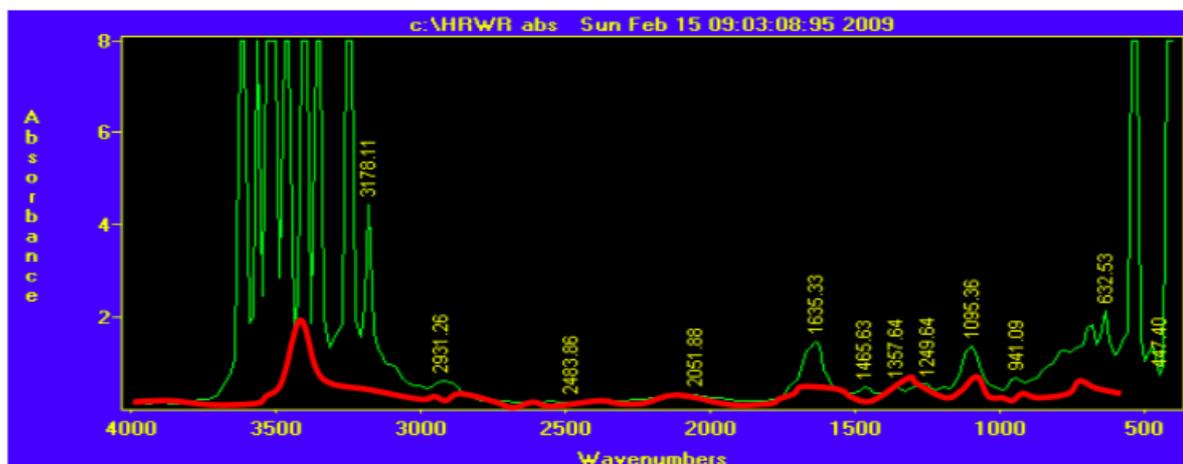
Dengan perkembangan teknologi bahan, terkadang pada campuran beton ditambahkan bahan *additive* dan *admixture*. Hal itu untuk mencapai tujuan tertentu seperti kekuatan awal tinggi, dan mudah dikerjakan. Penambahan bahan tersebut perlu dilakukan dengan hati-hati baik dosis maupun caranya, karena hal ini dapat mengubah sifat kehancuran beton. Pemilihan jenis bahan tambah seperti superplasticizer perlu diperhatikan [13]. Kehancuran pada uji tekan pada umur 28 dan 56 hari dapat memiliki bentuk seperti Gambar 1.4. padahal tipe kehancuran pada umur kurang dari 28 hari masih menunjukkan tipe biasa seperti Gambar 1.2.



Niken dkk, 2014 [13]

Gambar 1.4. Kehancuran getas pada uji tekan berupa retak melintang

Retak yang terjadi pada Gambar 1.4 adalah retak melintang. Tipe kehancuran ini tidak tergolong pada salah satu tipe dalam Gambar 1.3. Tipe kehancuran ini mengkhawatirkan karena termasuk getas. Hal ini disebabkan pemakaian superplasticizer dari jenis yang kuat namun memiliki fluktuasi absorpsi tinggi pada uji FTIR (*Fourier Transform-Infra Red*). Fluktuasi tinggi dihasilkan oleh superplasticizer kuat, sedang fluktuasi landai dihasilkan oleh superplasticizer biasa (Gambar 1.5).

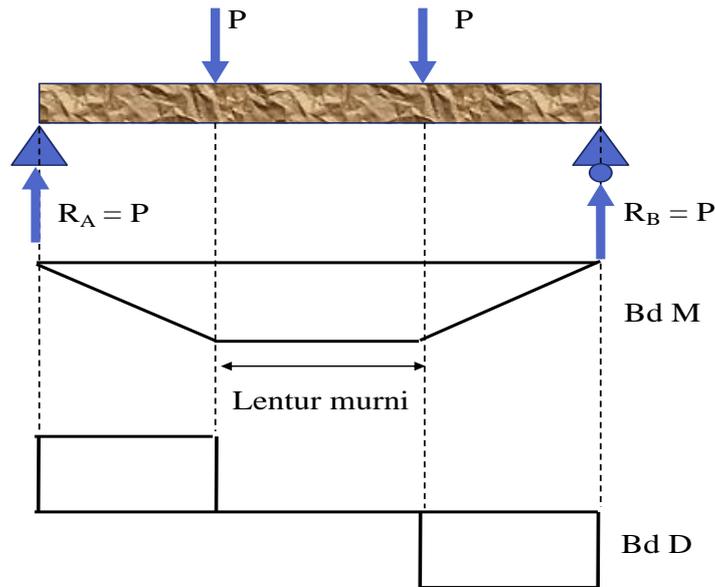


Niken dkk, 2014 [13]

Gambar 1.5. Absorpsi pada uji FTIR pada superplasticizer

1.2.2. Kuat Tarik Lentur Beton

Pada umumnya beton akan retak pada bagian serat yang tertarik. Kekuatan tarik lentur beton biasanya dilakukan pada balok sesuai ASTM C 78-08 [5] dengan 2 titik pembebanan, sehingga diperoleh daerah yang lentur murni (Gambar 1.6).



Gambar 1.6. Balok dengan daerah lentur murni

Retak pada daerah lentur murni karena tarik lentur disebut sebagai modulus retak beton atau *modulus of rupture*.

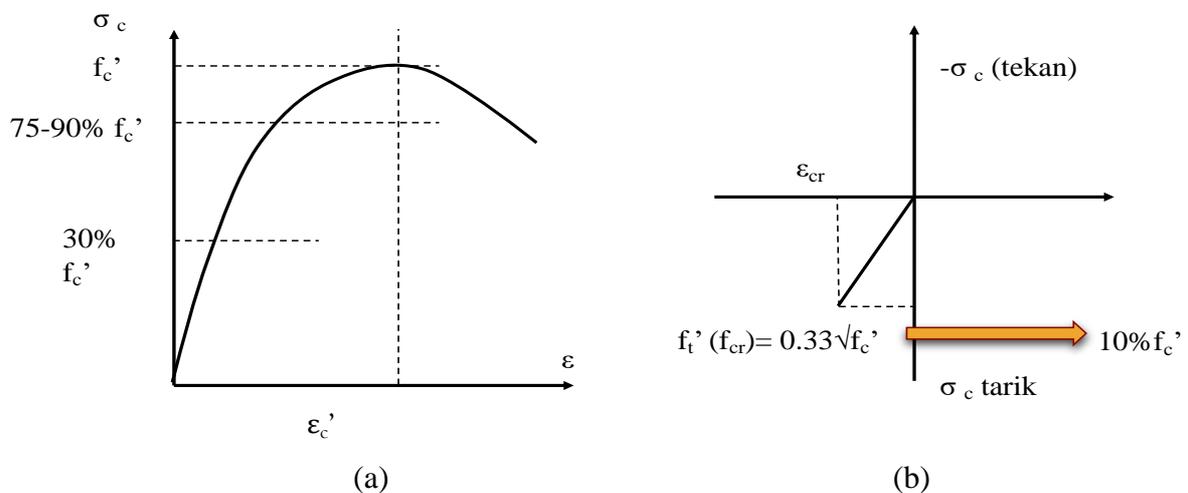
Modulus retak beton f_r dapat dihitung dengan Pasal 19.2.3.1 [15] yaitu Persamaan 1.1.

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c} \quad (1.1)$$

Suatu bahan bila dikenai beban pasti akan mengalami tegangan di dalamnya. Tegangan beton diperoleh dari pengujian tekan seperti diuraikan pada butir 1.2.1. (Persamaan 1.2)

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (1.2)$$

Karena ditekan atau ditarik maka beton akan berdeformasi atau mengalami regangan (ϵ). Hubungan tegangan dan regangan beton dapat dilihat pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7. Hubungan tegangan-regangan (σ - ϵ) beton: (a) tekan, (b) tarik

Bahan beton bersifat linier elastik tapi pola tegangan - regangan menjadi non linier karena adanya retak² antara agregat dan pasta semen. Retak tersebut disebabkan deformasi ekspansi dan susut di dalam beton yang dipicu antara lain oleh gaya pertumbuhan produk hidrasi, dan gaya tarik pori kapiler [11].

Tegangan < 30% f_c' hubungan σ - ϵ masih linier

Tegangan > 30% retak² mengembang

Tegangan 75-90% retak² merambat ke mortar dan makin menyimpang dari sifat linier

Kekuatan beton dalam menahan tarik $\pm 10\%$ dari kuat tekannya.

Dalam kondisi linier, modulus elastisitas beton:

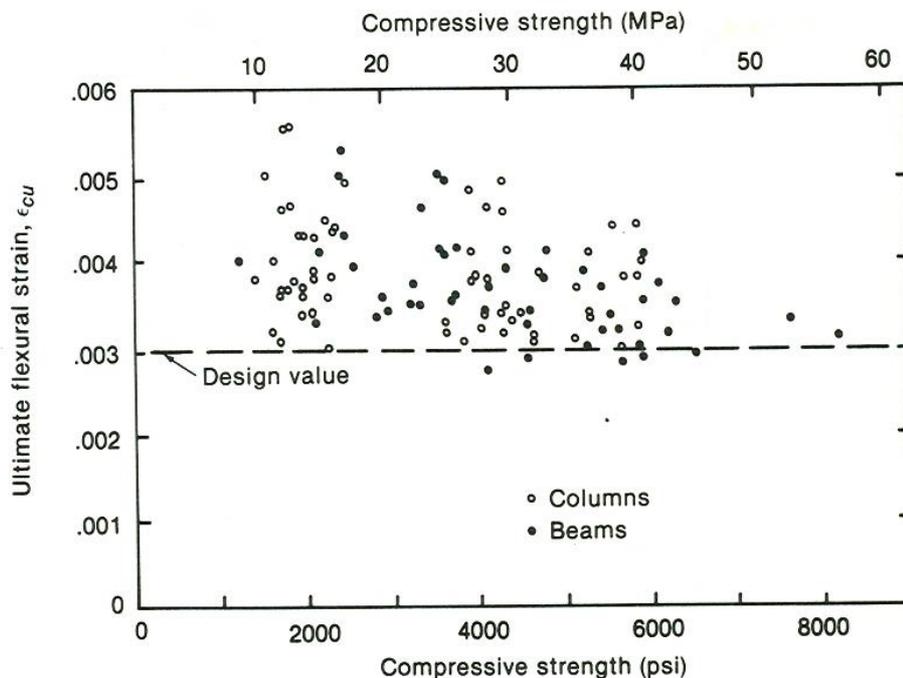
$$E = \sigma/\epsilon \quad (1.3)$$

Modulus elastisitas E tergantung pada mutu beton Pasal 19.2.2.1b [15].

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1.4)$$

E_c : Modulus elastisitas beton, MPa

Uji kuat tekan dan regangan lentur telah dilakukan pada sampel balok dan kolom. Hasil pengujian menunjukkan nilai ϵ_{cu} yang menyebar 0,0028 – 0,0058 baik sampel balok maupun kolom dengan berbagai kuat tekan (Gambar 1.8.). Konsentrasi nilai terlihat pada 0,003-0,004; maka nilai ϵ_{cu} diambil 0,003.



(a) Ultimate strain from tests of reinforced members.

Gambar 1.8. Hubungan tegangan tekan dan regangan lentur ultimit

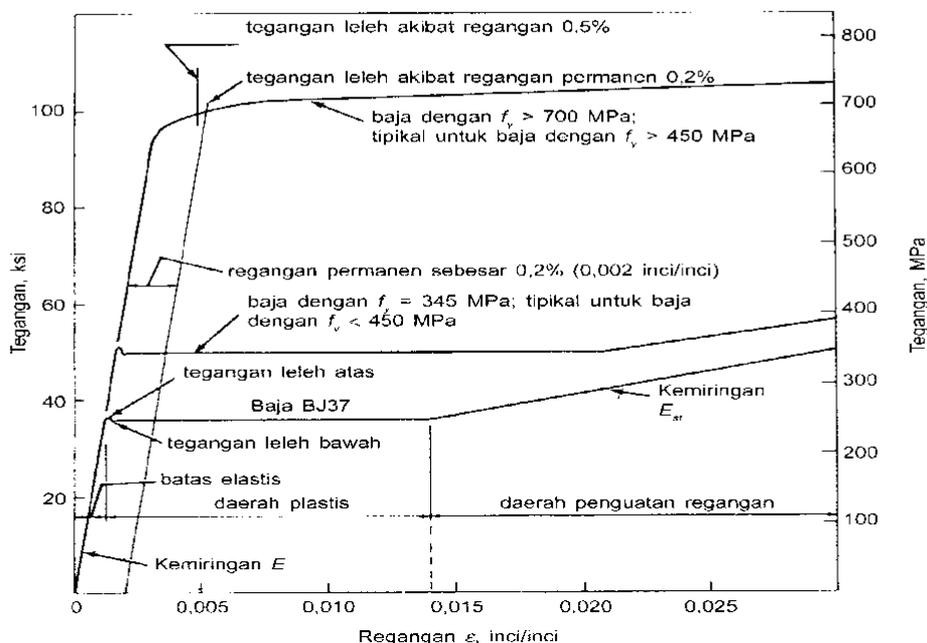
Nilai kekuatan nominal komponen struktur yang mengalami momen, atau kombinasi momen dan gaya aksial ditentukan oleh kondisi dimana regangan dalam serat tekan terjauh sama dengan asumsi batas regangan, yaitu 0,003. Regangan tarik netto ϵ_t adalah regangan tarik tulangan tarik terjauh pada kekuatan (R21.2.2) [15].

1.3. BAJA TULANGAN

Jenis baja antara lain sebagai berikut:

- Baja karbon (ASTM A615M) [2]
- Baja *low alloy* (ASTM A706M) [4]
- Baja *stainless* (ASTM A955M) [6]
- Baja rel & baja gandar (ASTM A996M) [3]

Hubungan tegangan dan regangan baja disajikan pada Gambar 1.9.



Salmon dan Johnson, 2009 [14]

Gambar 1.9. Hubungan tegangan – regangan baja

Dengan melihat Gambar 1.7a dan 1.9, terlihat perbedaan yang nyata antara sifat beton dan baja. Baja menunjukkan kelelahan atau *yielding* (f_y). Baja f_y kurang dari 420 MPa, kekuatan leleh berhubungan dengan regangan 0,5%, f_y minimum 420 MPa, kekuatan leleh berhubungan dengan regangan 0.35%.

Baja dengan f_y lebih rendah, lebih mampu berdeformasi lebih panjang dibanding beton sehingga lebih daktil. Daktilitas adalah rasio regangan hancur terhadap regangan leleh (Persamaan 1.5).

$$\Delta = \frac{\epsilon_{\text{hancur}}}{\epsilon_{\text{leleh}}} \quad (1.5)$$

Tahap awal hubungan σ - ϵ sampai leleh menunjukkan sifat linier, sehingga rasio keduanya adalah seperti Persamaan 1.6 (Pasal 21.2.2.1) [15].

$$E_y = f_y/\epsilon_y \quad (1.6)$$

Dari Gambar 1.8 terlihat bahwa kemiringan pada berbagai nilai f_y adalah sama. Hal ini berbeda dengan beton. Modulus elastisitas baja E_y sama untuk berbagai kualitas baja, sedangkan modulus elastisitas beton tergantung pada mutunya.

Sifat baja didekati:

E_s : modulus elastisitas baja = 200.000 MPa. (Pasal 20.2.2.2) [14]

G : modulus geser baja = $\frac{E}{2(1+\mu)}$ didekati dengan nilai 80.000 MPa

Poison rasio = 0.30

Sifat mekanis baja struktural dinyatakan dengan BJ yang menunjukkan tegangan putusnya (Tabel 1.1.)

Tabel 1.1. Sifat-sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Tegangan tarik desain tulangan maximum adalah f_y (Pasal 25.9.4.5.1) [15].

Pasal 20.2.2.4 SNI 2019 [15] menyatakan tipe dari kawat dan batang nonprategang yang akan digunakan untuk struktur tertentu harus sesuai Tabel 20.2.2.4a untuk tulangan ulir dan Tabel 20.2.2.4b untuk tulangan polos.

Bentuk baja tulangan ada 2 yaitu: ulir dan polos

1.3.1. Baja Ulir

Baja ulir atau deform (D) diharuskan memiliki f_y min 400 MPa. Karena berulir maka dipakai diameter nominal. Diameter nominal (D) diameter polos yang mempunyai berat/satuan panjang sama dengan berat/satuan panjang ulir. D10 berarti memiliki diameter nominal 10 mm, D13 berarti memiliki diameter nominal 13 mm, dst. Berbagai bentuk tulangan ulir disajikan pada Gambar 1.10.



(a)

(b)

(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar.1.10 Tulangan ulir atau *deform*: (a,b) *High strength deformed steel bar*, (c) *Carbon steel reinbar*, (d) *Coated bar*, (e) *Thermo mechanically treated bar*, (f) *Bentuk tulangan ulir*

Penggunaan tulangan ulir nonprategang disajikan pada Tabel 1.2. ((Tabel 20.2.2.4a SNI)

Tabel 1.2. Penggunaan tulangan ulir nonprategang [15]

Penggunaan	Aplikasi	f_y atau f_{yt} maximum yang diizinkan untuk perhitungan desain (MPa)
Lentur, gaya aksial, susut dan suhu	Sistem seismic khusus	420
	lainnya	550
Kekangan lateral dari batang longitudinal atau kekangan beton	Sistem seismic khusus	700
	Spiral	700
	lainnya	550
Geser	Sistem seismic khusus	420
	Spiral	420
	Geser friksi	420
	Senggang, senggang ikat, Senggang pengekang	420
		550
Torsi	Longitudinal dan transversal	420

Untuk tulangan ulir, ϵ_{ty} sama dengan f_y / E_s . Untuk tulangan ulir mutu 420 MPa, diizinkan nilai ϵ_{ty} diambil sebesar 0,002 (Pasal 21.2.2.1) [15].

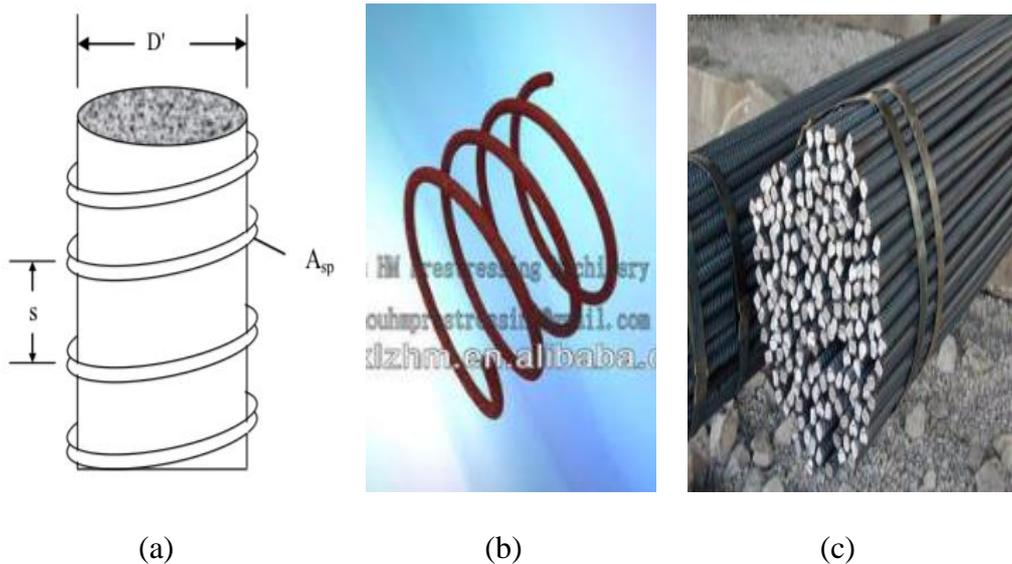
1.3.2. Baja Polos

Baja tulangan polos harus mempunyai f_y minimum 240 MPa. Diameternya ϕ antara lain 6mm, 8 mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16 mm dst atau $\phi 6$, $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 12$, $\phi 14$, $\phi 16$ (Gambar 1.11).

Penggunaan tulangan spiral polos dinyatakan pada Tabel 1.3. (Tabel 20.2.2.4b SNI)

Tabel 1.3. Penggunaan tulangan spiral polos [15]

Penggunaan	Aplikasi	f_y atau f_{yt} maximum yang diizinkan untuk perhitungan desain (MPa)
Kekangan lateral dari batang longitudinal, atau kekangan beton	Spiral pada sistem gempa khusus	700
	Spiral	700
Geser	Spiral	420
Torsi pada balok non prategang	Spiral	420



Gambar 1.11. Tulangan polos: (a,b) spiral, c) batang tulangan polos

Regangan tarik baja terluar (ϵ_t) untuk pelat diharuskan minimal 0,04 (Pasal 7.3.3.1) [15].

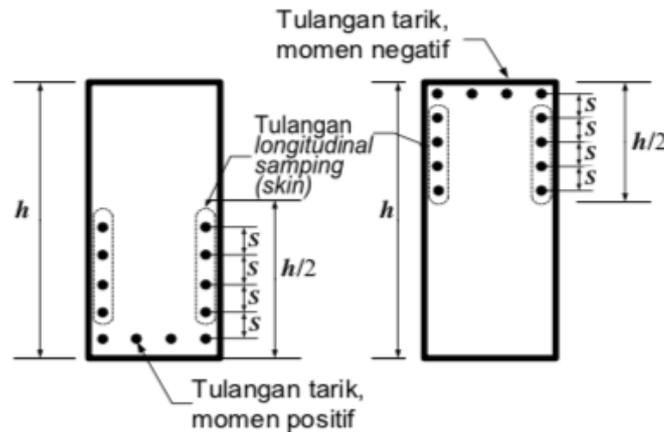
1.4. SUSUT, RANGKAK DAN SUHU

Deformasi dalam beton terjadi secara alamiah. Susut adalah deformasi yang sering disebut dalam beton. Susut adalah perubahan volume. Pada beton hal ini terjadi sejak beton dituang. Sebenarnya beton tidak hanya menyusut namun juga ekspansi. Ekspansi antara disebabkan oleh Ca^{2+} yang dihasilkan oleh reaksi hidrasi [11]. Apabila beton tidak dapat mengakomodasi perubahan susut dan ekspansi, dapat timbul retak di dalamnya. Air dihitung dengan cermat saat perencanaan campuran, dengan menganggap bahwa agregat kasar dan halus dalam kondisi SSD (*saturated surface dried*). Menjaga air tidak ada yang menguap atau yang masuk ke dalam beton adalah penting dilakukan segera setelah pengecoran. Oleh sebab itu, elemen yang di cor harus ditutup segera setelah pengecoran berakhir. Apabila hal ini dilaksanakan dengan benar, maka retak dini dapat dihindari.

Dari pengamatan selama 24 jam pertama [10], susut pada skala laboratorium $15 \times 15 \times 60$ (cm) 31,5% lebih besar daripada susut pada specimen besar $20 \times 60 \times 300$ (cm).

Suhu dalam pelat beton dapat mencapai suhu 58°C pada hari pertama yang disebabkan proses hidrasi [11]. Semakin besar dimensi beton, suhu dalam beton semakin tinggi. Sesudah proses hidrasi menurun dan beton berhubungan langsung dengan cuaca sekeliling, maka suhu dan kelembaban udara akan mempengaruhi deformasinya. Perubahan ekspansi dan susut harus dapat diakomodir oleh beton bertulang dengan baik, apabila hal ini tidak dapat dipenuhi dapat menimbulkan retak. Karena permukaan terluas yang bersinggungan dengan cuaca adalah pelat, maka tulangan harus disediakan untuk menahan tegangan susut dan suhu sesuai Pasal 24.4 [15].

Susut dan rangkai juga mempengaruhi lendutan jangka panjang. Untuk balok dengan tinggi lebih dari 900 mm, R9.7.2.3 [15] mengharuskan pemasangan tulangan longitudinal samping (Gambar 1.12).



Gambar 1.12. Tulangan longitudinal samping (*skin reinforcement*) untuk balok dan pelat berusuk $h > 900$ mm [15]

Spasi tulangan s tidak boleh melebihi Tabel 1.4 atau Tabel 24.3.2 SNI [15].

Tabel 1.4. Spasi maksimum tulangan terlekat pada pelat satu arah dan balok non prategang [15].

Jenis Tulangan	Spasi maksimum s	
Tulangan ulir atau kawat	Terkecil dari:	$380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$
		$300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$

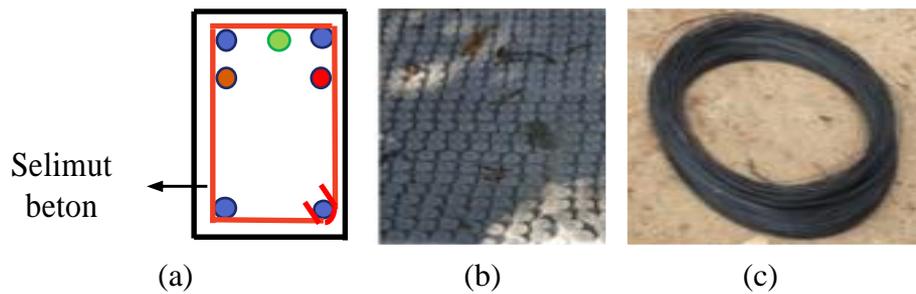
Dimana:

c_c : jarak terkecil antara permukaan beton ke tulangan ulir

1.5. SELIMUT BETON

Beton adalah material porous. Luas pori beton mencapai $500\text{m}^2/\text{cm}^3$ beton [8]. Karena luas pori yang besar maka air, udara, dan partikel kecil mudah menyusup masuk ke dalamnya. Beton yang tertimbun tanah selama bertahun-tahun, akan mengubah struktur mikronya. Perubahan struktur mikro berarti perubahan produk hidrasi yang pasti mempengaruhi kuat tekan dan dapat menyebabkan degradasi beton. Penetrasi partikel tanah dapat mencapai kedalaman 20 cm. Selimut berfungsi melindungi beton dan tulangan dari unsur-unsur yang merusak yang masuk melalui pori-pori beton.

Selimut beton adalah beton yang menyelimuti tulangan dan beton di dalamnya (Gambar 1.13a). Selimut beton dicetak terlebih dahulu dengan ketebalan sesuai Pasal 20.6.1.3.1 dan mutu sesuai rencana seperti Gambar 1.13b. Selimut beton yang masih tercetak ini disebut beton tahu (Gambar 1.13b).



Gambar 1.13. Selimut beton: (a) Selimut pada penampang balok beton, (b) beton tahu, (c) bendrat

Sewaktu masih lunak, potongan kawat bendrat (Gambar 1.13c) sepanjang ± 10 cm ditanamkan kedalam beton tahu lunak yang nantinya berfungsi sebagai tali pengikat dengan sengkang atau tulangan utama. Fungsi selimut beton adalah melindungi tulangan dari pengaruh cuaca di sekitarnya.

Pasal 20.6.1.3.1 SNI menyatakan komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat harus memiliki selimut beton sekurang-kurangnya seperti yang diperlihatkan pada Tabel 20.6.1.3.1 SNI atau Tabel 1.5 [15].

Tabel 1.5. Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat [15]

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
Di cor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16 kawat ϕ 13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
	Balok, kolom, pedestral dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

Apabila tebal selimut tidak mencukupi, unsur-unsur yang merusak beton dan tulangan dapat menyusup dan dapat mengakibatkan kerusakan yang serius (Gambar 1.14).



Hilal, 2016 [8]

(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1.14. Kerusakan karena selimut beton yang tidak sesuai, (a) lantai beton, (b) balok, (c) balok di pantai, (d) kehancuran total