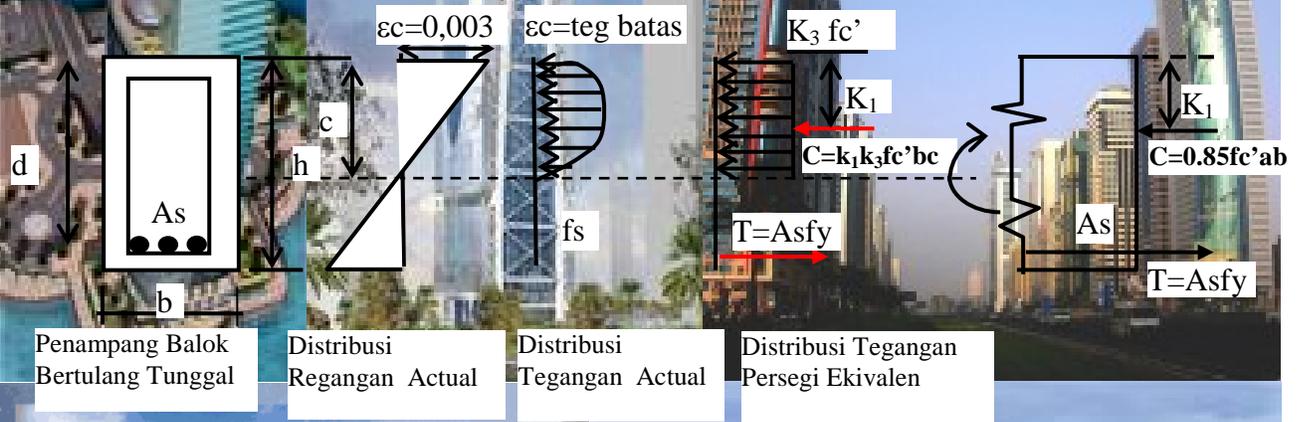




**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI PADANG**



STRUKTUR BETON DASAR



SAMBUTAN

MENTERI PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

Upaya penulisan buku Teknik Sipil, Teknik Arsitektur, Teknik Mesin, Teknik Electro, Matematika, Fisika dan Komputer yang dilakukan oleh Direktorat Perguruan Tinggi Swasta melalui penyelenggaraan “Penataran Dosen Perguruan Tinggi Swasta” ini, merupakan prestasi yang patut dihargai. Saya percaya hal tersebut sangat bermanfaat bagi para peserta penataran maupun bagi para dosen serta mahasiswa pengguna buku ini. Selain itu buku ini akan memperkaya pustaka khususnya di bidang Teknik dan MIPA.

Semoga buku bidang Teknik dan MIPA yang diterbitkan ini akan dapat membantu meningkatkan mutu pendidikan di lingkungan perguruan tinggi serta mempermudah para mahasiswa dalam mempelajari, memahami dan menghayati IPTEK yang dalam era pembangunan ini sangat dibutuhkan.

Jakarta, Februari 1999

Menteri Pendidikan dan Kebudayaan



Juwono Sudarsono

KATA PENGANTAR

Dalam era globalisasi (era kesejagadan) yang penuh persaingan, menuntut tersedianya SDM (Sumber Daya Manusia) yang lebih bermutu, handal dan unggul.

Penerbitan buku bidang Teknik SIPIL, MESIN, ELEKTRO, MATEMATIKA, FISIKA ini dimaksudkan guna menambah referensi yang diharapkan dapat dipakai sebagai acuan mata ujian negara bagi PTS yang jumlahnya begitu banyak tersebar di Kopertis Wilayah I - XII.

Dengan menyadari adanya kelebihan dan kekurangan dari terbitnya buku ini yang dipandang oleh rekan-rekan dari

- I. Jurusan Teknik Sipil : - Universitas Indonesia (U1)
- Institut Teknologi Bandung (ITB)
- Universitas Gajah Mada (UGM)
- Universitas Diponegoro (UNDIP)
- Institut Teknologi Surabaya (ITS)
2. Jurusan Teknik Mesin : - Institut Teknologi Bandung (ITB)
3. Jurusan Teknik Elektro : - Universitas Gajah Mada (UGM)
4. Jurusan Matematika : - Universitas Padjadjaran, Bandung
5. Jurusan Fisika : - Institut Teknologi Bandung (ITB)

Maka telah dapat disusun oleh para peserta penataran dari berbagai PTS di Indonesia.

Buku ini akan selalu di "update" atau disempurnakan pada edisi selanjutnya, oleh karena itu kritik dan saran untuk perbaikan akan sangat diharapkan.

Semoga buku ini bermanfaat dan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat serta PTS yang membiayai penerbitan buku ini.

Jakarta, Februari 1999

Direktur Perguruan Tinggi Swasta

(Joetata Hadihardaja)

PENGANTAR DARI BADAN PENERBIT UNIVERSITAS SEMARANG

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya-lah Badan Penerbit Universitas Semarang berhasil menerbitkan buku dengan judul "**Struktur Beton**" yang sangat berguna bagi Mahasiswa, dosen maupun para perencana bangunan.

Kami ucapkan terima kasih kepada Prof. Ir. Joetata Hadihardaja selaku Direktur Perguruan Tinggi Swasta yang telah memberikan kepercayaan kepada kami untuk menerbitkan buku ini dan mendistribusikannya keseluruh Perguruan Tinggi Swasta di Indonesia.

Kami berharap, semoga buku ini bisa bermanfaat bagi perkembangan pendidikan, khususnya di bidang Teknik Sipil sehingga dapat menunjang perkembangan IPTEKS di Indonesia.

Semarang, Maret 1999



Ir. Widjatmoko

NAMA-NAMA YANG TERKAIT DALAM RANGKA PEMBUATAN BUKU

1. DIREKTUR PERGURUAN TINGGI SWASTA (PROF. IR. JOETATA HADIHARDAJA)

2. KOORDINATOR KOPERTIS

- a. Wilayah I : Prof. Dr. Usman Pelly, MA.
- b. Wilayah II : Dr. Ir. H. Saad Nasuhim
- c. Wilayah III : Prof. dr. H. Arjatmo Tjokronegoro, Ph.D.
- d. Wilayah IV : Prof. Dr. H. Udju D. Rusdi
- e. Wilayah V : Ir. Haryana M. Arch.
- f. Wilayah VI : Prof. Dr. Soedarsono
- g. Wilayah VII : Prof. Ir. Pinardi Koestalam, M.Sc.
- h. Wilayah VIII : Ir. Ida Bagus Ketut Lodji, M.Sc.
- i. Wilayah IX : Prof. Dr. H. Ahmad Rohaeni Hafidz, MS.
- j. Wilayah X : Prof. Dr. Alfian Lains, SE. MA.
- k. Wilayah XI : Prof. H. Masrani Basri, SE.
- l. Wilayah XII : Prof. Drs. H. Ismael Taher

3. KOORDINATOR PENYUSUN BUKU : PROF. IR. SIDHARTA S.K.

4. PEMANDU :

- 1. Ir. Amrinsyah Nasution, MSCE, Ph.D Institut Teknologi Bandung, Bandung
- 2. Ir. Nuroji, MS Universitas Diponegoro, Semarang
- 3. Ir. Essy Ariyuni, M.Sc. Universitas Indonesia, Jakarta
- 4. Prof.Ir. Rachmat Purwono, M. Sc. Institut Teknologi Surabaya, Surabaya
- 5. DR. Ir. Priyosulistyo, M.Sc. Univ. Gajah Mada, Yogyakarta

5. PENYUSUN :

- 1. Ir. Winarni Hadipratomo Univ. Katolik Parahyangan, Bandung
- 2. Ir. Suzi Heti Kurnia Universitas Malahayati, Bandarlampung
- 3. Ir. I r w a n, MT Universitas Medan Area, Medan
- 4. Ir. M. Udin, MT Univ. Islam Sumatera Utara, Medan
- 5. Ir. Karmel L. Toruan Universitas HKBP Nommensen, Medan
- 9. Ir. Huzairin Yanis Universitas Panca Bhakti, Pontianak
- 10. Ir. Nitawati EM Universitas Jakarta, Jakarta
- 11. Ir. Abdul Karim Hadi, M.Sc Univ. Muslim Indonesia, Ujung Pandang
- 12. Ir. Daud Rahmat Wiyono, MT. Universitas Kristen Maranatha, Bandung
- 13. Ir. Ilman Noor, MSCE Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- 14. Ir. Bambang Wedyantadji Institut Teknologi Nasional, Malang
- 15. Ir. David Widiyanto, MT Univ. Katolik Soegijapranata, Semarang
- 16. Ir. H. Armeyn , MT Sekolah Tinggi Teknik Padang, Padang
- 17. Ir. Benny Mochtar Effendi Universitas 17 Agustus 1945, Samarinda
- 18. Ir. I Wayan Giatmajaya Universitas Mahasaraswati, Denpasar
- 19. Ir. Nikolas Paulus Univ. Kristen Indonesia Maluku, Ambon

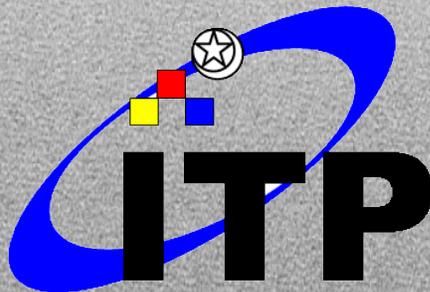


Penerbit Universitas Semarang ISBN.979 – 9156 – 22 - X

Judul , Struktur Beton

Struktur Beton

Ir. H. Armeyn, MT



**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Jurusan Teknik Sipil dan Geodesi
Institut Teknologi Padang**

BAB 1

Struktur Beton Bertulang

1.1. BAHAN dan SIFAT BETON BERTULANG

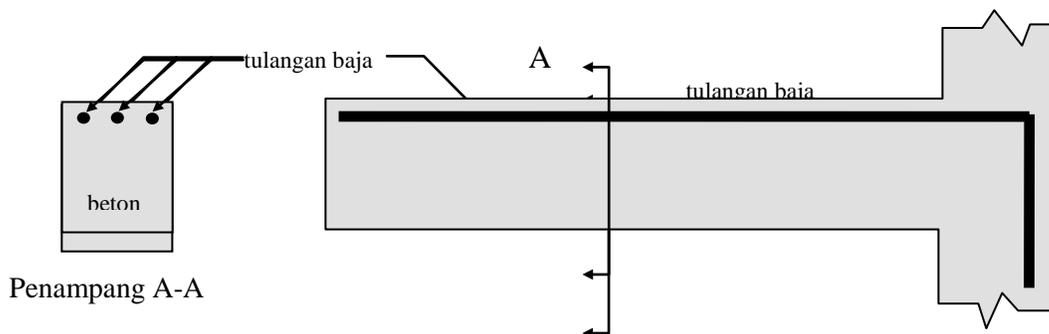
Kayu, besi dan beton bertulang merupakan tiga bahan utama suatu struktur dibentuk. Beton bertulang adalah kombinasi dua unsur bahan, yaitu tulangan baja dan beton yang digunakan secara bersama, sehingga desain struktur elemen beton bertulang dilakukan berdasarkan prinsip yang berbeda dengan perencanaan desain satu bahan.

Sistem struktur yang dibangun dengan beton bertulang, seperti bangunan gedung, jembatan, dinding penahan tanah, terowongan, tanki, saluran air dan lainnya, dirancang dari prinsip dasar desain dan penelitian elemen beton bertulang yang menerima gaya aksial, momen lentur, gaya geser, momen puntir, atau kombinasi dari jenis gaya-gaya dalam tersebut. Prinsip dasar desain ini berlaku umum bagi setiap tipe sistem struktur selama diketahui variasi gaya aksial, momen lentur, gaya geser dan unsur gaya dalam lainnya, serta bentuk dan dimensi setiap elemen.

Secara umum pembahasan analisis dan desain dilakukan secara terpisah, tetapi untuk struktur beton bertulang, kedua bahasan ini dalam prosedur perencanaannya merupakan satu siklus; sebab umumnya sistem struktur beton bertulang merupakan sistem struktur statik tak tentu; di mana dimensi penampang elemen harus ditetapkan terlebih dahulu bagi analisis sebelum dilakukan desain akhir.

Pada beton bertulang, unsur beton mempunyai kekuatan tekan yang besar, tetapi tidak mampu menerima tegangan tarik., sehingga tulangan baja yang ditanam dalam beton menjadi unsur kekuatan yang memikul tegangan tarik.

Kapasitas balok kantilever seperti Gambar 1.1.1 akan mampu menerima beban yang lebih besar jika tulangan baja dipasang pada daerah tarik (sisi atas) penampang.



Gambar 1.1.1 Posisi Tulangan pada Balok Kantilever

Tulangan baja juga digunakan untuk menerima tegangan tekan , karena baja sanggup menahan kekuatan tekan seperti kekuatan tarik, sehingga pemasangan tulangan pada daerah tekan dinamakan tulangan tekan .

Kombinasi kerja antara beton dan baja berdasarkan beberapa hal :

1. Lekatan antara tulangan baja dengan beton yang mencegah slip tulangan terhadap beton (sifat monolit) bahan.
2. Sifat kedap beton yang mencegah proses korosi tulangan.
3. Derajat pemuai an akibat panas yang sama antara baja dan beton yang meniadakan beda tegangan antara dua permukaan bahan.

1.2 PENGERTIAN, DEFINISI dan SIFAT UNSUR BETON

Pengertian sifat bahan beton perlu dipahami untuk menjadi parameter bagi perencanaan elemen struktur beton.

Agregat adalah material granular, seperti pasir, kerikil, batu pecah yang dipakai secara bersama-sama dengan suatu media pengikat semen hidraulik membentuk beton. Selain agregat, terdapat **agregat ringan** yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat sekitar 1100 kg/m^3 .

Klasifikasi agregat yang umum adalah :

Agregat halus seperti pasir sebagai hasil desintegrasi batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dengan ukuran butir terbesar 5.0 mm.

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm.

Adukan adalah campuran antara agregat, semen dan air.

Beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik jenis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang setelah mengeras membentuk massa padat.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan tertentu untuk mendapatkan suatu penampang yang berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Apabila beton mempunyai berat isi $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ maka disebut **beton berat normal**.

Tegangan adalah intensitas gaya per satuan luas.

Kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c adalah kuat tekan yang ditetapkan dari hasil perencanaan campuran beton dengan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, yang dinyatakan dalam mega pascal (MPa).

Untuk definisi parameter kekuatan beton bertulang, **kuat tarik leleh f_y** merupakan tarik leleh minimum yang disyaratkan atau titik leleh dari tulangan. Satuan dari kuat tarik leleh ini dalam megapascal (MPa).

Kuat nominal didefinisikan sebagai kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metoda perencanaan sebelum dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang sesuai. Sedangkan **kuat perlu** adalah kekuatan komponen struktur atau penampang yang diperlukan menahan beban terfaktor atau momen dan gaya-dalam akibat suatu kombinasi muatan/beban.

Kuat rencana didefinisikan sebagai kuat nominal yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ .

Dalam perencanaan diperlukan parameter **modulus elastisitas** yang dinyatakan dari rasio antara tegangan normal tarik atau tekan dengan regangan dari unsur elemen dibawah batas proporsional dari material.

Elemen Struktur

Elemen struktur dapat dibedakan dari fungsi dan beban yang dipikul elemen. **Kolom** adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil sama dengan 3 atau lebih digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan. **Pelat dan balok** merupakan komponen struktur lentur dan **dinding geser** adalah komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur menahan gaya-gaya lateral.

Tulangan adalah batang baja berbentuk polos atau deform atau pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik maupun gaya tekan pada komponen struktur,

Jenis tulangan dibedakan sebagai berikut: **tulangan polos** berupa batang baja yang permukaan sisi luarnya rata tidak bersirip atau berulir ; **tulangan deform**, yaitu batang baja bersirip atau berulir, sedangkan **tulangan spiral** adalah tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris.

Tulangan **sengkang** adalah tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur. Sengkang dibuat dari batang tulangan, kawat baja atau jaring kawat baja las polos atau deform, berbentuk kaki tunggal atau dibengkokkan dalam bentuk L, U atau persegi dan dipasang tegak lurus atau membentuk sudut terhadap tulangan utama komponen struktur lentur, balok atau kolom. Pada kolom umumnya dan balok yang menerima puntir dipasang **sengkang ikat**, yaitu sengkang tertutup penuh.

1.3 ANALISIS STRUKTUR

Analisis struktur menurut cara-cara mekanika teknik yang baku merupakan pra-perencanaan bagi desain beton bertulang. Bentuk dan besarnya ukuran penampang akibat pembebanan akan menentukan desain. Analisis dengan bantuan komputer dalam mendapatkan bentuk dan besarnya sistem struktur berupa gaya-gaya dalam harus dilakukan dengan model-model matematik yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekakuan unsur-unsurnya.

Bagi perencanaan komponen struktur beton bertulang, harus terpenuhi ketentuan bahwa semua komponen struktur diproporsikan untuk mendapatkan kekuatan yang cukup sesuai dengan ketentuan dalam buku tata cara penghitungan struktur beton SK SNI T - 15-1991-03 dengan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ .

Prosedur dan asumsi dalam perencanaan besarnya beban rencana bagi analisis didasarkan pada kondisi struktur yang menerima beban yang mungkin bekerja padanya.. Besarnya beban kerja diperhitungkan berdasarkan SNI 1727 - 1989 F tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung.

Analisis komponen struktur harus mengikuti ketentuan, bahwa semua komponen struktur dari rangka atau konstruksi menerus harus direncanakan terhadap pengaruh maximum dari beban terfaktor yang dihitung sesuai dengan analisis teori elastik, kecuali bagian yang telah dimodifikasikan menurut ketentuan dalam SK SNI T - 15-1991-03 ayat 3.1.4. perihal redistribusi momen negatif. Hal ini akan diuraikan secara rinci pada bab lain.

1.4 BETON

Beton merupakan bahan dari campuran antara semen, agregat halus dan kasar, serta air dengan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton segar yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis. Secara umum proporsi komposisi unsur pembentuk beton adalah :

Agregat Kasar + Agregat Halus [60% - 80%]	
Semen : 7% - 15%	Air
Udara : 1% - 8%	[14% - 21%]

Beton bertulang seperti telah didefinisikan ialah beton yang mempunyai tulangan dan bekerja sama dalam memikul gaya-gaya.

Kekuatan beton bergantung dari berbagai faktor, sesuai dengan perbandingan unsur beton, temperatur, kelembaban dan kondisi dari lingkungan.

Secara umum komposisi dari satuan adukan beton adalah :

SEMEN : Semen adalah bahan yang bertindak sebagai pengikat untuk agregat. Jika dicampur dengan air, semen menjadi PASTA. Dengan proses waktu dan panas, reaksi kimia terjadi dengan air; menghasilkan sifat perkerasan pada pasta semen.

Penemu semen (semen Portland) adalah Joseph Aspdin ditahun 1824, seorang tukang batu kebangsaan Inggris. Dinamakan semen Portland, karena awalnya semen yang dihasilkan mempunyai warna serupa dengan tanah liat alam dipulau Portland. Semen dapat dibedakan dalam beberapa tipe, yaitu :

Tipe I : Semen biasa (normal cement) digunakan untuk pembuatan beton bagi konstruksi beton yang tidak dipengaruhi oleh sifat-sifat lingkungan yang mengandung bahan-bahan sulfat, perbedaan temperatur yang ekstrim. Pemakaian semen Tipe I umumnya bagi konstruksi beton pada bangunan :

- a. jalan
- b. bangunan beton bertulang
- c. jembatan-jembatan
- d. tanki, waduk, pipa-pipa, batako.
- e. Bangunan Irigasi

Beton terbuat dari semen Tipe I umumnya memerlukan waktu pengerasan 14 hari sebelum bekisting struktur dapat dibuka. Kekuatan rencana beton dicapai setelah dilakukan perawatan selama 28 hari.

Tipe II : Semen Tipe II digunakan untuk pencegahan serangan sulfat dari lingkungan terhadap bangunan beton, seperti struktur bangunan air/drainase dengan kadar konsentrasi sulfat tinggi didalam air tanah.

Tipe III : Jenis semen dengan waktu perkerasan yang cepat (high-early-strength portland cement). Waktu perkerasan bagi jenis ini umumnya kurang dari seminggu. Digunakan pada struktur-struktur bangunan yang bekistingnya harus cepat dibuka dan akan segera dipakai kembali. Semen Tipe I dapat juga dipakai untuk maksud ini dengan sifat campuran gemuk, walau kurang ekonomis.

Tipe IV : Semen dengan hidrasi panas rendah yang digunakan pada konstruksi dam/bendungan, bangunan-bangunan masif, dengan tujuan panas yang terjadi sewaktu hidrasi merupakan faktor penentu bagi keutuhan beton.

Tipe V : Semen penangkal sulfat. Digunakan untuk beton yang lingkungannya mengandung sulfat, terutama pada tanah/air tanah dengan kadar sulfat tinggi.

OIL WELL CEMENT (OWC) Class G-HSR : Digunakan untuk pembuatan sumur minyak, gas alam dan konstruksi sumur minyak dibawah permukaan laut (lepas pantai) dan dapat digunakan untuk berbagai tingkat kedalaman, tekanan dan temperatur sumur minyak/gas

PORTLAND POZZOLAN CEMENT (PCC) : Digunakan untuk Perumahan dan bangunan bertingkat, Bendungan, Dam dan Saluran irigasi, Bangunan di pinggir pantai & daerah rawa/gambut, Tahan terhadap panas hidrasi sedang dan untuk Komponen bangunan seperti Pasangan bata, plesteran,keramik dan acian

PORTLAND COMPOSITE CEMENT (PCC) : Digunakan untuk konstruksi umum untuk semuamutu beton, Perumahan dan bangunan bertingkat, Struktur jembatan, Struktur jalan beton, dan untuk Komponen bangunan seperti Pasangan bata, plesteran,keramik dan acian

Tingkat pengaruh sulfat yang ada dalam air tanah mempunyai dampak bagi konstruksi. Tabel 1.4.1 menjelaskan pengaruh ini.

Tabel 1.4.1 Pengaruh Sulfat dan Tipe Semen yang dianjurkan dipakai

TINGKAT PENGARUH SULFAT	PROSENTASE LARUTAN SULFAT (SO ₄) DALAM CONTOH TANAH	SULFAT (SO ₄) DALAM CONTOH AIR (PPM)	TIPE SEMEN YANG BOLEH DIPAKAI
DIABAIKAN	0.00 - 0.10	0 - 150	I
POSITIF	0.10 - 0.20	150 - 1500	II
MENENTUKAN	0.20 - 2.00	1500 - 10000	V*
SANGAT MENENTUKAN	2.00 - LEBIH	10000 - LEBIH	V+POZZOLAN*

* perlu persetujuan ahli beton dalam kadar penggunaannya

Di samping tipe semen yang disebutkan di atas terdapat juga semen-semen khusus, seperti :

1. **Semen Putih** untuk pekerjaan-pekerjaan arsitektur.
2. Semen untuk sumur minyak (oil well cement)
3. **Semen Kedap Air** (waterproof portland cement)
4. **Semen Plastik** (plastic cement)
5. **Semen Ekspansif** (expansive cement)

Semen jika disimpan ditempat kering, akan tetap baik. Penyimpanan di tempat lembab mengakibatkan penurunan kekuatan. Oleh karenanya kelembaban ruang penyimpanan harus dijaga tetap minimum.

AGREGAT : Agregat, yaitu pasir dan kerikil merupakan bahan pengisi. Untuk beton yang ekonomis, adukan harus dibuat sebanyak mungkin agregatnya. Agregat yang baik adalah yang **TIDAK BEREAKSI KIMIA** dengan unsur-unsur semen. Agregat halus (pasir) harus mempunyai gradasi (distribusi ukuran) sedemikian rupa, sehingga ukuran rongga-rongga antara agregat minimum pada beton. Ini berarti dalam pembuatan beton jumlah pasta semen yang perlu mengisi rongga-rongga tersebut minimum pula. Agregat halus mempunyai ukuran partikel maksimum 5 mm, sedangkan agregat kasar mempunyai ukuran maksimum 40 mm.

Agregat yang dapat dipakai untuk beton harus memenuhi syarat-syarat :

1. Agregat yang bersih dari unsur organik
2. Keras
3. Bebas dari sifat penyerapan secara kimia
4. Tidak bercampur dengan tanah liat/lumpur
5. Distribusi/gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku.

AIR ADUKAN BETON : Air yang dapat diminum dapat digunakan untuk air adukan beton. Akan tetapi air yang dapat digunakan untuk adukan beton tidak berarti dapat diminum. Pada Tabel 1.4.2 dijelaskan kriteria kandungan zat kimiawi yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi zat tertentu untuk dapat digunakan bagi adukan beton.

Tabel 1.4.2 : Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia Air Adukan

KANDUNGAN UNSUR KIMIA	MAKSIMUM KONSENTRASI
1. Chloride, Cl	
- beton pratekan	500 pm
- beton bertulang	1000 ppm
2. Sulfate, SO ₄	1000 ppm
3. Alkali (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	600 ppm
4. Total Benda Padat (Solid)	50000 ppm

ppm = parts per million

Sebagai perbandingan, air laut mempunyai kandungan :

- a. Cl = 3960 - 20000
- b. SO₄ = 580 - 2810
- c. Na = 2190 - 12200

Jika akan menggunakan air *acid*, air alkalis, air buangan rumah tangga/buangan industri, air laut, air selokan, air gula/air keruh/air mengandung minyak, maka selama ada proses pembersihan sehingga nilai konsentrasi kimia dibawah nilai maksimum, seharusnya jenis-jenis air tersebut dapat dipakai.

1.5 PERENCANAAN CAMPURAN BETON

Seperti telah diuraikan, beton merupakan adukan/campuran antara semen, pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar) dan air. Proporsi dari unsur pembentuk beton ini harus ditentukan secara proporsional, sehingga terpenuhi syarat-syarat :

1. Kekenyalan atau kelecakan (*workability*) tertentu yang memudahkan adukan beton ditempatkan pada cetakan/bekisting (sifat kemudahan dalam mengerjakan) dan memberikan kehalusan permukaan beton segar. Kekenyalan ditentukan dari :
 - a. volume pasta adukan
 - b. keenceran pasta adukan
 - c. perbandingan campuran agregat halus dan kasar
2. Kekuatan rencana dan ketahanan beton setelah mengeras.
3. Ekonomis dan optimum dalam pemakaian semen.

Dalam menentukan proporsi bahan-bahan pembentuk beton, dikembangkan berbagai metode secara empiris berdasarkan hasil-hasil percobaan adukan beton. Technical Report no. 21, August 1977, United Nation Concrete Manual Indonesian Edition di terbitkan oleh Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, the American Concrete Institute (ACI) dan Portland Cement Association (PCA) merupakan contoh badan-badan resmi yang mengembangkan cara-cara tertentu menetapkan proporsi unsur-unsur beton memenuhi ketiga syarat beton yang disebutkan diatas. Rumusan-rumusan dan tabel-tabel yang digunakan bagi analisis merupakan hasil pengamatan yang bertahun-tahun dari percobaan dan pengamalan di dalam pembuatan beton. Oleh karena sifat empiris dari rumusan, maka setelah direncanakan penentuan proporsi unsur-unsur beton bagi tingkat kekuatan tekan tertentu, **selalu harus dibuat adukan rencana** yang disebut adukan uji coba atau “trial mix”. Berdasarkan hasil-hasil “trial mix” inilah pembuatan secara massal dilakukan, jika terpenuhi dari pemeriksaan benda uji ketentuan kekenyalan, kekuatan dan sifat ekonomis adukan yang telah disyaratkan

Ada beberapa metode untuk merencanakan campuran beton, antara lain menurut SK SNI, metode DOE dari Inggris, metode JIS dari Jepang, metode ACI dari Amerika.

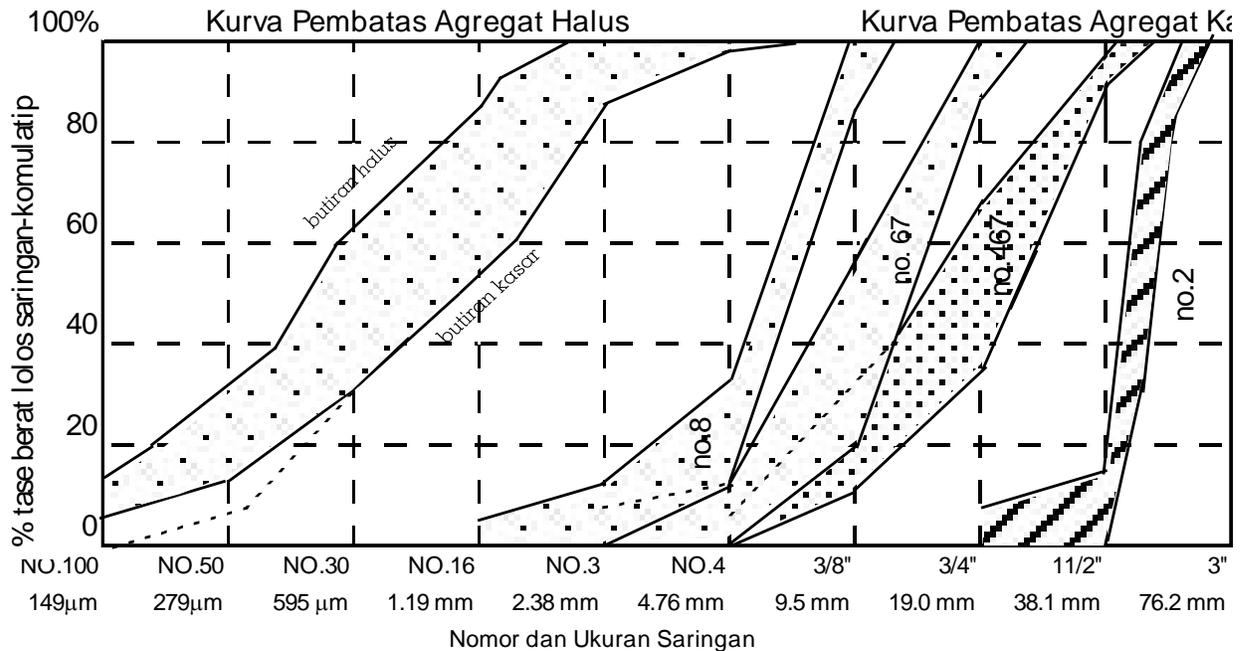
Dua metoda yang akan diuraikan bagi penentuan proporsi unsur pembuat beton dalam buku ini adalah modifikasi cara ASTM yang dikembangkan Texas AM University dan cara DREUX. Telah dilakukan beberapa penyesuaian dari kedua cara ini berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

METODA MODIFIKASI ASTM

Sebelum digunakannya tabel-tabel atau grafik untuk menentukan pembuatan “trial-mix” beton, beberapa syarat perlu yang harus dipenuhi adalah :

1. Gradasi/distribusi ukuran agregat harus berada didalam batas-batas yang ditetapkan seperti pada GRAFIK 1.5.1, yaitu :
 - a. Gradasi agregat halus (pasir) yang digunakan mempunyai gradasi butir yang berada didalam dua kurva pembatas. Jika pada kondisi lapangan, ternyata gradasi butir tidak memenuhi syarat seperti yang ditetapkan, maka perlu dilakukan koreksi dengan melakukan analisis kombinasi agregat dari beberapa kelompok agregat.
 - b. Bagi agregat kasar (kerikil), berdasarkan besarnya diameter agregat maksimum yang digunakan, terdapat empat kelompok kurva pembatas. Ukuran **agregat kasar no.2** merupakan kelompok agregat dengan ukuran **maksimum butir 75 mm, ukuran no. 467** dengan butiran maksimum **50 mm; ukuran no. 67** dengan **butiran maksimum 25 mm** yang umum digunakan dalam bangunan; dan **ukuran no.8** dengan butiran **maksimum 10 mm** yang disebut beton jagung bagi pekerjaan perbaikan atau *grouting*.

Langkah selanjutnya dapat dilakukan setelah persyaratan distribusi gradasi seperti yang ditetapkan pada GRAFIK 1.5.1 terpenuhi.



GRAFIK 1.5.1 :Kurva Pembatasan Gradasi Agregat yang Digunakan dalam Perencanaan Beton

Telah ditetapkan terlebih dahulu :

- Ukuran terbesar kerikil (agregat kasar) yang akan digunakan
- Specific gravity* dari agregat kasar
- Specific gravity* agregat halus
- Berat satuan agregat kasar (*dry-rodded unit weight*)
- Modulus kehalusan (*fineness modulus*) agregat halus.

Butir-butir 2b, 2c, 2d, dan 2e ditentukan dari hasil penelitian di laboratorium yang dilakukan melalui prosedur standar menurut spesifikasi yang berlaku.

Persiapan dalam perencanaan campuran beton :

- Perbandingan air dengan semen (rasio W/C).** Faktor air semen berdasarkan perbandingan berat. Tabel 1.5.1 menjelaskan nilai rasio W/C maksimum yang diizinkan untuk berbagai jenis struktur dan sifat lingkungan.

Tabel 1.5.1 Perbandingan W/C berdasarkan jenis konstruksi dan kondisi lingkungan

Jenis Konstruksi	KONDISI LINGKUNGAN		
	Kondisi Normal	Basah-kering berganti-ganti	Dibawah pengaruh sulfat/air laut
Konstruksi langsing atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25 mm.	0,53	0,49	0,40
Struktur dinding penahan tanah, pilar, balok, abutmen	*	0,53	0,44
Beton yang tertanam dalam air : pilar, balok, kolom	-	0,44	0,44
Struktur lantai beton diatas tanah	*	-	-
Beton yang terlindung dari perubahan udara (konstruksi interior bangunan)	*	-	-

*Rasio W/C ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana beton

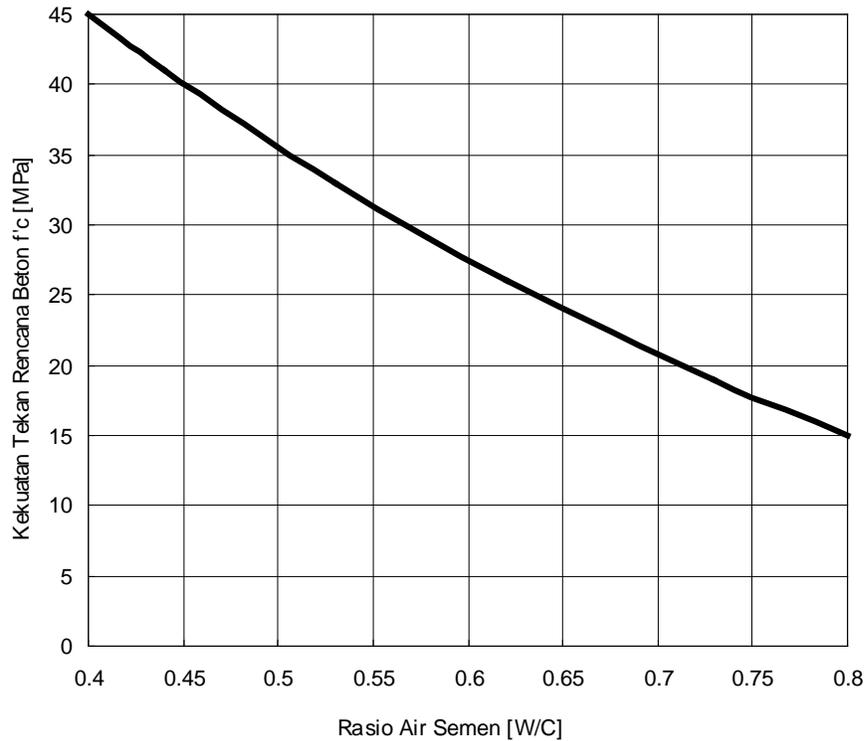
Disamping faktor air semen berdasarkan Tabel 1.5.1, unsur lain penentu faktor air semen adalah kekuatan rencana tekan beton sebagai dinyatakan pada GRAFIK 1.5.2 atau Tabel 1.5.2 berikut

:

Tabel 1.5.2 Nilai rasio W/C dengan Kekuatan Tekan Rencana Beton

Kekuatan Tekan Beton Umur 28 hari		Nilai rata-rata W/C
kg/cm ²	MPa	
410	41	0.44
330	33	0.53
260	26	0.62
190	19	0.73
150	15	0.80

Nilai W/C pada Tabel 1.5.2 berdasarkan ukuran terbesar agregat kasar diameter 25 mm. Untuk ukuran agregat lebih besar, dengan perbandingan W/C yang sama, kekuatan tekan beton akan lebih rendah.



GRAFIK 1.5.2 Korelasi Nilai Kekuatan Tekan Beton Rencana terhadap Rasio W/C

b. **SLUMP** sebagai ukuran kekenyalan adukan beton.

SLUMP merupakan perbedaan tinggi dari adukan dalam suatu cetakan berbentuk kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. Batasan SLUMP bagi jenis elemen struktur dinyatakan dalam Tabel 1.5.3. Nilai pada Tabel 1.5.3 berlaku untuk pemadatan dengan alat penggetar. Untuk cara pemadatan yang lain, nilai-nilai slump dapat dinaikkan 25 mm lebih besar.

Tabel 1.5.3 Ukuran SLUMP yang dianjurkan bagi berbagai jenis konstruksi.

U R A I A N	SLUMP [mm]	
	Maksimum	Minimum
1. Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	80	25
2. Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi dibawah tanah	80	25
3. Pelat, balok, kolom dan dinding	100	25
4. Perkerasan jalan	80	25
5. Pembetonan missal	50	25.

- c. Ukuran maksimum diameter agregat kasar yang digunakan sesuai dengan ketentuan dalam kemudahan pelaksanaan pengecoran dan syarat monolit beton. Dalam Tabel 1.5.4 dijelaskan ukuran maksimum agregat maksimum yang boleh digunakan bagi pengecoran elemen struktur.

Tabel 1.5.4 Ukuran Maksimum Agregat bagi Sifat Monolit Struktur

Ukuran Maksimum Agregat	
1.	1/5 lebih kecil atau sama dari ukuran terkecil dimensi struktur
2.	1/3 lebih kecil atau sama dari tebal pelat lantai
3.	3/4 lebih kecil atau sama dari jarak bersih tulangan, berkas tulangan atau berkas kabel pratekan

- d. Bagi perencanaan adukan, berat air rencana dan prosentase adanya udara yang terperangkap, ditetapkan berdasarkan pada besarnya SLUMP rencana dan ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan. Tabel 1.5.5 menjelaskan penentuan jumlah berat air perlu bagi setiap m³ beton berdasarkan nilai SLUMP rencana.

Tabel 1.5.5 Berat Air Perlu bagi Setiap m³ Beton, Prosentase Udara Terperangkap untuk berbagai SLUMP dan Ukuran Maksimum Agregat.

SLUMP [cm]	Berat air [kg/m ³] beton untuk ukuran agregat berbeda							
	10mm	12.5mm	20mm	25mm	38mm	50mm	75mm	150mm
2.5 - 5	208	199	187	179	163	154	142	125
7.5 - 10	228	217	202	193	179	169	157	136
15 - 17	243	228	214	202	187	178	169	-
	Prosentase udara [%] yang ada dalam unit beton							
	3	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

- e. Mendapatkan volume rencana agregat kasar setiap m^3 beton, digunakan nilai-nilai yang tercantum pada Tabel 1.5.6. Menetapkan terlebih dahulu ukuran agregat kasar dan nilai modulus kehalusan (fineness modulus) agregat halus (pasir), maka dari Tabel 1.5.6 didapat prosentase volume agregat kasar per satuan volume beton. Prosentase volume berdasarkan kondisi agregat kering muka (SSD). Nilai dalam tabel memberikan prosentase volume dengan tingkat kekenyalan umum. Untuk pekerjaan beton kurang kenyal, seperti bagi pekerjaan jalan, harga didalam tabel dapat dinaikkan sebanyak 10%.

Tabel 1.5.6 Prosentase Volume Agregat Kasar/ m^3 Volume Beton

Ukuran Agregat Kasar [mm]	Prosentase Volume Agregat Kasar/ m^3 Volume Beton untuk Fineness Modulus Agregat Halus (Pasir)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10.0	50	48	46	44
12.5	59	57	55	53
20.0	66	64	62	60
25.0	71	69	67	65
37.5	75	73	71	69
50.0	78	76	74	72
75.0	82	80	78	76
150.0	87	85	83	81

PROSEDUR PERENCANAAN

Prosedur perencanaan adukan beton terdiri dari beberapa tahap pekerjaan :

1. Menetapkan konsistensi beton dengan SLUMP rencana sesuai di Tabel 1.5.3.
2. Menetapkan ukuran maksimum agregat kasar yang dipakai, sesuai dengan jenis konstruksi dari Tabel 1.5.4.
3. Berdasarkan nilai SLUMP dan ukuran agregat rencana, gunakan Tabel 1.5.5 untuk memperoleh jumlah air rencana bagi satuan volume m^3 beton, beserta prosentase udara yang terperangkap.

4. Dari dua penentuan nilai rasio W/C, yang masing-masing diperoleh atas batasan sifat ketahanan beton terhadap lingkungan (Tabel 1.5.1) dan atas kekuatan rencana beton (Tabel 1.5.2), gunakan nilai rasio W/C dengan nilai terkecil untuk perencanaan.

Jumlah semen dihitung dengan membagi besaran jumlah air yang diperoleh pada langkah 3 dengan

$$\text{nilai rasio W/C : Jumlah Semen} = \frac{\text{Jumlah Air}}{\text{rasio(W / C)}}$$

5. Dengan besaran diameter maksimum agregat kasar dan nilai modulus kehalusan agregat halus rencana, dari Tabel 1.5.6 ditetapkan prosentase volume agregat kasar/m³ beton. Berat total agregat kasar yang digunakan diperoleh dari perkalian prosentase volume dengan satuan berat agregat kasar.
6. Volume agregat halus (pasir) dihitung dari selisih volume total beton dengan (volume semen + volume agrgat kasar + volume air dan udara yang terperangkap). Dengan nilai specific gravity yang diketahui, dihitung berat rencana agregat halus.
7. Jumlah unsur adukan untuk jumlah kubikasi beton tertentu dihitung atas dasar jumlah kebutuhan pengecoran.
8. Untuk kondisi lapangan, modifikasi bagi konsistensi rasio W/C disesuaikan dengan sifat bahan. Jika **G** merupakan berat bahan rencana yang diperoleh, **m** adalah **kadar kelembaban bahan dilapangan** dan **a** adalah **kemampuan absorpsi di lapangan** (m dan a dalam prosentase), maka
:
 - a. tambahan air yang diperlukan = $G(a-m)/(1-m)$
 - b. tambahan agregat yang diperlukan = $G(m - a)/(1-m)$

CONTOH PERENCANAAN ADUKAN BETON

Sebagai contoh perencanaan proporsi unsur beton (semen, pasir, agregat kasar dan jumlah air adukan) bagi elemen struktur balok/kolom yang terlindung, ditetapkan kekuatan tekan rencana pada umur 28 hari = 246 kg/cm².

Untuk perencanaan, ditetapkan :

1. Berdasarkan kondisi lingkungan pengecoran, ditetapkan nilai SLUMP rencana antara 75 mm - 100 mm.

Jarak tulangan dan ukuran penampang balok hanya memungkinkan penggunaan ukuran agregat maksimum = 40 mm; dan dari hasil pemeriksaan laboratorium, pada kondisi kering muka, diperoleh sifat agregat kasar :

- specific gravity = 2.69
- berat volume = 1600 kg/m³

Dan sifat agregat halus (pasir) :

- specific gravity = 2.64
- modulus kehalusan = 2.80

2. Dari Tabel 1.5.5 dengan ketentuan diatas diperoleh berat air campuran beton dan prosentase udara yang terperangkap sebagai berikut :

Jumlah air = 179.00 kg/m³ beton, prosentase udara yang terperangkap = 1%.

Mengingat konstruksi beton terlindung, tidak ada batasan nilai rasio W/C berdasarkan Tabel 1.5.1, berarti rasio W/C rencana diperoleh dari kekuatan tekan beton rencana. Nilai rasio W/C menurut GRAFIK 1.5.2 untuk kekuatan tekan beton rencana 246.00 kg/cm² adalah = 0.60

3. Berdasarkan hasil langkah 3 dan 4, dihitung berat semen perlu/m³ beton :

Berat semen = $(179/0.60) = 298 \text{ kg/m}^3$ beton

4. Dari Tabel 1.5.6 dengan ketentuan :

Ukuran maksimum agregat kasar = 4 cm.

Angka modulus kehalusan agregat halus (pasir) = 2.80, diperoleh nilai volume agregat kasar sebesar = 0.72.

Dengan demikian, berat agregat kasar perlu yang mempunyai berat volume = 1600.00 kg/m³ adalah : $0.72 \times 1600.00 = 1152.00 \text{ kg/m}^3$ beton.

5. Penentuan proporsi unsur beton bagi adukan beton untuk setiap m³ beton (specific gravity semen = 3.15) adalah :

Volume semen	= $298.0 / (3.15 \times 1000)$	= 0.095 m ³
Volume air	= $179.0 / 1000$	= 0.179 m ³
Volume agregat kasar	= $1152 / (2.60 \times 1000)$	= 0.430 m ³
Volume kadar udara	= 1 %	= <u>0.010 m³</u>
Total volume diluar unsur agregat halus		= 0.714 m ³

Dari perhitungan diatas, volume agregat halus dalam setiap m³ beton :

$$\text{Volume agregat halus} = (1.0 - 0.714) \text{ m}^3 = 0.286 \text{ m}^3$$

Dengan nilai specific gravity = 2.64 kondisi kering muka berat rencana agregat halus adalah :

$$2.64 \times 1000 \text{ kg} = 755 \text{ kg}$$

6. Perhitungan berat bahan bagi setiap m³ beton adalah :

$$\text{Semen} = 298 \text{ kg} = 7.10 \text{ kantong semen @ } 42 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 179 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat halus} = 755 \text{ kg (kondisi kering muka)}$$

$$\text{Agregat kasar} = 1152 \text{ kg (kondisi kering muka)}$$

Dalam istilah umum, campuran ini mempunyai FAKTOR SEMEN 7.10 sak semen/m³ beton.

7. Proporsi unsur beton pada kondisi lapangan dapat ditentukan dengan memperhitungkan kadar kelembaban dan penyerapan (absorpsi) agregat. Bila $G = 1152 \text{ kg}$, dan kadar kelembaban agregat kasar $m = 0.6\%$, kemampuan absorpsi $a = 1.5\%$, maka perlu penambahan air sebanyak $G(a-m) / (1-m)$:

$$(0.015 - 0.006) / (1 - 0.006) = 10.43 \text{ kg untuk setiap m}^3 \text{ beton, sehingga berat air menjadi } 189.43 \text{ kg, dan menggunakan berat total agregat kasar :}$$

$$g + g(m-a) / (1-m), \text{ yaitu } 1552 + (1552) (0.006 - 0.015) / (1 - 0.006) = 1141.60 \text{ kg.}$$

Perlu dicatat, bahwa bila nilai m melebihi nilai a , hasil penambahan air bernilai negatif dengan pengertian adanya penggunaan jumlah air yang kurang dibandingkan dengan kondisi kering muka dan penambahan berat agregat kasar.

8. Dalam pelaksanaan di lapangan atau pembuatan "trial mix" kubikasi adukan bergantung pada kapasitas pengaduk atau molen.

Umumnya kapasitas molen ukuran sedang adalah 0.03 m^3 , sehingga berat unsur adukan beton bagi contoh/benda uji :

$$\text{Semen} = 8.95 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 5.65 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat halus} = 23.84 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat kasar} = 35.50 \text{ kg}$$

bagi setiap 0.03 m^3 beton.

METHODE DREUX

Methodé ini dikembangkan oleh Prof Georges Dreux berkebangsaan Prancis melalui penelitian yang dilakukannya pada tahun 1979

Suatu rumusan perancangan campuran beton dapat dinyatakan dengan :

$$f'_{cr} = G f_{cc} (C/E - 0.5) \quad (I-1)$$

hal mana :

f'_{cr} = kekuatan tekan beton rata-rata pada umur 28 hari atas dasar benda uji silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm (Mpa)

G = faktor kekompakan butiran (faktor granular), suatu besaran yang menunjukkan besarnya volume yang diisi oleh agregat kasar

f_{cc} = kekuatan tekan mortal semen (Mpa)

C = berat semen untuk 1 m³ beton

E = berat air untuk 1 m³ beton

Besar faktor Granular (G) dipengaruhi oleh kualitas serta ukuran maksimum agregat yang digunakan. Besar faktor granular dicantumkan pada tabel 1.5.7

Tabel 1.5.7. Diameter Maksimum Agregat dan Faktor Granular

Kualitas	Diameter Agregat Kasar (mm)		
	$D \leq 16$	25 - 40	$D \geq 63$
Baik sekali	0.55	0.60	0.65
Normal	0.45	0.50	0.55
Bisa dipakai	0.35	0.40	0.45

Rasio C/E

Dari rumusan Dreux terlihat kekuatan tekan beton tidak tergantung pada jumlah semen yang digunakan, selama perbandingan antara jumlah semen dan air (C/E) tetap. Akan tetapi dalam perancangan campuran perlu diperhatikan faktor-faktor kemudahan pelaksanaan pengecoran beton campuran, dimana beton tidak boleh terlalu kental ataupun terlalu encer, sehingga diadakan pembatasan sebagai berikut :

- | |
|--|
| - Ratio jumlah semen terhadap air (C/E) berkisar antara 1.5 sampai 2.5 |
| - Jumlah semen tidak kurang dari 300 kg/m ³ beton |

Jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton dapat ditentukan dengan menggunakan Grafik 1.5.3

Bila dalam pencampuran beton digunakan agregat kasar berupa batu pecah, maka harga slump dari pembacaan grafik perlu dikurangi sekitar 20 mm.

Prosentase Agregat

Prosentase agregat ditentukan dengan menggunakan analisis granulometri. Grafik 15.4 menyatakan batasan granulometri agregat.

Kurva gabungan agregat yang digunakan sedapat mungkin harus berimpit dengan kurva patokan yang diberikan. Kurva patokan adalah garis bilinier yang menghubungkan titik 0% pada diameter 0.1 mm dan titik 100% pada diameter maksimum (D) dengan titik patah P (X,Y)

Absis X tergantung dari diameter agregat maksimum yang digunakan.

$X = D/2$, untuk $D \leq 25$ mm

$X = (D-5)/2$, untuk $D > 25$ mm

Ordinat Y dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$Y = 50 - \text{akar dari } D+K+K_s$

Dimana :

D = Diameter agregat maksimum yang digunakan

K = Besaran koreksi yang tergantung pada kuantitas semen per kubikasi beton, jenis agregat dan cara pemadatannya, yang dapat ditentukan dengan menggunakan tabel dan tabel 1.5.11

K_s = Angka koreksi yang diperlukan bila nilai dari modulus kehalusan agregat halus (M_f) = 2.5 Besarnya angka koreksi tersebut dapat dinyatakan sebagai $K_s = 6 M_f - 15$

Tabel 1.5.10 Klasifikasi Plastisitas Beton berdasarkan Slump

Plastisitas Beton	Slump (mm)	Pemadatan dengan alat
Sangat Kental	0 - 20	Penggetaran sangat kuat
Kental	30 -50	Penggetaran yang baik
Plastik	60 - 90	Penggetaran normal
Lembek	100 - 130	Tusukan
Encer	≥ 140	Tusukan lemah (kurang)

Tabel 1.5.11 Harga K untuk berbagai Pemadatan dan Dosis Semen

<i>Pemadatan</i>		<i>Lemah</i>		<i>Normal</i>		<i>Kuat</i>	
		Agalam	pecah	alam	pecah	alam	pecah
DS	400 + F	-2	0	-4	-2	-6	-4
oe	400	0	+2	-2	0	-4	-2
sm	350	+2	+4	0	+2	-2	0
le	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
sn	n250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
(kg/m ³)	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

K = + 5 @ + 10 untuk beton yang dipompa

PENENTUAN JUMLAH AIR BEBAS

Dengan menggunakan grafik 1.5.3 telah dapat ditentukan jumlah semen yang diperlukan dalam perencanaan campuran beton. Selanjutnya jumlah air yang diperlukan dapat dihitung dari ratio C/E yang telah ditentukan sebelumnya Untuk D= 25 mm diperlukan koreksi terhadap kadar air (E1) sebagaimana diberikan dalam tabel 1.5.12

Tabel 1.5.12 Koreksi Kadar Air

D (mm)	5	10	16	25	40	63	100
E1 (%)	+5	+19	+4	0	-4	-8	-12

Selanjutnya lampirkan gambar grafik 1.5.3 Kurva Fungsi C/E Slump untuk penentuan jumlah semen /m³ beton dan grafik 1.5.4 Granulometri Agregat

MENETUKAN BERAT AGREGAT (Kondisi SSD)

Untuk mendapatkan komposisi masing-masing agregat dan semen yang digunakan dalam campuran beton perlu lebih dahulu diketahuio koefisien kekompakan butiran (Y). Koefisien kekompakan menunjukkan besarnya volume absolut dari semen dan agregat untuk setiam satu M3 beton. Besarnya koefisien kekompakan tergantung pada diameter maksimum agregat, Konsistensi adukan beton, dan cara pemadatan yang dilakukan, yang dapat dilihat pada table 1.5.13

Tabel 1.5.13 Koefisien Kekompakan Beton

Kekentalan Beton	Cara Pemasangan	Koefisien						
		D = 5	D = 10	D = 16	D = 25	D = 40	D = 63	D = 100
Lembek	Tusukan	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Pemasangan lemah	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Pemasangan Normal	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastis	Tusukan	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Pemasangan lemah	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Pemasangan Normal	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
Kental	Pemasangan Kuat	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Pemasangan Lemah	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Pemasangan Normal	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Pemasangan Kuat	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.845	0.850

Untuk kondisi-kondisi tertentu sebagaimana diberikan dibawah ini diperlukan koreksi terhadap besarnya koefisien kekompakan sebagai berikut :

- Untuk campuran yang menggunakan agregat halus alam dengan batu pecah besarnya koefisien kekompakan direduksi sebesar 0.01
- Untuk campuran yang kedua agregat agregat dipecah direduksi sebesar 0.03
- Untuk campuran beton dengan agregat ringan perlu direduksi sebesar 0.04
- Untuk campuran beton yang menggunakan semen tidak sama dengan 350 kg per kubik beton harus dikoreksi sebesar $(C - 350/5000)$, dimana C merupakan jumlah semen yang dipakai setiap kubikasi beton.

Kuat tekan beton rata-rata f'_{cr} dinyatakan sebagai kekuatan tekan yang memperhitungkan tingkat kegagalan sebesar 5%, dengan distribusi kekuatan tekan beton dianggap mengikuti distribusi normal. Hubungan antara kuat tekan beton yang disyaratkan dengan kuat tekan beton rata-rata dinyatakan sebagai :

$$f'_{cr} = f'_c - 1.64 s$$

$$\text{atau} \quad f'_c = f'_{cr} + 1.64 s$$

dimana : f'_c = kekuatan tekan beton yang disyaratkan (Mpa)

f'_{cr} = kekuatan tekan rata-rata (Mpa)

s = deviasi standar (Mpa)

Pengujian kekuatan dilakukan terhadap 30 buah benda uji silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Bila hanya memungkinkan untuk dilakukan pengujian untuk sejumlah benda uji yang kurang dari 30 buah maka diperlukan koreksi terhadap deviasi standar sebagaimana diberikan dalam tabel 1.5.8

Tabel 1.5.8 Faktor Koreksi Deviasi Standar

Jumlah contoh Pengujian	Faktor koreksi
15	1.16
20	1.08
25	1.03
≥ 30	1.00

Besarnya kekuatan beton rencana yang dipakai pada perancangan campuran beton adalah nilai terbesar antara :

$$f^*_{cr} = f^*c + 1.64 s \text{ (Mpa)}$$

dan

$$f^*_{cr} = f^*c + 2.64 s - 4 \text{ (MPa)}$$

dengan nilai deviasi standar yang telah dikoreksi sesuai dengan jumlah contoh pengujian seperti tercantum pada tabel 1.5.9

Bila tidak tersedia data hasil pengujian atau pengalaman sebelumnya, maka besarnya kekuatan tekan beton rencana dapat diperhitungkan berdasarkan pada tabel 1.5.9

Tabel 1.5.9 Peningkatan kekuatan yang diperlukan untuk kuat tekan beton yang disyaratkan bila data hasil pengujian tidak tersedia

Kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa)	Peningkatan kekuatan (Mpa)
< 21	7.0
21-35	6.5
≥ 35	10.0

Didalam pelaksanaan, kekuatan tekan beton dinyatakan sebagai kekuatan tekan karakteristik yang dihitung berdasarkan benda uji kubus dengan sisi 150 mm, sedangkan rumusan perancangan campuran beton menurut Dreux didasarkan atas benda uji silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Oleh karenanya diperlukan konversi kuat tekan benda uji kubus ke benda uji silinder. Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan benda uji kubus adalah 1.2 kali lebih besar dari benda uji silinder.

CARA LAIN METODA SKSNI T-15-1990-03

Metoda ini mengacu pada tata cara pembuatan campuran beton normal, standar SKSNI T-15-1990-03

1.6 PEMERIKSAAN SIFAT ADUKAN BETON BASAH

Inspeksi secara visual untuk evaluasi konsistensi pasta adukan dan integritas unsur-unsur beton dapat dilakukan dengan membandingkan catatan inspeksi (gambar dokumentasi) dengan dokumentasi gambar dari contoh-contoh trial mix berindikasi sifat pasta/adukan tertentu. Usaha ini adalah salah satu usaha dalam merencanakan kembali adukan pasata beton yang mudah dikerjakan. Gambar-gambar berikut inii merupakan contoh-contoh trial mix yang mungkin terjadi di dalam proses pembuatan adukan beton. (dikutip dari Technical Report No. 21, August 1977, Materials Testing Institute Bandung, United Nation Concrete Manual Indonesian Manual)



Gambar 1.6.1 : Adukan beton kekurangan agregat halus (pasir). Terdapat rongga-rongga pada adukan (honeycombing), karena tidak cukupnya pasta dan pasir mengisi rongga tersebut. Segregasi (berderainya unsur adukan) juga merupakan indikasi kurang adanya ikatan yang terjadi antara bahan-bahan



Gambar 1.6.3 Adukan gemuk. Adukan mempunyai sifat koheren yang baik, tetapi tidak ekonomis.



Gambar 1.6.4 Adukan gemuk. Agregat kasar lenyap dari permukaan yang dilicinkan.



Gambar 1.6.5 Jenis adukan dengan kekenyalan yang berbeda. Contoh-contoh ini merupakan contoh adukan dengan bahan-bahan yang tepat komposisinya. Tidak terjadi segregasi, walaupun nilai slumpnya tinggi.



Gambar 1.6.6 Agregat dapat dilihat dan antara agregat terisi penuh dengan pasta dan pasir. Adukan merupakan adukan dengan komposisi pasir yang tepat. Permukaan yang dilicinkan rata tanpa ada rongga-rongga.



Gambar 1.6.7 Beton yang kekurangan agregat halus (ukuran diameter kecil dari 0,3 mm) mempunyai W/C ratio yang besar, sehingga terdapat lapisan air di permukaan., biasanya disebut BLEEDING CONCRETE.

1.7 PEMERIKSAAN MUTU BETON dan MUTU PELAKSANAAN

Selama masa pelaksanaan pekerjaan beton, mutu beton dan kualitas pekerjaan harus diperiksa secara bersinambung dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.

Untuk setiap m³ beton harus dibuat sekurang-kurangnya satu benda uji pada permulaan pelaksanaan konstruksi.

Setelah terkumpul 20 benda uji, maka pada umur 28 hari dilakukan pemeriksaan kekuatan tekan beton.

Mutu pelaksanaan diukur dari DEVIASI STANDAR. Rumusan untuk mendapatkan nilai DEVIASI STANDAR adalah :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{1}^N (f'_b - f'_{bm})^2}{N-1}}$$

hal mana : s = deviasi standar [kg/cm²]

f'_b = kekuatan tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji [kg/cm²]

f'_{bm} = kekuatan tekan beton rata-rata [kg/cm²]

menurut rumus :

$$f'_{bm} = \frac{\sum_{1}^N f'_b}{N}$$

N = jumlah seluruh nilai hasil pemeriksaan, yang harus diambil minimum 20 buah

Berbagai mutu pelaksanaan pada berbagai volume pekerjaan di cantumkan dalam Tabel 1.7.1 berikut ini :

Tabel 1.7.1 Nilai Deviasi Standar s bagi Evaluasi Kekuatan Beton

Volume Pekerjaan		Deviasi Standar s [kg/cm ²]		
sebutan	jumlah beton [m ³]	baik sekali	baik	dapat di terima
kecil	< 1000	45 < s < 55	55 < s < 65	65 < s < 85
sedang	1000 - 30000	35 < s < 45	45 < s < 55	55 < s < 75
besar	> 3000	25 < s < 35	35 < s < 45	45 < s < 65

Hubungan antara tegangan beton karakteristik dengan kekuatan tekan beton dinyatakan oleh rumus :

$$f_{bk}' = f_{bm}' - 1.64 s$$

Untuk mendapatkan kekuatan tekan rencana beton dengan menetapkan lebih dahulu kekuatan rencana karakteristiknya, dengan rumus :

$$f_{bm}' = f_{bk}' + 76$$

yang dapat dipergunakan sebagai patokan untuk kekuatan tekan beton rencana bagi perhitungan komposisi benda uji coba.

1.8 TULANGAN BAJA

Jenis tulangan baja untuk beton dibedakan menurut tulangan polos atau berulir (deformed). Tulangan polos adalah batang baja yang permukaan sisi luarnya rata tidak bersirip atau berulir, sedangkan tulangan deform adalah batang baja dengan permukaan sisi luar tidak rata, tapi bersirip atau berukir. Bentuk permukaan luar tulangan deform memungkinkan mencegah gerakan relatif arah memanjang terhadap beton sekeliling tulangan. Jenis tulangan deform umumnya merupakan jenis yang disyaratkan dipakai bagi pembangunan struktur beton untuk bangunan. Ukuran tulangan menurut buku petunjuk yang dikeluarkan oleh UNESCO dalam satuan metrik seperti pada Tabel 1.8.1 berikut.

Tabel 1.8.1 Ukuran dan Berat Batang Tulangan

Diameter [mm]	Luas [mm ²]	Berat [kg/m]
6	28	0.211
8	50	0.377
10	79	0.596
12	113	0.852
14	154	1.160
16	201	1.520
18	254	1.920
20	314	2.370
22	380	2.870
25	491	3.700
28	616	4.650
30	707	5.330
32	804	6.070
40	1256	9.470
50	1963	14.800
60	2827	21.300

Berdasarkan standar ASTM yang lazim dipakai di USA dengan satuan *English*, identifikasi batang tulangan, beserta diameter, luas dan beratnya adalah :

Tabel 1.8.2 Ukuran dan Berat Batang Tulangan digunakan di USA

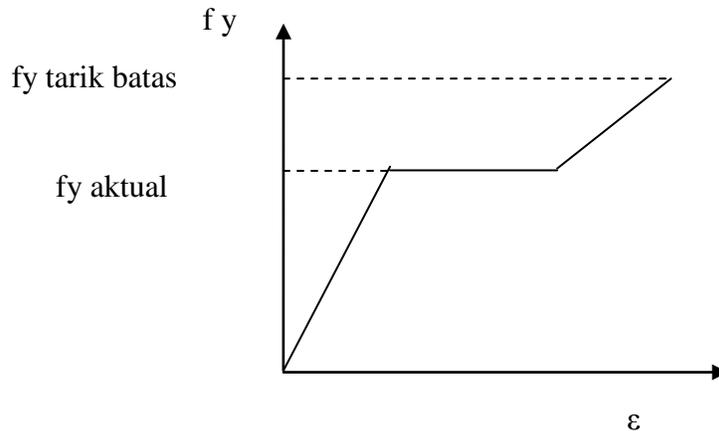
No. Tul	Diameter		Luas		Berat	
	inci	mm	inci ²	cm ²	lb/ft	kg/m
# 3	0.375	9.5	0.11	0.71	0.376	0.559
# 4	0.500	12.7	0.20	1.29	0.668	0.994
# 5	0.625	15.9	0.31	2.00	1.043	1.552
# 6	0.750	19.1	0.44	2.84	1.502	2.235
# 7	0.875	22.2	0.60	3.87	2.044	3.041
# 8	1.000	25.4	0.79	5.10	2.670	3.973
# 9	1.128	28.7	1.00	6.45	3.400	5.059
# 10	1.270	32.3	1.27	8.19	4.303	6.403
# 11	1.410	35.8	1.56	10.06	5.313	7.906
# 14	1.693	43.0	2.25	14.52	7.650	11.380
# 18	2.257	57.3	4.00	15.81	13.600	20.240

Kuat leleh tulangan f_y bagi baja beton bertulang tidak boleh melebihi nilai 550 MPa (5500 kg/cm²). Notasi BJTD yang diikuti dengan dua angka numerik menyatakan kelas kuat leleh baja. BJTD 40 berarti kuat leleh baja adalah 400 MPa.

1.9 PEMBATASAN TEGANGAN TULANGAN

Tulangan penahan gaya lentur dan aksial akibat gaya gempa yang digunakan dalam komponen struktur rangka dan komponen dinding batas harus memenuhi ketentuan ASTM A 706. Tulangan yang memenuhi ASTM A 615M mutu 300 dan 400 boleh digunakan dalam komponen struktur diatas bila :

- A. Kuat leleh aktual berdasarkan pengujian dipabrik tidak melampaui kuat leleh yang ditentukan lebih dari 120 Mpa (Uji ulang tidak boleh memberikan hasil yang melampaui harga ini lebih dari 20 Mpa)
- B. Ratio dari tegangan tarik batas aktual terhadap kuat leleh tarik aktual tidak kurang dari 1.25



Gambar 1.9.1 Diagram tegangan – regangan baja

Persyaratan pengaruh penambahan kekuatan maksimum dari tulangan terhadap kuat leleh yang ditetapkan (overstrength) dapat dilihat pada gambar 1.9.1 di atas dengan ketentuan

$$f_y \text{ aktual} < f_y + 120 \text{ Mpa}$$

sedangkan persyaratan daktilitasnya adalah :

$$f \text{ tarik batas aktual} > 1.25 f_y \text{ aktual}$$

1.10 MENENTUKAN DIAMETER KARAKTERISTIK DARI TULANGAN ULIR

Sebelum memulai pengujian tarik, besar penampang dan diameter batang uji harus eksak ditentukan. Bentuk baja beton baik didapat berupa batang polos maupun dalam bentuk batang deform disebabkan bentuk deform ini maka rupa dari kebulatan batang tidak begitu tampak hingga sulit untuk menyatakan diameternya. Bagi baja deform, tidak dikatakan sebagai diameter melainkan disebut garis tengah karakteristik. Garis tengah karakteristi $\bar{\phi}_k$ adalah sebuah garis tengah dari suatu batang yang diandaikan berpenampang bulat dengan panjang volume dan beratnya sama seperti batang baja sebenarnya yang berpenampang deform.

Bagaiman cara menentukan luas penampang sebuah baja deform dan diameter karakteristiknya?

Hal ini akan dijelaskan sebagai berikut :

- a. Ukuran panjang batang uji sampai dengan ketelitian 1 mm
- b. Massa batang tersebut ditentukan dengan ketelitian 0,5 gram

Setelah pekerjaan diatas selesai, maka masa volume baja dapat diketahui yaitu 7850 kg/cm^3
 Selanjutnya luas penampang batang dan garis tengah karakteristik dapat ditentukan sekarang.
 Setelah luas penampang yang sebenarnya diketahui, batang ini dapat diletakkan pada meja uji tarik.
 Dengan bantuan pengujian tarik, batas luluh (atau 0,2% batas regangan) serta gaya tarik maksimal dapat ditentukan.

Contoh :

Sebagai contoh pemeriksaan disajikan sebuah batang deform tipe BJ.Td 40 selanjutnya diketahui panjang batang 523 mm, massa 8360 gram, gaya tarik maksimal 111 kN (11100 kg) dan massa volume $7850 \text{ kg/m}^3 = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ gram/mm}^3$

$$\text{Volume Batang} = \frac{\text{massa}}{\text{massa-volume}} = \frac{836,0}{7,85 \times 10^{-3}} = 106,5 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Panjang batang} = \frac{\text{volume}}{\text{panjang}} = \frac{106,5 \times 10^3}{523} = 203,6 \text{ mm}^3$$

$$\text{Garis tengah karateristik} : \frac{\pi}{4} \phi_k^2 = 203,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Garis tengah karateristik} : \phi_k = 16,1 \text{ mm}$$

Garis tengah karakteristik dapat pula ditentukan menurut rumus :

$$\phi_k = \sqrt{\frac{1000 \times B}{7,85 \times 0,25 \times p}} = 12,74\sqrt{B}$$

B = Nilai bilangan dari massa batang uji persatuan panjang.

Untuk contoh batang yang diberikan diatas berlaku :

$$B = \frac{\text{massa batang}}{\text{panjang batang}} = \frac{836,0}{523} = 1,60 \text{ gram/mm}$$

$$\text{Dengan rumus diatas } \phi_k = 12,74\sqrt{1,60} = 16,1 \text{ mm}$$

Hasil yang diperoleh sama jadi ok

$$\text{Besar gaya tarik} \frac{(111 \times 10^3)}{203,6} = 545 \text{ Mpa} = 5450 \text{ kg/cm}^2$$

Sedangkan batas lelehnya ditentukan dengan cara yang sama dengan batasan regangan leleh yang ditentukan

1.11 MODULUS ELASTISITAS

Bagi analisis dan desain beton bertulang, modulus elastisitas bahan merupakan parameter yang perlu ditetapkan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses perhitungan. Nilai modulus elastisitas beton dan baja tulangan ditentukan menurut ketentuan berikut :

- a. Untuk nilai **berat volume beton** w_c di antara 1500 dan 2500 kg/m³, nilai modulus elastisitas beton E_c boleh diambil sebesar $(w_c)^{1.5} \times 0,043$ (dalam MPa). Untuk beton normal E_c boleh diambil sebesar $4700\sqrt{f'_c}$. Ini berarti jika kekuatan tekan rencana beton normal $f'_c = 22.5$ MPa, maka $E_c = 22295$ MPa (218500 kg/cm²). Bagi analisis struktur, secara umum banyak digunakan nilai modulus elastisitas yang tetap, yaitu sebesar 210000 kg/cm².
- b. Modulus elastisitas baja untuk tulangan biasa E_s menurut peraturan boleh diambil sebesar 200.000 MPa (2.1×10^6 kg/cm²).

Daftar pustaka :

1. Gideon Kusuma W.C. Vis, 1996, "Dasar dasar Perencanaan Beton Bertulang" Erlangga, edisi dua.
2. Gideon Kusuma W.C. Vis, 1996, "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang" Erlangga, edisi dua.
3. Istimiawan Dipohusodo, 1996 "Struktur Beton Bertulang" Gramedia
4. Mosley W.H. & Bungey J.H. 1992 "Reinforced Concrete Design" Mac Millan, 2