

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dinding

Dinding merupakan pembatas rumah dengan halaman dan sebagai pembatas antar ruang di dalam rumah. Untuk dinding luar bangunan di Indonesia, harus dibuat dari bahan yang mampu menahan panas dengan baik dan juga tahan terhadap air hujan, mengingat kondisi iklim yang ada di Indonesia. Dinding minimal harus mampu menahan beban sendiri dan beban angin.

2.2. Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk masa padat ^[3]. Seorang perencana harus mampu membuat perencanaan yang ekonomis dalam menentukan jumlah bahan pembentuk campuran beton untuk mencapai kekuatan yang disyaratkan dan kemudahan pelaksanaan serta keawetannya. Untuk itulah terlebih dahulu harus diketahui sifat-sifat beton yang akan dibuat dan karakteristik dari bahan-bahan penyusunnya.

2.3. Material Penyusun Beton

2.3.1. Semen

Semen Portland merupakan bubuk halus, yang diperoleh dengan menggiling klinker (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur, silika, alumina, dan besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup. Bubuk tadi bila dicampur dengan air, selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis. Susunan unsur-unsur semen Portland ditunjukkan pada (tabel 2.1).^[8]

Tabel 2.1. Susunan unsur semen Portland

Bahan dasar	Rumus Kimia	% Dalam PC
Kapur	CaO	60 - 65
Silika	SiO ₂	17 - 25
Alumina	Al ₂ O ₃	3 - 8
Besi	Fe ₂ O ₃	0,5 - 6

Dari proses pembakaran dan pencampuran bahan-bahan dasar menurut perbandingan tertentu didapat senyawa baru yaitu, seperti terlihat pada tabel 2.2 berikut ini.^[8]

Tabel 2.2. Senyawa yang terdapat pada semen Portland

Senyawa	Rumus Kimia
Trikalsium silikat (C ₃ S)	3CaO SiO ₂
Dikalsium silikat (C ₂ S)	2CaO SiO ₂
Trikalsium aluminat (C ₃ A)	3CaO Al ₂ O ₃
Tetrakalsium aluminat (C ₄ AF)	4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun pasta semen yang sudah mengeras, juga beton yang dibuat dari semen tersebut. Sifat-sifat semen yang penting yaitu: ^[8]

1. Kehalusan butir ("finenes")
2. Waktu ikatan ("setting time"),
3. Kekentalan ("soundness"),
4. Kekuatan ("strength"),
5. Panas hidrasi ("heat of hydration").

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara merubah persentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland di Indonesia (PUBI - 1982) dibagi menjadi lima jenis ^[1], yaitu:

- Jenis I : Semen Portland untuk kegunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada tipe lain.
- Jenis II : Semen Portland yang pada penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

- Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.3.2. Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 % volume mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi, agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. ^[1]

Cara membedakan agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedang yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam teknologi beton agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,8 mm disebut agregat kasar, dan yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus.

Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alam, dan

atau buatan. Agregat buatan umumnya dibuat dari pecahan bata atau genteng yang bersih atau terak dingin dari tanur tinggi.

Menilai jenis agregat yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton, tergantung kepada:

1. mutu bahan;
2. tersedianya bahan;
3. harga bahan;
4. Jenis konstruksi yang akan menggunakan bahan tersebut.

Agregat yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton terlebih dahulu harus diketahui antara lain adalah: ^[1]

1. Ukuran maksimum butir.
2. Gradasi.
3. Bentuk butiran.
4. Kebersihan.
5. Kekerasan.
6. Tekstur permukaan butir.
7. Berat jenis.
8. Kadar air. .
9. Berat satuan.



1. Ukuran maksimum butiran

Adukan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang sama, atau beton dengan kekuatan yang sama, akan membutuhkan semen lebih sedikit apabila dipakai butir-butir kerikil yang besar-besar. Oleh karena itu untuk mengurangi jumlah semen sehingga biaya pembuatan beton berkurang dibutuhkan ukuran butir-butir yang sebesar-besarnya. Pengurangan jumlah semen juga berarti pengurangan panas hidrasi, dan ini berarti mengurangi kemungkinan beton untuk retak akibat susut atau perbedaan panas yang terlalu besar. Walaupun demikian, besar butir maksimum agregat tidak dapat terlalu besar, karena ada faktor faktor lain yang membatasi. Faktor-faktor tersebut adalah:

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara baja tulangan dengan cetakan.
- b. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat.
- c. Ukuran butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antar bidang-bidang samping dari cetakan.

Dengan pertimbangan tersebut di atas, maka ukuran maksimum agregat dipakai pada penelitian ini adalah 12,7 mm.

2. Gradasi

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama volume pori akan besar, sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran

butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain keampatannya tinggi. Pada agregat untuk pembuatan mortar atau beton diingini suatu butiran yang keampatannya tinggi, karena volume porinya sedikit dan ini berarti hanya membutuhkan bahan ikat yang sedikit pula. Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau lolos didalam suatu susunan ayakan. Susunan ayakan itu ialah ayakan dengan lubang, 76 mm, 38 mm, 19 mm, 9,60 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm dan 0,15 mm.

3. Bentuk butiran

Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar dari pada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butirannya agregat dapat dibedakan menjadi: ^[1]

- a. Agregat bulat, mempunyai rongga udara minimum 33 % hal ini berarti mempunyai rasio luas permukaan volume kecil, sehingga hanya memerlukan pasta semen yang sedikit untuk menghasilkan beton yang baik, namun ikatan antara butir-butirnya kurang kuat sehingga kekuatannya lemah, agregat bentuk ini tidak cocok untuk beton mutu tinggi maupun perkerasan jalan raya.
- b. Agregat bulat sebagian, mempunyai rongga lebih tinggi, berkisar antara 35 sampai 38 persen. Dengan demikian membutuhkan lebih banyak pasta semen untuk

mendapatkan beton segar yang baik. Ikatan antara butir-butirnya juga lebih baik dari pada agregat bulat, namun belum cukup baik untuk dibuat beton mutu tinggi.

c. Agregat bersudut, mempunyai rongga berkisar antara 38 sampai 40 persen. Pasta semen yang digunakan lebih banyak untuk membuat adukan beton. Ikatan antara butir-butirnya dan daya lekatnya baik, sehingga agregat bersudut ini sangat cocok untuk beton mutu tinggi dan lapis perkerasan jalan.

d. Agregat pipih, ukuran terkecil butirannya kurang dari $3/5$ ukuran rata-ratanya. Ukuran rata-rata agregat ialah rata-rata ukuran ayakan yang meloloskan dan menahan butiran agregat, misalnya agregat lolos pada ayakan 20 mm dan tertahan pada lubang ayakan 10 mm, maka ukuran agregat rata-rata sebesar 15 mm. Agregat tersebut dikatakan pipih jika ukuran terkecil butirannya kurang dari $3/5 \times 15 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$.

e. Butiran agregat disebut memanjang apabila ukuran terbesar (yang paling panjang) lebih dari $9/5$ ukuran rata-ratanya.

✓ Dengan demikian agregat dengan butir-butir bulat umumnya lebih baik dari pada agregat dengan butir-butir yang berbentuk pipih atau panjang jika dipakai untuk membuat beton, karena:

- lebih mudah memindahkan butir satu terhadap butir yang lain dalam beton segar,
- dapat mengurangi air dan pasta semen pada tingkat kemudahan yang sama dibanding butir yang berbentuk tajam atau bersudut.

4. Kebersihan

Agregat pada umumnya tidak bebas dari bahan-bahan yang keberadaannya mungkin memberi pengaruh yang merugikan terhadap:

- a. Kekuatan beton.
- b. Keawetan dan memperlihatkan permukaan beton yang jelek.
- c. Kemudahan pengerjaan.

Ditinjau dari aksi zat-zat berpengaruh buruk tersebut, maka dapat dibedakan menjadi tiga macam ^[1,8], yaitu:

1. Zat yang mengganggu proses hidrasi semen, yaitu bahan-bahan organik seperti sisa-sisa tumbuhan dalam bentuk humus, bagian tanaman dan asam-asam organik.
2. Zat yang melapisi agregat sehingga mengganggu terbentuknya lekatan yang baik antara agregat dengan pasta semen, yaitu tanah liat, lempung dan debu sisa pecahan batu.
3. Butiran yang kurang tahan cuaca, yang bersifat lemah akan menimbulkan reaksi kimia antara agregat dan pastanya, yaitu mika, butir-butir yang mengandung garam, arang batu dan tanah yang mengandung belerang.

5. Kekerasan

Kekuatan beton tidak lebih tinggi dari pada kekuatan agregatnya. Oleh karena itu sepanjang kekuatan agregat lebih tinggi dari pada beton yang dibuat dari agregat tersebut maka agregat tersebut dianggap masih kuat.

Butir-butir agregat yang lemah yaitu butir-butir yang kekuatannya lebih rendah daripada pasta semen yang telah mengeras, tidak dapat menghasilkan beton yang kekuatannya dapat diandalkan. Akan tetapi, untuk butir-butir agregat yang kekuatannya sedang atau cukup akan dapat lebih menguntungkan, karena dapat mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi pada pasta beton selama pembebanan, pembasahan atau pengeringan, pemanasan dan pendinginan, dengan demikian membantu mengurangi bahaya akibat terjadi retakan dalam beton.

Butir-butir dapat bersifat kurang kuat karena dua sebab, yaitu karena terdiri dari bahan yang lemah dan terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat dengan baik, jadi ikatannya yang kurang kuat.

Jumlah butiran yang lemah dan lunak perlu dibatasi jika ketahanan terhadap abrasi yang kuat dari betonnya diperlukan. juga modulus elastisitas dari agregat penting jika diinginkan modulus elastisitas betonnya baik. Pengujian kekuatan agregat kasar dapat dilakukan dengan mesin uji aus Los Angeles. Pada cara uji ini contoh butir-butir agregat dimasukkan kedalam silinder logam, dengan bola-bola baja untuk memukul, kemudian silinder diputar sehingga butir-butir agregat tersebut terpukul-pukul dan terabrasi. Persentase jumlah agregat yang hancur selama pengujian merupakan ukuran

dari sifat-sifat agregat yaitu keuletan, kekerasan, dan ketahanan aus diharapkan merupakan sifat langsung yang berhubungan dengan kekuatan. Cara uji dengan mesin aus Los Angeles ini juga dapat digunakan untuk memeriksa adanya bagian butir-butir yang lunak dalam agregat. Caranya dengan mengukur banyaknya butiran yang pecah pada akhir putaran ke-100 kali yang pertama dibandingkan dengan pada akhir putaran ke-500. Umumnya bila butiran yang pecah pada akhir ke-100 sudah lebih dari 20 % dari pada akhir ke-500 dianggap bagian butir lunak sudah terlalu banyak.

6. Tekstur permukaan butiran

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran apakah permukaan butir termasuk halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada umumnya permukaan butirannya hanya disebut kasar, agak kasar, agak licin, dan licin. Tapi berdasarkan pada pemeriksaan visual butiran agregat, tekstur permukaan butiran agregat ^[1], dapat dibedakan menjadi:

- a. sangat halus ("glassy"),
- b. halus,
- c. kasar,
- d. berkilat ("crystalline"),
- e. berpori,
- f. berlobang-lobang.

Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan juga tergantung pada besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang telah membuat licin atau kasar permukaan tersebut.

Bentuk dari tekstur permukaan sangat berpengaruh terhadap:

1. Daya serapan terhadap air.
2. Kemudahan pengerjaan dari beton segarnya.
3. Daya lekat antara agregat dengan pastanya.

Suatu agregat dengan permukaan yang berpori dan kasar lebih disukai dari permukaan agregat yang halus, karena agregat dengan tekstur kasar dapat meningkatkan rekatan agregat dan semen sampai 1,75 kali, dan kuat tekan betonnya dapat meningkat sekitar 20 persen. ^[1]

7. Berat Jenis

Berdasarkan berat jenis, agregat dapat dibedakan menjadi tiga macam ^[1], yaitu:

a. Agregat normal

Agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7 ton/m³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt, dan kuarsa. Beton yang dihasilkan dari agregat ini mempunyai berat jenis sekitar 2,3 ton/m³ dengan kuat tekan antara 15 MPa sampai 40 Mpa.

b. Agregat berat

Agregat berat mempunyai berat jenis lebih dari $2,8 \text{ ton/m}^3$. Misalnya magnetik ($\text{Fe}_3 \text{O}_4$), barytes (Ba So_4), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan juga berat jenisnya tinggi sampai 5 ton/m^3 . Agregat jenis ini efektif sebagai dinding radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari $2,0 \text{ ton/m}^3$ yang biasanya digunakan untuk beton non struktural, akan tetapi dapat juga digunakan untuk beton struktural atau blok dinding beton.

8. Kadar air

Kadar air yang ada pada agregat (di lapangan) perlu diketahui, untuk menghitung jumlah air yang akan dipakai dalam campuran adukan beton dan juga untuk mengetahui berat satuan agregat.

Keadaan kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat ^[1], yaitu:

- a. Kering tungku, benar-benar tidak mengandung air, dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, butir-butir agregat kering permukaannya tetapi mengandung sedikit air didalam porinya.
- c. Jenuh kering muka, pada tingkat ini tidak ada air dipermukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian

butir-butir agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.

d. Basah, pada tingkat ini butir-butir mengandung banyak air, baik dipermukaan maupun didalam butiran, sehingga bila dipakai untuk campuran akan memberi air.

Dari keempat keadaan tersebut keadaan jenuh kering muka ("Saturated Surface Dry, SSD") lebih disukai sebagai standar, karena:

- Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya.
- Kadar air dilapangan lebih banyak mendekati keadaan "SSD".

9. Berat satuan

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam Kg/liter atau ton/m³. Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam satu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volume padat dan volume pori terbukanya.

2.3.3. 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-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 30 % berat semen saja, namun dalam kenyataannya sulit dikerjakan betonnya apabila nilai faktor air semen

yang dipakai kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton 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 dikenal dengan "laitance" (selaput tipis). Selaput tipis ini 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 rongga-rongga kecil. ^[1,8]

Dalam hal terdapat kesulitan air didaerah terpencil misalnya yang tidak terdapat air minum atau air untuk kegunaan umum, dan kualitas air yang ada dikhawatirkan, maka perlu dilakukan pengujian terhadap:

1. kadar lumpur,
2. kadar garam,
3. kadar asam atau alkali,
4. sisa-sisa tumbuhan,
5. kandungan gula mungkin juga terdapat dalam air.

Kualitas air yang digunakan untuk campuran beton sebaiknya air yang memenuhi syarat ^[1,8].

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.

Kualitas air yang digunakan untuk campuran beton sebaiknya air yang memenuhi syarat [1,8].

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

2.4. Kekentalan

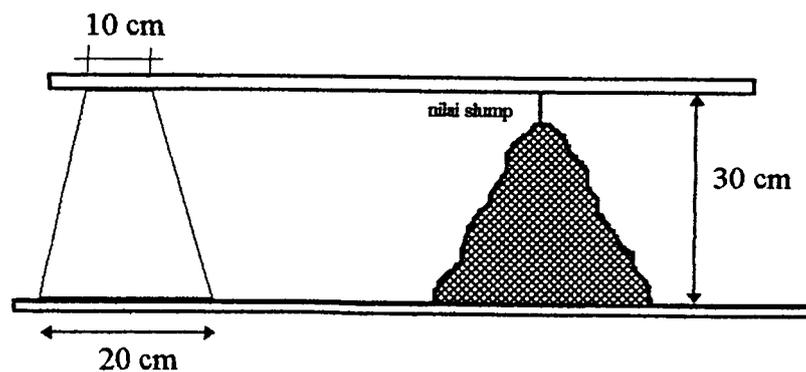
Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan [1] adalah:

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton.
2. Penambahan semen kedalam campuran beton, karena pasti diikuti dengan penambahan air untuk mempertahankan nilai fas yang diinginkan.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil.
4. Pemakaian butir-butir yang bulat.
5. Pemakaian butir maksimum kerikil.
6. Cara pemadatan adukan beton (alat yang digunakan)

Untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan biasanya dilakukan dengan percobaan "slump". Makin besar nilai "slump" berarti adukan beton makin encer dan ini berarti semakin mudah dikerjakan, tetapi untuk dinding nilai "slump" maksimum sebesar 12,5 cm dan minimum 5 cm.

Untuk menentukan besarnya nilai "slump", digunakan alat kerucut "Abrams" yang terdiri dari:

1. Corong baja berbentuk kerucut yang berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20 cm, atas berdiameter 10 cm, dan tinggi 30 cm, (lihat Gbr. 2.1)
2. Tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm, dengan bagian ujungnya dibulatkan



Gbr. 2.1. Alat uji "slump"

2.5. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton yang dipakai dalam penelitian ini memakai metode "DREUX". Dengan metode ini kekuatan beton tidak mutlak ditentukan oleh banyaknya jumlah semen saja, tetapi ada faktor-faktor lain yang mempengaruhinya, yaitu perbandingan berat semen dengan berat air dan kekompakan butiran (faktor "granulair").

Dengan demikian, ada korelasi antara kekuatan beton, kekuatan semen, kekompakan butiran, jumlah air dan semen yang dipakai

Secara garis besar urutan perencanaan campuran beton menurut "DREUX" adalah:

1. Hitung berat jenis semua bahan dengan dasar data dari percobaan laboratorium, antara lain :
 - a. Berat jenis pasir ("SSD").
 - b. Berat jenis kerikil ("SSD").
 - c. Berat jenis semen (data dari pabrik semen)
 - d. Diameter maksimum agregat.
 - e. Kekuatan semen ($\sigma'c = \text{kg/m}^3$) dari Balai Penyelidikan Bahan

2. Rumus-rumus yang dipakai:

$$\sigma'28 = G \times \sigma'c (C/E - 0,5) \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

$\sigma'28$ = Kekuatan tekan rata-rata pada umur beton 28 hari, berdasarkan benda uji silinder.

- G = Faktor kekompakan butiran (faktor "granulair"), yaitu angka yang menunjukkan bagian volume yang diisi oleh butiran kasar. Angka yang umum dipakai 0,5 (lihat tabel 2.3).
- $\sigma'c$ = Kekuatan semen berdasarkan dari pabrik semen yang dipakai atau juga informasi dari Lembaga Penelitian Bahan.
- C = Berat semen/ m^3 beton
- E = Berat air/ m^3 beton

Dalam rumus diatas σ merupakan kekuatan tekan rata-rata, sedangkan yang direncanakan adalah kekuatan beton karakteristik ($\sigma'bk$).

Korelasi antara $\sigma'28$ dengan $\sigma'bk$ sebagai berikut:

$$\sigma'28 = \sigma'bk + 1,64 Sd \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

Sd = Deviasi standar (kg/cm^2).

Deviasi standar digunakan untuk mengukur mutu pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan PBI - 1971 pasal 4.5. ayat (1), seperti terlihat pada tabel 2.3. [3]

Tabel. 2.3. Nilai deviasi standar

Volume Pekerjaan (m^3)	Mutu Pelaksanaan		
	baik sekali	baik	cukup
kecil < 1000	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 65$	$65 < s \leq 85$
sedang 1000 - 3000	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 75$
besar > 3000	$25 < s \leq 35$	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 65$

Disamping itu σ'_{28} tersebut didasarkan atas benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan tegangan σ'_{bk} didasarkan atas benda uji kubus dengan sisi 15 cm. Hal ini dapat diatasi dengan mengambil konversi menurut PBI 1971 pasal 4.1 ayat (3) :

$$\sigma'_{\text{silinde } 15 \times 30 \text{ cm}} = 0,83 \sigma'_{\text{kubus } 15 \text{ cm}} \dots\dots\dots(3)$$

Tabel. 2.4. Faktor kekompakan butiran (faktor "granulair")

Kualitas butiran	Ukuran diameter butiran		
	Kecil ($D \leq 16 \text{ mm}$)	Sedang ($25 \leq D < 40 \text{ mm}$)	Besar ($D < 63 \text{ mm}$)
Baik	0,55	0,60	0,64
Cukup	0,45	0,50	0,55
Buruk	0,35	0,40	0,45

3. Dengan rumus

$$\sigma'_{28} = G \times \sigma'_{c} (C/E - 0,5)$$

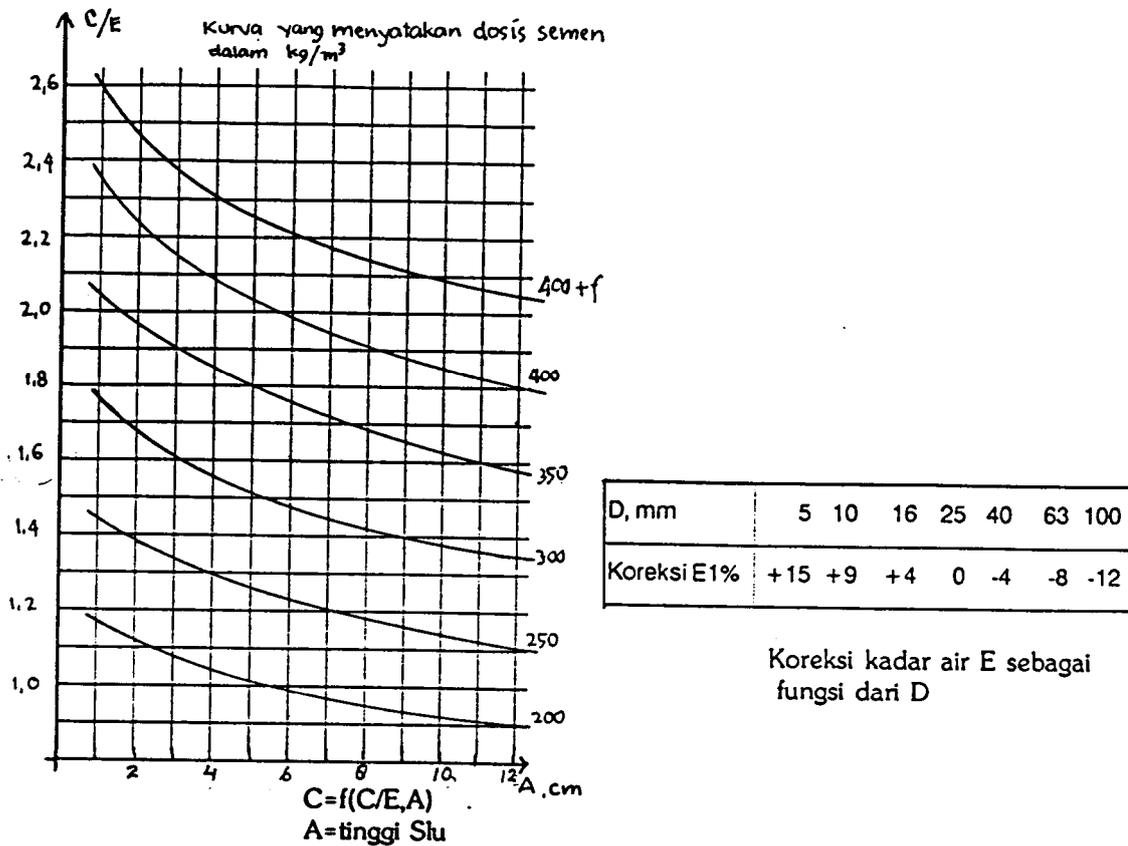
$$C/E = [(0,5 G \times \sigma'_{c}) + \sigma'_{28}] / (G \times \sigma'_{c}) \dots\dots\dots (4)$$

Agar suatu campuran beton harus dapat dikerjakan ("workable") dan jumlah semen tidak boleh kurang dari harga minimum, maka rumus diatas berlaku untuk:

- a. harga C/E berkisar antara 1,5 sampai 2,5
- b. Jumlah semen (C) $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ beton



Setelah C/E didapat, dan nilai slump ditetapkan maka dengan melihat dan menyesuaikan Gbr. 2.2 didapat dosis semen dalam kg/m^3 , dengan demikian dosis air diperoleh.



Gbr.2.2. Grafik hubungan antara kadar semen dengan "slump"

4. Tentukan perbandingan antara pasir dan kerikil dengan langkah-langkah sebagai berikut: [9]

- 1). Distribusi butiran digambar dalam sebuah kurva "granulometri".
- 2). Dibuat kurva patokan ("reference") yaitu kurva yang sedapat mungkin harus didekati oleh "granulometri" gabungan. Kurva "reference" ini

merupakan bilinear yang menghubungkan titik 0 % pada diameter 0,1 mm dan titik 100 % pada diameter maksimum (D) dengan titik patah (A).

3). Titik patah $A = (X, Y)$ ^[9] didapat dari:

a. absis: (X)

- jika diameter maksimum butiran (D) = 25 mm, maka X diambil =
 $D/2 = 12,5$ mm

- jika diameter maksimum butiran (D) > 25 mm maka X diambil absis
 tengah antara $\varnothing = 5,0$ mm dan $\varnothing = D$

b. ordinat: (Y)

Y merupakan ordinat dalam %

$$Y = 50 - \sqrt{D + K + K_s} \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

D = diameter maksimum butiran

K = angka koreksi yang tergantung dari jumlah semen/m³ beton, bentuk butiran dan cara pemadatan. harga-harga ini dapat diambil dari tabel 2.5.

K_s = angka koreksi jika modulus kehalusan pasir

$$M_{fs} \neq 2,5, \text{ maka } K_s = 6 M_{fs} - 15 \dots\dots\dots (6)$$

Tabel 2.5. Harga-harga K, Ks, Kp

Pemadatan		Lemah		Normal		Kuat	
Macam butiran		alam	pecah	alam	pecah	alam	pecah
400 + fluid		-2	0	-4	-2	-6	-4
Dosis	400	0	+2	-2	0	-4	-2
semen	350	+2	+4	0	+2	-2	0
(kg/m ³)	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6
Koreksi ---Ks : Jika Mfs ≠ 2,5				Ks = 6 Mfs - 15			
Koreksi ---Kp : Untuk beton yang dipompa				Kp = + 5 a +10			

Dari kurva "granulometri" yang dibuat diatas dengan menarik garis lurus yang menghubungkan titik 95 % pada kurva pasir dan titik 5 % pada kurva kerikil. Ordinat titik potong antara garis tersebut dengan kurva "reference" merupakan persentase pasir, dan dari titik potong ini sampai 100 % merupakan persentase kerikil.

5. Menentukan proporsi pasir dan kerikil untuk tiap m³ beton, tergantung pada kekompakan butiran. Dengan melihat tabel 2.6 didapat harga koefisien kekompakan (γ), tabel 2.6 ini berlaku untuk pasir dan kerikil alam, serta jumlah semen sama dengan 350 kg/m³ beton. Jika memakai campuran lain, maka angka-angka tersebut harus dikoreksi sebagai berikut :

- a. untuk campuran pasir alam dan batu pecah, dikoreksi dengan - 0,01.
- b. untuk campuran pasir pecah dengan batu pecah, dikoreksi dengan -0,03.

- c. untuk jumlah semen yang tidak sama dengan 350 kg/m^3 beton, dikoreksi dengan $(C - 350)/5000$.
- d. untuk bahan butiran ringan dikoreksi dengan $-0,03$.
6. Dengan langkah (5) didapat volume absolut semen ditambah volume absolut bahan butiran untuk 1 m^3 beton.
7. Dari langkah (6) untuk mendapatkan berat pasir dan kerikil dalam tiap m^3 beton, maka tinggal dikalikan dengan berat jenis masing-masing

Tabel 2.6. Harga-harga koefisien kekompakan γ

Kekentalan beton	Cara pemadatan	koefisien kekompakan γ						
		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
	pemadatan lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	pemadatan 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
	pemadatan lemah	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	pemadatan normal	0,770	0,800	0,815	0,820	0,825	0,830	0,835
	pemadatan kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
kental	pemadatan lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	pemadatan normal	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	pemadatan kuat	0,785	0,810	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

a. Harga-harga diatas berlaku untuk butiran alam, jika tidak γ dikoreksi :
 - 0,01 untuk pasir alam + batu pecah
 - 0,03 untuk butiran dari batu pecah

b. butiran ringan : dikurangi dengan 0,03

c. untuk $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$, koreksi dengan $(C - 350)/5000$

2.6. Kuat Tekan

Kekuatan tekan beton terutama dipengaruhi oleh perbandingan air semennya. Semakin rendah perbandingan air-semennya semakin tinggi kekuatan betonnya. Walaupun demikian, kekuatan tekan beton selain dipengaruhi perbandingan air semen masih sangat dipengaruhi oleh: ^[4]

1. Sifat bahan-bahan pembentuknya.
2. Nilai perbandingan bahan-bahannya.
3. Cara pengadukan atau penuangan adukannya.
4. Cara pemadatan.
5. Cara perawatan selama proses pengerasan.
6. Umur betonnya.

Pengujian pada kubus beton terhadap kuat desaknya telah diterima secara meluas sebagai cara yang paling mudah untuk mengontrol kualitas beton yang dihasilkan, baik di lapangan maupun pada instalasi beton pracampur ("ready mix"). Meskipun demikian, pengujian kubus tak lain hanyalah merupakan pengukuran kualitas beton yang dihasilkan pada mesin campur, dan karena jumlah beton yang dipakai untuk membuat kubus hanyalah merupakan proporsi sangat kecil dari kuantitas beton yang dicor pada bangunan, dan hanya diambil dari beberapa takaran campuran, maka pengujian secara individu memberikan petunjuk umum kualitas beton. Meskipun kuat tekan kubus dapat diterima maupun ditolak berdasarkan pada lolos atau gagalnya

kuat tekan kubus dapat diterima maupun ditolak berdasarkan pada lolos atau gagalnya memenuhi batasan tertentu, apakah ini dihubungkan dengan kuat karakteristik atau kekuatan minimum, kubus ini juga harus diperiksa dalam hubungannya dengan kuat rata-rata yang diharapkan dari perhitungan desain campuran. Bila mana kekuatan kubus berada dalam daerah kekuatan rata-rata, maka dinyatakan bahwa beton yang diproduksi pada mesin campur berada didalam standar yang baik.

Di Indonesia pengujian kuat desak biasanya dilaksanakan pada kubus ukuran 150 mm, dan benda uji berbentuk silinder yang tingginya 300 mm dan diameternya 150 mm telah dipakai sebagai standar.

Ukuran benda uji dan bentuknya berpengaruh terhadap kekuatannya. Bila tidak ada ketentuan lain, konversi kuat tekan beton dari bentuk kubus ke bentuk silinder, maka gunakan perbandingan kuat tekan seperti pada (tabel 2.7) ^[3].

Tabel 2.7. Konversi Kuat tekan beton dari bentuk kubus ke bentuk silinder

Bentuk benda uji	Perbandingan
Kubus : 15 cm x 15 cm x 15 cm	1,0
: 20 cm x 20 cm x 20 cm	0,95
Silinder : 15 cm x 30 cm	0,83

Kekuatan tekan beton dihitung dengan menggunakan rumus:

$$f_c = P/A \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

2.7. Kuat Lentur

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban grafitasi maupun beban angin dan gempa, menyebabkan terjadinya lentur pada elemen struktur. Lentur pada pelat merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar yang bekerja. Apabila bebannya bertambah, maka pada pelat terjadi regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak lentur disepanjang balok. Bila bebannya semakin bertambah sampai mencapai kapasitas dari elemennya, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan.

Momen lentur adalah besaran yang menunjukkan besarnya kekuatan elemen struktur dalam menahan momen lentur akibat beban luar yang bekerja. Pemeriksaan elemen struktur terhadap lentur, dimaksudkan untuk mengetahui apakah elemen tersebut apakah memiliki kekuatan (momen lentur) yang cukup didalam memikul beban luar.

Perhitungan kekuatan lentur, didasarkan atas distribusi tegangan. Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

beban luar. Perhitungan kekuatan lentur, didasarkan atas distribusi tegangan.

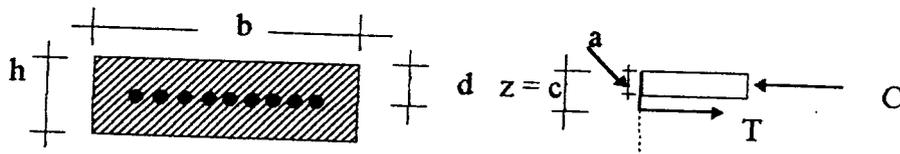
Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$C = T \dots\dots\dots (8)$$

$$C = 0,85 f_c' b a \dots\dots\dots (9)$$

$$T = A_s f_y \dots\dots\dots (10)$$

Distribusi tegangan yang terjadi pada penampang, mempunyai bentuk seperti gambar sebagai berikut ini :



Gbr. 2.3. Distribusi tegangan dan regangan

dimana :

- b = Lebar pelat yang tertekan
- d = Tinggi pelat dari tepi serat tekan ketitik berat luas baja
- h = Tinggi total pelat
- A_s = Luas tulangan tarik
- f_c' = Kekuatan tekan beton
- f_s = Tegangan pada tulangan baja yang tertarik
- f_y = Kekuatan leleh tulangan tarik
- c = Jarak garis netral diukur dari tepi serat tekan
- a = β x c
- z = d - a/2

Momen tahanan penampang, yaitu kekuatan momen nominal (M_n) yang dapat ditahan penampang, dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut

$$M_n = C \times z \dots\dots\dots (11)$$

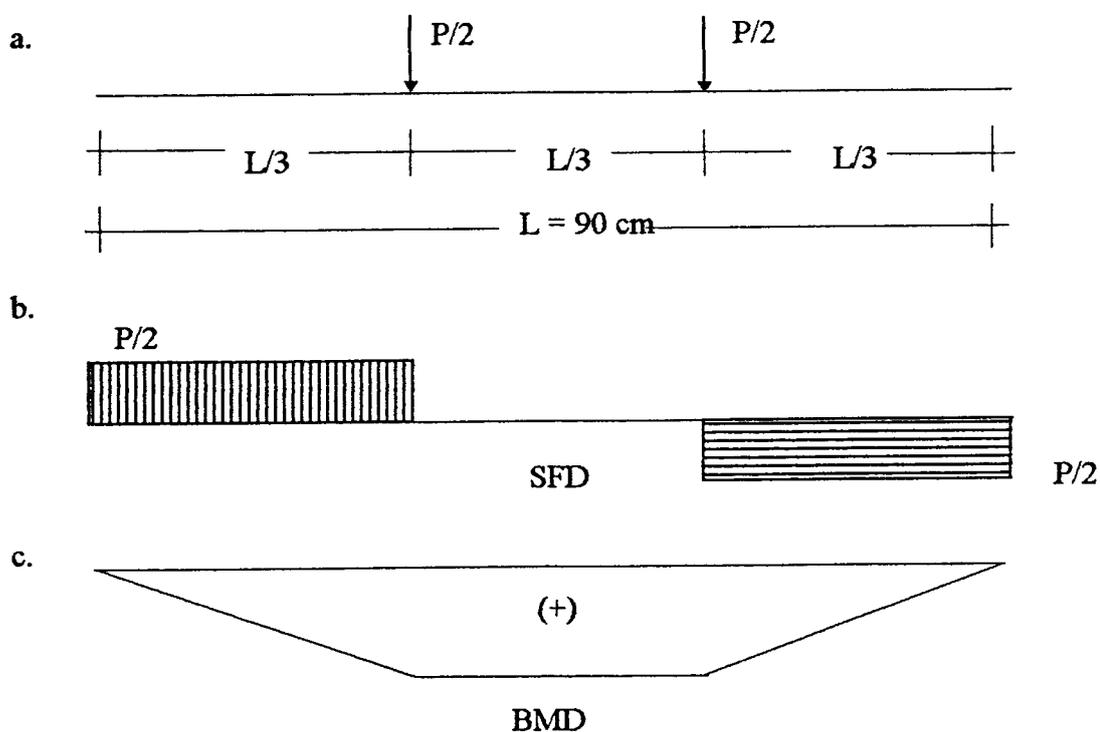
$$M_n = 0,85 f_c' b a (d - a/2) \dots\dots\dots (12)$$



Dalam penelitian ini, digunakan pengujian lentur dengan menggunakan metode pembebanan pada dua titik yang mengacu ASTM C 78 - 59, dengan benda uji berukuran 100 x 30 x 5 cm seperti ditunjukkan pada Gbr. 2.4.

Momen rencana atau momen nominal adalah momen yang terjadi akibat gaya luar yang bekerja pada balok. Momen ini dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$M_n = (1/6) P L \dots\dots\dots(13)$$



Gbr. 2.4. Sket pembebanan Dua Titik

- (a) pembebanan dua titik
- (b) diagram SFD
- (c) diagram BMD