

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampurkan dengan maretta dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituangkan dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan. Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu yang panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya (Wicaksono, 2005).

Menurut Mulyono (2004) secara umum beton dibedakan dedalam 2 kelompok,sebagai berikut.

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.
 - a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan – bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.
 - b. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yangcukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga–tenaga ahli. Beton kesa II dibagi dala mutu – mutu standar B1,K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan – bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu – mutu K125 dan K175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil – hasil pemeriksaan benda uji.
 - c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli.

Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

2. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 5 sebagai berikut ini.

a. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Menurut SNI 08-1991-03 berat jenis agregat ringan sekitar $800 - 1800 \text{ kg/m}^3$ dan berdasarkan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m^3 , dan memiliki kuat tekan antara 6,89 MPa sampai 17,24 MPa pada umur 28 hari.

b. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara $2200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan beton antara 15 MPa – 40 MPa.

c. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 .

Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

d. Beton massa

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

e. Beton serat

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi

mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

Beton dibentuk dari pencampuran bahan yang di ikat dengan bahan perekat semen. Bahan batuan yang digunakan untuk menyusun beton umumnya dibedakan menjadi agregat kasar (krikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir). Agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran dan merupakan komponen utama beton. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah $\pm 70\% - 75\%$ dari seluruh beton.

Bahan penyusun beton dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan pasif. Kelompok bahan aktif yaitu semen dan air, sedangkan bahan yang pasif yaitu pasir dan krikil (disebut agrgat halus dan agregat kasar). Kelompok bahan pasif tersebut pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat (Tjokrodinuljo,1996).

3.2. Beton ringan

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/cm^3 . Beton ringan diperoleh dengan cara mendambahkan pori – pori udara ke dalam campuran betonmnya. (SNI 03 – 2847 – 2002)

Beton ringan atau bata ringan adalah beton selular yang mengalami *curing* secara alami. Pada beton ringan agregat kasar (krikil) diganti dengan gelembung udara yang berasal dari bahan berupa foam agent, dan bahan lain yang digunakan hanya pasir, semen, air, dan foam.dimana kepadatan disesuaikan mulai dari 350kg/cm^3 sampai 1800 kg/cm^3 dan kekuatan dapat dicapai dari serendah 1,5 sampai lebih 30 N/mm^2 . (SNI 03 – 2847 – 2002)

Beton ringan dibedakan mendjadi 2 tipe yaitu ACC (autoclaved aerated celluler) dan CLC (cellular leightwight concrete). CLC adalah salah satu tipe beton ringan yang diproduksi dengan cara membuang agregat kasar dan memasukkan gelmbung udara kedalam campuran mortal beton, gelembung udara harus stabil selama proses pengerasan tanpa menyebabkan reaksi kimia. Sedangkan ACC adalah proses pembuatannya lebih sering digfunakan secara

kimiawi. Adonannya terdiri dari pasir silika, kapur, semen, gypsum, aluminium pasta (zat pengembang).

Pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Membuat gelembung – gelembung gas udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori – pori udara di dalam betonnya. Bahan tambahan khusus (pembentuk gelembung udara dalam beton) ditambahkan ke dalam semen dan akan terbentuk gelembung udara.
2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar dan batu apung. Dengan demikian beton yang terjadi pun akan lebih ringan dari pada beton normal.
3. Pembuatan beton tidak dengan butir – butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut “beton non pasir” dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (denga butir maksimum agregat kasar 20 mm dan 10 mm). Beton ini mempunyai pori – pori yang hanya berisi udara (yang semula terisi oleh butir-butir agregat halus).

Pada penelitian ini penulis berinisiatif menambahkan serat kedalam beton dengan cara menambahkan serat pada bambu kedalam adukan. Dan untuk meningkatkan kuat tarik belah dan kuat tekan brton ringan.dalam penelitian ini nantinya akan digunakan sumber daya ramah lingkungan berupa setar yang berupa serat bambu.

Dengan bermaksud untuk mendapatkan berat jenis yang rendah namun mempunyai kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi maka dibuatlah produk beton ringan berjenis serat atau beton ringan berserat. Berikut merupakan klasifikasi beton ringan merupakan kepadatan dan kekuatan yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi Kepadatan Beton Ringan

No	Kategori Beton Ringan	Beton Isi Unit Beton (kg/cm ³)	Tipikal Kuat Tekan Beton (MPa)	Tipikal Aplikasi
1	Non-Struktur	300 – 1100	< 7	Insulating material
2	Non-Struktur	1100 – 1600	7-14	Unit masonry
3	Struktur	1450 – 1900	17-35	Struktur
4	Struktur	2100 – 2550	20-40	Struktur

Sumber : structure of concrete, J Francis Young 1972.

3.3. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menghaluskan klinker terutama terdiri dari atas silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dengan gips sebagai bahan tambahannya. Semen portland diperoleh dengan membakar secara bersamaan suatu campuran dari *calcareous* (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu. Secara mudahnya kandungan semen portland adalah kapur, silika, dan alumina. Ketiga bahan tadi dicampurkan dan dibakar dengan suhu 1550 °C dan menjadi klinker. Setelah itu kemudian dikeluarkan, didinginkan, dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Biasanya lalu klinker digiling halus secara mekanis sambil ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO₄) kira-kira 2-4 % sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambahan lain kadang ditambahkan untuk membentuk semen khusus (Tjokrodimuljo, 1996).

3.4. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati 70 – 75 % dari total volume beton, maka kualitas agregat akan sangat mempengaruhi kualitas beton, tetapi sifat sifat tersebut lebih bergantung pada faktor – faktor seperti bentuk, dan ukuran butiran pada jenis batuan. Agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

Agar menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lolos ayakan 10 mm, 20 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, dan 0,15 mm.

Agregat memiliki beberapa jenis dan cara membedakannya adalah dengan berdasarkan pada ukuran butiran – butirannya. Agregat mempunyai butir – butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,8 mm. Sedangkan butiran agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm.

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 kekerasan pasir dibagikan menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut.

1. Pasir harus terdiri dari butiran tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka ikatan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butiran harus bersifat kekal. Sifat kekal berarti pasir tidak mudah hancur atau kuat oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
4. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
5. Gradasi harus memenuhi syarat yang terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	95-100	95-100
2,4	75 – 100	85 -100	95 -100	95 -100
1,2	55-100	75 -100	90 -100	90 -100
0,6	35 -59	60 -79	80-100	80-100
0,3	8,0 -30	12-40	15-50	15-50
0,15	0-10	0-10	0-15	0-15

Sumber : Kardiyono Tjokrodimulyo,(1996).

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah IV : Pasir halus

3.5. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya murah. Air diperlukan untuk bereaksi terhadap semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butiran agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Sifat dan kualitas air yang digunakan dalam beton akan sangat mempengaruhi proses, sifat serta mutu beton yang dihasilkan. Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi bleeding, yaitu air bersama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis – lapis beton dan merupakan yang lemah.

Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran ini menjadi keras setelah melewati beberapa waktu. Air yang di butuhkan agar terjadi proses hidrasi tidak banyak, kira – kira 20 % dari berat semen. Dengan menambahkan lebih banyak air harus dibatasi sebab penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton.

Proses hidrasi akan berlangsung baik apabila dipakai air tawar serta murni. Disamping digunakan sebagai bahan campuran untuk beton. Air juga digunakan untuk merawat beton dengan cara pembasahan setelah dicor dan untuk membasahi atau membersihkan. Air untuk perawatan dan pembuatan tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam – garam, zat organik ataupun bahan – bahan lain yang dapat merusak beton dan bajatulangan, sebaiknya digunakan air bersih, tidak berasa, tidak berbau dan dapat diminum (Subakti,1994).

3.6. *Silica Fume*

Silica fume juga dikenal sebagai microsilica. Menurut standar ASTM.C.1240,1995: 637 – 642, silica fume adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara micro silica dengan silica fume).silica fume merupakan bahanpengisi (filler) dalam beton yang mengandung kadar silika yang tinggi. Kandungan SiO₂ mencapai lebih dari 90%. Penggunaan silica fume dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Penggunaan silica fume selalu bersamaan dengan *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*.

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi digunakan, misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, *pre-cast* atau beton prategang dan beberapa keperluan lain. Kriteria kekuatan beton berkinerja tinggi saat ini sekitar 50-70 Mpa untuk umur 28 hari. Penggunaan *silica fume* berkisar 0-30% untuk memperbaiki karakteristik kekuatan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0,34 dan 0,28 dengan atau tanpa *superplasticizer* dan nilai slump 50 mm (Yogerdran, et al: 124-129).

3.7. *Foam Agent*

Foam agent adalah suatu larutan pekat yang terbuat dari bahan surfaktan, dimana apabila akan digunakan maka bahan harus dilarutkan dengan air. Salah

satu bahan yang mengandung surfaktan adalah *detergent* ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OSO}_3\text{-Na}^+$).

Foaming Agent saat dicampurkan dengan kalsium hidrokarbon yang terdapat pada pasir dan air akan bereaksi membentuk hidrogen gas. Hidrogen ini membentuk gelembung- gelembung udara di dalam campuran beton. Gelembung – gelembung udara akan menjadikan volumenya menjadi dua kali lebih besar dari volume semula. Pada saat proses pembusaan, hidrogen akan terlepas dan digantikan oleh udara dan membuat rongga – rongga pada beton. Rongga – rongga itulah yang menyebabkan beton menjadi ringan.

Menurut ASTM C 796 – 87 a, Tabel 1, *foaming Agents for use in producing Cellular Concrete Using Preformed Foam*, banyaknya *foaming agent* yang digunakan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{fa} = \frac{156.62}{(62,4 - W_{uf})} \times \frac{71,0}{(1000 - W_{uf})}$$

Dengan:

- Wuf adalah massa jenis foaming agent (kg/m^3). Wuf biasanya berkisar antara 32 sampai 63 kg/m^3 .
- Vfa adalah volume foaming agent yang diperlukan (m^3). Biasanya Vair : Vaf berkisar 40:1.

3.8. Serat Bambu

Bambu merupakan tanaman ordo *Bambooidae* yang pertumbuhannya cepat dan dapat dipanen pada umur sekitar 3 tahun. Pada masa pertumbuhan, bambu dapat tumbuh vertikal 5 cm per jam atau 120 cm perhari (Morisco, 1996). Bambu memiliki umur panen yang relatif singkat tersebut memberikan optimisme bahwa pemakaian bambu untuk berbagai keperluan dapat dengan mudah tercukupi. Morisco (1996) menyatakan, adanya serabut sklerenkin di dalam batang bambu menyebabkan bambu mempunyai kekuatan dan dapat digunakan untuk keperluan bahan bangunan. Kekuatan bambu umumnya dipengaruhi oleh jumlah serat sklerenkin dan selulosa didalam bambu. Pada penelitian Morisco (1999) pada bambu ori kering tungku menunjukkan kuat tarik sebesar 4170 kg/cm^2 pada

bambu bagian luar dan 1640 kg/cm^2 pada bambu bagian dalam tanpa buku unruk memperoleh serat yang lurus.

Serat bambu ori merupakan serat alami yang mudah di peroleh serta dibuat dari kulit bambu. Potensi penggunaan serat bambu ori sangat melimpah karena bambu mudah tumbuh di daerah beriklim tropis dan dalam waktu yang relatif singkat bahkan dapat berkembang biak secara cepat. Serat bambu ori memiliki beberapa kelebihan antara lain: ringan, kuat tarik yang relatif tinggi, mudah di dapatkan, dan ramah lingkungan. Serat bambu ori juga memiliki kerapatan rendah, harga yang relatif murah dan konsumsi yang rendah, serta dapat menetralkan CO₂ dan memproduksi O₂ tiga kali lebih banyak dari tanaman lainnya. Hal yang paling istimewa dari serat bambu ori adalah memiliki daktilitas yang tinggi selain kekuatan yang dapat diperbandingkan dengan material lain seperti baja (Suhardiman, 2011).

Penggunaan kulit bambu ori sebagai bahan tambah beton didasarkan pada pertimbangan bahwa kuat tariknya yang cukup tinggi, pembuatan dari bahan baku menjadi serat cukup mudah dan tidak perlu peralatan khusus, serta populasi bambu yang cukup banyak dan tersebar sehingga mudah diperoleh. Beton biasanya bersifat getas, dengan adanya serat sebagai penguat pada beton maka dapat mencegah terjadinya perambatan retakan akibat beban ataupun panas hidrasi.

Pada umumnya beton dengan penambahan serat alami digunakan untuk beton non struktural. Fungsi serat itu sendiri sebagai memperkuat matriks, sedangkan matriks itu sendiri berfungsi untuk melindungi serat dari efek lingkungan dan benturan. Oleh karena memiliki sifatnya yang tahan benturan, maka beton berserat sering digunakan pada bangunan hidrolis, landasan pesawat udara, jalan raya dan lantai jembatan (Nuha, 2015).

3.9. Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah

faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2004). Perbandingan faktor air semen dengan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Air Semen Untuk Setiap Kondisi Lingkungan

	Kondisi Lingkungan		
	Kondisi normal	Basah kering berganti – ganti	Dibawah pengaruh sulfat/air laut
Koreksi langsing atau yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25 mm.	0,53	0,49	0,4
Struktur dinding penahan tanah, pilar, balok, abutmen.	*	0,53	0,44
Beton yang tertanam dalam pilar, balok, kolom.	*	0,44	0,44
Struktur lantai beton di atas tanah	*	-	-
Beton yang terlindung dari perubahan udara (kontruksi interior bangunan)	*	-	-

*Rasio air semen ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana.

(Sumber : Tim penyusun Struktur Beton, 1999)

Hubungan antara faktor air semen dengan kuat tekan beton secara umum ditulis dengan rumus duff Abrams (1919) sebagai berikut :

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5 \cdot X}} \quad (3.1)$$

Keterangan : $f'c$ = Kuat tekan beton

X = faktor air semen

A, B = konstanta

Dengan demikian semakin besar faktor air semen , maka semakin rendah kuat desak beton. Meskipun dari rumus di atas bahwa semakin kecil faktor air semen, maka semakin tinggi pula nilai kuat desaknya. Tetapi apabila nilai faktor

air semen yang rendah juga akan menyulitkan pemadatan, sehingga kekuatan beton juga akan rendah. Dapat disimpulkan bahwa, hampir untuk semua tujuan pembuatan beton, maka harus mempunyai nilai faktor air semen yang optimum. Dengan menggunakan nilai faktor air semen optimum, maka akan memberikan kemudahan pengerjaan (*workability*) yang baik, sehingga pada saat pemadatan campuran beton akan mudah dan dapat menghasilkan mass yang padat. Nilai faktor air semen pada beton termasuk berat air yang terkandung di dalam agregat.

3.10. *Slump*

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelcakan suatu adukan beton, yaitu kecairan/kepadatan adukan yang berguna dalam pengerjaan beton, hal tersebut berkaitan dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin tinggi nilai *slump*, maka makin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakn mudah dikerjakan.

Nilai *slump* lebih ditentukan oleh jumlah air dalam adukan, sehingga variasi hanya terjadi pada jumlah semen dan agregat, bila nilai *slump* sama akan tetapi nilai faktor air semen berubah, maka beton mempunyai kekuatan yang lebih tinggi (Tjokrodimuljo,1992). Nilai *slump* untuk berbagai macam struktur diperlihatkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Slump Untuk Berbagai Macam Struktur

URAIAN	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang.	12,5	5
Pondasi telapak tidak. Bertulang, kaison dan kontruksi di bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15	7,5
Pekerjaan jalan	7,5	5
Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber : Tjokrodimulyo,(1992)

3.11. Kuat Tekan

Sifat paling penting yang dimiliki beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur karena dibebani dengan gaya tekan. Kuat tekan biasanya berhubungan dengan sifat – sifat lain, maksudnya bila kuat tekan beton sudah tinggi, maka sifat – sifat lainnya akan baik.

Beton berdasarkan kuat tekan dapat dibagi menjadidi beberapa jenis, antara lain adalah sebagai berikut.

1. Beton sederhana, dipakai untuk bagian – bagian non struktur seperti dinding bukan struktur penahan tembok, kuat tekannya $f^c < 10$ MPa.
2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang, bagian struktur penahan beban misalnya kolom dan balok, kuat tekannya $f^c < 30$ MPa.
3. Beton prategang untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan ditarik terlebih dahulu diberi beban, kuat tekannya $f^c < 40$ MPa.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi dipakai pada struktur khusus, misalnya gedung bertingkat sangat banyak, kuat tekannya $f^c \leq 80$ MPa. (Tjokrodimulyo, 1995)

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktoe selain oleh perbandingan faktor air semen (fas) dan tingkat pematatannya. Faktor –faktor tersebut antara lain adalah :

1. jenis semen dan kualitas,
2. jenis dan bentuk permukaan agregat,
3. faktor umum, dan
4. mutu agregat.

Kekuatan beton yang paling umum yang digunakan adalah 200 kg/cm^2 sampai 500 kg/cm^2 tergantung pada jenis campuran, sifat –sifat agregat, serta kualitas perawatannya. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian yang sesuai standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu sampai benda uji pecah. beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas

penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam satuan Mpa atau kg/cm^2 .

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan adalah:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

Keterangan : $f'c$ = kuat desak beton

P = beban maksimum

A = luas penampang benda uji

Kuat tekan menurut Tjokrodimulyo,(1995) sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah sebagai berikut :

1. pengaruh mutu semen portland,
2. pengaruh dari perbandingan adukan beton,
3. pengaruh air untuk membuat adukan,
4. pengaruh umur beton,
5. pengaruh waktu pencampuran,
6. pengaruh perawatan, dan
7. pengaruh bahan campuran tambahan.

3.12. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah adalah salah satu parametir penting kekuatan beton. Nilai kuat tarik belah beton diperoleh melalui pengujian tekan dengan membebani benda uji silinder secara lateral sampai pada kekuatan maksimum.

Berdasarkan SK SNI 03-2491-2002 nilai kuat tarik belah tidak langsung dari benda uji beton yang berbentuk silinder melainkan diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan dari mesin uji tekan. Pengujian tersebut dilakukan dengan memberikan pembebanan pada sisi silinder sampai pecah atau terbelah, tegangan tarik yang timbul sesaat benda uji terbelah disebut split strength (Mudji Suhardiman,2008). Kuat tarik belah dari benda uji dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F_{ct} = \frac{2P}{LD} \text{ (MPa)} \quad (3.3)$$

Dimana : F_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa)

P = beban uji maksimum (N)

L = panjang benda uji (mm)

D = diameter benda uji (mm)

3.13. Berat Jenis Beton

Berat jenis beton adalah perbandingan antara berat satuan volume material terhadap berat isi dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan.

Nilai berat jenis dalam (kg/m^3). (SNI 1970:2008)

Rumus yang digunakan untuk perhitungan berat jenis beton adalah :

$$\text{Berat jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.4)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.5)$$

Dimana : B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh(gram)

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

3.14. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (mix design) adalah proses merancang dan memilih bahan material yang cocok dan menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, dengan daya tahan tertentu dan secara ekonomis. Adapun tata cara urutan perencanaan campuran adukan beton ringan adalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan kuat tekan ($f'c$) yang disyaratkan.
2. Menentukan nilai deviasi standar (S_d) yang ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton. Semakin baik mutu pelaksanaan maka akan menyebabkan semakin kecil nilai deviasi standar. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber : SNI -03-2834-2000

Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber : SNI -03-2834-2000

3. Menentukan nilai tambah (M) untuk kuat tekan rencana dihitung menggunakan persamaan:

$$M = 1,64 \times Sd \quad (3.6)$$

dengan:

M = Nilai tambah (MPa)

Sd = Deviasi standar (MPa)

4. Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan berdasarkan persyaratan perencanaan strukturnya. Kuat tekan beton yang disyaratkan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu sebesar 5 % saja. Untuk menentukan kuat tekan rata-rata rencana (f'_{cr}) dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$f'_{cr} = f'c + M \quad (3.7)$$

dengan:

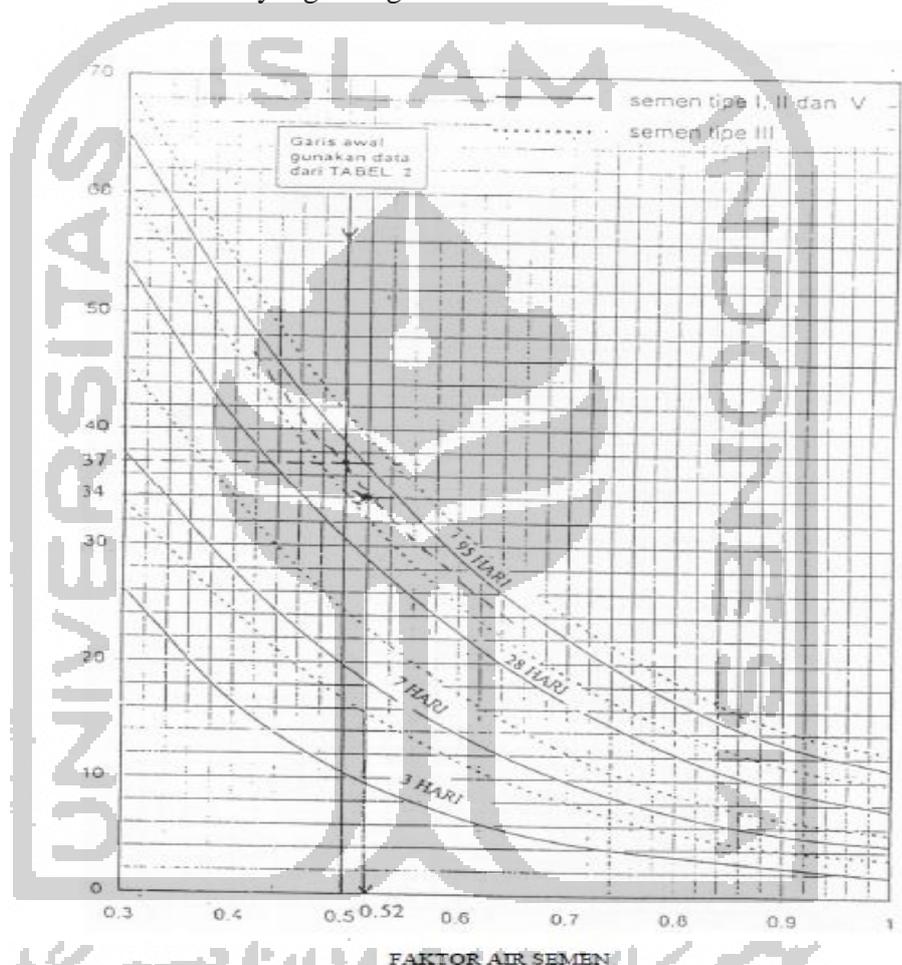
f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata rencana (MPa)

$f'c$ = Kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

5. Menentukan jenis semen yang digunakan.
6. Menentukan jenis agregat yang digunakan.
7. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) yang diperlukan untuk mencapai

kuat tekan rata – rata yang ditargetkan berdasarkan Gambar 3.1



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(sumber : SNI – 03 – 2834 – 2000)

8. Kebutuhan Air

Penentuan kebutuhan air dapat digunakan berdasarkan pada Tabel 3.7

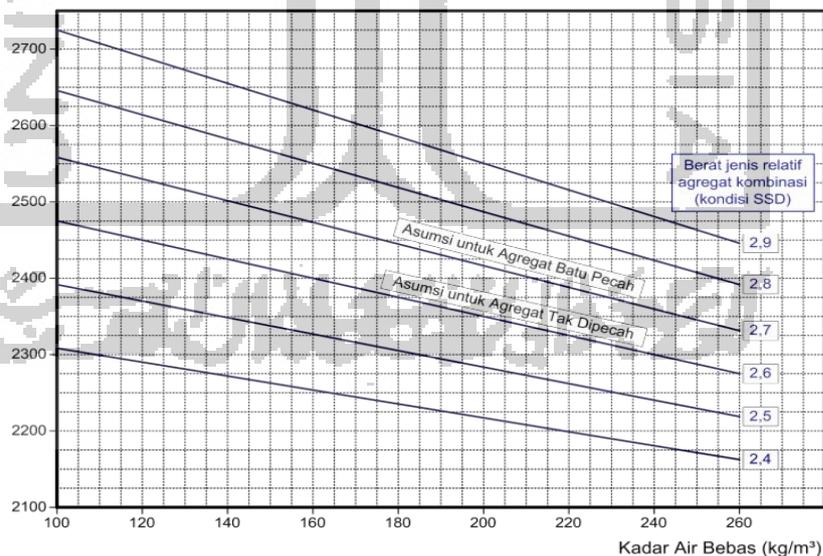
Tabel 3.7 Volume Air yang diperlukan tiap m³ adukan beton untuk berbagai nilai Slump

slump (cm)	Air yang diperlukan tiap m ³ adukan beton (ltr/kg) untuk ukuran agregat maksimum (mm)							
	9,6	12,5	19,6	25	38,1	50	76,2	150
Beton Biasa (non-air entrained)								
2,5 - 5,0	213	203	188	183	168	157	147	127
7,5 - 10,0	234	223	208	198	183	173	163	142
15,0 - 17,5	248	234	218	208	193	183	173	152
kira-kira udara tertangkap (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton Bergelembung Udara (air entrained)								
2,5 - 5,0	188	183	168	157	147	137	127	111
7,5 - 10,0	208	198	183	173	163	152	142	122
15,0 - 17,5	218	208	193	183	173	163	152	132
kira-kira udara tertangkap (%)	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

9. Menentukan kadar semen yang digunakan perhitungan dengan persamaan:

$$\text{Jumlah semen min per-m}^3 \text{ beton} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.8)$$

10. Mencari nilai berat isi beton menggunakan grafik pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah

(sumber: SNI -03-2834-2000)

Cara menghitung nilai isi beton ringan dengan menggunakan grafik adalah dengan:

- a. Menarik garis sesuai dengan nilai berat jenis gabungan yang sejajar dengan garis linier yang sudah ada pada gambar grafik, kemudian
- b. Menarik garis vertikal hingga garis memotong garis yang telah dibuat sesuai dengan kadar air bebas yang telah didapatkan. Menarik garis horizontal kearah kiri hingga perpotongan pada kedua garis.

11. Menghitung kadar agregat menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar agregat} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \quad (3.9)$$

12. Menghitung proporsi campuran, akan didapatkan campuran dengan proporsi yang teoritis setiap 1m^3 beton ringan.

13. Menghitung berat masing masing bahan material yang telah dikunci sesuai batasan masalah, dengan matriks Ortogonal sesuai dengan yang ada pada Metode Taguchi.

3.14. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan sebuah metode pengendalian untuk meningkatkan kualitas yang digunakan dalam sebuah *Design of Experiment* (DOE). Metode ini bertujuan untuk menghasilkan suatu produk yang tangguh sehingga dapat disebut sebagai metode *Robust Design*. Metode ini berupaya mengoptimalkan desain dan proses produk sehingga performansi akhirnya akan sesuai target dan mempunyai nilai variabilitas yang minimum. Ada dua tahapan utama yang terdapat pada metode Taguchi, yaitu metode perancangan parameter dan metode perancangan toleransi. (Besterfeld, 2003)

Perancangan toleransi adalah metode peningkatan kualitas dengan cara memperketat nilai target/optimum faktor terkontrol sehingga keragaman performansi produk dapat dikurangi. Metode ini sebaiknya tidak digunakan apabila hasil rancangan dari metode perancangan parameter terbukti tidak cukup dalam mengurangi keragaman atau penelitian ingin meningkatkan kualitas hasil rancangan parameter. (Ross, 1996).

Peningkatan atau perbaikan kualitas dapat dicapai salah satunya dengan pengendalian kualitas yang tepat. Terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan dalam pengendalian kualitas, yaitu *On-line Quality* dan *Off-line Quality Control*. Salah satu metode pengendalian kualitas secara *Off-line Quality Control* adalah metode usulan dari Dr. Genichi Taguchi, yang dikenal sebagai metode Taguchi.

Adapun konsep *Taguchi* adalah:

1. kualitas seharusnya didesain ke dalam suatu produk dan bukan diinspektasi ke dalamnya,
2. kualitas dapat diraih dengan baik dengan cara meminimasi deviasi target produk tersebut harus dirancang sedemikian rupa hingga dapat mengantisipasi faktor lingkungan yang tak terkontrol,
3. biaya dari kualitas seharusnya diperhitungkan sebagai fungsi deviasi dari standar yang ada kerugiannya harus diperhitungkan juga kedalam sistem,

Di dalam metode *Taguchi* hasil eksperimen harus dianalisa untuk dapat memenuhi satu atau lebih kondisi berikut ini:

1. menentukan kondisi yang terbaik atau optimum untuk sebuah produk atau sebuah proses,
2. memikirkan kontribusi dari masing-masing faktor. Memperkirakan respon atau akibat yang mungkin dari kondisi optimum.

Kelebihan dari penggunaan metode *Taguchi* adalah:

1. dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan dibandingkan jika menggunakan percobaan *full factorial*, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya,
2. dapat melakukan penghematan terhadap rata-rata dan variasi karakteristik kualitas sekaligus, sehingga ruang lingkup pemecahan masalah lebih luas,
3. dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas melalui perhitungan *Average* dan *Rasio S/N*, sehingga faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus.

Rancangan yang digunakan adalah *Matriks orthogonal* Taguchi. *Matriks Orthogonal* merupakan salah satu percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh. Keuntungan *Matriks orthogonal* adalah kemampuan mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah tes yang minimum. (Haumahu dan Wuryandari, 2011).

3.15. Matriks Ortogonal

Matriks ortogonal adalah suatu matriks yang elemen – elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Matriks disebut ortogonal dikarenakan level – level dari faktor dan dapat dievaluasi secara independen satu sama lain (Park,1996). *Matriks Orthogonal Array* merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh.

Matriks *Taguchi* secara sistematis dan identik dengan matriks *Hardmard*, hanya kolom dan barisnya dilakukan pengaturan lagi. Keuntungan *Orthogonal Array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Jika pada percobaan terdapat 5 faktor dengan 2 level, maka jika menggunakan full factorial akan diperlukan sebuah percobaan. Dengan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi sehingga akan mengurangi waktu dan biaya percobaan.

Dalam metode Taguchi memilih matriks orthogonal yang sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks ortogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah eksperimen yang akan dilakukan.

Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah faktor yang diamati yaitu.

- a. Jika semua faktor adalah 2 level : pilih jenis OA untuk 2 level faktor
- b. Jika semua faktor adalah 3 level : pilih jenis OA untuk 3 level faktor
- c. Jika beberapa faktor adalah 2 level dan lainnya 3 level

Bentuk umum dari model matriks ortogonal adalah :

$$L a (b^c) \quad (3.10)$$

Dimana : L = rancangan bujursangkar

a = banyak baris atau eksperimen

b = banyak level

c = banyak kolom atau faktor

