

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Uraian Umum

Mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga analisa dari data yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan, berdasarkan pada sumber-sumber yang berkaitan dengan topik yang kami pilih yaitu "Pengaruh Penambahan *Superplasticizer* Variasi 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% Terhadap Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Kasar Dengan Cangkang Kelapa Sawit". Sumber-sumber yang digunakan berupa peraturan-peraturan, referensi, teroi, dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik tersebut.

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang kami laksanakan. Materi yang akan di bahas antara lain:

1. Beton.
2. Klasifikasi beton.
3. Sifat dan karakteristik beton.
4. Kelebihan dan kekurangan beton.
5. Faktor yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton.
6. Bahan penyusun Beton.
7. Bahan tambah.
8. *Superplasticizer*.
9. Cangkang kelapa sawit.
10. *Mix design* campuran beton.

B. Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*) (Mulyono, 2004). Beton juga didefinisikan sebagai campuran semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau bahan campuran tambahan membentuk massa padat (SK.SNI T-15-1990-03:1). Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun tidak mampu menahan gaya tarik atau getas, sehingga dilapangan dikombinasikan dengan

baja sebagai beton bertulang agar material tersebut mampu menahan gaya tarik. Menurut Tjokrodimuljo (2007), hal-hal yang harus diperhatikan untuk mendapatkan kekuatan dan keawetan beton yang bagus yaitu dengan pemilihan material, nilai perbandingan bahan-bahannya, proses pelaksanaan campuran, pemadatan dan perawatan.

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila di bebani dengan gaya tekan tertentu. Kuat tekan beton biasanya digunakan sebagai parameter dalam menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Semakin tinggi kuat tekan beton, maka semakin tinggi pula kualitas beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Kuat tekan beton silinder dapat dihitung dengan persamaan 2.1 (Tjokrodimuljo, 2007) :

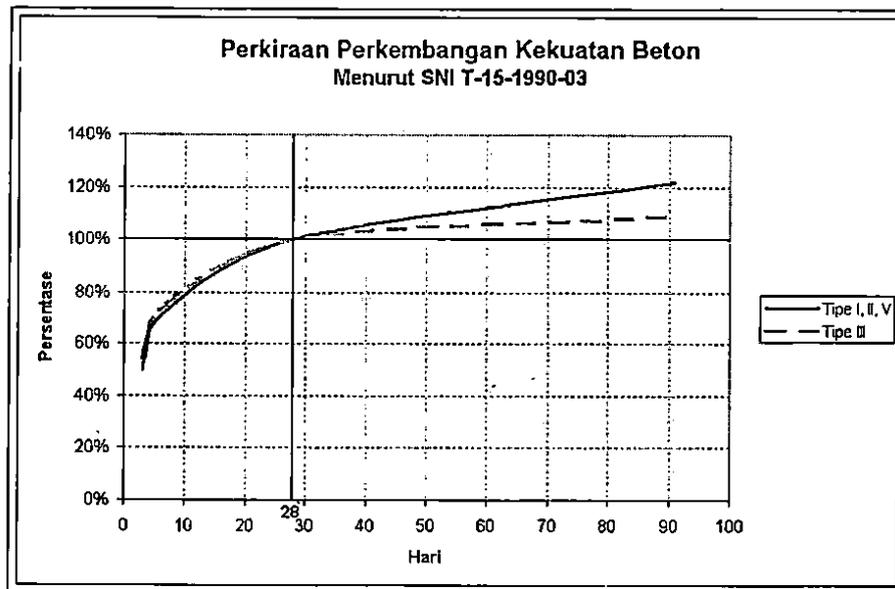
$$F_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Dengan : F_c' = kuat tekan beton (MPa)
- P = Beban tekan (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm²)

Kuat tekan beton akan mengalami kenaikan seiring bertambahnya usia beton setelah pengecoran. Pertambahan kuat tekan tersebut dapat dilihat pada Grafik 2.1.

Pada Grafik 2.1 menunjukkan bahwa pada awal setelah pembuatan beton, kuat tekan beton mengalami kenaikan kuat tekan yang signifikan sampai pada umur 28 hari. Setelah beton berumur lebih dari 28 hari kuat tekan beton masih mengalami sedikit peningkatan kuat tekan namun tidak terlalu signifikan. Sehingga untuk memperkirakan kuat tekan beton jika di uji dalam umur tertentu dapat dilakukan dengan melakukan konversi kuat tekan terhadap umur beton. Konversi tersebut juga sangat berguna dilapangan yaitu sebagai acuan dalam menetapkan waktu pembongkaran bekisting sehingga tidak perlu menunggu sampai 28 hari dan bekisting bisa digunakan untuk bagian pekerjaan beton yang lain. Nilai kuat tekan beton

sebelum 28 hari juga dibuat oleh kontraktor skala besar untuk keperluan laporan kualitas beton kepada pemilik proyek bahwa beton yang digunakan dilapangan mempunyai kuat tekan minimal sama dengan perencanaan.



Gambar 2.1 Grafik presentase kuat tekan dan waktu (SNI T-15-1990-03)

Jika benda uji berbentuk kubus yang memiliki nilai K , perlu dikonversikan terlebih dahulu jika menginginkan kuat tekan dalam f_c' yaitu dengan rumus sebagai berikut :

Berdasarkan PPBI 1971

$$f_c' = 0,83 \times K \dots \dots \dots (2.2)$$

K : Kuat tekan karakteristik beton kubus (Kg/cm^2)

2. Klasifikasi Beton

Secara umum beton dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu :

- a. Beton non struktural, yaitu beton yang hanya terdiri dari bahan campuran semen, air dan agregat serta bahan tambah (*admixture*) bila di perlukan.
- b. Beton struktural, yaitu beton yang menggunakan bahan campuran semen air, agregat dan bahan tambah bila di perlukan serta baja tulangan (besi beton).

Beton juga dapat diklasifikasikan berdasarkan kuat tekanya. Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berbagai macam jenis beton menurut kuat tekanya dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi beton menurut kuat tekanya

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal (beton biasa)	15 – 30 MPa
Beton pra tegang	30 – 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 MPa

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

Berdasarkan PBI 1971 beton dibagi menjadi beberapa kelas :

- a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-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-pekerjaan struktur secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan-pimpinan tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu standar : B1, K125, K 175, dan K225. Pada mutu B1 pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan sedang terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kuat tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu K 125, K 175, K225, pengawasan mutu terdiri dari pengawasan yang ketat terhadap mutu bahan dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan beton secara kontinu menurut pasal 4.7.
- c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural dimana dipakai mutu beton yang lebih tinggi dari 225 Kg/cm². Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan

dibawah pimpinan hali. Disyaratkan ada laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap yang dilayani oleh tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

Beton juga dapat diklasifikasikan berdasarkan berat satuannya berdasarkan SNI 03-2847-2002 berat satuannya beton dibedakan menjadi beberapa yaitu:

- a. Beton ringan : berat satuan $\leq 1900 \text{ Kg/m}^3$
- b. Beton normal : berat satuan $2200 - 2500 \text{ Kg/m}^3$
- c. Beton berat : berat satuan $> 2500 \text{ Kg/m}^3$

3. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Kelebihan beton yaitu

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- b. Mampu memikul beban yang berat
- c. Tahan terhadap temperature yang tinggi
- d. Biaya pemeliharaan yang kecil

Kekurangan beton yaitu

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit untuk dirubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
- c. Memiliki beban mati yang cukup berat
- d. Daya pantul suara yang cukup besar (Mulyono, 2004).

4. Sifat dan Karakteristik Beton

- a. Beton segar

Sifat pada beton segar perlu diketahui dan di uji, karena sifat pada beton segar sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari beton yang sudah mengeras. Penanganan pada saat beton masih dalam keadaan segar lebih mudah dilakukan.

1. *Workability* (kemudahan pengerjaan)

Beton segar dapat dikatakan memiliki *workability* yang baik jika beton segar tersebut mudah untuk di aduk, dituang, diratakan, dan dipadatkan hingga menutup ke sela-sela tulangan dan menghasilkan beton yang padat, dan terdapat sedikit rongga udara

didalam beton. Sifat *workability* pada beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jumlah fas (faktor air semen), adanya bahan tambah *admixture superplasticizer*, kadar semen, dan banyaknya butir halus dalam beton. Untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan tersebut dilakukan dengan uji slump beton. Jika beton menghasilkan nilai slump yang tinggi, maka beton tersebut memiliki kemudahan pengerjaan yang semakin baik.

2. Berat isi

Berat isi merupakan perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Semakin padat suatu beton, maka beton tersebut memiliki berat isi yang semakin besar.

3. Kadar udara

Kadar udara merupakan jumlah udara yang terkandung di dalam beton segar. Jika jumlah udara atau rongga didalam beton segar terdapat dalam jumlah yang banyak, akan mengurangi berat isi beton dan menurunkan kuat tekan beton.

4. Waktu ikat

Waktu ikat merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, terhitung mulai dari semen bereaksi dengan air hingga menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan kuat tekan. Ada dua jenis waktu ikat yaitu :

- a) Waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran air dengan semen menjadi pasta semen hingga pasta semen tersebut hilang keplastisanya.
- b) Waktu ikat akhir (*final setting time*) yaitu waktu terbentuknya pasta semen hingga beton menjadi keras.

b. Beton keras

Sifat-sifat mekanis beton keras dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Sifat jangka pendek, seperti kuat tekan, tarik, dan geser, serta modulus elastisitas.

a) Kuat tekan

Kuat tekan beton merupakan suatu pengujian beton untuk menahan gaya tekan yang diberikan secara bertingkat pada benda uji persatuan luas. Sifat utama pada beton adalah mampu menahan gaya tekan yang besar, maka dari itu dalam pembuatan beton yang paling di perhatikan adalah kuat tekannya.

b) Kuat geser

Kuat geser adalah kekuatan suatu komponen struktur atas penampang yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral. Geser dalam beton selalu diikuti oleh desak dan tarik oleh lenturan. Dalam pengujian, tidak mungkin menghilangkan elemen lentur (L.J Murdock dan K.M Brook, 1981 dalam Mulyono, 2004).

c) Kuat tarik

Beton memiliki kuat tarik yang jauh lebih rendah dibanding dengan kuat tekannya. Maka dari itu, penggunaan beton sebagai bahan bangunan dikombinasikan dengan baja tulangan menjadi beton bertulang yang berfungsi untuk menahan gaya tarik.

d) Modulus elastisitas

Modulus elastis beton tergantung pada modulus elastis agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastis beton sebagai berikut :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton normal} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

E_c = modulus elastis beton, MPa

f_c' = kuat tekan beton, MPa

2) Sifat jangka panjang, seperti rangkak dan susut.

a) Rangkak

Rangkak (*creep*) adalah sifat di mana beton mengalami perubahan bentuk atau deformasi permanen akibat beban tetap

yang bekerja padanya. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan akan berakhir setelah beberapa tahun berjalan. Besarnya deformasi rangkak sebanding dengan besarnya beban yang ditahan dan juga jangka waktu pembebanan. Pada umumnya rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur, tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban kerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan atau defleksi.

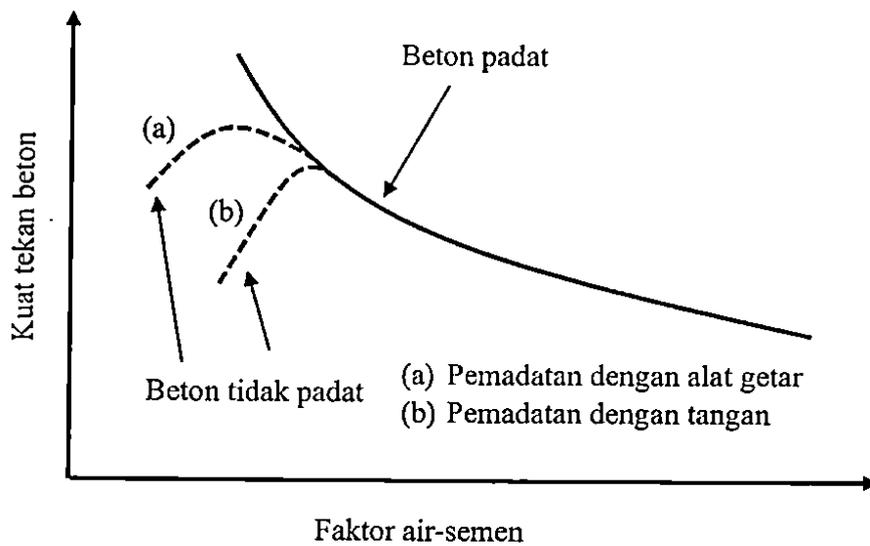
b) Susut

Susut secara umum didefinisikan sebagai perubahan volume beton yang tidak berhubungan dengan beban. Pada dasarnya ada dua jenis susut, yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam cetakan (bekisting). Sedangkan susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhirnya, dan proses hidrasi pasta semen telah selesai. Laju perubahannya berkurang terhadap waktu, karena beton semakin berumur akan semakin tahan tegangan dan semakin sedikit mengalami susut.

5. Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

a. Faktor air semen

Faktor air semen merupakan perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran beton. Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh faktor air semen yang dipakai. Dalam praktik, nilai faktor air-semen dipakai berkisar antara 0,4 dan 0,6. Hubungan antara fas dan kuat tekan beton dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pengaruh faktor air-semen terhadap kuat tekan beton
(Tjokrodimuljo, 2007)

b. Umur beton

Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh umur beton. Beton akan mengalami kenaikan kekuatan sampai umur 28 hari, lebih dari 28 hari kekuatan beton cenderung stabil. Oleh karena itu, sebagai standar kekuatan beton dipakai pada beton umur 28 hari.

c. Kualitas agregat halus

Yang dimaksud dengan agregat halus (pasir) adalah agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,80 mm. Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu (Tjokrodimuljo, 2007). Fungsi agregat halus pada beton adalah sebagai bahan pengisi (*filler*) yang akan mengurangi bahan menutupi rongga-rongga udara atau rongga kosong diantara agregat kasar dan mortar.

Gradasi dan bentuk butiran halus adalah faktor-faktor yang penting pada beton yang berkekuatan tinggi. Seperti halnya agregat kasar, bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus dapat mempengaruhi kebutuhan air dan kuat tekan beton. Agregat halus dikelompokkan menjadi empat zona seperti dalam Table 2.2. Zona I

merupakan pasir dalam tekstur kasar, zona II adalah pasir dengan tekstur agak kasar, zona III adalah pasir dengan tekstur agak halus dan zona IV adalah pasir halus.

d. Kualitas agregat kasar

Agregat merupakan bahan utama yang menentukan kekuatan beton, karena agregat merupakan bahan pengisi beton yang berfungsi sebagai sumber kekuatan beton. Selain kekuatan agregat, bentuk dan tekstur agregat juga menentukan kekuatan beton, karena bentuk dan tekstur agregat sangat berpengaruh terhadap daya lekat dengan pasta semen, yang menyatukan antar agregat. Agregat memiliki kekuatan yang bervariasi. Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua hal, yaitu karena terdiri dari partikel yang kuat tetapi tidak baik dalam hal pengikatan (*interlocking*) dan porositas yang besar akan mempengaruhi keuletan atau ketahanan terhadap beban kejut. Dalam pemilihan agregat kasar, porositas yang rendah merupakan faktor yang sangat menentukan untuk menghasilkan suatu adukan beton yang seragam, dalam artian mempunyai keteraturan dan keseragaman yang baik. Jika akan digunakan membentuk beton mutu tinggi daya serap air sebesar tidak lebih dari 1%. Karena hal ini akan sangat berhubungan dengan pengendalian kandungan air pada campuran beton, yang dapat mengakibatkan ketidakteraturan atau deviasi yang sangat besar pada mutu yang akan dihasilkan. Bentuk fisik dari agregat kasar yang bersudut titik agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas yang terbentuk ditempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38% - 40%, dengan demikian membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan untuk mengurangi rongga ini dikombinasikan dengan butiran agregat halus yang berbentuk bulat.

C. Bahan Penyusun Beton

1. Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan langsung dengan air. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat halus dan agregat kasar dan juga sebagai bahan pengisi. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu :

a. Semen non-hidrolik

Semen non hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contohnya yaitu kapur.

b. Semen hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air. Contohnya yaitu kapur hidrolik, semen pozolan, semen terak, semen alam, semen Portland, semen portland pozolan, semen putih dan semen alumina.

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah. Kandungan semen selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 2.2. Fungsi utama semen adalah sebagai bahan pengikat antar butir butir agregat hingga membentuk suatu masa padat dan mengisi rongga-rongga diantara butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting (Mulyono, 2005).

Semen Portland dapat dibagi atas 5 tipe yaitu:

- 1) Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- 2) Tipe II, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- 3) Tipe III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.

- 4) Tipe IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Tipe V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Tabel 2.2 Susunan unsur semen Portland

Oksida	Nilai (%)
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO ₂)	17 - 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 - 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 - 6
Magnesia (MgO)	0,5 - 4
Sulfur (SO ₃)	1 - 2
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5 - 1

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

2. Air

Air diperlukan pada beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang disebut sebagai faktor air semen. Jika air yang digunakan terlalu berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan jika air terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

3. Agregat halus

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Fungsi agregat halus pada beton adalah sebagai bahan pengisi (filler) yang akan mengurangi bahkan menutupi rongga-

rongga udara atau rongga kosong diantara agregat kasar dan mortar. Syarat menurut SK SNI S-04-1989-F syarat mutu agregat halus yaitu memiliki modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8 dan jika di ayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk pada salah satu daerah susunan butir menurut zona 1, 2, 3 atau 4. Agregat halus juga tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang melewati ayakan 0,06 mm) lebih dari 5% dan apabila lebih dari 5% pasir tersebut harus dicuci dulu sebelum digunakan.

Gradasi dan bentuk butiran halus adalah faktor-faktor yang penting pada beton yang berkekuatan tinggi. Seperti halnya agregat kasar, bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus dapat memengaruhi kebutuhan air dan kuat tekan beton. Agregat halus dikelompokkan menjadi empat zona seperti dalam Tabel 2.3. Zona 1 merupakan pasir dengan tekstur kasar, zona 2 adalah pasir dengan tekstur agak kasar, zona 3 adalah pasir dengan tekstur agak halus, dan zona 4 adalah pasir halus.

Tabel 2.3 Batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
4,75	90-100	90-100	90-100	95-100
2,36	60-95	75-100	85-100	95-100
1,18	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

4. Agregat kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil hasil desintergrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan besar butir lebih dari 5 mm. Fungsi agregat kasar adalah komponen utama yang paling banyak memberikan sumbangan kekuatan kepada

struktur beton nantinya. Secara umum, kekuatan beton tergantung pada kekuatan agregat kasarnya.

Agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton harus diketahui keausan agregat kasar tersebut, karena keausan agregat kasar sangat mempengaruhi kekuatan beton yang dihasilkan. Semakin kecil presentase agregat yang hancur, maka semakin bagus kekuatan agregat tersebut sebagai bahan campuran beton. Persyaratan agregat yang dapat digunakan sebagai campuran beton dengan hasil uji keausan dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan kekerasan agregat kasar

Kekuatan Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan mesin <i>Los Angeles</i> , lolos ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10 MPa – 20 MPa)	40
Kelas III (diatas 20 MPa)	27

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

Jika yang digunakan adalah agregat ringan, maka menurut SNI 03-2461-2002 memiliki beberapa persyaratan seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi agregat ringan

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat jenis	1,0 – 1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum :	
	- gembur kering (kg/cm ³).	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9 – 14
5	Nilai 10 % kehalusan (ron)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16 – 18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12
CATATAN :		
Nilai kerennukan ditentukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayakan 2.4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100 %		

5. Bahan Tambah

Bahan tambah ialah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan kedalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonya (Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton, Standar, SK SNI S-18-1990-03 dalam Tjokrodimuljo 2007). Bahan tambah dapat dibedakan menjadi beberapa jenis (Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton SK SNI-18-1990-03 dalam Tjokrodimuljo 2007):

- a. Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah ada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh nilai kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.
- b. Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan pada suatu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan beton cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
- c. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera.
- d. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan dan pengerasan beton.
- e. Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Jenis bahan tambah tipe khusus yaitu :

- a. Bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai sebesar 12% atau lebih.
- b. Bahan kimia tambahan dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi air sampai 12% atau lebih dan untuk memperlambat waktu ikatan awal.

D. *Superplasticizer*

Pemanfaatan *superplasticizer* secara umum :

- a. Mencapai posisi pengecoran yang sulit melakukan pemadatan dengan vibrator karena dapat menghasilkan beton segar yang dapat mengalir dengan lebih baik dengan slump hingga 23 cm.
- b. Menghasilkan beton mutu tinggi dengan mengurangi air sehingga faktor air semen yang merupakan faktor utama penentu mutu beton dapat diminimalkan sekecil mungkin, sehingga hanya air yang diperlukan untuk reaksi hidrasi semen saja yang digunakan.
- c. Menghasilkan beton dengan permeabilitas yang lebih rendah (lebih kedap air) dengan pengurangan pemakaian air dan kemampuan menyebarkan partikel semen dalam adukan beton segar, dapat menghasilkan kepadatan beton yang lebih baik sehingga lebih kedap air.
- d. Menghasilkan beton yang setara mutunya dengan faktor air semen yang lebih kecil, sehingga pemakaian semen menjadi lebih sedikit -- namun pemakaian untuk tujuan ini tidak terlalu sering digunakan, karena jumlah semen minimum yang disyaratkan untuk beton tertentu harus dipenuhi.

Efek negatif dari *superplasticizer* :

- a. Kehilangan nilai slump yang relatif cepat, sehingga walaupun *workability* meningkat cukup besar, waktu pengerjaan menjadi lebih singkat dalam waktu sekitar satu jam setelah penambahan *superplasticizer*, *workability* akan relative hilang karena *slump los* (kehilangan slump).
- b. *Slump loss* berbeda dengan *setting* beton, walaupun kehilangan slump relative cepat sehingga secara visual tampak beton sudah mulai mengeras namun waktu setting sebenarnya tidak menjadi lebih cepat.

Superplasticizer Viscocrete-10 memiliki pengaruh terhadap sifat beton segar (PT. Sika Indonesia) :

- a. Mengurangi air dalam jumlah yang besar, menghasilkan kepadatan yang tinggi, beton mutu tinggi dan mengurangi permeabilitas.

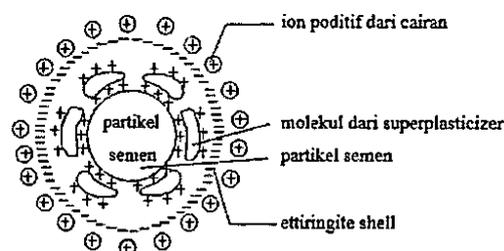
- b. Efek *plasticizing* yang sangat baik, menghasilkan kelecakan yang lebih baik, kemudahan pengecoran dan pemadatan, sehingga sangat cocok untuk beton dengan kemampuan memadat sendiri (*self compacting concrete*).
- c. Mengurangi retak dan susut.
- d. Mengurangi karbonasi.
- e. Memperbaiki sifat kedap air (*watertight*).

Dosis yang disarankan :

- a. Untuk dosis *soft plastic* 0,2 – 0,6 % dari berat semen.
- b. Untuk dosis beton mengalir dan SCC 0,5 - 1,8% dari berat semen.

Cara kerja *superplasticizer* :

Superplasticizer adalah zat-zat polymer organik yang dapat larut dalam air yang telah dipersatukan dengan menggunakan proses polymerisasi yang komplek untuk menghasilkan molekul-molekul panjang dari massa molecular yang tinggi. Molekul-molekul panjang ini akan membungkus diri mengelilingi partikel semen dan memberikan pengaruh negatif yang tinggi sehingga antar partikel semen akan saling menjauh dan menolak. Hal ini akan menimbulkan pendispersian partikel semen sehingga mengakibatkan keenceran adukan dan meningkatkan workabilitas. Perbaikan workabilitas ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan beton dengan workability yang tinggi atau menghasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Reaksi *superplasticizer* dalam adukan beton

E. Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit yang mempunyai kekerasan yang baik. Ukuran

cangkang kelapa sawit yang digunakan adalah sesuai dengan persyaratan ukuran agregat normal yaitu lolos saringan 20 mm dan tertahan 4,75 mm. Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama silica (SiO_2) lebih dari 50% yang menandakan bahwa cangkang tersebut memiliki sifat yang keras dan kaku. Cangkang kelapa sawit memiliki kandungan yang telah di uji oleh Hutahean (2007) yang dapat dilihat dalam tabel 2.6.

Tabel 2.6 Unsur kimia kelapa sawit

Unsur Kimia	Presentase (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	58,02
Alumunium Oksida (Al_2O_3)	8,7
Besi Oksida (Fe_2O_3)	2,6
Kalsium Oksida (CaO)	12,65
Magnesium Oksida (MgO)	4,23

Sumber: Fauziah dan Febriansyah, 2013

F. Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk memperoleh campuran beton dengan dengan perbandingan yang sesuai dengan bahan dasar yang tersedia. *Mix design* juga dimaksudkan agar memperoleh beton sesuai dengan yang diinginkan yaitu memenuhi kuat tekan yang di syaratkan, mudah dikerjakan, awet, dan harga yang murah.

Perancangan campuran adukan beton normal menurut "Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SK SNI 03-2834-2002 dalam Tjokrodimuljo, 2007)" sebagai berikut:

1. Ambil kuat tekan beton yang direncanakan f'_c pada umur tertentu.
2. Hitung deviasi standar menurut ketentuan berikut:
 - a. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai data hasil uji yang memenuhi persyaratan : mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan, dan hanya ada sebanyak 15 sampai 29 buah hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar

yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 2.7.

- b. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai data hasil uji yang memenuhi persyaratan : mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'c + 12)$ MPa,

3. Hitung nilai tambah menurut rumus berikut:

$$M = k \times s \dots\dots\dots (2.3)$$

M = Nilai tambah

K = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada presentase hasil uji yang lebih rendah dari $f'c$, dalam hal ini diambil 5 % dan nilai $k = 1,64$

s = Deviasi standar

4. Hitung kuat tekan beton rata-rata menurut rumus :

$$f'_{cr} = f'c + M$$

$$f'c = f'c + 1,64 s \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana : f'_{cr} = Kuat desak rata-rata, MPa

$f'c$ = Kuat desak yang direncanakan, MPa

5. Tetapkan jenis semen.
6. Tentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasi: atau koral) atau dipecahkan.
7. Tentukan faktor air semen, untuk benda uji silinder 150 x 30 mm, dipergunakan Gambar 2.4.
8. Tetapkan faktor air semen maksimum dari Tabel 2.8 (fas dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak).
9. Tetapkan nilai slump, dapat diperoleh dari Tabel 2.11.
10. Tetapkan ukuran agregat maksimum.

11. Tentukan kadar air bebas, jika jenis agregat sudah ditentukan (dipecah atau tak dipecah), maka kadar air bebas dapat diambil menurut Tabel 2.12, untuk agregat campuran (dipecah dan tak dipecah) digunakan rumus 2.5.

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \dots\dots\dots (2.5)$$

W_h = Prakiraan kadar air untuk agregat halus

W_k = Prakiraan kadar air untuk agregat kasar

12. Hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar semen yaitu kadar air bebas (dari langkah ke-11) dibagi dengan faktor air semen.
13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan dapat diabaikan.
14. Tentukan jumlah semen seminimum mungkin, dapat dilihat pada Tabel 2.8, kadar semen yang diperoleh dari hitungan jika perlu disesuaikan.
15. Tentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah maksimum yang diisyaratkan), maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.
16. Tentukan susunan besar butir agregat halus (pasir) kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayaknya menurut standar yang berlaku, kurva dari pasir dapat dibandingkan dengan kurva yang tertera dalam Tabel 2.13 atau Gambar 2.5 dan Tabel 2.14 atau Gambar 2.6 untuk agregat kasar.
17. Tentukan persentase pasir dengan menggunakan Gambar 2.7, dengan diketahuinya ukuran butir agregat maksimum (langkah ke-10), slump (langkah ke-9), faktor air semen (langkah ke-15) dan daerah susunan agregat (langkah ke-16), maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada Gambar 2.6, Jumlah ini adalah jumlah seluruhnya dari pasir atau fraksi agregat yang lebih halus dari 5 mm. agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia seringkali dijumpai bagian yang lebih halus dari 5 mm dalam jumlah yang lebih dari 5 persen, maka jumlah agregat halus yang diperlukan harus dikurangi.
18. Hitung berat jenis relatif agregat menurut ketentuan berikut :

18.1. berat jenis agregat diperoleh dari data hasil uji di laboratorium, bila tidak tersedia dapat dipakai nilai di bawah ini :

(a) agregat tak dipecah : 2,6 gr/cm³

(b) agregat dipecah : 2,7 gr/cm³

18.2. berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut :

$$Bj\ camp = \left(\frac{P}{100} \times Bj\ ag\ halus \right) + \left(\frac{K}{100} \times Bj\ ag\ kasar \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Bj camp = Berat jenis agregat campuran

Bj ag halus = Berat jenis agregat halus

Bj ag kasar = Berat jenis agregat kasar

P dan *K* = Prosentase agregat halus dan kasar terhadap campuran.

19. Tentukan berat jenis beton menurut menurut Gambar 2.8, sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditentukan dari (langkah ke-11 atau ke-15).
20. Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas.
21. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali presentasi pasir (langkah 17), dan agregat gabungan (langkah ke-20).
22. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan (langkah 20) dikurangi kadar agregat halus (langkah ke-21). Dari langkah-langkah tersebut diatas dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1 m³ beton.

Tabel 2.7 Faktor pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Tabel 2.8. Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dalam lingkungan khusus

Keadaan Beton	Jumlah semen minimum Per m ³ brton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan : a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan : a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,62
Beton yang masuk ke dalam tanah : a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		lihat tabel 3.5.b
Beton yang kontinue berhubungan : a. air tawar		lihat tabel 3.5.c
b. air laut		lihat tabel 3.5.c

Tabel 2.9 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air, tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi sulfat dalam bentuk SO ₃			Tipe semen	Tipe semen minimum (kg/m ³)			Faktor air semen
Dalam tanah		Sulfat (SO ₃) dalam air tanah (gr/ltr)		Ukuran agregat maksimum			
Total SO ₃	SO ₃ campuran (air : tanah = 2 : 1) (gr/ltr)			40 mm	20 mm	10 mm	
< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa pozolan (15 – 40%)	80	300	350	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I dengan atau tanpa pozolan (15 – 40%)	290	330	380	0,50
			Tipe I + pozolan (15 – 40%) atau Semen portland pozolan	270	310	360	0,55
			Tipe II atau tipe V	250	290	340	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I + pozolan (15 – 40%) atau Semen portland pozolan	340	380	430	0,45
			Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau tipe V + lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Tabel 2.10. Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air

Jenis beton	Kondisi lingkungan berhubungan dengan	Faktor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m^3)	
				Ukuran agregat maksimum	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau prategang	Air tawar	0,50	Tipe I – V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe I + pozolan (15 – 40%) atau Semen portland pozolan	340	380
			Tipe II atau tipe V	290	330
	Air laut	0,45	Tipe II atau tipe V	330	370

Tabel 2.11. Nilai slump untuk berbagai pekerjaan beton

Uraian	Slump (mm)	
	maksimum	minimum
Dinding, pelat fondasi dan fondasi telapak Bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Tabel 2.12 Prakiraan kadar air bebas per meter kubik beton (liter)

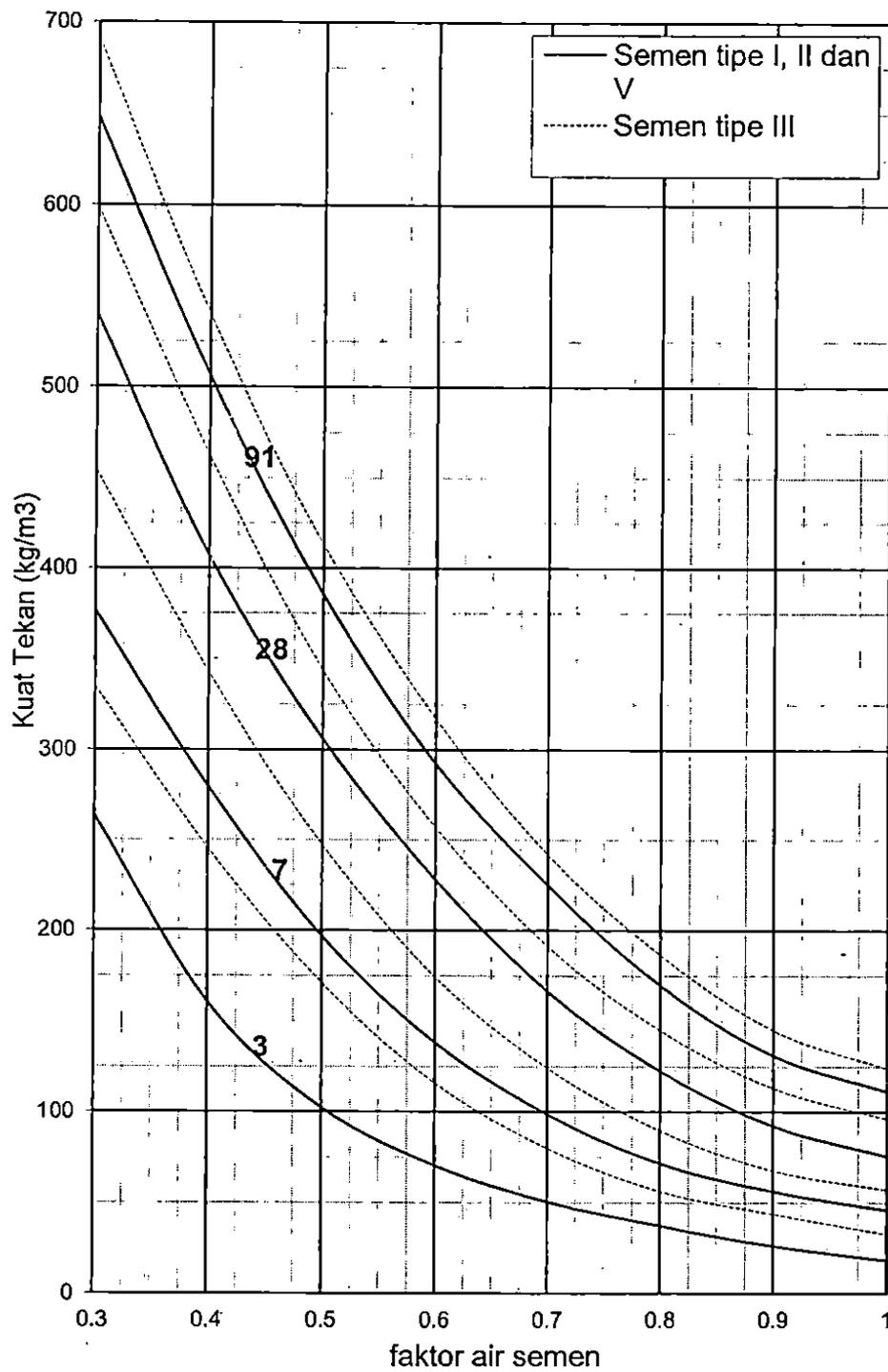
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0 – 10	10–30	30–60	60–100
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Tabel 2.13. Batas gradasi pasir

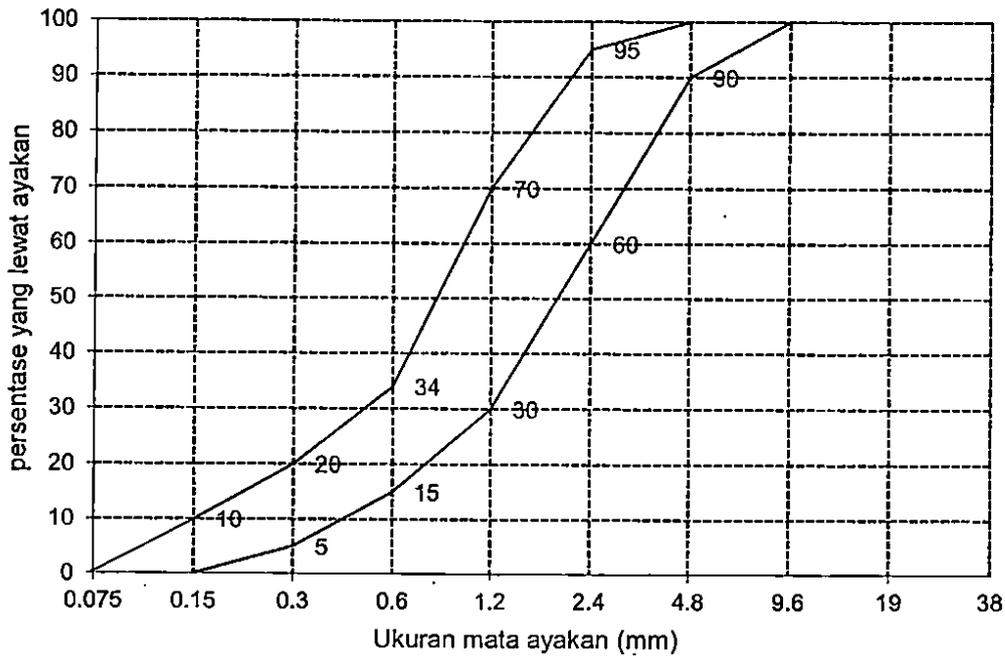
Lubang ayakan		Persen berat butir yang lewat ayakan (%)			
British (mm)	ASTM (No)	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
4,75	3/16 in.	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,36	8	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,18	16	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	50	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	100	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Tabel 2.14. Batas gradasi agregat
dengan ukuran butir maksimum 20 mm

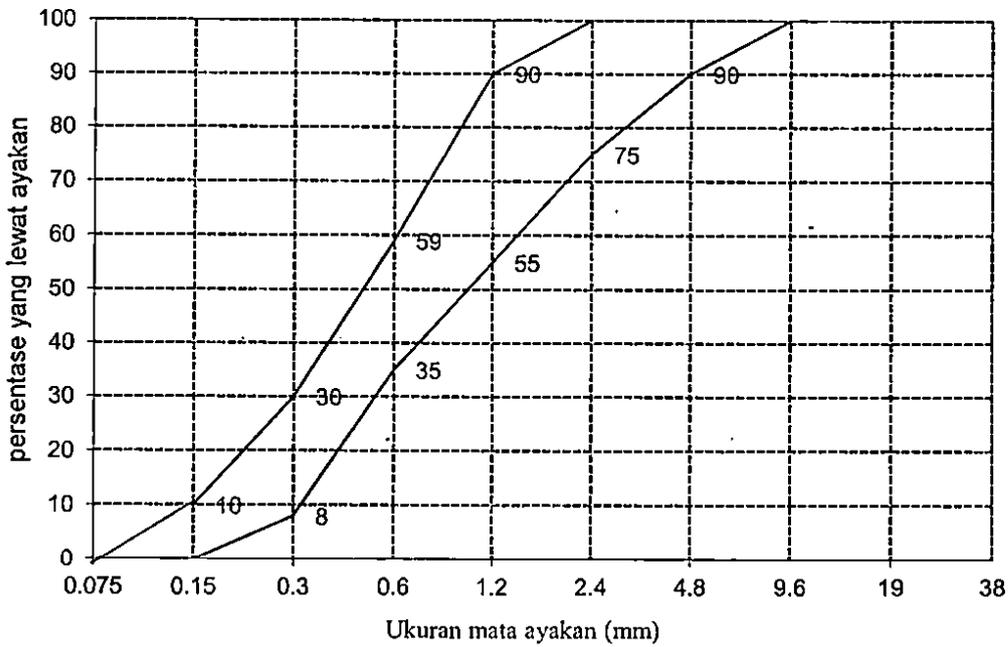
Lubang ayakan (mm)		Persen berat butir yang lewat ayakan (%)			
British (mm)	ASTM (No)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
19	3/4	100	100	100	100
9,6	3/8	45	55	65	75
4,8	3/16	30	35	42	48
2,4	8	23	28	35	42
1,2	16	16	21	28	34
0,6	30	9	14	21	27
0,3	50	2	3	5	12
0,15	100	0	0	0	2



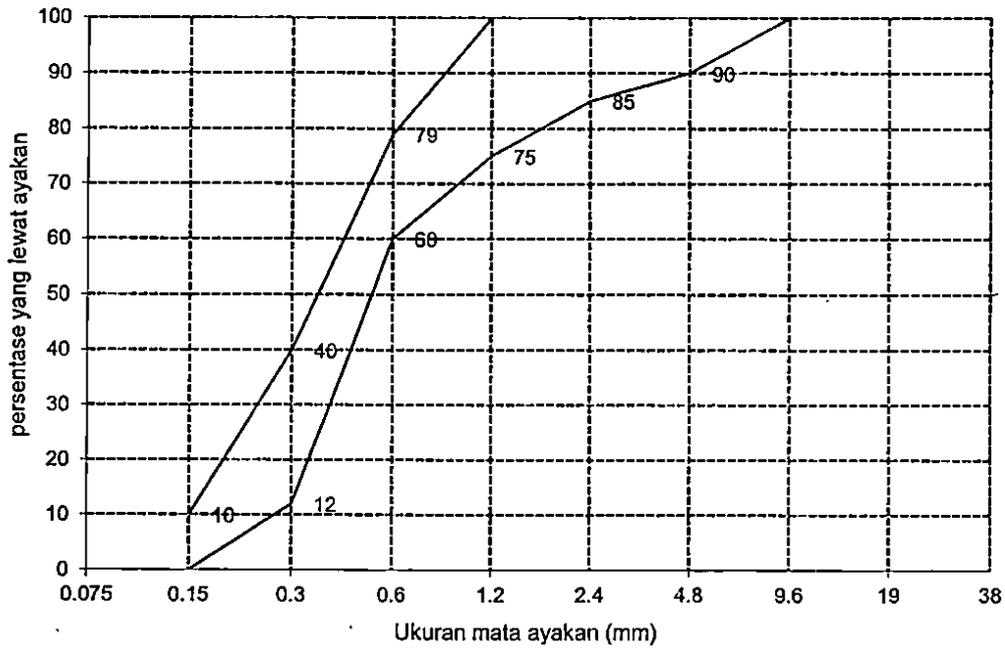
Gambar 2.4 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen, Benda uji silinder 150 mm x 300 mm, (SK SNI T-15-1990-03)



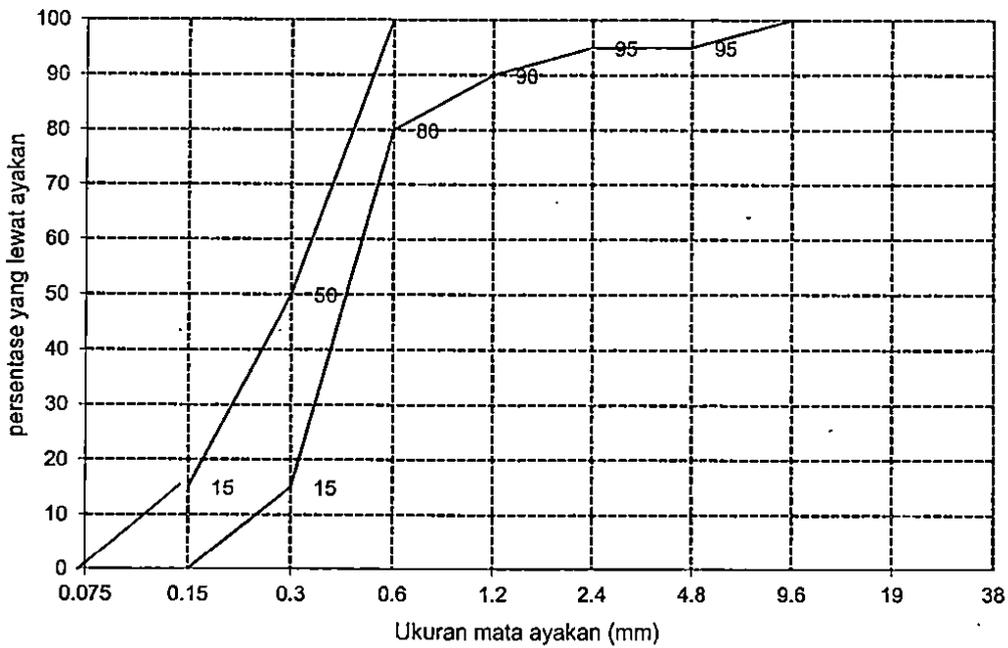
Gambar 2.5a. Batas gradasi pasir daerah no. 1



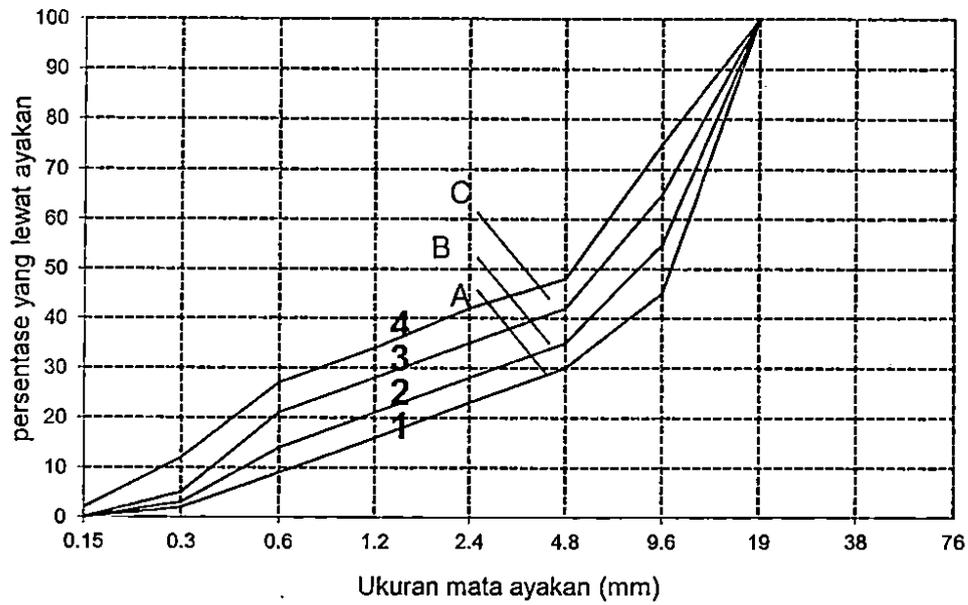
Grafik 2.5b. Batas gradasi pasir daerah no. 2



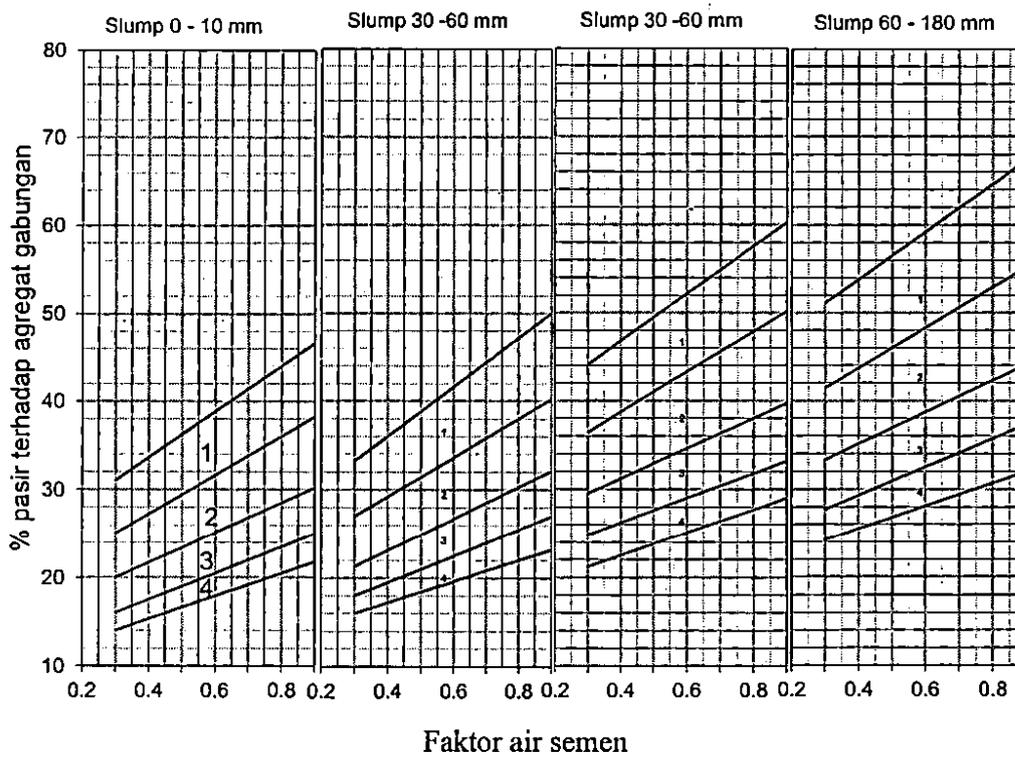
Gambar 2.5c. Batas gradasi pasir daerah no. 3



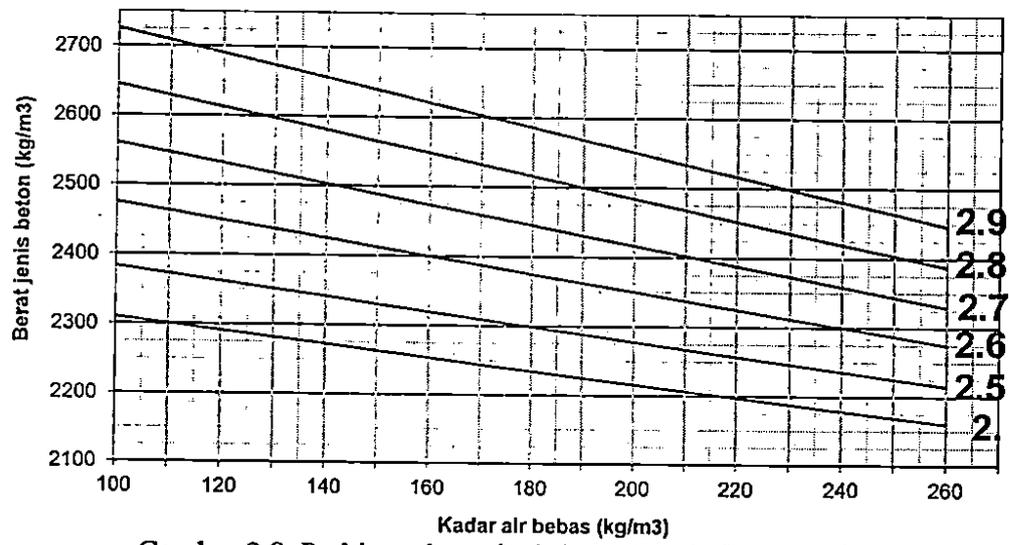
Grafik 2.5d. Batas gradasi pasir daerah no. 4



Gambar 2.6. Batas gradasi kerikil besar butir maksimum 20 mm (Ukuran butir maksimum 20 mm)



Gambar 2.7. Persentase jumlah pasir daerah no. 1, 2, 3, 4



Gambar 2.8. Perkiraan berat jenis beton basah dimampatkan penuh