

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. URAIAN UMUM

Mulai tahap perencanaan, percobaan hingga tahap analisa, percobaan dilaksanakan berdasarkan sumber-sumber yang berkaitan dengan topik yang dipilih, yaitu percobaan tentang Limbah baja padat (*Steel slag*) yang difungsikan menjadi pengganti split dalam beton. Sumber-sumber yang digunakan berupa peraturan-peraturan, referensi-referensi dan juga percobaan-percobaan sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya.

Pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang mendasari percobaan yang dilaksanakan. Materi-materi yang dibahas berdasarkan referensi-referensi maupun peraturan-peraturan mengenai teknologi beton, antara lain :

- Teori tentang beton
- *Limbah baja padat (Steel slag)* sebagai bahan pengganti agregat kasar
- Material pada beton
- Perencanaan pencampuran beton (*mix design*)

2.2. TEORI TENTANG BETON

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air tanpa tambahan zat aditif (*PBI, 1971*). Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, yaitu beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (*Neville dan Brooks, 1987*).

Dalam perencanaan beton sering dikenal istilah beton konvensional, yaitu beton dengan penggunaan material, teknologi dan peralatan yang masih sederhana. Nilai kuat tekan beton dapat diketahui dari hasil pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder berdiameter 30 cm dan tinggi 15 cm yang dibebani

dengan gaya tekan dengan kecepatan dan besar tertentu secara bertahap hingga benda uji tersebut hancur.

2.2.1. Kuat Tekan Beton

Sifat beton yang baik adalah jika beton tersebut memiliki kuat tekan tinggi (antara 20 – 50 Mpa, pada umur 28 hari). Dengan kata lain dapat diasumsikan bahwa mutu beton ditinjau hanya dari kuat tekannya saja (Tjokrodimuljo, 1996).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu :

a. Faktor air semen (FAS)

Didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar lebih mudah dalam pencetakan beton.

Faktor air semen atau *water cement ratio* (*wcr*) adalah indicator yang penting dalam pencampuran beton. Faktor air semen adalah berat air dibagi dengan berat semen.

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0.4 dan maksimum 0.65 (Tri Mulyono, 2004). Sehingga dapat disimpulkan bahwa hampir untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan, merupakan beton yang terbaik (L.J. Murdock and K.M. Brooks, 1979).

b. Umur beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Berikut ini adalah perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur sesuai dengan Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur (hari)	3	7	14	21	28	90	365
PC biasa	0.40	0.65	0.88	0.95	1.00	1.20	1.35
PC dengan kekuatan awal tinggi	0.55	0.75	0.90	0.95	1.00	1.15	1.20

(Sumber : *PBI, 1971*)

c. Jenis dan jumlah semen

Jenis dan jumlah semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jenis semen berkaitan dengan komposisi kimia dari semen tersebut yang secara tidak langsung akan mempengaruhi kuat tekan beton.

d. Sifat agregat

Menurut Tjokrodinuljo (1996), sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut. Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang.

2.2.2 Kuat Tarik Beton

Seperti diketahui bahwa beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Besarnya kuat tarik untuk beton normal pada umumnya adalah antara 8 % - 12 % dari kuat tekannya (rata-rata 10 % tegangan tekan) (*Raina V.K., 1993*). Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 $f_{ct} = 0.7 \sqrt{f_c}$. Untuk mengetahui kuat tarik beton dapat dilakukan uji belah / split test.

2.2.3 Workabilitas

Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pematatannya. Suatu adukan dapat dikatakan cukup *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut :

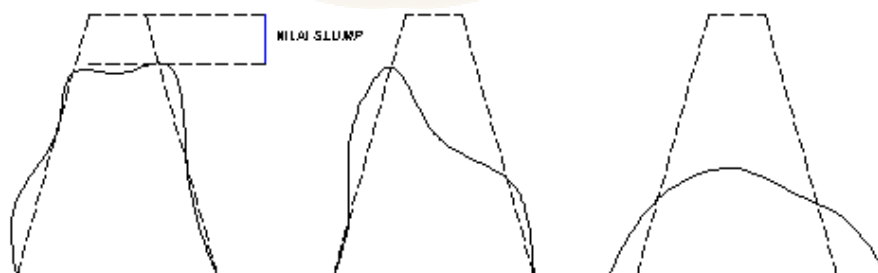
- a. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.

- b. *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan beton.
- c. *Fluidity*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan.
- d. *Mobility*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk bergerak / berpindah tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton makin mudah untuk dikerjakan. Nilai *slump* yang disyaratkan berkisar antara 5-12,5 cm (Tjokrodimuljo,1996)

Dalam praktek, ada tiga macam tipe slump yang terjadi yaitu

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.



Gambar 2.1. Tipe-tipe keruntuhan slump (1) slump sebenarnya (2) slump geser (3) slump runtuh (sumber : Neville dan Brooks, 1987)

2.3. LIMBAH BAJA PADAT (*STEEL SLAG*)

Steel slag adalah limbah dari pembuatan baja. *Steel slag* dihasilkan selama proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotornya pada tungku-tungku baja. *Steel slag* berbentuk cairan dan merupakan campuran cairan yang terdiri dari silica dan oksida kalsium yang akan ikut mengeras, ketika proses pendinginan.

Pada pembuatan baja, bijih besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, dolomite atau kapur. Sejumlah kecil karbon, nikel, mangan dan elemen lain akan membuat besi akan menjadi bermacam – macam baja. Pembuatan baja dimulai dengan penghilangan ion-ion pengotor baja, diantaranya aluminium, silicon, dan phosphor. Ion-ion tersebut dapat menyebabkan baja menjadi tidak keras dan rapuh atau sulit untuk dibentuk lembaran – lembaran baja. Untuk penghilangan ion pengotor tersebut diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium dan aluminium, silicon dan phosphor membentuk *Steel slag*. *Steel slag* mengambang pada permukaan cairan baja, kemudian dibuang. *Steel slag* mulai terbentuk pada suhu 2700 °F dan akan terlihat seperti kaca, berbentuk tidak beraturan dan mengeras ketika dingin. *Steel slag* dapat berupa butiran halus sampai berupa balok-balok besar yang sangat keras. *Steel slag* juga mengandung logam berat yang tinggi. Hal ini yang menyebabkan pembuangan *Steel slag* secara langsung ke lingkungan sangat berbahaya.

2.3.1. Kegunaan Limbah Baja Padat (*steel slag*)

Secara fisik *Steel slag* lebih kaku, lebih padat dan keras dibandingkan agregat alami. Sedangkan secara teknik *Steel slag* lebih stabil dan tahan terhadap pengelupasan. *Steel slag* sejak tahun 1975 telah digunakan sebagai material jalan raya, juga dapat digunakan sebagai coarse agregat, sebagai bahan dasar hot mix aspal dan portland cement (Anonim,1994). Hal ini membuktikan bahwa *Steel slag* dapat dimanfaatkan kembali, tetapi ada hal lain yang perlu diwaspadai pada penggunaan kembali *Steel slag* (*Divisi jurnal purifikasi jurusan teknik lingkungan FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,2005*)

2.3.2. Keuntungan Penggunaan Limbah Baja Padat (steel slag)

Ada beberapa keuntungan penggunaan *Steel slag* dalam campuran beton adalah sebagai berikut (Tri Mulyono,2004) :

- ✓ Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecendrungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
- ✓ Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton
- ✓ Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
- ✓ Mengurangi serangan alkali-silika
- ✓ Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
- ✓ Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
- ✓ Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
- ✓ Mengurangi porositas dan serangan klorida
- ✓ Lebih ekonomis.

2.3.3. Karakteristik Limbah Baja Padat (*Steel slag*)

2.3.3.1. Karakteristik Fisik

Limbah baja padat (Steel slag) mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. *Steel slag* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran *Steel slag* lebih mendekati ukuran split, untuk besar butir maksimum 20 mm.

2.3.3.2. Karakteristik Kimia

Komposisi kimia *Steel slag* pada PT.Yaga Steel dari hasil analisa pengujian Laboratorium Balai riset dan Standarisasi Industri dan perdagangan Semarang, dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2. Komposisi kimia dari Limbah baja padat *Steel slag*

NO	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode uji
I	LOGAM BERAT			
1	Arsen (As)	mg/kg	< 0.118	Destruksi SM.3114 B
2	Barium (Ba)	mg/kg	<3.931	Destruksi SM.3111 D
3	Boron (B)	mg/kg	< 1.965	Destruksi SM.4500-BC

4	Cadmium (Cd)	mg/kg	< 0.118	Destruksi SM.3111 B
5	Chromium (Cr)	mg/kg	49.25	Destruksi SM.3111 B
6	Copper (Cu)	mg/kg	48.42	Destruksi SM.3111 B
7	Lead (Pb)	mg/kg	< 1.179	Destruksi SM.3111 B
8	Mercury (Hg)	mg/kg	< 0.393	Destruksi SM.3112 B
9	Selenium (Se)	mg/kg	< 0.118	Destruksi SM.3114 B
10	Silver (Ag)	mg/kg	< 1.179	Destruksi SM.3111 B
11	Zinc (Zn)	mg/kg	28.62	Destruksi SM.3111 B

(Metode uji mengacu pada :- *Standard Methods For the Examination of water and waste, APHA, AWWA, WEF. Sumber : Indah, Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri dan Perdagangan Semarang, 2006*)

2.4. MATERIAL

Material penyusun pada beton dengan campuran *Steel slag* ini tidak berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya, yaitu terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan *Steel slag* sebagai tambahan. Semua bahan-bahan diatas mempunyai karakteristik yang berbeda bila digunakan sebagai bahan adukan dalam beton. Dengan alasan ini maka perlu diketahui sifat dan karakteristik masing-masing material penyusun beton agar dalam pelaksanaan nanti tidak terjadi kesalahan pemilihan dan penggunaan material, sehingga dapat menghasilkan beton dengan kekuatan karakteristik yang dikehendaki.

2.4.1. Semen Portland (PC)

Portland cement (PC) atau lebih dikenal dengan semen merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat hidrolis, semen membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu, semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut.

2.4.1.1. Sifat Kimia Semen

Sifat kimia dari semen portland sangat rumit, dan belum dimengerti sepenuhnya. Perkiraan terhadap komposisi semen portland diberikan pada tabel 2.3 hampir dua pertiga bagian semen terbentuk dari zat kapur yang proporsinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan kurang baik untuk semen karena menyebabkan terjadinya *disintegrasi* (perpecahan) semen setelah timbul ikatan. Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan zat kapur menghasilkan semen yang lemah. (L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1979).

Tabel 2.3. Prosentase dari komposisi dan kadar senyawa kimia semen

Senyawa	Prosentase
Batu kapur (CaO)	60 % - 65 %
Pasir silikat (SiO ₂)	17 % - 25 %
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 % - 8 %
Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	0.5 % - 6 %
Magnesia (MgO)	0.5 % - 4 %
Sulfur (SO ₃)	1 % - 2 %

(Sumber : Tjokrodinuljo, 1996)

2.4.1.2. Sifat Fisik Semen

Semen portland mempunyai beberapa sifat fisik, bisa dijelaskan sebagai berikut :

1. Kehalusan butir

Semakin halus semen, maka permukaan butirannya akan semakin luas, sehingga persenyawaannya dengan air akan semakin cepat dan membutuhkan air dalam jumlah yang besar pula.

2. Berat jenis dan berat isi

Berat jenis semen pada umumnya berkisar 3.15 kg/liter. Berat jenis semen akan mempengaruhi proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

3. Waktu ikat awal

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat awal semen dibedakan menjadi 2 yaitu : 1) waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan 2) waktu pengikatan akhir (*final setting*). Waktu pengikatan awal dihitung sejak semen tercampur dengan air hingga mengeras. Pengikatan awal untuk semua jenis semen harus diantara 60 – 120 menit. Alat *vicat* dapat digunakan untuk mengetahui pengikatan awal.

4. Kekekalan bentuk

Bubur semen yang dibuat dalam bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah pada waktu mengeras, maka semen tersebut mempunyai sifat kekal bentuk. Demikian juga sebaliknya jika bubur semen tersebut mengeras dan menunjukkan adanya cacat (retak, melengkung, membesar dan menyusut), berarti semen tersebut tidak mempunyai sifat kekal bentuk. Pemeriksaan kekekalan semen harus sesuai dengan standar yang berlaku dalam hal ini SK SNI S 04 1989F.

5. Pengaruh suhu

Pengikatan semen sangat tergantung oleh suhu di sekitarnya. Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu 35 °C dan berjalan dengan lambat pada suhu di bawah 15 °C.

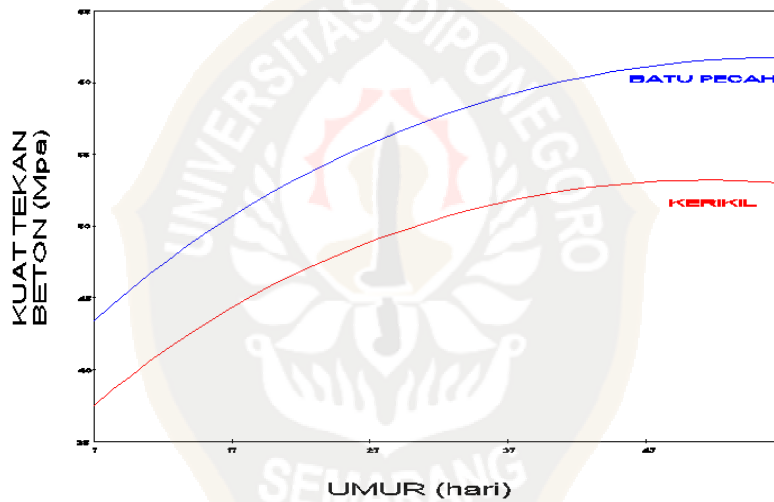
2.4.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 70 % volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (*Tjokrodimuljo, 1996*).

Sedangkan menurut Neville dan Brooks (1987) agregat adalah bahan pengisi yang bersifat pasif, bahan murah yang dicampurkan ke dalam pasta semen sehingga menghasilkan beton dengan volume besar. Kenyataannya bahan pengisi tidak mutlak bersifat pasif karena sifat fisik, kimia dan termal dari bahan tersebut

mempengaruhi sifat beton. Dari segi ekonomis lebih menguntungkan jika digunakan campuran beton dengan sebanyak mungkin bahan pengisi dan sedikit mungkin jumlah semen. Namun keuntungan dari segi ekonomis harus diseimbangkan dengan kinerja beton baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras.

Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Namun kekasaran permukaan agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton, seperti tampak pada grafik 2.1.



Grafik 2.1. Pengaruh jenis agregat terhadap kuat tekan beton
(Sumber : Tjokrodinuljo, 1996)

Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butiran. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam bidang teknologi beton nilai batas daerah agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus. Secara umum agregat kasar sering disebut kerikil, keracak, batu pecah atau *split*. Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai, tanah galian atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut lanau, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut lempung.

Agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- Batu, umumnya besar butiran lebih dari 40 mm
- Kerikil, untuk butiran antara 5 sampai 40 mm
- Pasir, untuk butiran antara 0,15 sampai 5 mm

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

2.4.2.1. Berat Jenis Agregat

Menurut berat jenisnya agregat dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

a. Agregat Normal

Agregat normal memiliki berat jenis antara $2,5 \text{ kg/dm}^3$ dan $2,7 \text{ kg/dm}^3$. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis sekitar $2,3 \text{ kg/dm}^3$ dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai dengan 40 Mpa dan dinamakan beton normal.

b. Agregat Berat

Agregat berat memiliki berat jenis $2,8 \text{ kg/dm}^3$ ke atas, contohnya *magnetic* (Fe_3O_4), *barytes* (BaSO_4), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan cocok untuk dinding pelindung radiasi sinar x.

c. Agregat Ringan

Agregat ringan memiliki berat jenis kurang $2,0 \text{ kg/dm}^3$. Agregat ringan misalnya *diatomite*, *pumice*, tanah bakar, abu terbang, busa terak tanur tinggi. Pada umumnya dibuat untuk beton non struktural, beton tahan api dan isolator panas.

2.4.2.2. Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirannya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil dapat mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan tinggi.

Menurut peraturan *British Standard* yang diadopsi di Indonesia (SK-SNI-T-15-1990-03) kekasaran pasir dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus (daerah I), agak halus (daerah II), agak kasar (daerah III), dan kasar (daerah IV), seperti tampak pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2.4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1.2	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 : Tjokrodinuljo, 1996)

Adapun gradasi kerikil yang baik, sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5. Gradasi kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat yang Lewat Ayakan	
	Besar Butir Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 - 100	100
20	30 - 70	95 - 100
10	10 - 35	25 - 55
4.8	0 - 5	0 - 10

(Sumber : Tjokrodinuljo, 1996)

2.4.2.3. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Modulus halus butir (FM) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butiran agregat yang tertinggal di atas ayakan. Selain itu FM (*fineness modulus*) juga dapat untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil, bila dibuat campuran beton. Modulus halus butir agregat dari campuran pasir dan kerikil untuk bahan pembuat beton berkisar antara 5,0 sampai 6,5.

$$FM = \frac{\text{Jumlah \% butiran di atas ayakan 0.15}}{100} \quad (2-1)$$

2.4.2.4. Kadar Air Agregat

Kadar air pada suatu agregat (di lapangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton dan untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu :

- a. Kering oven : benar-benar tidak berair, dan ini berarti dapat menyerap air secara penuh.
- b. Kering udara : butiran agregat kering permukaan, tetapi mengandung sedikit air di dalam pori. Oleh karena itu agregat dalam kondisi ini masih dapat menyerap air.
- c. Jenuh kering muka : pada kondisi ini tidak ada air di permukaan. Butiran agregat pada kondisi ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah : pada kondisi ini agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran adukan beton akan menambah air.

Dari keempat keadaan di atas, hanya dua keadaan yang sering dipakai sebagai dasar hitungan, yaitu kering oven dan jenuh kering muka karena konstan untuk agregat tertentu.

Keadaan jenuh kering muka (*saturated surface dry, SSD*) lebih disukai sebagai standar, karena :

- a. Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak menambah atau mengurangi air dari pasta.
- a. Kadar air di lapangan lebih banyak dalam keadaan SSD dibandingkan kering tungku.

Dalam hal ini hitungan kebutuhan air pada adukan beton, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering muka, sehingga jika keadaan di lapangan kering udara maka dalam adukan beton akan menyerap air, namun jika agregat dalam keadaan basah maka akan menambah air. Penyerapan penambahan air tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$A_{\text{tamb}} = \frac{K - K_{\text{jkm}}}{100} \times W_{\text{ag}} \quad (2 - 2)$$

Keterangan :

A_{tamb} : air tambahan dari agregat (liter)

K : kadar air di lapangan (%)

K_{jkm} : kadar air jenuh kering muka (%)

W_{ag} : berat agregat (kg)

2.4.2.5. Persyaratan Agregat

Persyaratan agregat halus sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran tajam dan keras. Butiran agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
2. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5 % berat (ditentukan terhadap berat kering). Lumpur adalah butiran yang dapat melalui ayakan 0,063 mm.
3. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci

dalam larutan 3 % NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

4. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan berturut-turut 31,5mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm (PBI 1971), harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2 % berat
 - Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10 % berat
 - Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar 80 % - 95 % berat
 - Untuk pasir modulus halus butir antara 2,50 – 3,80
 - Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Persyaratan agregat kasar sebagai berikut:

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm.
2. Agregat kasar harus terdiri dari batuan yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir hanya dapat dipakai apabila jumlah butiran pipih tersebut tidak melampaui 20 % dari berat agregat seluruhnya. Butiran agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % berat (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1 % berat maka agregat tersebut harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat alkali yang reaktif.
5. Kekerasan dari butiran agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudelooff* dengan beban pengujian 20 ton, dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24 % berat

- Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22 % berat
- 6. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan secara berurutan sebagai berikut : 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm (PBI 1971) harus memenuhi syarat-syarat :
 - Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0 % berat
 - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar 90 % - 98 % berat
 - Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas ayakan yang berurutan maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

2.4.2.6. Pengujian Agregat

Pengujian agregat terdiri dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis yang terkandung dalam agregat, analisa saringan, analisa kadar air, berat jenis dan penyerapan air. Tujuan dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis pada agregat adalah untuk menentukan banyaknya kandungan butiran yang lebih kecil dari 50 mikron (lumpur) yang terdapat dalam agregat dan menentukan prosentase zat organis yang terkandung dalam agregat. Tujuan dari analisa saringan untuk menentukan modulus kehalusan pasir, yaitu harga yang menyatakan tingkat kehalusan agregat.

Pemeriksaan kadar air agregat bertujuan untuk menentukan prosentase air yang terkandung dalam agregat. Sedangkan tujuan dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat adalah untuk menentukan berat jenis dan prosentase berat air yang diserap agregat, dihitung terhadap berat kering. Pada pemeriksaan kadar air, berat isi dan berat jenis dilakukan dalam kondisi asli dan SSD. Kadar air asli adalah kandungan air pada agregat dalam keadaan normal. Sedangkan kadar air SSD adalah kandungan air pada kondisi agregat jenuh kering permukaan.

2.4.3. Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton karena dapat menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya

proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan.

Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit jika kurang dari 0,35. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air untuk campuran beton harus memenuhi standar persyaratan air minum)

Air laut mengandung 3,5 % larutan garam, sekitar 78 % nya adalah sodium klorida dan 15 % nya adalah magnesium sulfat. Garam-garam dalam air laut ini dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20 %. Air laut tidak boleh digunakan untuk campuran beton pada beton bertulang atau beton prategang, karena resiko terhadap korosi tulangan lebih besar.

Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan (PBI 1971) :

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

2.5. PERENCANAAN CAMPURAN BETON (MIX DESAIN)

Perencanaan campuran beton (*concrete mix design*) dimaksudkan untuk mendapatkan beton dengan mutu sebaik-baiknya, antara lain:

- a. Kuat tekan yang tinggi
- b. Mudah dikerjakan
- c. Tahan lama
- d. Murah / ekonomis

e. Tahan aus

Unsur-unsur pembentuk beton (semen, pasir, kerikil dan air) harus ditentukan secara proporsional, sehingga terpenuhi syarat-syarat:

1. Nilai kekenyalan atau kelecakan tertentu yang memudahkan adukan beton ditempatkan pada cetakan / bekisting (sifat kemudahan dalam mengerjakan) dan memberikan kehalusan permukaan beton segar.

Kekenyalan ditentukan dari :

- Volume pasta adukan
 - Keenceran pasta adukan
 - Perbandingan campuran agregat halus dan kasar
2. Kekuatan rencana dan ketahanan beton setelah mengeras.
 3. Ekonomis dan optimum dalam pemakaian semen.

Ada beberapa metode untuk merencanakan campuran beton, antara lain menurut SK SNI T-15-1990-03 dengan judul buku “*Tata cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*” adalah metode DOE (*Departement of Environment*) dari Inggris, metode JIS dari Jepang dan metode ACI (*American Concrete Institute*) dari Amerika. Adapun untuk perencanaan campuran beton pada Percobaan ini digunakan cara DOE dari Inggris.

2.5.1. Perencanaan Campuran Beton (mix design) Berdasarkan DOE (Departement of Environment)

Perencanaan campuran beton dalam Percobaan ini menggunakan campuran menurut cara Inggris (*British Standard*). Di Indonesia cara ini dikenal dengan metode DOE (*Departement of Environment*).

Langkah-langkah dalam perhitungan perencanaan beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Kuat Tekan Beton

Penentuan kuat tekan beton berdasarkan kekuatan beton pada umur 28 hari. Pada percobaan ini direncanakan kuat tekan beton $f'c$ 35 mpa.

2. Penetapan Nilai Standar Deviasi (S)

Penentuan nilai standar deviasi berdasarkan 2 hal yaitu :

- Mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton.

Semakin kecil nilai standar deviasinya maka pengendalian pelaksanaan pencampuran beton semakin baik.

- Volume pekerjaan

Volume pekerjaan (m³) semakin besar akan menghasilkan standar deviasi yang kecil.

Nilai standar deviasi pada Percobaan ini yaitu S = 46 (volume beton kurang 1000 m³ dan mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton baik sekali), penetapannya dengan melihat tabel 2.6.

Tabel 2.6. Mutu pelaksanaan pekerjaan diukur dengan deviasi standar (kg/cm²)

Volume Pekerjaan		Mutu Pelaksanaan		
Ukuran	Satuan (M ³)	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	< 1000	45 < S ≤ 55	55 < S ≤ 65	65 < S ≤ 85
Sedang	1000 – 3000	35 < S ≤ 45	45 < S ≤ 55	55 < S ≤ 75
Besar	> 3000	25 < S ≤ 35	35 < S ≤ 45	45 < S ≤ 65

(Sumber : PBI,1971)

3. Penetapan Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan

Kuat tekan beton rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma_{bm} = \sigma_{bk} + 1.645 * S ,$$

Keterangan

σ_{bm} = kuat tekan beton rata-rata (kg/cm²)

σ_{bk} = kuat tekan beton yang direncanakan (kg/cm²)

M = 1.645*S = nilai tambah margin (kg/cm²)

S = standar deviasi (kg/cm²)

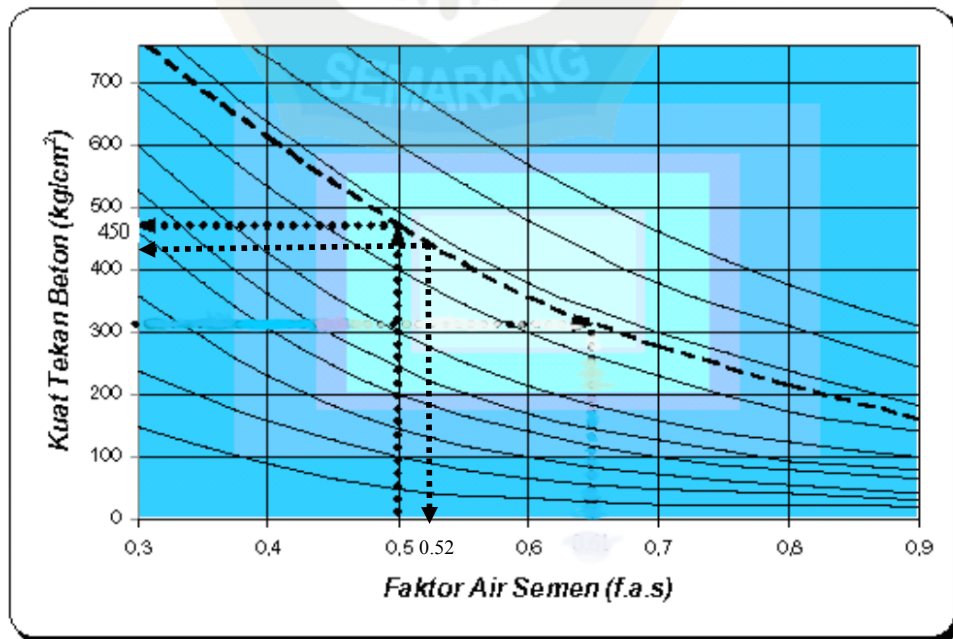
4. Mencari Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen ditentukan oleh Tabel 2.8. Perkiraan pencapaian kekuatan tekan beton dengan faktor air semen 0.5 (tabel 2.7.) dan grafik 2.2., yaitu grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan faktor air semen (f.a.s.).

Tabel 2.7. Perkiraan pencapaian kekuatan tekan beton dengan faktor air semen 0.5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat tekan (kg/cm ²)			
		3	7	28	91
Semen Portland biasa (PPC)	Batu alami	180	270	400	480
semen Portland tahan sulfat (SRPC)	Batu pecah	230	330	470	550
Semen Portland cepat mengeras (RHPC)	Batu alam	250	340	460	530
	Batu pecah	300	400	530	600

(Sumber : PBI,1971)



Grafik 2.2. Hubungan kuat tekan beton dengan factor air semen (FAS)

Cara penentuan faktor air semen maksimum dan minimum yaitu:

1. Dengan menggunakan Tabel 2.7. untuk menentukan kekuatan beton pada umur tertentu. Pada percobaan ini, direncanakan umur beton 28 hari dengan perkiraan kuat tekan beton $\sigma'_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$, dan kuat tekan rata-rata $\sigma'_{bm} = 425.67 \text{ kg/cm}^2$.
2. Dengan menggunakan Grafik 2.2, lukiskan kurva melalui titik nilai kekuatan tersebut paralel dengan kurva referensi.
3. Tarik garis mendatar dari perpotongan dengan nilai kekuatan tekan rata-rata, sehingga menemukan FAS pada garis absis. Dari grafik didapat FAS = 0.52. Sedangkan nilai FAS yang didapat dari persyaratan khusus (Tabel 2.10) yaitu FAS maksimum = 0.6, sehingga digunakan nilai FAS terendah yaitu 0.52 (didapat dari persyaratan khusus).

5. Penentuan Nilai Slump

Penentuan nilai slump berdasarkan pemakaian beton untuk jenis konstruksi tertentu (tabel 2.8.)

Tabel 2.8. Penetapan nilai slump

Pemakaian Beton	Nilai Slump (cm)	
	maksimum	minimum
a. Dinding, pelat pondasi, dan telapak bertulang	12.5	5
b. Struktur dibawah tanah	9.0	2.5
c. Pelat, kolom, balok dan dinding	15.0	7.5
d. Pengerasan jalan	7.5	5
e. Pembetonan masal	7.5	2.5

(Sumber : PBI,1971)

6. Penentuan Nilai Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan oleh tabel 2.9.

Tabel 2.9. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton

Besarnya Ukuran Kerikil Maks. (mm)	Jenis Batuan	Slump (cm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	50	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	35	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	15	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

(Sumber : PBI,1971)

Karena agregat kasar dan agregat halus berbeda bentuknya maka jumlah air pengaduk direvisi sebagai berikut :

$\frac{2}{3}$ juml.air agr.halus menurut bentuknya + $\frac{1}{3}$ juml.agr.kasar menurut bentuknya.

7. Perhitungan Jumlah Semen yang Dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadarairbebas}}{fas}$$

Hasil yang didapat dari rumus tersebut dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari tabel 2.10. kemudian diambil nilai yang tertinggi.

Tabel 2.10. Jumlah semen minimum dan nilai factor air semen maksimum

URAIAN	Jumlah Semen Minimum/m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton didalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0.6
b. Keadaan keliling korosif	325	0.52

Beton diluar ruang bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari	325	0.6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0.6
Beton yang masuk kedalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	375	0.52
Beton yang berhibungan dengan air :		
a. Air tawar	275	0.27
b. Air laut	375	0.52

(Sumber : PBI,1971)

8. Penentuan Prosentase Jumlah Agregat Halus dan kasar

Proporsi agregat halus ditentukan dengan metode penggabungan agregat dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Y = \frac{xa}{100} * ya + \left[\frac{100 - xa}{1000} \right] * yb$$

Keterangan :

Y = perkiraan persentase kumulatif lolos # 9.6 dan # 0.6

menurut BS (*British standard*) – 882, persentase kumulatif lolos # 9.6 dan #

0.6 bisa menggunakan Spec – Ideal 135 – 882, dimana :

perkiraan persentase lolos ayakan # 9.6 = 50 %

perkiraan persentase lolos ayakan # 0.6 = 18.5 %

Yb = persentase kumulatif pasir lolos ayakan # 9.6 dan # 0.6

Ya = persentase kumulatif split lolos ayakan # 9.6 dan # 0.6

xa = konstanta yang dicari baik dari agregat halus

X rata-rata = $\frac{x1 + x2}{2}$ → persentase dari agregat halus

Prosentase dari agregat kasar (Xb) = 100 % - Xa

9. Penentuan Berat Jenis Gabungan

Berat jenis gabungan adalah gabungan dari berat jenis agregat halus dan agregat kasar dengan prosentase dari campuran agregat tersebut. Berat jenis gabungan dapat dihitung dengan rumus :

$$BJ_{gab} = \frac{xa}{100} * B_{jxa} + \frac{xb}{100} * B_{jxb}$$

10. Penentuan Berat Beton Segar

Berat beton segar dapat ditentukan dengan menggunakan grafik 2.3. berdasarkan data berat jenis gabungan dan kebutuhan air pengaduk untuk setiap meter kubik.

Cara pembuatan grafik 2.3. dapat diterangkan sebagai berikut :

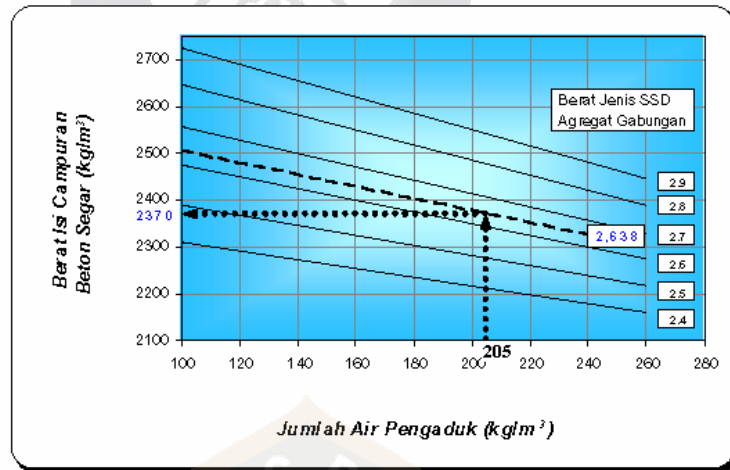
1. Buat garis vertikal melalui titik harga kadar air bebas yang ditentukan. Jika agregat kasar dan halus berbeda maka perkiraan kadar air dihitung melalui rumus :

$$\text{Jumlah air pengaduk} = \frac{2}{3} x W_f + \frac{1}{3} x W_c$$

Keterangan : W_f = kadar air bebas agregat halus

W_c = kadar air bebas agregat kasar

2. Ikuti kurva yang sesuai dengan harga berat jenis gabungan sehingga memotong garis vertikal pada point pertama.
3. Jika dalam grafis belum ada harga berat jenis gabungan yang telah ditentukan, buat kurva yang baru yang sesuai dengan harga berat jenis gabungan yang telah ditentukan, yang sesuai dengan garis kurva terdekat. Kurva itu akan memotong vertikal harga kadar air bebas.
4. Tarik garis mendatar melalui titik potong itu. Nilai itu menunjukkan nilai berat beton segar.



Grafik 2.3. Hubungan antara berat isi campuran beton, jumlah air pengaduk dan berat jenis SSD agregat gabungan

