



# BETON MUTU TINGGI

RIDWAN SUHUD

## RINGKASAN

Tulisan ini menyajikan salah satu cara untuk membuat beton mutu tinggi. Yang dimaksud dengan beton mutu tinggi disini adalah beton yang mempunyai kekuatan tekannya sekitar 1000 kg/cm<sup>2</sup> (100 MPA). Sampai sekarang untuk keperluan kebanyakan struktur, beton dengan kekuatan tersebut masih jarang digunakan. Apabila pelaksanaan pembuatan beton mutu tinggi ini tidak terlalu sulit, maka dimensi dari struktur dapat diperkecil, terutama untuk struktur beton prategang.

Tampaknya untuk membuat beton mutu tinggi tersebut, bahan-bahan yang diperlukannya cukup tersedia di dalam negeri.

Untuk memberi gambaran mengenai cara pembuatan beton mutu tinggi ini, telah dilakukan beberapa percobaan di Laboratorium Struktur, jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Bandung.

## SUMMARY

This paper presents one of the methods how to produce high strength concrete. The high strength concrete, in this case, means the concrete with compressive strength of about 1000kg/cm<sup>2</sup> (100 MPA).

For many structural needs, concrete with that strength is seldom used so far. If the realization of making such concrete is not too complicated, the dimension of structures can be minimized, especially for prestressed concrete structures.

Apparently for producing high strength concrete, the required materials are sufficiently available in Indonesia. A series of test was carried out in order to obtain more information in this field, in the Laboratory of structures, Civil Engineering Department, Institute of Technology Bandung.

## I. PENDAHULUAN

Seperti diketahui, bahwa campuran utama dari beton terdiri dari pasir, kerikil, semen dan air. Pasir dan kerikil merupakan bahan butiran, dimana pasir merupakan bahan butiran (agregat) halus dan kerikil merupakan bahan butiran kasar. Sedangkan semen dan air merupakan bahan pengikat (pasta).

Apabila kita mengambil suatu volume dari beton, maka secara umum dalam volume tersebut terkandung volume-volume berikut [1]:

- bahan butiran (kerikil dan pasir) ± 68 %
- semen ± 11 %
- air ± 17 %
- udara yang terperangkap ± 4 %

Jika komposisi volume diatas diperhatikan maka dapat dilihat, bahwa pasir sebagai

bahan butiran halus mengisi ruang kosong diantara kerikil dan kristal-kristal semen mengisi ruang kosong diantara pasir dan menyelimuti permukaan bahan butiran, sehingga terjadi ikatan antara butiran yang satu dengan yang lainnya. Semen yang tadinya berbentuk butiran halus dapat berubah menjadi kristal berkat reaksi dengan air (hidrasi), yang dalam tahap awal terjadi pengikatan, kemudian secara berangsur-angsur mengeras, sejalan dengan pertambahan umur dari beton.

Bertitik tolak pada pemikiran, bahwa butiran halus (pasir) berfungsi untuk mengisi ruang kosong di antara butiran kasar (kerikil atau batu pecah) dan campuran semen-air berfungsi untuk mengisi ruang kosong



diantara butiran halus serta melumas butiran, maka secara praktis orang membuat campuran beton itu dengan perbandingan volume yang ditakar. Dengan anggapan, bahwa ruang kosong diantara butiran kasar adalah  $\pm 40\%$  dari volume keseluruhan dan ruang kosong butiran kasar, maka orang membuat campuran beton dengan perbandingan volume (takaran) antara semen, pasir dan kerikil adalah 1 : 1.5 : 2.5 atau 1 : 2 : 3. Sedangkan kebutuhan airnya dibandingkan dengan berat semen yang digunakan, yang tergantung pada kemudahan pengecoran (konsistensi) beton tersebut, yang umumnya dinyatakan dalam nilai slump.

Sampai saat ini campuran beton dengan perbandingan volume (takaran) ini masih digunakan, karena alasan praktis dan untuk beton dengan mutu rendah sampai medium, kekuatannya masih mungkin dicapai.

Untuk beton dengan mutu tinggi, campuran beton dengan perbandingan volume ini tidak dapat digunakan karena ketelitian takaran sulit dilaksanakan. Disamping itu volume bahan yang membentuk beton itu merupakan volume mutlak (absolut), yaitu merupakan integrasi dari volume butiran (bukan takaran). Berhubung volume bahan yang membentuk beton itu merupakan volume mutlak, yaitu hasil bagi antara berat bahan yang bersangkutan dengan berat jenisnya, maka untuk membuat beton dengan mutu yang tinggi, campurannya harus dilakukan dengan perbandingan berat. Dengan perbandingan berat ini ketelitian komposisi dari campuran dapat dilakukan setepat-tepatnya.

## II. KERANGKA PEMIKIRAN

### II. 1. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton

Sejak digunakannya beton sebagai bahan struktur, tidak henti-hentinya orang melakukan penelitian mengenai sifat-sifat beton, terutama yang menyangkut kekuatan kekuatannya. Apabila kekuatan material (semen dan bahan butiran) dianggap konstan, maka faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton itu adalah kekompakan bahan butiran dan jumlah air pencampur beton. Berdasarkan pemikiran ini DREUX [2] menyajikan satu rumus

untuk memperkirakan kekuatan beton yang direncanakan, sebagai berikut :

$$\sigma'_{28} = G \cdot \sigma_c' \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right), \text{ dimana :}$$

$\sigma'_{28}$  : Kekuatan beton rata-rata dari benda uji.

Silinder  $\varnothing$  16 cm - 30 cm pada umur 28 hari.

G : Koefisien granular, yaitu bagian volume yang diisi oleh bahan butiran.

$\sigma_c'$  : Kekuatan semen yang digunakan.

C : Berat semen yang digunakan tiap  $m^3$  beton.

E : Berat air pencampur untuk satu  $m^3$  beton.

### II. 1.1. Pengaruh kekompakan butiran

Dalam rumus diatas, kekompakan bahan butiran dicerminkan dengan harga G (koefisien granuler). Makin besar harga G berarti beton makin kompak, yang akhirnya kekuatan makin meningkat. DREUX memberikan harga-harga G ini antara 0.35 a 0.65, tergantung dari ukuran butiran maksimum (D) seperti terlihat dalam tabel 4.

ABRAMS mencerminkan kekompakan butiran ini dengan harga modulus kehalusan (Mf) dari gabungan pasir dan kerikil. Harga-harga yang optimal dari modulus kehalusan butiran gabungan tersebut, tergantung dari ukuran maksimum dari butiran (D) dan berat semen untuk tiap  $m^3$  beton seperti terlihat dalam tabel 5.

Baik DREUX maupun ABRAMS, mempunyai pemikiran yang sama mengenai kekompakan butiran ini, yaitu butiran yang lebih kecil mengisi ruang kosong diantara butiran yang besar. Untuk dapat mengetahui harga modulus kehalusan butiran (Mf) ini, diperlukan analisis saringan. Apabila dilihat kurva distribusi butirannya, susunan butiran yang kompak ini berbentuk cekung, seperti yang dianjurkan oleh P.B.I - 1971 [3].

### II.1.2. Pengaruh kadar air (jumlah air)

Dari rumus DREUX diatas dapat dilihat, bahwa kekuatan beton akan meningkat jika dosis airnya berkurang. Rumus ini juga menunjukkan



bahwa kekuatan beton akan tetap, berapapun kadar semennya, asal harga C nya mempunyai harga yang tetap, dengan syarat [2] :

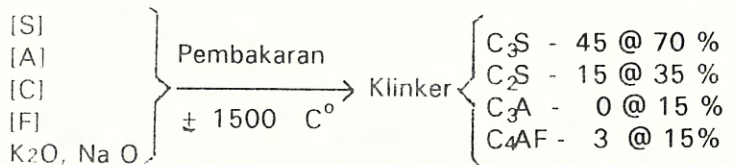
- $\frac{C}{E}$  mempunyai harga antara 1, 5, a 2,5
- kadar semen tidak kurang dari 300 kg/m<sup>3</sup> beton.

Jika syarat ini dipenuhi, maka penambahan jumlah semen hanya berperan dalam konsistensi (nilai slump) beton, yang menyangkut kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan. Meskipun nilai C sama, tetapi jumlah semennya berbeda, maka nilai slumpnya akan berbeda. Oleh karena itu untuk nilai C yang sama, tetapi jumlah semennya lebih banyak, maka beton dengan jumlah semen yang lebih banyak ini akan lebih mudah dikerjakan daripada beton dengan semen yang lebih sedikit. Dengan kata lain untuk konsistensi yang sama, jika semennya lebih banyak, nilai C dapat diperbesar, sehingga kekuatan beton akan meningkat.

## II.2. Peran admixture (bahan penambah kimia)

Sebenarnya air untuk keperluan hidrasi hanya sekitar 20 % dari berat semen [5]. Namun apabila campuran beton dengan air pengaduk hanya 20 % dari berat semen, maka beton tersebut akan sangat kering dan tidak mungkin dapat dikerjakan. Agar campuran beton dapat dikerjakan, maka keperluan airnya jauh lebih banyak daripada keperluan hidrasinya. Air yang tidak terpakai hidrasi (air kelebihan) akan tetap tinggal didalam beton sebagai air interposisi (terjepit diantara butiran) dan air absorpsi (menempel pada permukaan butiran) [6]. Dengan demikian air kelebihan ini akan membentuk gelembung-gelembung air didalam beton sehingga akan memperlemah beton tersebut.

Plasticizer atau super plasticizer merupakan pelumas didalam campuran beton, sehingga gesekan antara butiran berkurang, air lebih mudah membasahi permukaan bahan butiran dan adukan beton lebih licin (lebih workable). Akibatnya untuk konsistensi yang sama, adukan beton yang ditambahi super plasticizer, dosis airnya dapat dikurangi, sehingga kekuatan betonnya dapat meningkat.



## II.3. Peran fly ash

Fly ash atau abu sentral termik merupakan limbah sentral termik (PLTU) yang butirannya lebih halus dari pada semen portland, yang mempunyai sifat hidrolik seperti puzzolan [2] [7]. Sifat hidrolik seperti puzzolan berarti dapat mengubah kapur mati [Ca(OH)<sub>2</sub>] sebagai mortar udara menjadi mortar hidrolik. Pada mulanya fly ash ini digunakan sebagai bahan penambah semen dengan kadar 5 % a 20 % dengan maksud untuk menambah plastisitas adukan beton (workability) dan menambah kekedapan beton [2], dimana penambahan fly ash ini dilakukan pada waktu penggilingan klinker. Oleh karena fly ash ini mempunyai butiran yang lebih halus daripada butiran semen dan mempunyai sifat hidrolik, maka seharusnya fly ash tidak sekadar menambah kekedapan beton, tetapi juga dapat menambah kekuatannya. Pemikiran ini sangat beralasan, karena secara mekanik fly ash ini akan mengisi ruang kosong (rongga) diantara butir-butir semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolik pada kapur mati yang dihasilkan dari hidrasi, dimana mortar hidrolik ini akan lebih kuat daripada mortar udara (kapur mati + air).

Pembentukan kapur mati [Ca(OH)<sub>2</sub>] dari semen sendiri mengandung batu kapur. Bahan dasar semen adalah campuran tanah liat dan batu kapur [6], yang didalamnya terkandung senyawa-senyawa berikut :

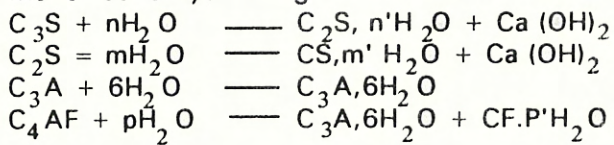
- Silikat [ SiO<sub>2</sub>], dalam istilah semen ditulis [S]
- Aluminat [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], dalam istilah semen ditulis[A]
- Kalsium Oksida [CaO], dalam istilah semen ditulis[C]
- Ferrit [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], dalam istilah semen ditulis[F]
- dan jumlah kecil k<sub>2</sub>O, NaO

Senyawa-senyawa ini dibakar sampai suhu 1500<sup>0</sup> C sehingga menghasilkan klinker, kemudian klinker ini ditumbuk halus menjadi semen portland buatan.

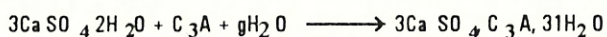
Adapun senyawa yang terdapat dalam semen adalah sebagai berikut :



Apabila semen ini bereaksi dengan air (hidrasi), maka reaksinya sebagai berikut :



m dan n adalah jumlah air yang tidak tetap, sedangkan  $Ca(OH)_2$  adalah kapur mati, yang merupakan mortar udara dan merupakan kristal yang paling lemah didalam beton. Jumlah kapur mati ini dapat mencapai sampai  $\pm 35\%$ . Makin tinggi jumlah kapur didalam beton, maka betonnya akan makin lemah. Untuk menbatasi pembentukan kapur mati dalam beton, maka kedalam semen ditambahkan  $\pm 5\%$  gypse ( $CaSO_4, 2H_2O$ ). Gypse ini dengan adanya air akan bereaksi dengan  $C_2A$ , sehingga terbentuk ettringite ( $3CaSO_4, C_3A, 31H_2O$ ). Reaksi ini sangat cepat setelah bersentuhan dengan air dan yang paling cepat diantara komponen yang lain (setelah lebih kurang satu detik bersentuhan dengan air).



Oleh karena reaksinya paling dulu, maka ettringite dapat membatasi pembentukan kapur mati yang prosesnya sebagai berikut :



Dari proses ini terlihat, bahwa peranan fly ash adalah untuk memberikan sifat hidrolik pada kapur mati [ $Ca(OH)_2$ ] sehingga menjadi kapur hidrolik.

### III. PENELITIAN

#### III. Lingkup Penelitian

Untuk beton biasa (normal), yaitu beton yang tidak menggunakan admixture (superplastisizer) dan tidak menggunakan fly ash, kekuatannya dapat ditingkatkan dengan mempertinggi kekompakan butiran dan mengurangi kadar air. Untuk mempertinggi kekompakan butiran, umumnya tidak merupakan masalah, karena banyak cara yang dapat dilakukan untuk keperluan ini, misalnya cara yang dianjurkan oleh P.B.I - 1971 [3] atau cara DREUX dan ABRAMS [2] [8] yang digunakan dalam penelitian ini. Lebih-lebih dewasa ini, untuk butiran kasar lebih banyak digunakan batu pecah daripada kerikil sungai, dimana ukuran batu pecah ini dapat ditentukan lebih dulu (dipesan).

Lain halnya dengan pengurangan kadar air, karena menyangkut kemudahan pekerjaan (workability), maka tidak mudah dilaksanakan. Sedangkan dilain pihak pengaruh kadar air ini sangat sensitif terhadap kekuatan beton, sehingga orang lebih suka menambah kadar semen dari pada mengurangi kadar air untuk mencapai kekuatan tertentu, tanpa memikirkan efek sampingannya, seperti susut dan rangkai beton.

Dengan demikian dalam hal pembuatan mutu tinggi itu, masalah utamanya adalah pengurangan kadar air sehingga sedapat mungkin mendekati keperluan hidrasi, sedangkan penambahan superplastisizer dan penambahan semen hanya masalah kemudahan pekerjaan (workability).

Adapun peran fly ash, karena berfungsi sebagai pengisi ruang kosong diantara butiran semen dan memberikan sifat hidrolik pada kapur mati yang dihasilkan pada waktu hidrasi, maka sudah tentu akan meningkatkan kekuatan. Namun seberapa jauh kemampuan fly ash tersebut, tampaknya tergantung pada tipe (jenis) semen yang digunakan. Hal ini disebabkan karena tiap jenis semen kandungan komponen dan kehalusan butirannya belum tentu sama.

Berdasarkan pemikiran ini, maka lingkup penelitian ini menyangkut :

- Kekuatan, yang dicerminkan dengan kekuatan tekan dan kekuatan lentur.
- Kemudahan pekerjaan (workability), yang



ditunjukkan dengan nilai slump sebagai pengaruh dari super plasticizer.

- c. Pengaruh penambahan fly ash terhadap kekuatan dan konsistensi (workability), yang ditunjukkan oleh perbandingan berat fly ash terhadap berat semen yang bersangkutan dalam %.

Penelitian ini dilakukan dengan percobaan-percobaan yang kondisinya tidak jauh berbeda dengan kondisi apabila beton tersebut dibuat di lapangan ( site )

### III. 2 Data-data bahan

Untuk perhitungan komposisi campuran, maka sudah tentu diperlukan data-data bahan yang di gunakan.

#### III. 2.1 Semen

Semen yang digunakan adalah semen tipe I Tiga Roda. Berat jenisnya dianggap sama dengan 3,1 kg/l, sedangkan kekuatannya ( $\sigma_c$ ) tidak diketahui. Apabila kekuatan semen ini diketahui, kekuatan beton dapat diperkirakan sebelumnya dengan rumus DREUX diatas. Di Eropa sendiri, meskipun kekuatan semen ini dicantumkan pada kantong semennya, namun selama semen tersebut masih segar, kekuatan nyatanya jauh melebihi angka yang tercantum itu. Disamping itu jika memang ada bermacam-macam kekuatan dari semen yang diproduksi, maka kenyataannya perbedaan tersebut tidak begitu jelas [1]

#### III.2.2 Pasir

Butiran (agregat) halus yang digunakan adalah pasir Galunggung (butiran alam). yang setelah butirannya yang lebih besar dari  $L + 5$  mm dipisahkan, distribusi butirannya (Kurva granulometriknya) seperti terlihat pada gambar - 2. adapun data-datanya sebagai berikut :

- Modulus kehalusan (Mf)  $\pm 2,80$
- Berat Jenis S.S.D.  $\pm 2.57$
- Kadar lumpur rata-rata  $\pm 5,06\%$

#### III.2.3 Batu pecah

Butiran (agregat) kasar digunakan batu pecah yang diambil dari daerah Banjaran, kabupaten Bandung. Jenis batuan ini adalah andesit (batuan vulkanik ekstrusif) dengan berat jenis  $+ 2,65$ .

Ukuran yang digunakan terdiri dari dua fraksi,

menurut mata saringan bujur sangkar, yaitu fraksi antara 5 mm @ 12,5 mm dan fraksi antara 12,5 mm @ 25 mm. Dengan demikian ukuran maksimum butiran D adalah 25 mm.

#### III. 2.4 Fly ash

Fly ash diambil dari P.L.T.U. Suryalaya, tidak ada data yang diketahui.

#### III. 2.5 Super plasticizer

Super plasticizer yang digunakan adalah SIKAMENT NN dengan berat jenis 1,2 Dosis yang diberikan oleh produsennya adalah antara 0,8 @ 3% dari berat semen.

### III. 3 Perhitungan campuran

#### III .3.1. Penentuan susunan butiran gabungan

Susunan butiran gabungan dihitung dengan dua cara , yaitu cara DREUX [2] [8] dan kombinasi cara DREUX dan cara ABRAM [2].

##### a. Susunan butiran dengan cara DREUX

Dalam cara ini terlebih dulu harus dibuat kurva patokan (reference) dengan koordinat titik patah A(x,y), seperti terlihat pada gambar -2

Absis X mempunyai nilai  $\frac{D}{2}$  , dimana D adalah ukuran butiran maksimum, dalam hal ini sama dengan 25 mm, maka  $X = 12,5$  mm Ordinat Y dihitung dengan rumus :

$$y = 50 - \sqrt{D} + k$$

k adalah faktor koreksi yang tercantum dalam tabel -2.

Disini dianggap, bahwa dosis semen sama dengan  $400 \text{ kg/m}^3$  beton dengan admixture dan pematatan beton yang kuat, maka nilai  $k = - 4$ .

Dengan demikian :

$$y = 50 - \sqrt{25} - 4 = 41 \%$$

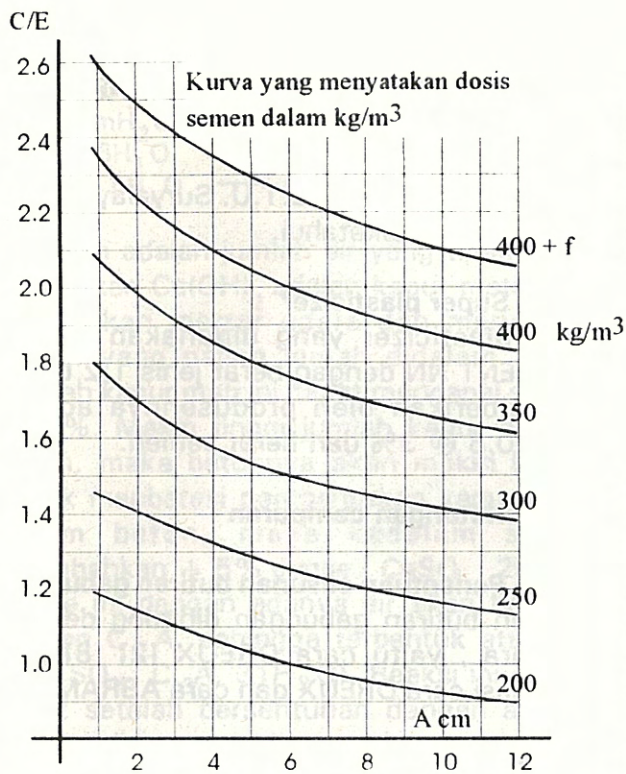
Jadi koordinat titik patah : A(12,5 mm, 41%)

Titik-titik yang dilalui bilinier adalah : B(0,100 mm, 0 %) ---A(12,5 mm, 41%) ---C(25 mm, 100%).

Dari gambar - 2 ini dapat dibaca persentase-persentase berikut :

- Pasir 0,100 mm @ 5 mm = 35 %
- Batu Pecah 5 mm @ 12,5 mm = 6 %





**Gambar - 1 :  $C = f(C/E, A)$   
A = Tinggi Slump**

**Tabel - 1 : Koreksi kadar air E sebagai fungsi dari D**

$D_1$ mm	5	10	16	25	40	63	100
Koreksi $E_1$ %	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

**Tabel - 2 : Harga-harga  $K, K_s, K_p$**

Pemadatan		lemah		normal		Kuat	
macam butiran		alam	pecah	alam	pecah	alam	pecah
Dosis semen ( $\text{kg/m}^3$ )	400 + fluidt	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Koreksi -  $K_s$  : Jika  $M_f \neq 2,5$  ,  $K_s = 6 M_f - 15$   
 Koreksi -  $K_p$  : Untuk beton yang dipompa  $K_p = +5a + 10$

**Tabel - 3 : Harga-harga koefisien kekompakan  $\gamma$**

Kental Beton	Cara Pemadatan	D = 5	D = 10	D = 16	D = 25	D = 40	D = 63	D = 100
Lembek	tusukan .....	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	pemadatan lemah .....	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	pemadatan normal .....	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Lembek	tusukan .....	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	pemadatan lemah .....	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	pemadatan normal .....	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	pemadatan kuat .....	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Lembek	pemadatan lemah .....	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	pemadatan normal .....	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	pemadatan kuat .....	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

- Harga-harga diatas berlaku untuk butiran alam, jika tidak, g dikoreksi :  
 - 0.01 untuk pasir alam + batu pecah - 0.03 untuk butiran dari batu pecah
- Butiran ringan : dikurangi dengan 0.03
- Untuk  $C = 350 \text{ kg/m}^3$ , dikoreksi dengan :  $(C - 350) / 5000$



- Batu pecah 12,5 mm @ 25 mm = 59 %  
 Dari susunan butiran gabungan ini dapat dihitung, bahwa modulus kehalusannya (Mf) adalah 5,47 dan selanjutnya susunan butiran ini disebut susunan butiran A. Setelah absis 5 mm, susunan butiran A ini kurvanya berimpit dengan kurva patokan (reference).

### b. Kombinasi cara DREUX - ABRAMS

Susunan butiran gabungan DREUX-ABRAMS ini kurva patokannya sama dengan susunan butiran A. Agar susunan butiran gabungan mempunyai modulus kehalusan (Mf) seperti yang dianjurkan ABRAMS, maka pasir disaring lagi menjadi dua fraksi, yaitu fraksi 0,100 mm @ 2 mm dan fraksi 2 mm @ 5 mm. Susunan butirannya seperti terlihat pada gambar -2, yang selanjutnya disebut susunan butiran B. Persentase-persentasenya adalah sebagai berikut:

- pasir : 0,100 mm @ 2 mm = 26 %
- pasir : 2 mm @ 5 mm = 5%
- batu pecah : 5 mm @ 10 mm = 5%
- batu pecah : 10 mm @ 12,5 mm = 5%
- batu pecah : 12,5 mm @ 25 mm = 59%

Apabila dihitung modulus kehalusannya susunan butiran gabungan ini adalah 5,61 dimana angka ini cocok dengan tabel -5, modulus kehalusan dari ABRAMS untuk dosis semen 400 kg/m<sup>3</sup> beton dan ukuran butiran maksimum (D) sama dengan 25 mm. Mulai absis 12,5 mm, susunan butiran B ini kurvanya berimpit dengan kurva patokan.

### III.3.2 Perhitungan komposisi campuran untuk tiap m<sup>3</sup> beton

Jumlah butiran halus (pasir) dan butiran kasar (batu pecah) untuk tiap m<sup>3</sup> beton tergantung pada dosis semen.

#### a. Untuk susunan butiran A

Variasi dosis semen untuk susunan butiran A adalah 400 kg/m<sup>3</sup> dan 480 kg/m<sup>3</sup> beton, dengan variasi faktor air-semen (E/c) 0,37,

0,35, 0,33 dan 0,30. Variasi dosis fly ash adalah 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % dari berat semen, sedangkan variasi dosis super plasticizer adalah 1 % dan 1,5 % dari berat semen.

Tabel - 4 Koefisien Granuler menurut DREUX

Ukuran maksimum butiran (D) (mm)			
Kualitas butiran	Kecil (D < 10 mm)	Menengah (25mm < D < 40mm)	Besar (D > 63 mm)
Baik sekali	0,55	0,60	0,65
Baik	0,45	0,50	0,55
Dapat dipakai	0,35	0,40	0,45

Tabel-5 Modulus kehalusan gabungan yang optimal dari ABRAM

Kadar semen kg/m <sup>3</sup>	Ukuran maksimum butiran (D) (mm)						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,60	5,80	6,00
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,60	5,80	6,00
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,60	5,80	6,00
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,60	5,80	6,00

Koefisien kekompakan  $\gamma$  diambil dari tabel -3, untuk konsistensi beton plastis dengan pemadatan kuat dan ukuran butiran maksimum (D) = 25 mm. Nilai  $\gamma$  tersebut adalah 0,830. Dengan demikian volume mutlak (absolut) dari semen dan butiran (bahan padat) adalah 830 l/m<sup>3</sup> beton

#### - Untuk dosis semen 400 kg/m<sup>3</sup> beton

$$\begin{aligned} \text{Volume mutlak semen} &= \frac{\text{dosis semen}}{\text{berat jenis}} = \frac{400 \text{ l}}{3,1} \\ &= 129 \text{ Liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume mutlak butiran} &= (830 - 129 \text{ l}) \\ &= 701 \text{ liter} \end{aligned}$$

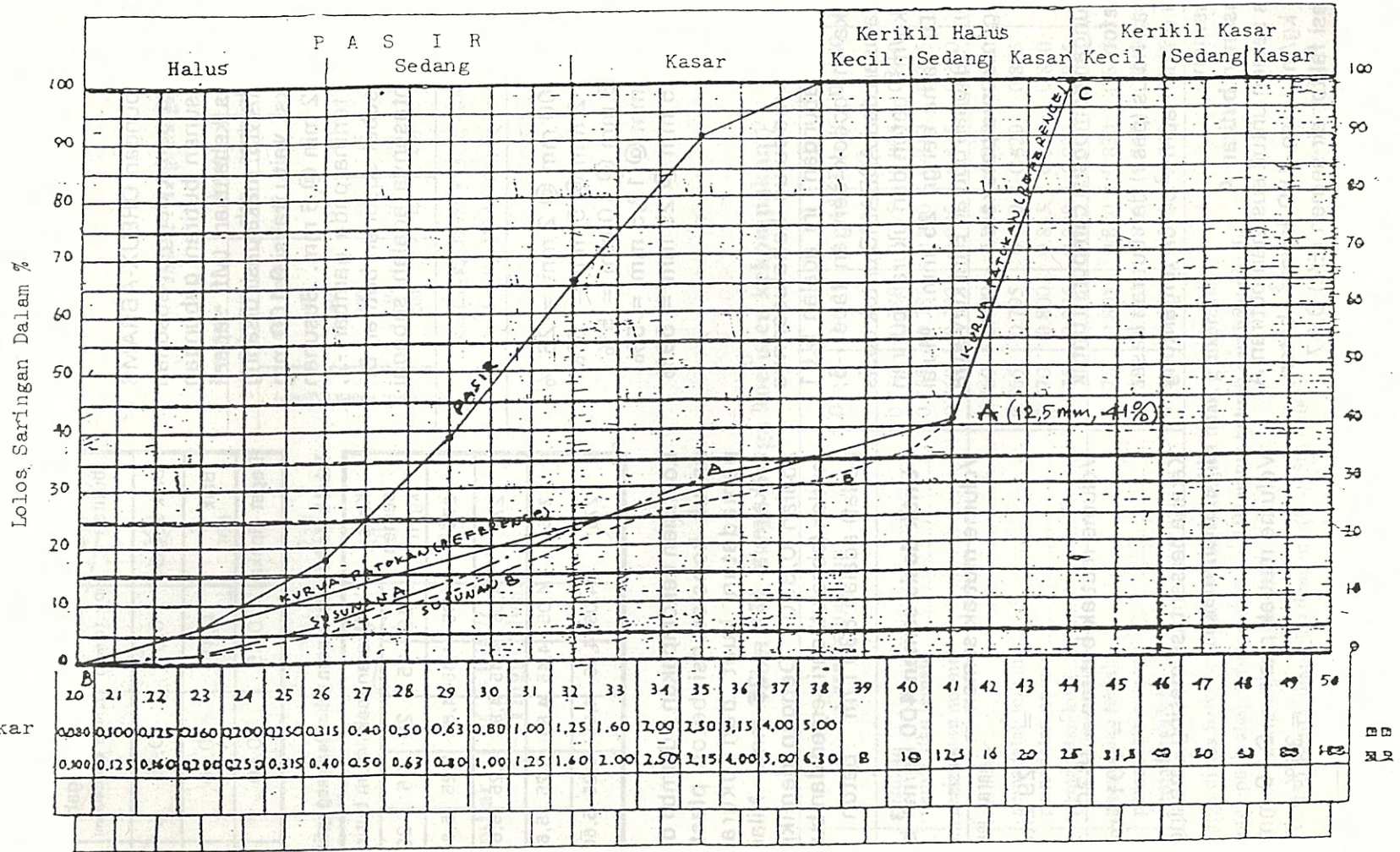
Karena persentase masing - masing fraksi telah diketahui, maka :

$$\begin{aligned} \text{Volume mutlak pasir} &= 0,10 \text{ mm @ 5mm} \\ &= 35\% \times 701 \text{ liter} \end{aligned}$$



## ANALISIS GRANULOMETRIK (Saringan) DARI BUTIRAN

Dikeluarkan Oleh Asosiasi Normalisasi Perancis  
( Afnor )



OBSERVASI :

MACAM BUTIRAN :

Gambar - 2 Susunan Butiran



= 245,35 liter

Volume mutlak batu pecah =  
5 mm @ 12,5 mm = 6% x 701 liter  
= 42,06 liter

Volume mutlak batu pecah =  
12,5 mm @ 25 mm = 59% x 701 liter  
= 413,59 liter

Jika berat jenis pasir 2,57 dan berat jenis batu pecah 2,65 maka berat masing-masing fraksi butiran untuk tiap m<sup>3</sup> beton adalah :

pasir : 0,10 mm @ 5mm = 245,35  
x 2,57 kg = 631 kg  
batu pecah : 5mm @ 12,5 mm = 42,06 x  
2,65 kg = 111,50 kg  
batu pecah : 12,5 mm @ 25 mm = 413,59  
x 2,65 kg = 1096 kg

Dengan cara yang sama :

- untuk dosis semen 440 kg/m<sup>3</sup> beton  
pasir : 0,10 mm @ 5 mm = 619 kg  
pasir pecah : 5 mm @ 12,5 mm = 109 kg  
batu pecah : 12,5mm @ 25mm = 1076 kg

- untuk dosis semen 480 kg/m<sup>3</sup> beton  
pasir : 0,10 mm @ 5 mm = 607 kg  
batu pecah : 5mm @ 12,5 mm = 107 kg  
batu pecah : 12,5mm @ 25mm = 1055kg

Untuk campuran beton dengan dosis semen 400 kg/m<sup>3</sup>, dengan faktor air semen ( $\frac{E}{C} = 0,37$  tanpa super plasticizer ) ternyata tidak dapat dikerjakan, karena beton tersebut terlalu kering.

#### b. Untuk susunan butiran B

Variasi dosis semen untuk susunan butiran B adalah 400kg/m<sup>3</sup> dan 440 kg/m<sup>3</sup> beton. Faktor air semen hanya diambil satu harga,

yaitu  $\frac{E}{C} = 0,37$  dan dosis super plasticizer

untuk semua campuran hanya 1% dari berat semen. Variasi fly ash seperti halnya untuk susunan butiran A, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen.

Dengan cara yang sama seperti susunan butiran B adalah sebagai berikut :

- Untuk dosis semen 400 kg/m<sup>3</sup> beton  
pasir : 0,10mm @ 2mm = 468 kg  
pasir : 2mm @ 5mm = 90 kg  
batu pecah : 5mm @ 10mm = 93 kg  
batu pecah : 10mm @ 12,5mm = 93 kg  
batu pecah : 12,5mm @ 25mm = 1096 kg

- untuk dosis semen 440 kg/ m<sup>3</sup> beton  
pasir : 0,10mm @ 2mm = 460 kg  
pasir : 2mm @ 5mm = 88,4kg  
batu pecah : 5mm @ 10mm = 91 kg  
batu pecah : 10mm @ 12,5mm = 91 kg  
batu pecah : 12,5mm @ 25mm = 1076kg

### III. 4 Percobaan

#### III. 4. 1 Pembuatan benda uji

Pengadukan beton dilakukan dalam keadaan kering selama ± 5 menit lagi dalam keadaan basah. Setelah diukur slumpnya, beton dituangkan kedalam cetakan dan dipadatkan dengan meja getar.

Untuk percobaan tekan dibuat 6 buah benda uji kubus dengan ukuran 10 x 10 x 10 cm<sup>3</sup>. Ukuran benda uji ini diambil mengingat kemampuan maksimum dari mesin penekan hanya 100 ton. Benda uji untuk percobaan lentur adalah tiga buah prisma dengan ukuran 10 x 10 x 50 cm<sup>3</sup>. Kedua ukuran benda uji tersebut masih memenuhi syarat, karena ukuran minimum dari benda uji harus empat kali lebih besar dari ukuran maksimum butiran (D) [2]. Untuk dapat disesuaikan dengan benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm<sup>3</sup>, maka hasil-hasil yang diperoleh dari kubus 10 x 10 x 10 cm<sup>3</sup> ini dibagi dengan angka 1,1.

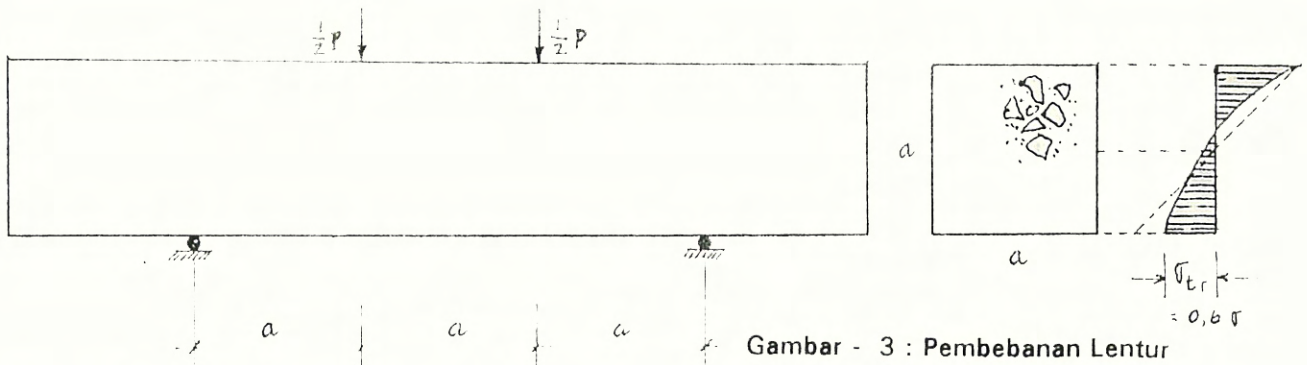
Setelah beton berumur satu hari cetakan dibuka dan benda uji direndam didalam air selama 4 hari.

#### III. 4.2 Pembebanan

Pembebanan tekan maupun lentur dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari. Hal ini dimaksudkan agar segera diketahui hasilnya. Untuk memperkirakan kekuatan pada umur 28 hari, kekuatan pada umur 7 hari tersebut dibagi dengan angka 0,65.

Pembebanan tarik lentur dilakukan seperti pada gambar -3





Gambar - 3 : Pembebanan Lentur

Momen Maksimum  $M_{maks} = 1/2 P \cdot a$   
Momen perlawanan  $W = 1/6 a^3$

Tegangan tarik lentur  $\sigma_{tr} = 0,6$

Pada percobaan ini  $a = 10$  cm dan angka 0,6 adalah faktor koreksi sehubungan dengan distribusi tegangan akibat lentur sampai patah ( Gambar - 3 ) [2]

### III. 5 Hasil - hasil percobaan

Hasil-hasil percobaan tercantum dalam tabel - 6 dan tabel - 7 . Hasil-hasil ini merupakan harga rata-rata dari enam benda uji untuk kekuatan tarik lentur. Secara sepintas dapat dibaca dari tabel-tabel ini, bahwa berat jenis dari benda uji lebih tinggi dari beton biasa, yaitu sekitar 2,65. Hal ini karena kekompakan yang tinggi, faktor air semen yang rendah dan kadar semen yang relatif tinggi.

## IV. PEMBAHASAN

### IV. 1 Kemudahan Pekerjaan ( workability )

#### IV. 1.1 Pengaruh susunan butiran

Beton sebagai hasil dari susunan butiran B work ability - nya rendah (lebih sulit dikerjakan) daripada susunan butiran A. Work-ability rendah ini diperlihatkan dengan beton yang sangat kaku, karena tampaknya seperti kekurangan butiran halus (pasir), padahal modulus kehalusannya sebagaimana yang diusulkan ABRAMS [2] . Pasir pada susunan butiran B 4% lebih rendah daripada susunan butiran A, yaitu untuk susunan butiran A pasirnya 35% dan untuk susunan butiran B pasirnya 31% apabila dilihat perbedaan modulus kehalusan gabungannya sangat kecil yaitu modulus kehalusan (Mf) susunan butiran A adalah 5,47 dan modulus kehalusan susunan butiran B adalah 5,61.

Tampaknya tabel modulus kehalusan optimal dari ABRAMS tersebut berlaku untuk kerikil alam (sungai) dan bukan untuk batu pecah, karena untuk batu pecah ruang kosongnya lebih besar dari kerikil alam, yaitu ruang kosong batu pecah  $\pm 41$  % dan ruang kosong kerikil alam hanya  $\pm 34$  % [5].

Oleh karena beton dengan susunan butiran B sangat kaku ( workability rendah ), maka variasi kadar semennya hanya untuk  $400\text{kg}/\text{m}^3$  dan  $440\text{kg}/\text{m}^3$  beton, dengan hanya satu

nilai faktor air semen, yaitu  $\frac{E}{C} = 0,37$ .

Apabila makin rendah kadar butiran halusnya (pair ), beton akan makin kaku [2]

### IV. 1.2 Pengaruh admixture (super plasticizer)

Pengaruh super plasticizer pada konsistensi (work-ability) sangat jelas, hal ini dapat dilihat dari nilai slumpnya yang tertulis pada kolom 6, tabel -6 dan tabel -7.

Sebagai contoh beton campuran A dengan kadar semen  $400\text{kg}/\text{m}^3$  dan faktor air semen

$(\frac{E}{C}) = 0,37$  yang semula nilai slumpnya = 0,

setelah ditambahkan S.P. sebesar 1%, nilai slumpnya bertambah menjadi 2 a 5 cm, dimana konsistensi ini merupakan konsistensi yang plastis (work-able). Andaikata S.P. nya ditambah 0,5% lagi, nilai slumpnya akan lebih besar lagi. Disini pemakaian S.P. dibatasi antara 1% a 1,5%, karena apabila dosisnya lebih tinggi, dikhawatirkan akan banyak mempengaruhi evolusi kekuatan beton, lebih-lebih pada percobaan ini pembebanan dilakukan pada umur 7 hari.

Untuk campuran B, ternyata dosis S.P. sebesar 1% ini tidak banyak mengubah konsistensi beton, seperti terlihat nilai slumpnya pada tabel -7. Dengan kata lain betonnya tetap kaku sehingga kemungkinan untuk dapat dikerjakan di lapangan sangat sulit dengan dosis S.P. 1% ini.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No.	Dosis semen	Faktor air-semen	Super plasticizer	Fly ash	Slump	Berat jenis	otekan 7 hari kubus 10 cm	Perkiraan otekan 28 hari kubus 10 cm (kolom 8/0,65)	Perkiraan otekan 28 hari kubus 15 cm (kolom 9/1,1)	otarik lentur 7 hari	Perkiraan otarik lentur 28 hari (kolom 11/0,65)
	kg/m <sup>3</sup> beton	$\frac{E}{C}$	% berat semen	% berat semen	cm		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	400	0,37	0	0	-	-	-	-	-	-	-
2	400	0,37	1	0	0	2,64	600	923	840	24,38	37,51
3	440	0,37	0	0	0	2,67	630	970	882	26,70	41,08
4	440	0,37	1	0	2	2,64	617	949	862	25,68	39,51
5	440	0,37	1	5	5	2,63	623	958	871	31,29	48,14
6	440	0,37	1	10	4,9	2,65	685	1054	958	25,05	38,54
7	440	0,37	1	15	1,4	2,62	721	1109	1009	32,22	45,57
8	440	0,37	1	20	3	2,62	663	1020	927	29,31	45,09
9	440	0,35	1	10	1,6	2,66	699	1075	978	31,47	48,42
10	440	0,35	1	15	1,9	2,66	726	1116	1015	30,48	46,89
11	480	0,33	1,5	15	3,1	2,65	745	1146	1042	34,20	52,62
12	440	0,30	1,5	15	0	2,65	769	1209	1099	45,59	61,75

Tabel - 6 :  
Hasil Percobaan untuk susunan butiran A (DREUX)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No.	Dosis semen	Faktor air-semen	Super plasticizer	Fly ash	Slump	Berat jenis	otekan 7 hari kubus 10 cm	Perkiraan otekan 28 hari kubus 10 cm (kolom 8/0,65)	Perkiraan otekan 28 hari kubus 15 cm (kolom 9/1,1)	otarik lentur 7 hari	Perkiraan otarik lentur 28 hari (kolom 11/0,65)
	kg/m <sup>3</sup> beton	$\frac{E}{C}$	% berat semen	% berat semen	cm		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	400	0,37	0	0	0	2,67	574	882	802	26,69	41,05
2	400	0,37	1	0	0	2,68	634	975	886	23,82	36,65
3	440	0,37	0	0	0	2,67	605	931	847	34,05	52,38
4	440	0,37	1	0	0,8	2,66	581	894	813	27,75	42,69
5	440	0,37	1	5	0,7	2,65	631	971	882	27,27	41,95
6	440	0,37	1	10	1,1	2,64	643	989	899	30,18	46,43
7	440	0,37	1	15	0,8	2,63	695	1069	972	28,32	43,57
8	440	0,37	1	20	0	2,62	666	1025	932	32,31	49,71

Tabel - 7 :  
Hasil percobaan untuk susunan butiran B  
( kombinasi DREUX - ABRAMS )



### IV.1.3 Pengaruh fly ash

Flay ash merupakan bagian yang paling halus dari bahan padat dari campuran beton, yang sudah tentu akan ikut mengisap air pencampur beton. Namun demikian perubahan konsistensi beton tampak jelas apabila dosis fly ash melebihi 10% dari berat semen.

## IV. 2 Kekuatan

### IV.2.1 Pengaruh faktor air semen $\frac{E}{C}$

Besar kecilnya jumlah air semen ( $\frac{E}{C}$ )

menentukan besar kecilnya jumlah air kelebihan hidrasi didalam beton. Sebagai akibatnya, jumlah air kelebihan tadi akan berpengaruh pada tinggi rendahnya kekuatan beton. Selama kadar airnya melebihi keperluan hidrasi. makin kecil nilai faktor air semen, maka kekuatannya makin tinggi [2]

Kemungkinan memperkecil faktor air-semen yang konsistensinya sangat peka ( slump = 0 ) menurut ukuran campuran tanpa S.P. tergantung keampuhan dan dosis dari S.P. tertentu. Misalnya untuk kadar semen 400kg/m<sup>3</sup>, faktor air-semen yang masih dapat diterapkan adalah 0,37 dengan slump sama dengan 0. Apabila dengan kadar yang sama (400kg/m<sup>3</sup>), faktor air-semennya diambil lebih kecil dari 0,37, pasti kekuatannya akan meningkat, karena air untuk keperluan hidrasi semen tipe I ini sekitar 20% dari berat semen [5]. Dilain pihak workability dari beton yang bersangkutan tergantung dari keampuhan dan dosis dari S.P. yang digunakan.

Seberapa jauh faktor air-semen ini dapat diperkecil, sudah pasti harganya masih akan lebih besar dari 20%, karena konsistensi pasta semennya menurut percobaan VICAT seperti terlihat pada tabel -8

Tabel -8 : Konsistensi pasta semen sebagai fungsi dari air-semen ( $\frac{E}{C}$ )

Faktor air-semen E/C	Turunnya Jarum VICAT	Konsistensi
0,2	0 mm	lembab
0,22	14mm	basah
0,23	25mm	lacak

Dilihat dari angka konsistensi pasta pada tabel -8, memang air sekedar keperluan hidrasi ini kurang lebih 20% dari berat semen. Dengan pertambahan faktor air-semen sebesar 0,03, konsistensi pasta berubah dari lembab menjadi lacak, karena pada faktor air-semen sebesar 0,23, disamping jarum VICAT sudah menunjukkan angka 25 mm, juga sudah terlihat adanya bleeding (pengendapan). Dapat diperkirakan apabila faktor air-semen diambil sebesar 0,25, mungkin konsistensi pasta sudah cair, sehingga tampaknya apabila S.P. nya sangat ampuh, masih mungkin mengambil faktor air-semen untuk campuran beton diatas lebih kecil dari 0,3 atau bahkan sampai dapat mencapai 0,25 dengan konsistensi yang plastis (workable).

Dalam percobaan ini tidak diambil dosis S.P. lebih dari 1,5%, karena S.P. ini mempunyai sifat memperlambat pengikatan dan pengerasan semen. Produsennya sendiri, untuk super plastizer SIKAMENT NN ini mengijinkan penggunaannya dengan dosis antara 0,8% a 3% dari berat semen.

Apabila dilihat dari hasil-hasil pada tabel -6 dan tabel -7, lajur no. 3 dan lajur no. 4, untuk campuran beton dengan kadar semen 440 kg/m<sup>3</sup>, campuran yang menggunakan S.P. sebesar 1%, kekuatannya lebih rendah dari pada beton normal (tanpa S.P.). Jika super plasticizer ini memang mempunyai sifat memperlambat pengikatan dan pengerasan semen, beton yang bersangkutan mempunyai kekuatan awal yang rendah dan mempunyai kekuatan akhir yang tinggi dibandingkan dengan beton normalnya. Kekuatan beton dengan admixture pelambat (retarder), akan mempunyai kekuatan yang sama dengan beton normalnya apabila umurnya telah mencapai ± 90 hari [1] [2].

Sebelum berumur 90 hari kekuatannya lebih rendah dari beton normal dan sesudah 90 hari kekuatannya lebih tinggi dari beton normal yang bersangkutan.

Untuk campuran beton yang diperlambat dengan retarder dengan dosis yang ditetapkan oleh produsennya, kekuatan tekan pada umur 7 hari sekitar 75% dan kekuatan pada umur 28 hari sekitar 90% dari kekuatan beton normalnya [1] [2]. Dengan demikian penurunan kekuatan yang terlihat pada tabel -6 dan tabel -7, memang akibat dari penam -



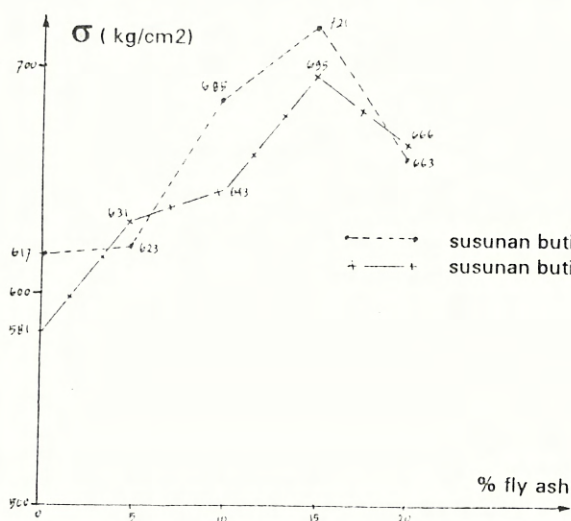
bahan S.P. Yang belum jelas disini adalah persentase penurunan kekuatan awal dari beton akibat jenis (merek) dan variasi dosis dari super plasticizer yang digunakan.

Dalam hal kekuatan tarik tampaknya sejalan dengan kekuatan tekannya. Secara umum besarnya kekuatan tarik lentur ini berkisar antara 4 a 5% dari kekuatan tekannya. Mungkin karena kekuatan tarik lentur ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, maka perubahannya kurang sensitif.

#### IV.2.2 Pengaruh fly ash

Dari tabel -6 dan tabel -7, tampak jelas pengaruh fly ash pada kekuatan beton, dimana campuran beton dengan dosis dari 5% sampai dengan 15% dari berat semen memperlihatkan peningkatan kekuatan kemudian untuk dosis fly ash 20% kekuatan beton menurun lagi.

Seperti telah dibicarakan sebelumnya, bahwa peran penambahan fly ash ini secara mekanik mengisi ruang kosong diantara butiran semen dan secara kimiawi mengubah kapur mati yang timbul pada waktu hidrasi, dari mortar udara menjadi mortar hidrolik. Mortar hidrolik meskipun mengeras karena bersentuhan dengan air dan mengeras lebih cepat serta lebih kuat dari pada mortar udara, namun tetap lebih lambat dibandingkan dengan proses pengerasan semen portland. Dengan demikian tampaknya pada umur muda (sebelum 28 hari) fly ash dapat meningkatkan kekuatan beton, terutama karena peran mekaniknya. Sedangkan peran kimiawinya, mungkin baru akan tersa



Gambar-4 : Peningkatan kekuatan pada umur 7 hari sebagai fungsi dari dosis fly ash, untuk kadar semen 440 kg/m<sup>3</sup> beton dan dosis S.P. 1%, kubus 10

pada umur yang cukup lama, yaitu sekitar 28 hari dan sesudahnya. Meskipun demikian percobaan-percobaan pada umur 7 hari menunjukkan peningkatan kekuatan yang cukup berarti seperti terlihat pada tabel -6 dan tabel -7 serta gambar -4

Pada penelitian ini peningkatan kekuatan yang paling tinggi akibat pengaruh fly ash adalah pada dosis 15% dari berat semen. Peningkatan kekuatan tersebut adalah sekitar 17% pada susunan butiran A dan sekitar 15% pada susunan butiran B.

Sebagai pengaruh faktor air-semen ( $\frac{E}{C}$ ), demi

kian juga halnya pengaruh fly ash pada kekuatan tarik sejalan dengan kekuatan tekannya.

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

#### VI. 1 Kesimpulan

a. Pengurangan nilai faktor air - semen ( $\frac{E}{C}$ ),

mempunyai peran penting untuk membuat beton mutu tinggi tergantung pada kemampuan dan dosis dari super plasticizer yang digunakan. Super plasticizer yang dapat digunakan sebagai admixture pada beton mutu tinggi ini sudah banyak beredar di pasaran.

b. Kadar semen untuk beton mutu tinggi dapat diambil tidak melebihi dari kadar semen maksimum dari CEB/FIP- 1970, yaitu antara 400 a 500kg/m<sup>3</sup>. Hal ini penting untuk mencegah terjadinya susut dan rangkak beton yang berlebihan.

c. Untuk semen merk Tiga Roda tipe I, kadar fly ash yang dapat meningkatkan kekuatan beton yang cukup berarti adalah antara 10 @ 15% dari berat semen. Hal ini belum tentu berlaku untuk merk lain atau tipe lain dari semen, karena untuk tiap merk atau tipe lain dari semen, belum tentu sama kandungan C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S nya serta kehalusan butirannya.

#### V.2 SARAN

a. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh Super plasticizer pada evolusi



- kekuatan beton, terutama pada kekuatan beton muda ( sebelum 28 hari ), baik jenis ( merk ) maupun dosisnya.
- b. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh fly ash terhadap tiap jenis ( tipe ) semen dan merk semen.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. CARLES-GIBERGUES :  
Cours de Beton  
Departement de Genie Civil, INSA-  
Toulouse, FRANCE, 1976-1977
2. G. DREUX :  
Nouveau Gide du Beton Editions  
EYROLLES, PARIS-1979
3. P.B.I. :  
Peraturan Beton Bertulang indonesia  
1971. N.I. - 2
4. CEB - FIP :  
Recommandations Internationales pour le  
Calcul et l'execution des ouvrages en  
beton - 1970
5. IR. M. KUSNADI :  
Kuliah Teknologi Beton  
Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITB, 1985
6. PROF. GRANDET :  
Cours de Geotechnique Departement de  
Genie Civil, INSA - Toulouse, FRANCE  
1977.
7. PROF. M. LORRAIN :  
Very High Strength Concrete  
Kursus Singkat Teknologi Beton - P.A.U  
ITB, September 1990
- R. SUHUD :  
Disain Campuran Beton Jurnal  
PUSLITBANG Jalan, Juni 1991

#### *Penulis :*

*DR. Ir. H. Ridwan Suhud, dosen pada jurusan  
Teknik Sipil ITB. S3 Bidang Beton Prategang  
Persial dari Institute National Des Sciences  
Appliques ( INSA ) Touloose - Perancis.*