

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Cement Treated Base (CTB)

Cement Treated Base (CTB) merupakan campuran dari agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Bahan-bahan tersebut dicampur dalam alat khusus yang dapat menghasilkan campuran beton dengan kadar air minimum sehingga dapat dihasilkan campuran dengan *slump* nol. CTB digunakan sebagai bahan lapis pondasi (*base course*) pada perkerasan lentur.

CTB sebagai lapisan *Base Course* atau *sub-Base Course* mempunyai kelebihan dibandingkan dengan agregat biasa maupun konstruksi beton biasa, diantaranya adalah :

1. lapisan konstruksi CTB tidak peka terhadap air dibandingkan bahan *Base Course* yang tidak diberi campuran semen. Sifat ini sangat membantu untuk konstruksi dimana muka air tanah tinggi;
2. tidak membutuhkan alat transport khusus (*truck mixer*), cukup dengan *dump truck* biasa;
3. tidak membutuhkan *curing time* seperti beton, dalam waktu tiga hari setelah pemadatan, lapisan CTB sudah dapat dilewati kendaraan, sehingga dapat mengurangi jangka waktu pelaksanaan pekerjaan;
4. tidak membutuhkan cetakan dan tulangan;
5. tidak membutuhkan *construction joint*;
6. tidak terlalu peka terhadap temperature;
7. proses *curing* CTB lebih mudah dibandingkan beton dan lebih ekonomis.

Sedangkan untuk kekurangan dari CTB adalah:

1. dibandingkan dengan *Base Course* konvensional, CTB memerlukan alat khusus untuk proses pencampurannya;

2. untuk mendapatkan hasil yang optimal, pelaksanaan CTB membutuhkan pengawasan yang lebih ketat dibandingkan dengan *Base Course* konvensional walaupun lebih mudah dibandingkan beton biasa.

Perencanaan kuat tekan beton 45-55 kg/cm² 7 hari dengan nilai *slump* nol, maka pemadatan CTB tidak dilakukan dengan cara penggetaran dengan vibrator seperti pada adukan beton segar yang plastis tetapi pemadatan dilakukan dengan cara pembebanan oleh roller. Karena pemadatan menggunakan pembebanan oleh roller, maka persyaratan gradasi sangat dituntut.

2.2. Persyaratan Gradasi Agregat pada CTB

Persyaratan gradasi agregat pada CTB dapat dilihat dari Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

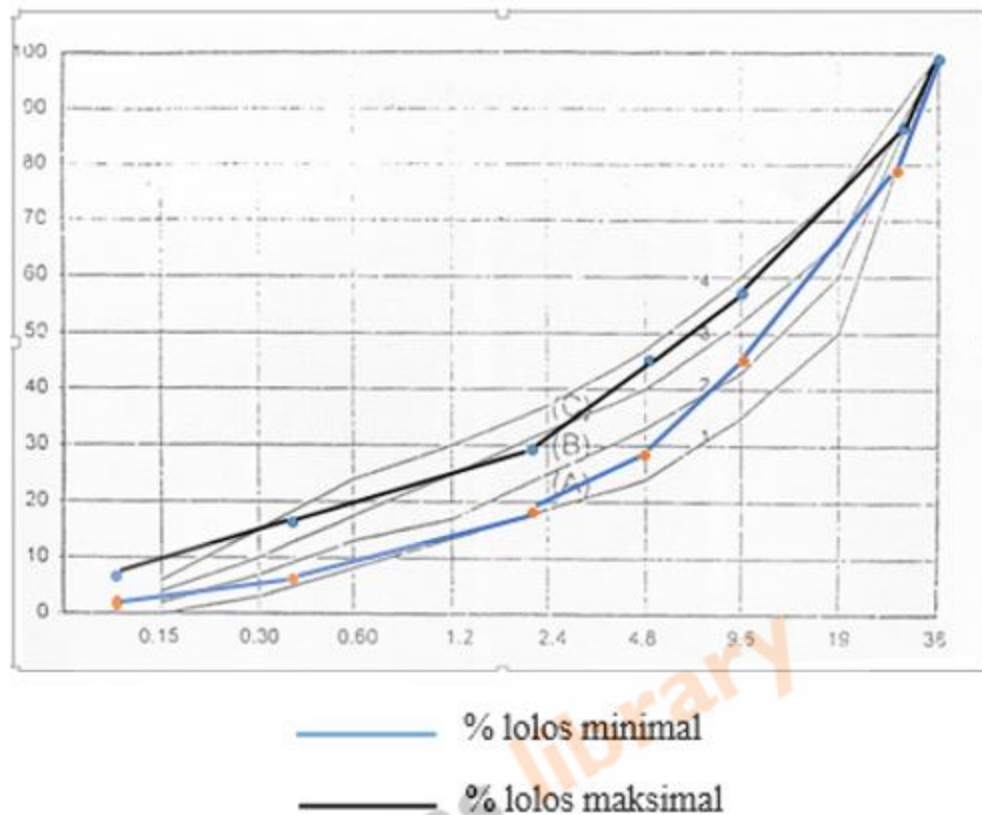
Tabel 2.1 Gradasi Agregat CTB

ASTM	Ukuran Ayakan (mm)	% Lolos
2"	50	
1 1/2"	37,5	100
1"	25,0	79 - 85
3/8"	9,5	44 - 58
No. 4	4,75	29 - 44
No. 10	2,0	17 - 30
No. 40	0,425	7 - 17
No.200	0,075	2 - 8

Sumber: Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)

Tabel 2.2 Persyaratan Agregat

Sifat	Metode Pengujian	Persyaratan
Keausan agregat dengan mesin Abrasi Los Angeles	SNI 2417 : 2008	Maks. 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan 3/8"	SNI 7619 : 2012	95/90
Batas Cair	SNI 1967 : 2008	0 - 25
Indeks Plastisitas	SNI 1996 : 2008	0 - 6
Hasil kali indeks plastisitas dengan % lolos ayakan no. 200	-	Maks. 25
Gumpalan lempung dan butiran-butiran mudah pecah	SNI 03-4141-1996	Maks. 5%
CBR rendaman	SNI 1744 : 2012	Min. 90%
Perbandingan persen lolos ayakan no. 200 dan no. 40	-	Maks. 2/3%



Gambar 2. 1 Grafik batas gradasi agregat ukuran maksimum 40 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000

Dari Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa gradasi agregat pada pembuatan CTB adalah gradasi menerus. Jika gradasi agregat CTB dipetakan kedalam grafik gradasi SNI untuk ukuran maksimum 40 mm, maka ternyata gradasi agregat CTB berada dalam daerah gradasi SNI seperti ditunjukkan Gambar 2.1. hal ini berarti percangan campuran CTB dapat menggunakan perhitungan SNI.

Komposisi CTB dengan kuat tekan beton 5 MPa pada umur 7 hari dengan nilai slump nol yang dirancang menggunakan cara SNI, menggunakan BJ semen 3150 kg/m³, BJ air 1000 kg/m³, pasir zona 2 dengan BJ pasir 2500 kg/m³, BJ agregat kasar 2650 kg/m³, BJ agregat total 2605 kg/m³ dapat dilihat komposisinya pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 komposisi CTB campuran beton $f_c = 5$ MPa (7 hari)

Bahan	Berat (kg/m^3)
Semen	176
Agregat halus	574
Agregat kasar	1340
Air	128

2.3. Metode Perancangan Campuran Beton Cara Dreux

Kuat tekan beton pada cara Dreux dirumuskan dengan persamaan:

$$f_c = G \cdot f_{pc} \cdot (C/W - 0,5) \quad (2.1)$$

$$\frac{C}{w} = \frac{f_c}{G \cdot f_{pc}} + 0,5 \quad (2.2)$$

dengan : f_c = kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari;
 f_{pc} = kekuatan tekan semen umur 28 hari (MPa);
 G = faktor granular atau faktor kekompakan butiran;
 C/W = rasio berat semen terhadap berat air.

Besar faktor granular (G) berdasarkan persamaan Thesia (2013) yaitu:

$$G = k \cdot V_{pasir} \quad (2.3)$$

dimana:

k = konstanta yang nilainya diberikan pada Tabel 2.4;
 V_{pasir} = volume pasir dalam 1 m^3 beton.

Tabel 2.4 Nilai k untuk $0,4 \leq G \leq 0,6$

No	$V_{pasir} / V_{total\ agregat}$	K
1	$\leq 0,26$	3
2	0,26 – 0,29	2
3	0,29 – 0,39	1,8
4	0,39 – 0,43	1,5
5	0,43 – 0,49	1,8
6	$\geq 0,50$	1,5

Sumber : Thesia (2013)

Kebutuhan air campuran beton dapat dihitung menggunakan nilai yang terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Perkiraan kadar air (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pekerjaan adukan untuk kondisi agregat kering udara.

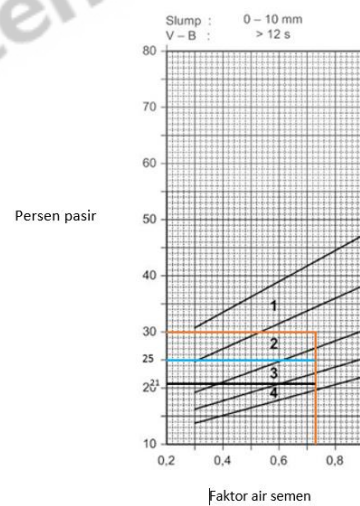
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	195	205	218	243
	Batu pecah				
20	Batu tak dipecahkan	179	188	200	225
	Batu pecah				
40	Batu tak dipecahkan	124	181	192	216
	Batu pecah				

Jika campuran CTB yang terdapat pada Tabel 2.3 dievaluasi ketercapaiannya menggunakan cara Dreux maka hasilnya tertera pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Evaluasi ketercapaiannya dengan cara Dreux

Semen	176 kg/m ³
Air	128 kg/m ³
Volume agregat halus	0,229 m ³
Volume agregat kasar	0,505 m ³
Volume total	0,734 m ³
V_{pasir}/V_{total}	0,331 m ³
K	1,8
$f'c_{28}$ target SNI	14,700 MPa
$f'c_{28}$ prediksi Dreux	15,321 MPa

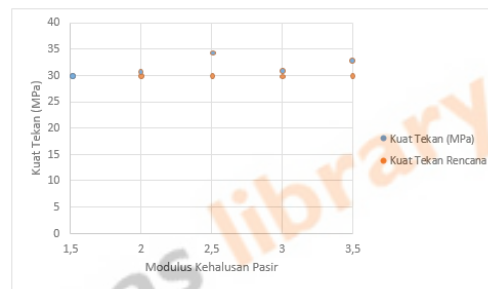
Perancangan komposisi CTB dengan Cara SNI dapat dicapai namun demikian perancangan tersebut berlaku untuk pasir zona 2. Jika pasir berada pada zona 3 dan 4, maka untuk faktor air-semen (w/c) yang sama, persen pasir yang dibutuhkan akan berkurang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Grafik faktor air semen terhadap persen pasir

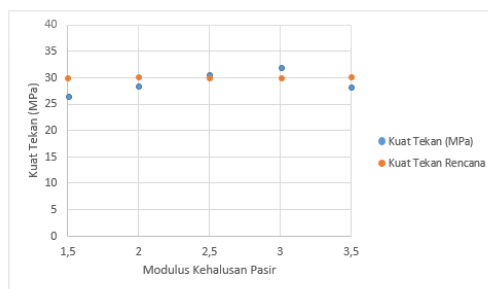
Jika persen pasir berkurang maka volume pasir akan berkurang sehingga nilai faktor granular (G) akan menjadi lebih kecil sehingga kuat tekan CTB yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan demikian maka perancangan CTB menggunakan SNI hanya dapat dilakukan jika untuk pasir yang berada pada zona 1 dan zona 2. Agar zona pasir tidak mempengaruhi volume pasir maka perancangan campuran CTB dapat dilakukan menggunakan perancangan dengan cara Dreux.

Penelitian tentang faktor granular tidak dipengaruhi oleh gradasi pasir telah dilakukan oleh Budiarto (2016) yang hasil penelitiannya dilihat pada Gambar 2.3, Gambar 2.4, dan Gambar 2.5.



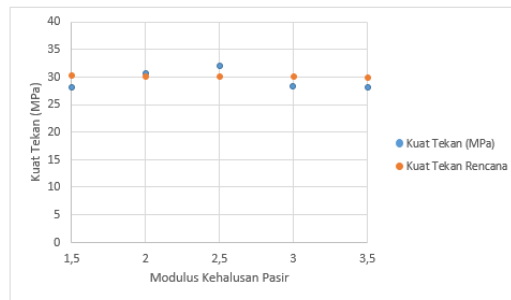
Sumber : Budiarto (2016)

Gambar 2.3 Sebaran kuat tekan rata rata aktual disekitar kuat tekan rencana untuk agregat kasar 100% berukuran 10-20 mm terhadap modulus kehalusan pasir



Sumber : Budiarto (2016)

Gambar 2.4 Sebaran kuat tekan rata rata aktual disekitar kuat tekan rencana untuk 50% agregat kasar berukuran 10-20 mm dan 50% agregat kasar berukuran 5-10 mm terhadap modulus kehalusan pasir



Sumber : Budianto (2016)

Gambar 2.5 Sebaran kuat tekan rata rata aktual disekitar kuat tekan rencana untuk agregat kasar 100% berukuran 5-10 mm terhadap modulus kehalusan pasir

Di lapangan agregat yang selalu terjadi adalah agregat kering udara. Oleh karena itu jumlah air campuran harus ditambah agar nilai *slump* tercapai. Agar penambahan air untuk mencapai *slump* rencana tidak memperbesar faktor air-semen maka harus juga ditambahkan semen agar nilai faktor air-semen sesuai yang direncanakan. Cara ini digunakan oleh Ali dan rekan yang diperlihatkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Penyesuaian komposisi beton untuk kondisi agregat kering udara

Campuran	Konstituen	Komposisi bahan:			
		Air	Semen	Pasir	Kerikil
Agregat SSD	Berat (kg/m ³)	200	416,7	502	1236
	Persentase	0,480	1,000	1,205	2,966
	Proporsi campuran	1 : 1,205 : 2,966 ; w/c = 0,480			
	<i>Slump</i> rencana	80 -130 mm			
	fc rencana	34,00 MPa			
Agregat Kering Udara	Berat (kg/m ³)	233,1	485,63	502	1236
	Persentase	0,480	1,000	1,034	2,545
	Proporsi campuran	1 : 1,034 : 2,545 ; w/c = 0,480			
	<i>Slump</i> aktual	127 mm			
	fc pengujian	35,62 MPa			

Telah diolah kembali

Besarnya air yang ditambahkan tergantung pada kadar air kering udara. Kondisi kadar air agregat di lapangan selalu berubah-ubah sehingga air yang

ditambahkan akan selalu berbeda sehingga akan menyulitkan pelaksanaan pembuatan campuran beton karena komposisi air dan semen senantiasa berubah.

2.4. Perancangan Campuran Beton Cara SNI (*TREATMENT*)

Salah satu acuan dalam merancang campuran beton adalah cara SNI 03-2834-2000. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$f_{cr} = f'_c + 1,64 \times S_r \quad (2.4)$$

dengan:

f_{cr} = kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan pada umur 28 hari (MPa);

f'_c = kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari (MPa);

$$S_r = \text{standar deviasi rencana} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{MPa})$$

x_i = indeks kuat tekan beton masing-masing benda uji;

$$\bar{x} = \text{kuat tekan beton rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n};$$

n = jumlah nilai hasil uji, minimum 30 buah.

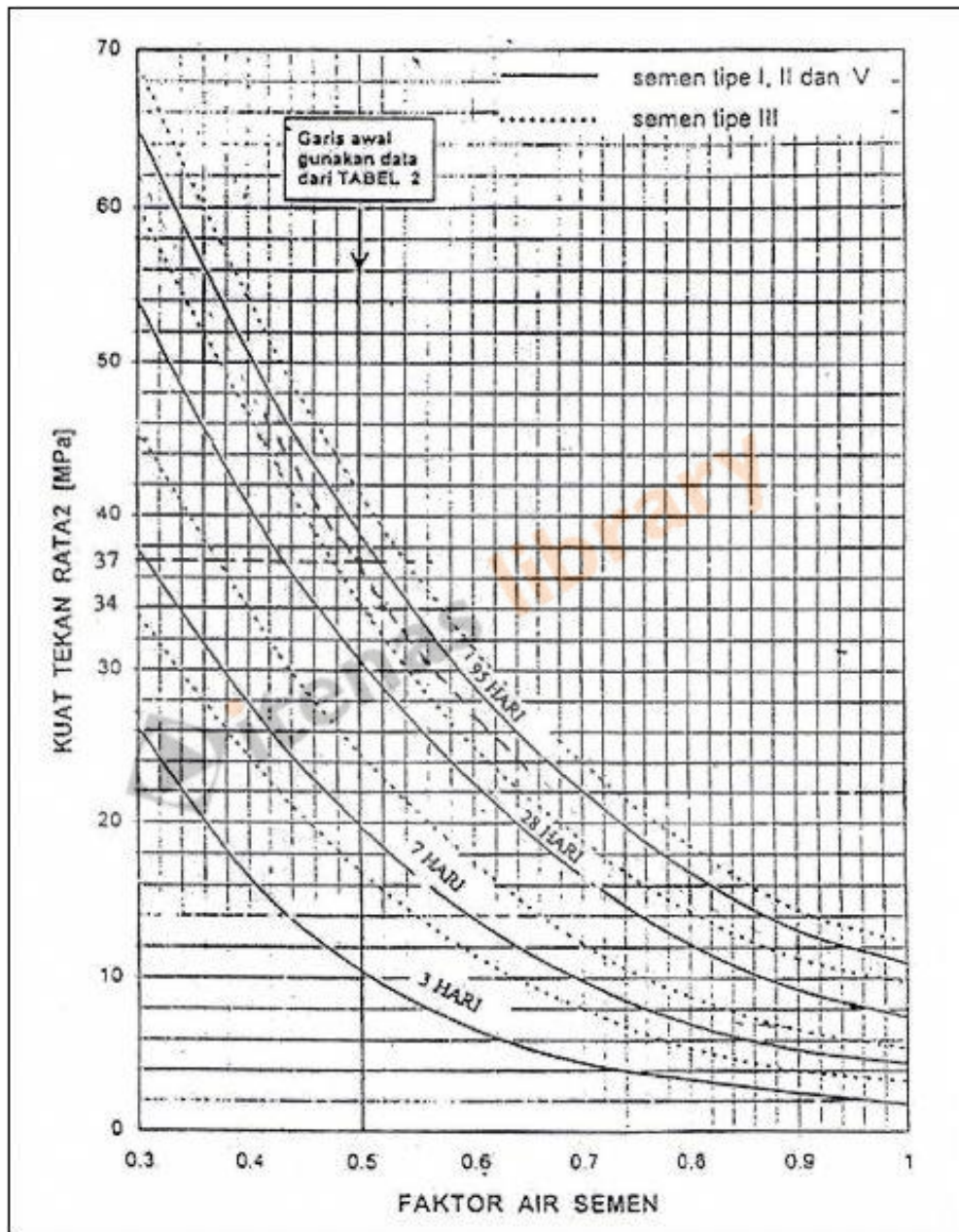
Besarnya nilai f_{cr} pada persamaan 2.4 dalam SNI 03-2847-2002 ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Kuat tekan rata-rata perlu/target

Persyaratan kuat tekan (f_c) (MPa)	Kuat tekan rata-rata perlu/target (f_{cr}) (MPa)
Kurang dari 21	$f_c + 7,0$
21 sampai dengan 35	$f_c + 8,5$
Lebih dari 35	$f_c + 10,0$

Sumber : SNI 03-2847-2002

Untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan, nilai faktor air-semen yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan grafik hubungan antara faktor air-semen dengan kuat tekan yang terdapat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik hubungan kuat tekan dan faktor air-semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan kondisi agregat SSD)

Sumber : SNI 03-2834-2000

Hubungan antara kuat tekan beton dengan faktor air-semen didasarkan pada nilai-nilai yang terdapat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air-semen 0,5, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat kasar	Kekuatan Tekan (MPa)					Bentuk Benda uji
		Pada umur (hari)				29	
		3	7	28	29		
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu pecah	19	27	37	45		
Semen Portland Tipe II	Batu tak dipecahkan	20	28	40	58	Kubus	
	Batu pecah	25	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber : SNI 03-2834-2000

Untuk mengetahui jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton, maka dapat menggunakan data pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton untuk kondisi agregat SSD

slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum		----	---	----	----
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
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara Untuk suhu diatas 25°C , setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m^2 adukan beton.

Sumber : SNI 03-2834-2000

Jumlah agregat gabungan juga dapat dihitung menggunakan persamaan volume absolut $1 m^3$ beton yaitu:

$$V_C + V_{CA} + V_{FA} + V_W + V_A = 1 \quad (2.5)$$

dengan:

V_C = volume absolut semen dalam $1 m^3$ beton;

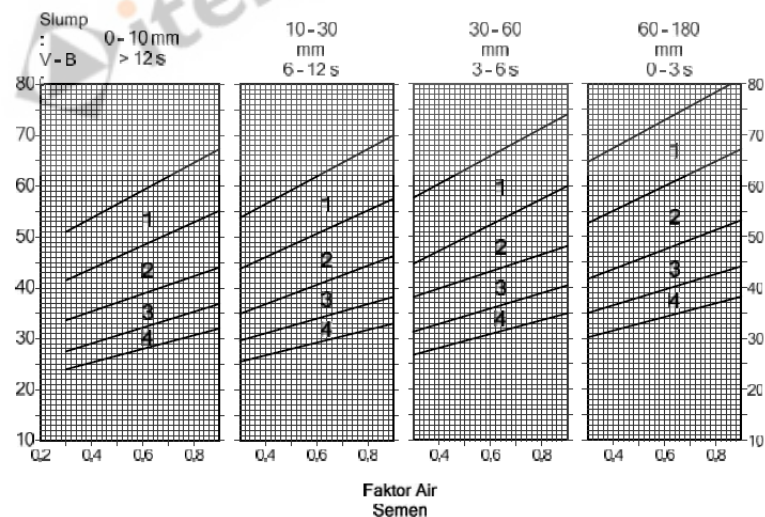
V_{CA} = volume absolut agregat kasar dalam $1 m^3$ beton;

V_{FA} = volume absolut agregat halus dalam $1 m^3$ beton;

V_W = volume absolut air dalam $1 m^3$ beton;

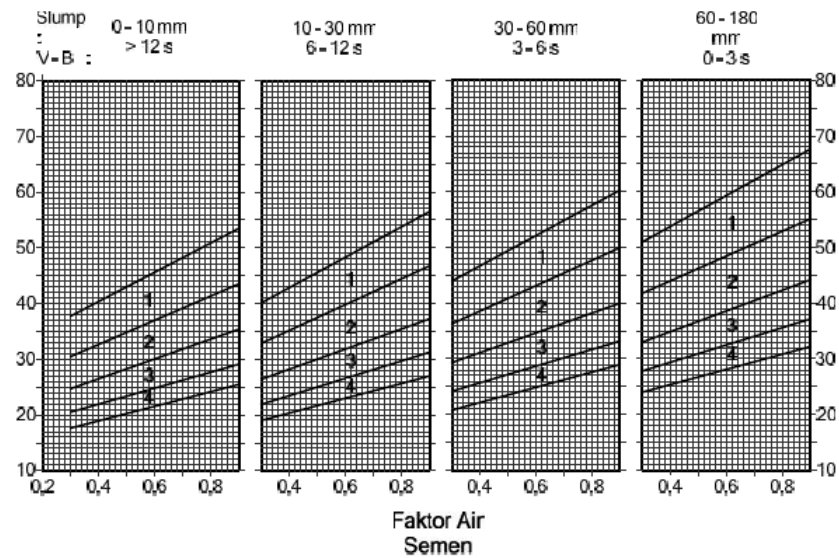
V_A = volume udara dalam $1 m^3$ beton.

Persentase agregat halus dalam campuran beton ditentukan oleh besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai *slump*, faktor air-semen, dan gradasi agregat halus yang didasarkan pada Gambar 2.7, Gambar 2.8, dan Gambar 2.9.



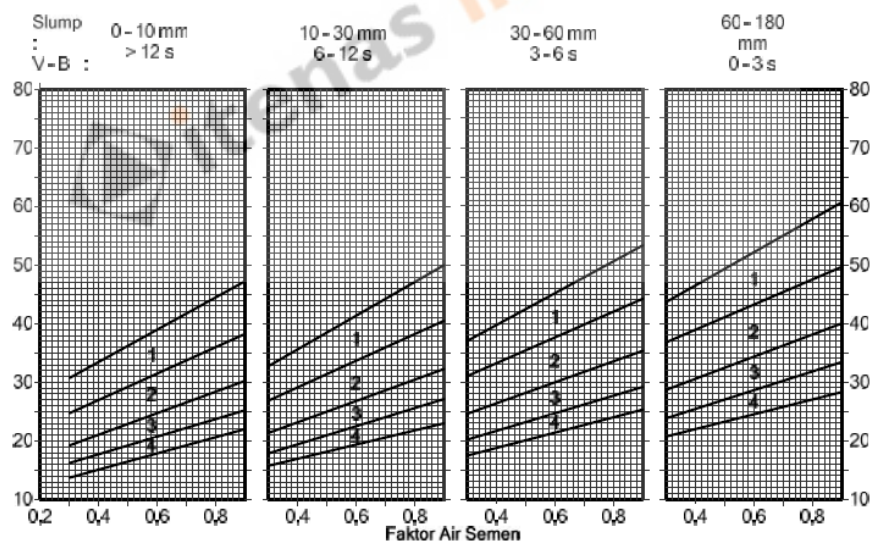
Gambar 2.7 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar 2.8 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Sumber : SNI 03-2834-2000



Gambar 2.9 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Sumber : SNI 03-2834-2000

Jika cara penyesuaian agregat kering udara yang dilakukan oleh Ali pada Tabel 2.7 diterapkan pada cara SNI yang menggunakan agregat SSD maka diduga tidak praktis karena penyesuaian kebutuhan air tambahan dilakukan secara coba-coba sedemikian rupa sampai *slump* rencana tercapai. Untuk mengatasi ini maka hasil penelitian Awali (2018) dapat digunakan untuk menghitung tambahan air. Hasil penelitian Awali tertera pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton untuk kondisi agregat kering udara

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis Agregat	<i>Slump</i> (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
		---	---	---	---
10	Batu tak dipecahkan	205	216	229	255
	Batu pecah				
20	Batu tak dipecahkan	188	198	210	236
	Batu pecah				
40	Batu tak dipecahkan	177	186	198	222
	Batu pecah				

Jika grafik yang digunakan dalam perancangan campuran beton cara SNI adalah grafik yang bergaris penuh untuk kuat tekan 28 hari seperti pada Gambar 2.6 maka grafik ini dapat dinyatakan secara matematis seperti pada persamaan 2.1. Besarnya G dirumuskan oleh Thesia (2013) pada persamaan 2.3.

Persamaan 2.1 berlaku untuk kondisi agregat kering udara. Dengan demikian grafik hubungan kuat tekan beton dan factor air-semen pada acara SNI yang kondisi agregatnya SSD dapat diperlakukan (*treatment*) untuk kondisi agregat kering udara yang disesuaikan. Penyesuaian ini dilakukan dengan mengurangi berat agregat SSD dengan kadar air yang hilang pada agregat kondisi kering udara.

Selanjutnya jumlah pasir yang diperlukan pada cara SNI dapat dimodifikasi menggunakan persamaan 2.3 yang dinyatakan dalam bentuk lain yaitu :

$$\text{Volume pasir} = \frac{G}{K} \quad (2.6)$$

Nilai G pada cara SNI adalah 0,47

Dengan demikian kondisi agregat SSD pada cara SNI dapat dilakukan perlakuan (*treatment*) dengan dua cara yaitu:

- a. cara pertama berat agregat SSD diperlakukan sebagai kering udara dengan berat yang berkurang tanpa mengalami perubahan jumlah air yang dihitung dengan cara SNI;
- b. cara kedua yaitu agregat cara pertama ditambah air yang dibutuhkan untuk mencapai SSD dengan cara menambah selisih jumlah air yang diperlukan untuk mencapai *slump* rencana terhadap jumlah air teoritis yang menghasilkan *slump* aktual. Cara kedua ini didasarkan pada asumsi bahwa air yang diberikan diserap oleh agregat kering udara untuk mencapai kondisi agregat SSD

