

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Beberapa karya tulis ilmiah, hasil penelitian, beserta tinjauan literatur yang terkait dengan penelitian ini, diantaranya :

2.1 Hasil-hasil Penelitian

1) Aji dan Nur Rochman (2002)

Mereka melakukan penelitian uji komparasi mengenai bahan agregat kasar dengan judul “ Penggunaan Batuan Gunung Kidul dengan Batuan Kali Krasak sebagai Agregat Kasar Beton”. Untuk pengujian ini dipergunakan 2 macam batuan dari Gunung Kidul yaitu yang disebut Watu Putih dan Watu Lintang. Salah satu kesimpulan yang mereka dapatkan adalah Watu Putih layak digunakan sebagai agregat kasar untuk beton.

2) Sugiyo dan Hurriyanto (2003)

Mereka mengambil judul “Tinjauan Kuat Desak dan Kuat Tarik Belah pada Beton dengan agregat kasar Batu Kuning”. Pada penelitian ini dipergunakan batu kuning yang berasal dari Kabupaten Sragen dan Split yang berasal dari Sungai Progo (clereng) serta agregat halus dari Kali Krasak.

Kesimpulan yang dapat dijadikan acuan pada penelitian ini antara lain bahwa pemakaian agregat yang mampu menyerap air harus dipergunakan fas lebih besar dari 0,4 dan beton yang dihasilkan mudah mengalami regangan dibandingkan beton yang menggunakan agregat kasarnya split.

3) Mindratno dan Santoso (1999)

Penelitian mereka mengambil judul “Pengaruh Variasi Campuran Agregat yang Berasal dari Sungai Clereng, Sungai Krasak, Sungai Progo, dan Sungai Srumbung terhadap Kuat Desak Beton”. Pemakaian agregat yang dimaksudkan sangat variasi. Batu pecah dari celereng produksi PT. Suradi, pasir dari sungai Srumbung Kaliurang, kerikil dan pasir dari Sungai Krasak, dan kerikil dari Sungai Progo. Inti penelitian ini untuk mengetahui variasi campuran yang dapat menghasilkan kuat desak beton yang optimal.

Kesimpulan yang dapat dijadikan acuan pada penelitian ini, pemakaian komposisi / perbandingan campuran yang berbeda dapat menghasilkan data yang berbeda pula. Selain itu dengan bahan yang berasal dari tempat yang berbeda walaupun jenisnya sama tetapi akan menghasilkan data yang berbeda pula.

2.2. Landasan teori

2.2.1. Beton

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan susun campuran, merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan setara daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperature, dan kondisi perawatan pengerasannya. (Dipohusodo, 1991).

2.2.2. Beton Ringan

Beton disebut beton ringan jika beratnya kurang dari 1800 kg/cm^3 . Cara yang dapat dipakai untuk membuat beton ringan antara lain (Kardiyono, NF) :

- a. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen, sehingga akan terjadi banyak pori udara di dalam betonnya.
- b. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat, batu apung yang membuat beton akan lebih ringan daripada beton biasa.
- c. Pembuatan beton dengan tanpa butir-butir halus. Dengan demikian beton ini disebut "beton non pasir" dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimum agregat kasar sebesar 20

mm atau 10 mm). Beton demikian mempunyai pori-pori yang hampir seragam.

Beton dengan agregat ringan mempunyai kuat tarik rendah, modulus elastis rendah, serta rayapan dan susutan yang lebih tinggi. Beton ringan bukanlah beton mutu rendah karena untuk beton ringan mengacu pada berat beton, tapi pada beton mutu rendah mengacu pada nilai kuat desaknya yang rendah. Pada konsep pedoman beton, mutu beton sendiri dibedakan menjadi tiga yaitu (PBI 1971) :

- a. Beton mutu rendah $f_c' < 125 \text{ kg/cm}^2$ (12,259 MPa)
- b. Beton mutu sedang $125 \text{ kg/cm}^2 \leq f_c' < 225 \text{ kg/cm}^2$
- c. Beton mutu tinggi $f_c' \geq 225 \text{ kg/cm}^2$ (22,065 MPa)

Sebagai catatan 1 MPa sama dengan $10,197 \text{ kg/cm}^2$.

Jadi, sudah jelas bahwa beton ringan bukanlah beton mutu rendah, tapi jika diinginkan untuk beton mutu sedang atau beton mutu tinggi juga dapat dibuat dari beton ringan.

2.3. Penyusun Beton

2.3.1. Agregat

Agregat merupakan salah satu material pembentuk beton yang juga menentukan kekuatan dari suatu beton. Sedangkan agregat sendiri terbagi atas :

1) Agregat kasar

Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Pada umumnya yang dimaksudkan

dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm (PBI 1971 pasal 3.4. ayat 1).

2) Agregat Halus

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. (PBI 1971 pasal 3.3. ayat 1).

Untuk membedakan macam agregat ini, dapat dipergunakan metode saringan/ayakan (proses analisa saringan). Jenis saringan yang dapat digunakan ada dua macam yaitu berdasar acuan Saringan Inggris dan Saringan Amerika. Perbandingan antara keduanya dalam dilihat berdasarkan tabel dibawah ini (Murdock dan Brook, 1991).

Tabel 2.1. Saringan Inggris dan Saringan Amerika yang setara

Saringan Uji BS 410		Saringan ASTM E11-70 yang ditunjuk sebagai saringan setara	
Ukuran Nominal Lubang			
Metrik	Satuan Inggris yang setara	Lebar Standar Lubang Saringan	Saringan ASTM
37,5 mm	1½ in	38,1 mm	1½ in
20,0 mm	¾ in	19,0 mm	¾ in
10,0 mm	⅜ in	9,5 mm	⅜ in
5,0 mm	3/16 in	4,76 mm	No. 4
2,36 mm	No. 7	2,38 mm	No. 8
1,18 mm	No. 14	1,19 mm	No. 16
600 m	No. 25	595 m	No. 30
300 m	No. 52	297 m	No. 50
150 m	No. 100	149 m	No. 100
75 m	No. 200	74 m	No. 200

2.3.2. Semen Portland

Semen yang dipakai untuk bahan beton adalah Semen Portland atau Semen Portland Pozzolan, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton (Dipohusodo, 1991). Kata hidrolis diatas berarti menyatakan bahwa air dipergunakan sebagai bahan pelarut.

Adapun bahan-bahan penyusun dari semen itu sendiri terdiri atas (Murdock dan Brook, 1991) :

- 1) Tricalcium Aluminate (C_3A)
- 2) Tricalcium Silikat (C_3S)
- 3) Dicalcium Silikat (C_2S)
- 4) Tetar Calcium Aluminoferrite (C_4AF)

Sedangkan dari jenis semen sendiri dibedakan atas (PUBI – 1982) :

Tabel 2.2. Jenis-jenis Semen

Jenis Semen	Tujuan Pemakaian
Jenis I	Untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya
Jenis II	Untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang
Jenis III	Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi
Jenis IV	Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
Jenis V	Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

2.3.3. Air

Di dalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi utama yaitu (Murdock dan Brook, 1991) :

- 1) untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan
- 2) sebagai pelincir campuran kerikil, pasir, dan semen agar mudah pencetakan

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, antara lain (PBI NI-2 1971):

- 1) Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organis atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan / atau baja tulangan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.
- 2) Apabila terdapat keragu-raguan mengenai air, dianjurkan untuk mengirimkan contoh air itu ke lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui untuk diselidiki sampai seberapa jauh air itu mengandung zat-zat yang dapat merusak beton dan/atau tulangan.
- 3) Apabila pemeriksaan contoh air seperti disebut dalam ayat 2 itu tidak dapat dilakukan, maka dalam hal ini adanya keragu-raguan air harus diadakan perbandingan antara kekuatan tekan mortal semen + pasir dengan memakai air itu dan dengan memakai air suling. Air tersebut dianggap dapat dipakai, apabila kekuatan tekan mortal dengan memakai air itu pada umur 7 dan 28 hari paling sedikit

adalah 90% dari kekuatan tekan mortal dengan memakai air suling pada umur yang sama.

- 4) Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

2.4. Batu Putih

Dalam penelitian ini batu putih dipergunakan sebagai material pengganti agregat kasar. Batu putih dalam rumus senyawa dapat dinyatakan sebagai CaCO_3 dan selama ini jarang dipergunakan sebagai agregat. Batu putih banyak digunakan dalam bentuk serbuk kapur yang hingga kini lebih banyak digunakan sebagai bahan ikat sedangkan untuk bahan bangunan kapur dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam berdasar penggunaannya yaitu kapur pemutih dan kapur aduk (Kardiyono, 1992).

Untuk mendapatkan hasil di atas kapur harus mengalami pemanasan guna memisahkan antara kapur dengan karbon dioksida yang terkandung di dalamnya dan untuk penelitian ini digunakan batu putih seperti dalam keadaan biasa tanpa mengalami pemanasan terlebih dahulu. Hanya saja batu kapur dipecah menjadi bongkahan kecil-kecil sesuai ukuran agregat yang diinginkan.

Kebanyakan kapur digunakan sebagai bahan kerajinan pahat batu seperti halnya patung. Batuan paras putih dan serut merupakan 2 jenis batuan yang dapat dipergunakan sebagai bahannya. Para pengrajin dari Bali khususnya secara khusus

telah mendatangkan ke dua jenis batuan tersebut sebagai salah satu dasar pembuatan patung.

2.5. Faktor Air Semen (fas)

Nilai fas merupakan nilai yang menunjukkan perbandingan berat air terhadap berat semen yang dinyatakan dengan rumus :

$$\text{fas} = \frac{w_n + w_m}{w_c} = \frac{W}{w_c} \quad \dots\dots (2.1)$$

fas = faktor air semen

w_n = berat air yang diserap dalam agregat, kg

w_m = berat air permukaan pada agregat, kg

w_c = berat semen, kg

Semakin besar nilai fas, maka semakin besar pula berat air pada campuran dan semakin banyaknya air maka akan mengurangi lekatan antar agregat. Perbandingan ini disimpulkan dalam suatu hukum perbandingan air semen dari Abrams (Murdock dan Brook, 1991), "Pada bahan-bahan dan keadaan pengujian tertentu, jumlah air campuran yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan".

2.6. Slump

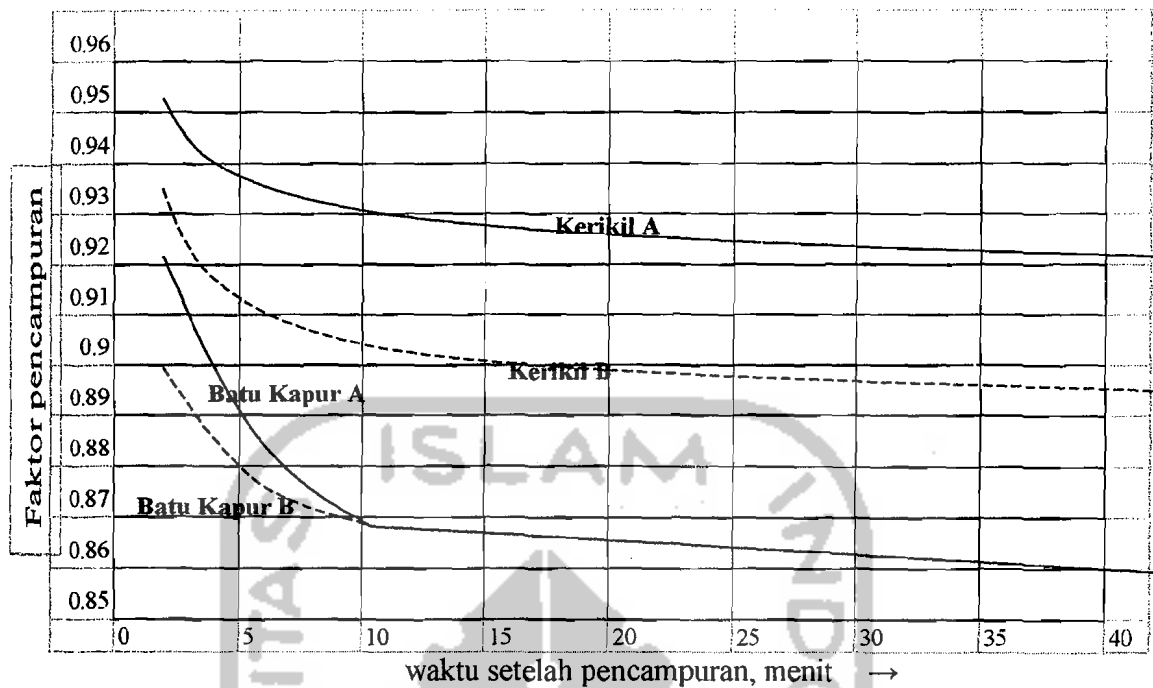
Pengujian slump merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran adukan beton setelah campuran beton itu diaduk dalam suatu molen sehingga nilai slump ini sangat dipengaruhi oleh faktor air. Berbeda dengan

fas yang mencari perbandingan air semen, slump merupakan nilai yang dipakai sebagai ukuran kekentalan dari suatu campuran. Semakin banyak air maka semakin besar pula nilai slump, atau dapat dikatakan bahwa campuran terlalu encer.

2.7. Workabilitas

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman mengusulkan agar didefinisikan pada sekurang-kurangnya tiga buah sifat yang terpisah (Murdock dan Brook, 1991) :

- 1) Kompaktibilitas atau kemudahan di mana beton mudah dipadatkan dan rongga-rongga diambil.
- 2) Mobilitas atau kemudahan di mana beton dapat mengalir ke dalam cetakan di sekitar baja dan dituang kembali.
- 3) Stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen ; koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi / pemisahan butiran dari bahan-bahan utamanya.



Gambar 2.1. Workabilitas beton dengan agregat kerikil dan batu kapur

sumber : Murdock dan Brook 1991

Keterangan :

- Campuran pada tiap kasus ialah 1 : 6 (semen : agregat) dan pasir kali digunakan untuk semua campuran.
- Semua campuran : perbandingan air/semen efektif 0,6.
- Bantuan untuk penyerapan agregat diberikan oleh :
 - A. Tambahan air yang ditambahkan pada waktu mencampur (seolah-olah digunakan agregat kering).
 - B. Air yang secukupnya ditambahkan pada agregat kering untuk memberi kejenuhan air $\frac{1}{2}$ jam sebelum pencampuran
- Suhu pencampuran dan perawatan : 18°C (64°F)
- Penguapan dicegah, sebelum dan sesudah pencampuran.

2.8. Berat Volume Beton

Nilai ini menyatakan berat beton persatuan volume yang dapat dirumuskan sebagai :

$$BV = \frac{B_s}{V_b} \quad \dots\dots (2.2)$$

Bv = Berat volume (kg/cm³)

B_s = Berat beton (kg)

v_b = Volume beton (cm³)

Dalam penelitian ini dipergunakan sampel beton dengan bentuk silinder maka volume beton dapat dinyatakan sebagai $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$. dengan d sebagai diameter silinder beton dan t sebagai tinggi silinder beton.

2.9. Kuat Desak Beton

Kuat desak beton menyatakan kekuatan atau batas maksimum yang dimiliki oleh beton dalam menerima gaya desak. Kekuatan maksimum dapat terlihat dimana saat beton menerima beban tertentu dan menimbulkan kerusakan yang menyebabkan kekuatan dari beton tersebut menurun. Kuat beton ini tergantung dari macam gaya yang bekerja (terpusat atau merata) dan juga dipengaruhi oleh luasan beton yang menerima gaya tersebut. Kuat desak beton ini dirumuskan sebagai :

$$f_c' = \frac{P_{\text{mak}}}{A_s} \quad \dots\dots (2.3)$$

f_c' = Kuat Desak Beton (N/m^2)

P_{mak} = Beban Maksimum yang merusak silinder beton (N)

A_s = Luas tampang silinder beton (m^2)

Jika penelitian memakai beberapa sampel maka kuat desak beton dapat diambil sebagai nilai rerata kuat desak semua sampel yang dirumuskan sebagai

$$f_{cr} = \frac{\sum f_c}{n} \quad \dots\dots (2.4)$$

f_{cr} = kuat desak rerata silinder beton (N/m^2)

n = jumlah sampel / benda uji beton

Pada penelitian yang terdapat lebih dari 20 sampel. Dengan menganggap nilai-nilai dari hasil pemeriksaan tersebut menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss), maka ukuran besar kecilnya penyebaran dari pemeriksaan tersebut, jadi ukuran dari mutu pelaksanaan, adalah deviasi standar menurut rumus (PBI NI-2 1971 pasal 4.5 ayat 1) :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\sigma_b' - \sigma_{bm}')^2}{N - 1}} \quad \dots\dots (2.5)$$

Keterangan : s = deviasi standar (kg/cm^2)

σ_b' = kekuatan tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji (kg/cm^2)

σ_{bm}' = kekuatan tekan beton rata-rata (kg/cm^2) menurut rumus

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_1^N \sigma'_b}{N} \quad \dots\dots (2.6)$$

N = jumlah seluruh nilai hasil pemeriksaan, jadi seluruh benda uji yang diperiksa, yang harus diambil minimum 20 buah

Sehingga kekuatan beton karakteristik dapat dihitung sesuai dengan PBI NI-2 1971 pasal 4.5 ayat 2 :

Dengan menganggap nilai-nilai dari hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss), maka kekuatan tekan beton karakteristik σ'_{bk} , dengan 5% kemungkinan adanya kekuatan yang tidak memenuhi syarat seperti ditentukan dalam pasal 4.1. ayat 1, ditentukan oleh rumus :

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,64.s \quad \dots\dots (2.7)$$

dimana s adalah deviasi standard yang ditetapkan dalam ayat 1.

Apabila sampel kurang dari 20 buah maka hasil-hasil pemeriksaan benda uji harus dievaluasi menurut dalil-dalil matematika statistik (rumus 2.4.) sehingga peramalan dari kekuatan beton dan/atau deviasi standard dapat dilakukan dengan derajat kefidensi yang cukup.

2.10. Kuat Tarik Beton

Secara umum kekuatan tarik suatu beton kurang sekali diperhitungkan. Dikarenakan kekuatan tarik yang dimiliki oleh beton sendiri sangatlah kecil. Pada beton normal diperkirakan berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo,

1991). Sehingga beton jarang direncanakan berdasarkan kekuatan tariknya atau didesain untuk menerima beban tarik.

Kekuatan tarik belah beton dapat dirumuskan sebagai :

$$f_t = \frac{2.P_t}{\pi.L.D} \quad \dots\dots (2.8)$$

f_t = Kuat Tarik Belah (N/m^2)

P_t = Beban pada waktu belah (N)

L = Panjang benda uji silinder (m)

D = Diameter benda uji silinder (m)

2.11. Modulus Elastis

Modulus elastis adalah suatu konstanta bahan yang mempunyai nilai tertentu. Tiap bahan mempunyai modulus elastis tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tarik atau beban tekan. Bila nilai modulus elastis semakin kecil, akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. (Vis dan Kusuma, 1993).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \dots\dots (2.9)$$

dimana

$$\sigma = \frac{P}{A_s} \quad \dots\dots (2.10)$$

$$\epsilon = \frac{x}{L} \quad \dots\dots(2.11)$$

Keterangan	E	= modulus elastis, (kg/m ²)
	ϵ	= regangan
	L	= Panjang benda uji silinder, (m)
	σ	= tegangan, (kg/m ²)
	A _s	= Luas tampang silinder beton, (m ²)
	P	= beban (kg)
	x	= perubahan bentuk dibawah beban (arah tinggi), (m)

2.12. Perencanaan Campuran Beton Berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*)

a. Hitung kuat tekan rata-rata beton dengan memakai rumus :

$$m = 1,64 \times S_d \quad \dots\dots (2.12)$$

$$f_{cr} = f_c + m \quad \dots\dots (2.13)$$

Keterangan :	S _d	= nilai deviasi standar
	m	= nilai margin, MPa
	f _c	= kuat tekan yang disyaratkan, MPa
	f _{cr}	= kuat desak rerata, MPa

Untuk nilai deviasi standar dapat dicari berdasarkan tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai Deviasi Standar (kg/cm²)

Isi Pekerjaan		Deviasi Standar / s (kg/cm ²)		
Sebutan	Jumlah Beton (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

- b. Dihitung nilai faktor air semen dengan tabel 2.4.

Tabel 2.4. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton pada umur 28 hari

Faktor Air Semen	Perkiraan Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,8	14

Dan dari tabel 2.5 didapat fas maksimum

Tabel 2.5. Nilai Faktor Air Semen Maksimum

Beton di dalam ruang bangunan	
a Keadaan keliling non-korosif	0,6
b Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
Beton di luar ruang bangunan	
a Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
b Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
Beton yang masuk ke dalam tanah	
a Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
Beton yang kontinu berhubungan dengan air	
a Air tawar	0,57
b Air laut	0,52

- c. Nilai Slump didapatkan dari tabel 2.6.

Tabel 2.6. Nilai Slump (cm)

Uraian	Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

- d. Tetapkan jumlah air yang dibutuhkan per meter kubik beton dengan berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum kerikil menurut tabel 2.7.

Tabel 2.7. Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat, (liter)

Slump, mm	Ukuran maksimum agregat, mm		
	10	20	40
25 - 50	206	182	162
75 - 100	226	203	177
150 - 175	240	212	188
Udara Terperangkap, %	3	2	1

- e. Dihitung jumlah semen yang diperlukan per meter kubik beton dengan rumus :

$$w_s = \frac{A}{fas} \quad \dots (2.14)$$

Keterangan : w_s = berat semen, ton

A = volume air, m^3

fas = faktor air semen

- f. Dihitung volume kerikil berdasarkan ukuran maksimum kerikil dan modulus halus butir pasir, dengan tabel 2.8.

Tabel 2.8. Perkiraan kebutuhan agregat kasar per m³ beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya, dalam m³

Ukuran maksimum agregat, mm	Modulus halus butir pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,4
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,8	0,78
150	0,9	0,88	0,86	0,84

Volume kerikil dapat dihitung dengan rumus :

$$w_k = B_{jk} \times mhb \quad \dots (2.15)$$

Keterangan : w_k = berat kerikil, Kg

mhb = modulus halus butir, m³

B_{jk} = berat jenis kerikil, t/m³

- g. Jumlah volume absolute air, semen, kerikil, dan udara adalah :

$$v_t = v_a + v_c + v_k + v_u \quad \dots (2.16)$$

v_t = volume absolute air, semen, kerikil, udara, m³

v_a = volume air, m³

v_c = volume semen, m³

v_k = volume kerikil, m³

v_u = volume udara, m³

Volume absolute pasir :

$$v_p = 1 - v_t \quad \dots\dots (2.17)$$

v_p = volume pasir, m^3

$$w_p = v_t \times B_{j_p} \quad \dots\dots (2.18)$$

B_{j_p} = Berat jenis pasir

- h. Kontrol hitungan dengan cara menghitung berat 1 m^3 beton, yaitu berat total air, semen, kerikil, dan pasir :

$$\text{Berat beton} = w_a + w_s + w_k + w_p \quad \dots\dots (2.19)$$

w_a = berat air, ton

w_s = berat semen, ton

w_k = berat kerikil, ton

w_p = berat pasir, ton

