

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa. Pada tahun 1959an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960an hingga awal 1970an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa. Saat ini, disebut mutu tinggi untuk kuat tekan di atas 50 MPa, dan di atas 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan untuk di atas 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi (Supartono, 1998). Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

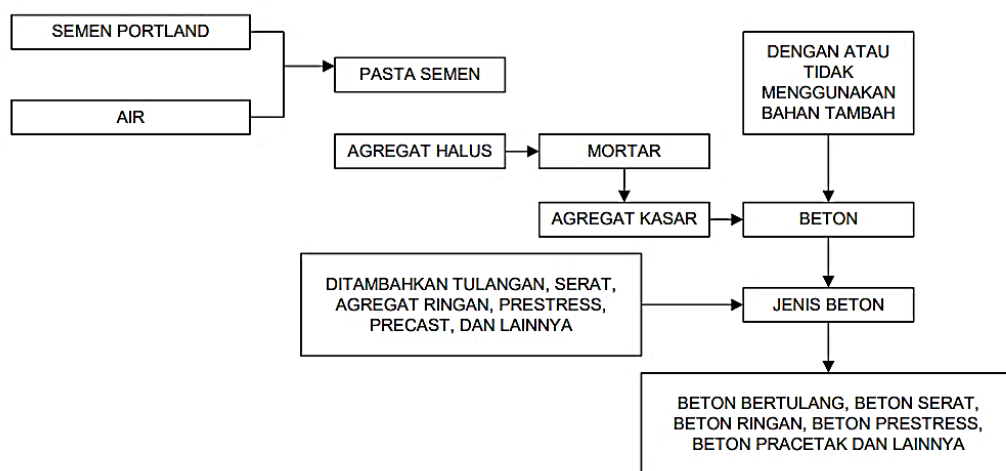
Beton mutu tinggi bermanfaat pada pracetak dan pratekan. Pada bangunan tinggi mengurangi beban mati. Kelemahannya adalah kegetasannya. Produksi beton mutu tinggi memerlukan pemasok untuk mengoptimalkan 3 aspek yang mempengaruhi kekuatan betonyaitu pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Ini perlu perhatian pada semua aspek produksi, yaitu pemilihan material, *mix design*, penanganan, dan penuangan. Kontrol kualitas adalah bagian yang penting dan memerlukan kerja sama penuh antara pemasok, perencana, dan kontraktor (Paul Nugraha & Antoni, 2007).

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah. Kuat tekan di Indonesia sering menggunakan satuan N/mm². Kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor :

1. Jenis dan kualitas semen.
2. Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. Penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat tekan dan kuat tarik lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai.
3. Perawatan. Kehilangan kekuatan sampai dengan sekitar 40% dapat

terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.

4. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. Umur. Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya



Gambar 2. 1 Proses Terbentuknya Beton

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

- a. Kualitas semen.
- b. Faktor air semen.
- c. Proporsi semen terhadap campuran.
- d. Kekuatan dan kebersihan agregat.
- e. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat.
- f. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
- g. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton.
- h. Perawatan beton.
- i. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1 % bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985 : 24).

2.1.1 Keunggulan Beton

Dari pemakaiannya begitu luas, struktur beton mempunyai banyak keunggulan diantaranya:

- a. Beton sangat baik dalam menambah gaya tekan, tetapi beton tidak mampu menahan gaya tegangan yang tinggi, karena elastisitas yang rendah.
- b. Ketersediaan (*availability*) material dasar. Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokasi setempat.

Semen pada umumnya juga dapat dibuat didaerah setempat, bila tersedia dengan demikian, biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan bisa didapat di dalam negeri, dan di daerah setempat.

- c. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*). Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, fondasi, jalan, landasan bandara udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas, beton ringan bisa dipakai untuk blok dan panel.
- d. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*). Beton bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran bervariasi. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar.
- e. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal. Ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran. (Paul Nugraha, 2007).

2.1.2 Kelemahan Beton

Disamping keunggulan, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain :

- a. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m³.
- b. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kuat tekannya besar.
- c. Beton cenderung untuk retak, karena semennya *hidraulis*. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terlihat separah struktur baja.
- d. Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.

- e. Penyusutan kering dan perubahan kadar air. Beton menyusut apabila mengalami kekeringan bahkan ketika terjadi pengerasan, memuai dan menyusut bilamana basah dan kering.
- Perubahan-perubahan ini mengharuskan untuk disediakan suatu sambungan-kontraksi pada suatu interval-interval agar tidak terjadi retak retak yang tidak terlihat.
- f. Rayapan. Beton mengalami perubahan bentuk secara berangsur-angsur bilamana mengalami pembebanan, perubahan bentuk yang ditimbulkan oleh rayapan-beton ini tidak dapat kembali seperti semula bilamana beban ditiadakan. Rayapan ini hal yang sangat penting terutama yang berhubungan dengan beton pra-tekan.
- g. Kerapatan terhadap air. Beton yang paling baik tidak dapat secara sempurna rapat terhadap air dan kelembaban serta mengandung senyawa-senyawa yang mudah larut serta terbawa keluar oleh air yang jumlahnya berubah-ubah. Kerapatan terhadap air merupakan hal yang sangat penting pada beton bertulang dimana perhatian utama adalah perlindungan terhadap karat pada baja tulangan.

2.2 Material Penyusun Beton

2.2.1 Semen

Semen merupakan bahan campuran kimiawi yang menjadi aktif setelah bereaksi dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Komposisi semen sekitar 10% dari volume beton. (Tjokrodimuljo,2019) Semen sendiri memiliki susunan unsur pokok :

Tabel 2. 1 Susunan Unsur Semen *Portland*

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

(Sumber: Teknologi Beton, Tjokrodimuljo)

Semen mempunyai sifat fisika dan sifat kimia yaitu :

a. Sifat Fisika Semen

Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar.

b. Sifat Kimia Semen

Sifat-sifat kimiawi dari semen Portland meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut (*insoluble residu*), panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen, dan faktor air semen. Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan alumunium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

Bahan baku pembentuk semen adalah sebagai berikut :

1. Kapur (CaO) dari batu kapur.
2. Silika (SiO_2) dari lempung.
3. Alumunium (AlO_3) dari lempung.

Kandungan kimia semen adalah :

1. Trikalsium Silikat
2. Dikalsium Silikat
3. Trikalsium Aluminat
4. Tetrakalsium Aluminofe
5. Gypsum

Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima jenis :

1. Jenis I (normal) : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II (modifikasi) : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang relative sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat.
3. Jenis III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Jenis IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah , biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
5. Jenis V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat.

2.2.2 Agregat

Menurut SNI 2847 – 2013 agregat merupakan bahan butiran misalnya kerikil, batu pecah, slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan bersama dengan lem khusus sebagai media perkat untuk membuat beton atau semen hidrolis. Agregat digunakan sebagai bahan pengisi beton untuk presentasi diantara 60% - 70% dari volume beton (Mulyono, 2019).

Agregat dapat dibedakan ukurannya menjadi 2 yaitu :

1. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat halus terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering.

Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering, serta memenuhi persyaratan sebagai berikut ;

- a) Nilai *Sand Equivalent* minimum 50 (AASHTO-T-1176)
- b) Penyerapan agregat terhadap air maksimum 3% (ASTM C-128-04)
- c) Berat jenis curah (*Bulk*) minimum 2.5 (ASTM C-29M-2003)
- d) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%
- e) Agregat halus tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan tidak boleh gelap dari warna standar atau pembanding,
- f) Agregat halus memiliki modulus butir halus antara 1,50-3,80
- g) Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dan jika di pakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 15%.
- h) Butir-butirnya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$
- i) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika di uji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.

- j) Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm atau 4.75 mm. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 yang terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu.

Sifat kasar agregat mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan dayatahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Jenis agregat kasar yang umum adalah:

- a. Batu pecah alami Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.
- b. Kerikil alami Kerikil didapat dari proses alami yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang 26 lebih rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

2.2.3 Air

Air merupakan salah satu bahan pembuat beton yang sangat penting namun harganya murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga menjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengikatan juga berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang digunakan dalam campuran beton agar semen dapat bereaksi hanya sekitar (25%-30%) dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25% dari berat smen, maka *workability* tidak akan tercapai. Sebaliknya, semakin banyak air yang digunakan ke dalam campuran beton dapat mempermudah proses pengadukan, pengangkutan, dan pencetakan. Akan tetapi dapat mengakibatkan penurunan kekuatan beton, dikarenakan air yang terlalu banyak akan menyebabkan banyaknya gelembung udara setelah proses hidrasi selesai sehingga

pasta semen berpori lebih banyak. Penggunaan air yang sedikit tidak menentukan kekuatan beton mutu tinggi, karena dengan jumlah air yang sedikit dapat mengakibatkan tidak selesainya proses hidrasi sehingga mutu beton dapat menurun. Oleh karena itu, air yang ditambahkan ke dalam campuran harus dilakukan sedikit demi sedikit sampai mencapai nilai maksimum.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau dan bila dihembuskan dengan udara tidak keruh, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut, (SNI 03-2847-2002) :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
 - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
5. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0.5 gr/ltr.
6. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

Adapun fungsi air didalam campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pelicin bagi agregat.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.

3. Penting untuk mencairkan bahan atau material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Membasahi agregat untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.

2.3 Sikament LN

Definisi yang dikeluarkan PT. SIKA menyebutkan bahwa Sikament® LN adalah cairan yang berfungsi sebagai aditif untuk pengurang air jumlah besar dan superplastisator untuk mempercepat pengerasan beton dan kelecakannya tinggi. Sesuai dengan A.S.T.M. C 494-92 Type F. Karakteristik dan kelebihan yaitu dapat mengurangi penggunaan air hingga 20% dan akan meningkatkan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar 40%. Menurut *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61), Sikament LN termasuk pada bahan tambah Tipe F. Bahan tambah Tipe F adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan kondisi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Tujuan dan penggunaannya sama dengan bahan tambah tipe A dengan pengurangan berat air > 12%. HRWR atau bahan tambah tipe F pada umumnya diaplikasikan atau dicampurkan di lokasi pengeceoran.



Gambar 2. 2 Sikament LN

Dengan menambahkan bahan ini ke dalam beton, diinginkan untuk mengurangi jumlah air pengaduk dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan tinggi dengan jumlah air sedikit, tetapi

tingkat kemudahan pekerjaan (*workability* beton) juga lebih tinggi. Bahan tambah jenis ini berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* adalah zat-zat polymer organik yang dapat larut dalam air yang telah dipersatukan dengan menggunakan proses polymerisasi yang kompleks untuk menghasilkan molekul-molekul panjang dari massa molekular yang tinggi. Molekul-molekul panjang ini akan membungkus diri mengelilingi partikel semen dan memberikan pengaruh negatif yang tinggi sehingga antar partikel semen akan saling menjauh dan menolak. Hal ini akan menimbulkan pendispersian partikel semen sehingga mengakibatkan keenceran adukan dan meningkatkan *workability*. Perbaikan *workability* ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan beton dengan *workability* yang tinggi atau menghasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi.

2.4 SNI 03-2834-2000

Bahan-bahan yang digunakan dalam perencanaan harus mengikuti persyaratan berikut:

1. Bila pada bagian pekerjaan konstruksi yang berbeda akan digunakan bahan yang berbeda, maka setiap proporsi campuran yang akan digunakan harus direncanakan secara terpisah.
2. Bahan untuk campuran coba harus mewakili bahan yang akan digunakan dalam pekerjaan yang diusulkan.

Bahan-bahan penyusun campuran beton adalah sebagai berikut :

a) Air

Air harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

b) Semen

Semen harus memenuhi SNI-15-2049-1994 tentang semen Portland.

c) Agregat

Agregat harus memenuhi SNI-03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton.

2.4.1 Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan

Kuat tekan beton disesuaikan dengan persyaratan perencanaan struktur yang direncanakan dan kondisi setempat pada umur 28 hari.

2.4.2 Penetapan Nilai Deviasi Standar (Sd)

Dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut:

- 1) Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- 2) Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f'_{cr} yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan.
- 3) Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- 4) Bila produksi beton hanya sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka menggunakan faktor pengali deviasi standar pada Tabel 2. 2.
- 5) Apabila tidak ada data pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu, maka nilai deviasi standar tidak diperhitungkan. Untuk kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'_{c} + 12 \text{ MPa})$.

Tabel 2. 2 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.4.3 Nilai Tambah Margin (M)

Nilai tambah dihitung menurut rumus:

$$M = 1,64 \times S_d \quad (2.1)$$

Keterangan :

M = Nilai tambah (MPa)

1,64 = Tetapan statistic yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%.

S_d = Deviasi standar (MPa)

2.4.4 Kuat Tekan Rata-rata

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut rumus berikut:

$$F'_{cr} = f'_c + M \quad (2.2)$$

$$F'_{cr} = f'_c + 1,64 S_{cr} \quad (2.3)$$

Keterangan :

F'_{cr} = kuat tekan rata-rata (MPa)

F'_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

2.4.5 Menentukan Jenis Semen Portland

Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I.

2.4.6 Penetapan Jenis Agregat

Jenis agregat halus yaitu agregat alami dan agregat kasar menggunakan batu pecah.

2.4.7 Faktor Air Semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan:

- a. Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 2. 3.
- b. Lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

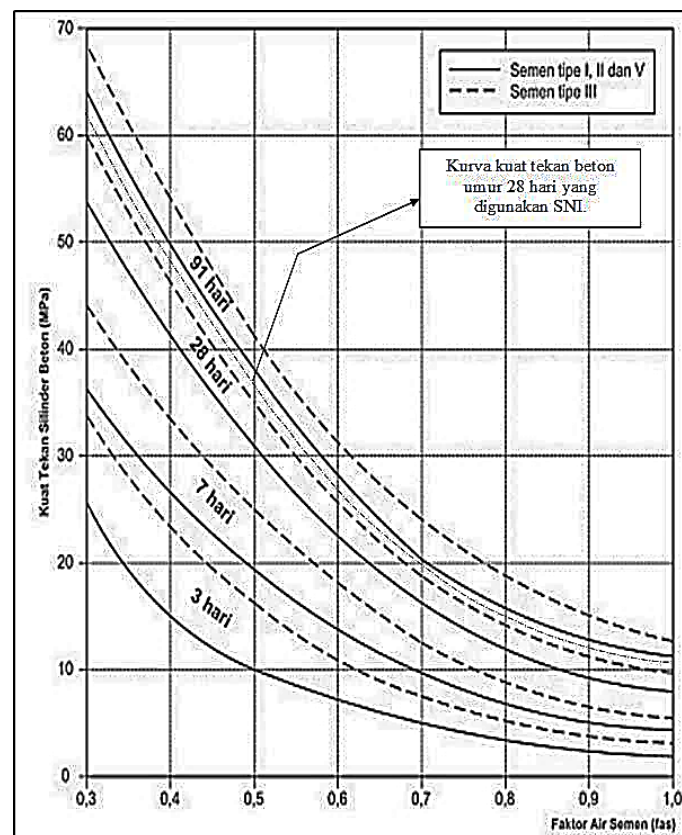
Langkah-langkah dalam menentukan faktor air semen sebagai berikut.

- 1) Dari Tabel 2.3 tentukan perkiraan nilai kuat tekan beton umur 28 hari pada FAS 0,5 dengan indikator jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji.
- 2) Pada Gambar 2. 3, perkiraan nilai kuat tekan beton diplot kemudian tarik garis mendatar hingga memotong garis FAS 0,5.
- 3) Melalui titik potong tersebut, tarik kurva yang proporsional terhadap kurva lengkung yang mengapitnya.

- 4) Plot nilai kuat tekan rata-rata dari langkah 2.6.2.4, kemudian tarik garis mendatar hingga memotong kurva yang sudah dibuat.
- 5) Dari titik potong tersebut tarik garis lurus vertikal ke bawah untuk mendapatkan nilai FAS yang diperlukan.

Tabel 2. 3 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) dengan Nilai FAS dan Agregat Kasar

Jenis semen	Jenis Agregat kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	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	



Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Beton untuk Benda Uji Silinder

2.4.8 Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Jika nilai FAS maksimum ini lebih rendah daripada nilai FAS dari Langkah 2.4.9 (hasil perhitungan), maka nilai FAS maksimum ini dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2. 4 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering Berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 2.5
Beton kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		Tabel 2.6
b. Air laut		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Untuk beton yang akan mengalami lingkungan yang mengandung sulfat, maka harus memenuhi Tabel 2. 5. Sedangkan beton yang terus berhubungan dengan air harus memenuhi persyaratan pada Tabel 2. 6.

Tabel 2. 5 Faktor Air Semen Maksimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah Mengandung Sulfat

Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal maksimum agregat (kg/m ³)			Faktor Air Semen
Dalam Tanah				40 mm	20 mm	10 mm	
Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2 : 1 g/l	Sulfat (SO ₃) Dalam air tanah g/l					
Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	80	300	350	0,50
0,2 – 0,5	1,0 - 1,9	0,3 - 1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
			Tipe I Pozolan (15 - 40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
			Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
0,5 - 1	1,9 - 3,1	1,2 - 2,5	Tipe I Pozolan (15 - 40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
			Tipe I atau Tipe V	290	330	380	0,50
1,0 – 2,0	3,1 - 5,6	2,5 - 5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45

Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal maksimum agregat (kg/m ³)			Faktor Air Semen
Dalam Tanah				40 mm	20 mm	10 mm	
Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2 : 1 g/l	Sulfat (SO ₃) Dalam air tanah g/l					
Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe II atau Tipe IV lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Tabel 2. 6 Kebutuhan Semen Minimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Jenis Beton	Lingkungan yang Berhubungan dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum (kg/m ³)	
				Ukuran Maksimum Agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Prategang	Air Tawar	0,50	Semua Tipe I-V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I + Pozolan (15-40%)	340	380
	Air Laut	0,50	Tipe II atau V	290	330
		0,45	Tipe II atau V	330	370

2.4.9 Penetapan Nilai *Slump*

Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, didapatkan dan diratakan.

Tabel 2. 7 Penetapan Nilai *Slump*

Uraian	<i>Slump</i> (cm)
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	5,0 – 12,5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan konstruksi telapak bawah	2,5 – 9,0
Pelat, balok, kolom dan dinding	7,5 – 15,0
Perkerasan Jalan	5,0 – 7,5
Pembetonan masal	2,5 – 7,5

(Sumber: PBI, 1971)

2.4.10 Ukuran Maksimum Agregat

Besarnya butir maksimum agregat tidak boleh melebihi :

- 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan (bekisting).
- 2) Sepertiga dari tebal pelat.
- 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan

Pada penelitian ini menggunakan maksimum agregat 10 mm.

2.4.11 Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:

- 1) Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada tabel.
- 2) Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \quad (2.4)$$

Keterangan :

Wh = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Tabel 2. 8 Perkiraan Kadar Air Bebas

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

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.4.12 Jumlah Semen Maksimum

Nilai semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.

2.4.13 Jumlah Semen Minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut. Kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan menggunakan Tabel 2. 9 di bawah ini.

Tabel 2. 9 Kebutuhan Semen Minimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
c. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
d. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari	325	0,60
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
c. Mengalami keadaan basah dan kering Berganti-ganti	325	0,55
d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 2.5

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton kontinu berhubungan : c. Air tawar d. Air laut		Tabel 2.6

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.4.14 Faktor Air Semen yang Disesuaikan

Jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan, maka faktor air semen harus dihitung kembali.

2.4.15 Susunan besar butir agregat maksimum

Berdasarkan gradasi (susunan butiran) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi seperti pada Tabel 2. 10. Agregat halus dapat dimasukkan menjadi salah satu dari 4 zona yang ada, yaitu daerah 1, 2, 3, dan 4. Sedangkan penentuan daerah gradasi agregat kasar seperti pada Tabel 2. 11.

Tabel 2. 10 Susunan Butir Agregat Halus

No Saringan (mm)	Persen berat butir yang lewat saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona 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: SNI 03-2834-2000)

Keterangan : Zona I = pasir kasar
 Zona II = pasir agak kasar
 Zona III = pasir agak halus
 Zona IV = pasir halus

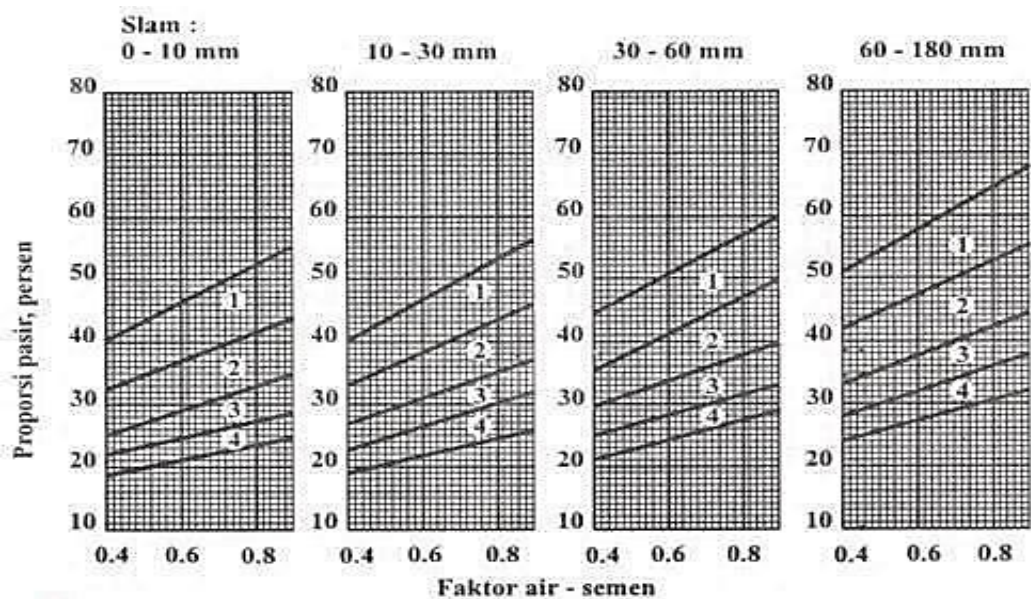
Tabel 2. 11 Persyaratan Batas-batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen butir lolos saringan (%)		
	Ukuran Nominal Agregat (mm)		
	38 – 4,76	19 – 4,76	9,6 – 4,76
38,1	95 – 100	100 – 100	100 – 100
19,0	35 – 70	95 – 100	100 – 100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.4.16 Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar

Perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar dilakukan dengan memperlihatkan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air, dan daerah gradasi halus dari gambar di bawah ini.



Gambar 2. 4 Grafik Persentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.4.17 Berat Jenis Relatif Agregat Campuran/Gabungan

Berat jenis relatif agregat ditentukan sebagai berikut:

1) Data hasil uji atau bila tidak tersedia dapat dipakai nilai bawah ini:

(1) agregat tak dipecah : 2,5

(2) agregat dipecah : 2,6 atau 2,7

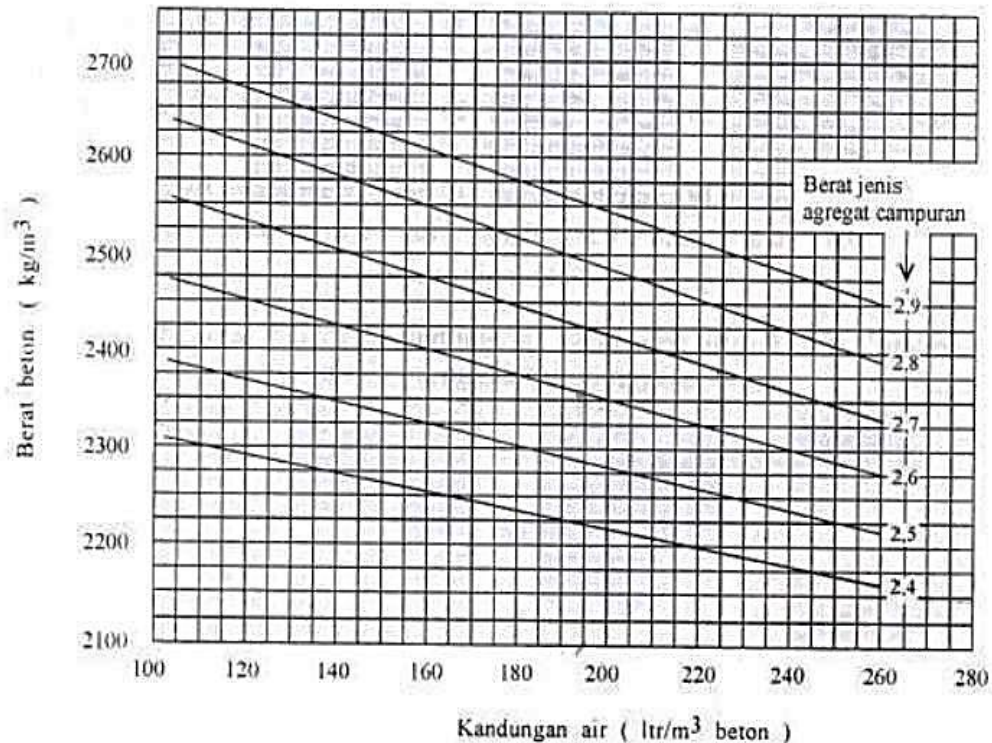
2) Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut:

Berat jenis agregat gabungan = persentase agregat halus x berat jenis agregat halus + persentase agregat kasar x berat jenis agregat kasar.

2.4.18 Berat Isi Beton

Setelah diperoleh data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya, maka berat beton dapat dihitung dengan langkah sebagai berikut.

- 1) Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 2.4.17 dibuat garis miring berat jenis campuran yang paling dekat dengan garis miring pada Gambar 2. 5.
- 2) Kebutuhan air yang diperoleh pada langkah 2.4.11 dimasukkan pada sumbu horizontal dalam Gambar 2. 5, kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis miring yang dibuat di atas.
- 3) Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat isi beton.



Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran, dan Berat Beton

2.4.19 Berat Agregat Campuran/Gabungan

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.

$$W_{agr.camp} = W_{beton} - W_{air} - W_{semen} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$W_{agr.camp}$ = kadar agregat campuran (kg)

W_{beton} = berat beton (kg/m^3)

W_{air} = berat air (kg/m^3)

W_{semen} = kebutuhan air (liter)

2.4.20 Kebutuhan Agregat Halus (Pasir)

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

$$W_{agr.hls} = W_{agr.hls} \times W_{agr.camp} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$W_{agr.hls}$ = kebutuhan agregat halus (kg)

$W_{agr.camp}$ = kebutuhan agregat campuran (kg)

P = persentase agregat halus terhadap campuran (%)

2.4.21 Kebutuhan Agregat Kasar (Kerikil)

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

$$W_{agr.ksr} = W_{agr.camp} - W_{agr.hls} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$W_{agr.ksr}$ = kebutuhan agregat kasar (kg)

$W_{agr.hls}$ = kebutuhan agregat halus (kg)

$W_{agr.camp}$ = kebutuhan agregat campuran (kg)

2.4.22 Proporsi Campuran Beton

Proporsi campuran beton (semen, air, agregat halus dan agregat kasar) harus dihitung dalam kg/m^3 adukan.

2.4.23 Koreksi Proporsi Campuran

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran halus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi

kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\text{Air} = B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (2.8)$$

$$\text{Agregat halus} = C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \quad (2.9)$$

$$\text{Agregat kasar} = D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (2.10)$$

Keterangan :

B = jumlah air

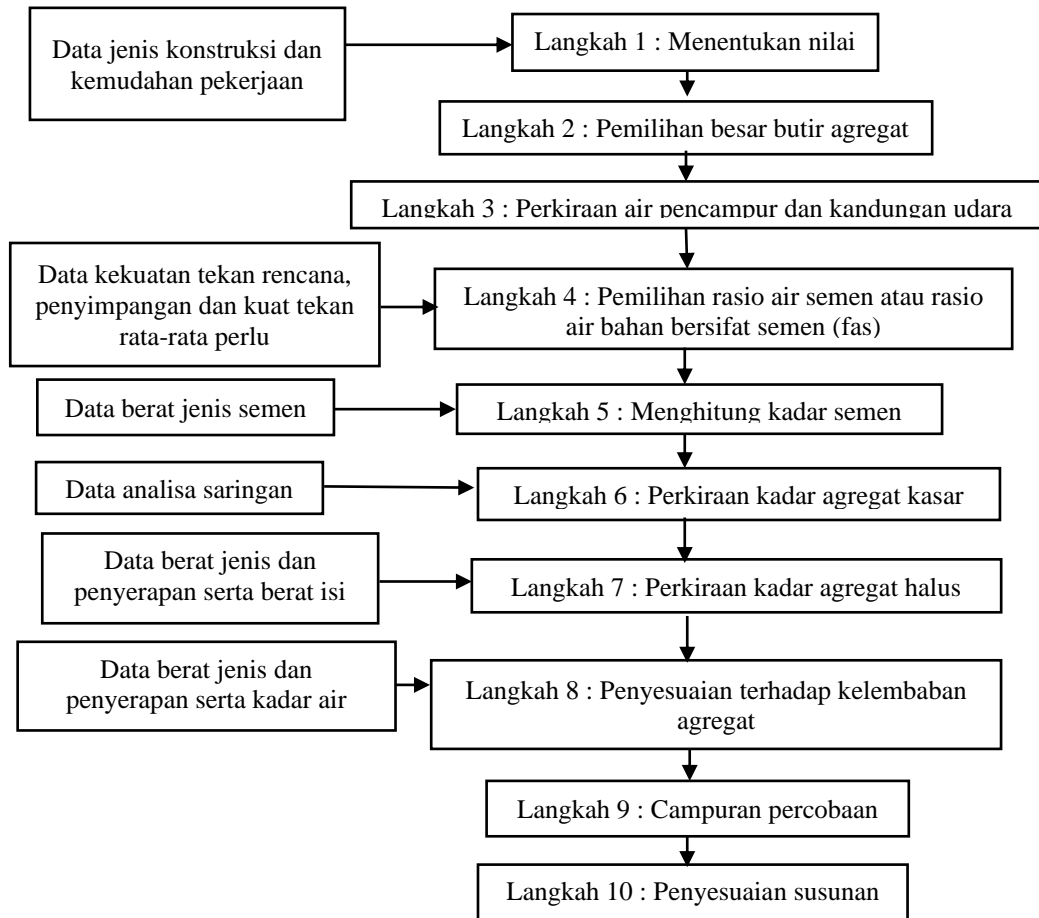
C = jumlah agregat halus D adalah jumlah agregat kasar

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%) D_a adalah absorpsi agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%) D_k adalah kandungan air dalam agregat kasar (%)

2.5 SNI 7656:2012

Karakteristik dari beton yang dipersyaratkan dalam spesifikasi untuk menentukan proporsi campuran tiap meter kubik campuran beton, dilakukan secara berurutan (SNI 7656: 2012), dengan diagram alir seperti Gambar 2. 6.



Gambar 2. 6 Diagram Alir Rancangan Campuran Beton Normal

(Sumber: SNI 7656: 2012)

2.5.1 Menghitung Kuat Tekan Rata-rata

Kekuatan tekan rata-rata perlu yang digunakan sebagai dasar pemilihan proporsi campuran beton apabila tersedia data standar deviasi untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan $f'c \leq 35$ MPa dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut.

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 s_s \quad (2.11)$$

$$f'_{cr} = f'c + 2,33 s_s - 3,5 \quad (2.12)$$

Kekuatan tekan rata-rata perlu untuk kuat tekan rencana yang disyaratkan sebesar $f'c > 35$ MPa dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut.

$$f'_{cr} = f'c + 1,34 s_s \quad (2.13)$$

$$f'_{cr} = 0,90 f'c + 2,33 s_s \quad (2.14)$$

Keterangan :

$$f'_{cr} = \text{kuat tekan rata-rata perlu (MPa)}$$

f_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

s_s = deviasi standar (MPa)

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji kekuatan di lapangan untuk menghitung deviasi standar, maka kekuatan rata-rata perlu dihitung sesuai dengan Tabel 2. 12.

Tabel 2. 12 Kuat Tekan Rata-rata apabila Tidak Tersedia Data Standar Deviasi

Jumlah Pengujian	Faktor Modifikasi
Kurang dari 15	Gunakan Tabel 2.22
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber: SNI 2847:2013)

2.5.2 Menentukan Nilai Slump

Rancangan campuran yang tidak mensyaratkan nilai slump, dapat menggunakan Tabel 2. 13 Rentang nilai slump tersebut berlaku bila beton dipadatkan dengan digetar. Nilai slump didapatkan dari jenis konstruksi yang akan menggunakan beton.

Tabel 2. 13 Nilai Slump yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanda tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	75	25
Balok dan dindin bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	75	25

(Sumber: SNI 7656: 2012)

2.5.3 Pemilihan Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum

Ukuran nominal agregat kasar maksimum 37,5 mm dengan gradasi yang baik memiliki rongga udara yang lebih sedikit dibandingkan agregat berukuran lebih

kecil. Maka, beton dengan agregat berukuran lebih besar membutuhkan lebih sedikit adukan mortar per satuan isi beton. Butir agregat maksimum didapatkan dari hasil analisis gradasi agregat atau ditetapkan.

2.5.4 Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara

Banyaknya air untuk tiap satuan isi beton yang dibutuhkan agar menghasilkan slump tertentu tergantung pada ukuran nominal maksimum, bentuk partikel dan gradasi agregat; temperatur beton; perkiraan kadar udara, dan; penggunaan bahan tambahan kimia.

Slump tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya dalam tingkat pemakaian yang normal, penggunaan sedikit bahan tambahan mineral yang halus dapat mengurangi kebutuhan air, perkiraan kebutuhan air untuk beberapa ukuran agregat dan target nilai slump yang diinginkan.

Tabel 2. 14 Perkiraan Air Campuran untuk Nilai Slump yang Berbeda dan Ukuran Maksimum Nominal Agregat

<i>Slump</i> (mm)	Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25 s.d 50	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
75 s.d 100	181	175	168	160	150	142	122	107
150 s.d 175	202	193	184	175	165	157	133	119
>175	216	205	197	184	174	166	154	-
jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat pemaparan sebagai berikut								
Kadar udara (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.5.5 Pemilihan Rasio Air-Semen Atau Rasio Air-Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau w/(c+p) yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh beberapa faktor diantaranya oleh keawetan. Oleh karena agregat, semen, dan bahan bersifat semen yang berbeda-beda umumnya menghasilkan kekuatan yang berbeda untuk rasio w/c atau w/(c+p) yang sama,

sangat dibutuhkan adanya hubungan antara kekuatan dengan w/c atau $w/(c+p)$ dari bahan-bahan yang sebenarnya akan dipakai. Bila data ini tidak ada, maka perkiraan dan nilai lama dari beton yang menggunakan semen *portland* tipe I, diberikan dalam Tabel 2. 15.

Nilai rasio semen-air didapatkan dari data kekuatan beton umur 28 hari, MPa dan rencana beton tanpa atau dengan tambahan udara dalam beton. Pendekatan lainnya dapat menggunakan SNI 2847:2013 yang memperhitungkan kuat tekan perlu dan deviasi standar hasil uji.

Tabel 2. 15 Hubungan antara Rasio Material Air-Semen dan Kuat Tekan Beton

Kuat tekan umur 28 hari [(<i>Compressive strength</i> <i>at 28 days</i>), MPa (Kg/cm ²)]	Rasio air semen berdasarkan berat (<i>Water-cementitious materials ratio by mass</i>)	
	Beton tanpa tambahan udara (<i>Non-air-entrained concrete</i>)	Beton dengan tambahan udara (<i>Air-entrained concrete</i>)
45 (450)	0,38	0,30
40 (400)	0,42	0,34
35 (350)	0,47	0,39
30 (300)	0,54	0,45
25 (250)	0,61	0,52
20 (200)	0,69	0,60
15 (150)	0,79	0,70

(Sumber: SNI 7656: 2012)

2.5.6 Perhitungan Kadar Semen

Banyaknya semen untuk tiap satuan volume beton diperoleh dari nilai di langkah 3 perkiraan kebutuhan air pencampur dan dibagi dengan langkah 4 rasio air-semen. Jika persyaratannya memasukkan pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari persyaratan kekuatan dan keawetan, campuran haruslah didasarkan pada kriteria apapun yang mengarah pada pemakaian semen yang lebih banyak. Penggunaan bahan pozolanic atau bahan tambahan kimia akan mempengaruhi sifat-sifat dari beton baik beton segar maupun beton yang telah mengeras dan penghitungannya masuk dalam kadar semen.

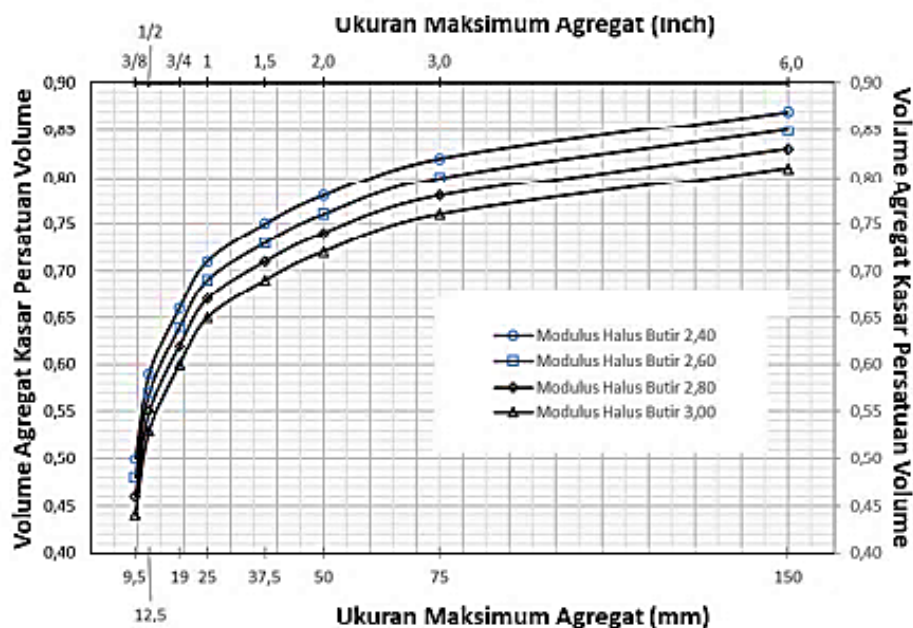
2.5.7 Perkiraan Kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton. Volume agregat kasar per satuan volume beton dapat diperkirakan dari Tabel 2. 16 atau Gambar 2. 7, atau dilakukan perhitungan secara analitis atau grafis.

Tabel 2. 16 Berat Isi Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Nominal maximum size of aggregate, mm (in.)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan** dari agregat halus (<i>Bulk volume of dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate**</i>)			
	2,40	2,6	2,8	3,00
9,5 (3/8)	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2)	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4)	0,66	0,64	0,62	0,60
25 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1½)	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3)	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

(Sumber: SNI 7656: 2012)



Gambar 2. 7 Hubungan Ukuran Maksimum Agregat dengan Fraksi Halus

2.5.8 Perkiraan Kadar Agregat Halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metode berdasarkan berat atau metode berdasarkan volume absolut.

1. Berdasarkan berat beton segar

Perkiraan awal berat beton seperti pada Tabel 2. 17 digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan kadar air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 2. 17 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat	Perkiraan awal berat beton segar	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

(Sumber: SNI 7656:2012)

2. Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan-bahan yang telah diketahui seperti air, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

2.5.9 Penyesuaian Terhadap Kelembaban Agregat

Jumlah agregat yang harus ditimbang untuk beton harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang terserap dalam agregat yang didapatkan dari hasil pengujian kadar air. Banyaknya air pencampuran yang harus ditambahkan ke dalam campuran haruslah dikurangi sebanyak air bebas yang didapat dari agregat, yaitu jumlah air dikurangi air terserap yang didapatkan dari hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat.

$$\text{Agregat halus} = C + \left[(Da) \frac{c}{100} \right] \quad (2.15)$$

$$\text{Agregat kasar} = D + [(Dk) \frac{D}{100}] \quad (2.16)$$

$$\text{Air} = B - [(Da - Ca) \frac{C}{100}] - [(Dk - Ck) \frac{D}{100}] \quad (2.17)$$

Keterangan :

- B = jumlah air (kg/m³)
 C = jumlah agregat halus (kg/m³)
 D = jumlah agregat kasar (kg/m³)
 Da = kadar air agregat halus (%)
 Dk = kadar air agregat kasar (%)
 Ca = penyerapan agregat halus (%)
 Ck = penyerapan agregat kasar (%)

2.6 Kuat Tekan Beton

Menurut Mulyono, kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Kusumo, 2013). Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm, diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f^c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

Rumus yang digunakan pada persamaan (2.18) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut (Antono, 1995).

$$f^c = \frac{P}{A} \quad (2.18)$$

Keterangan:

- f^c = kuat tekan (MPa)
 P = beban tekan (N)
 A = luas penampang benda uji (mm²)

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian

adalah agregat, karena agregat mencapai 70 - 75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

- a. Permukaan dan bentuk agregat.
- b. Gradasi agregat.
- c. Ukuran maksimum agregat.

2.7 Penelitian Terdahulu

2.7.1 Ibrahim

Melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Penambahan Aditif Sikament LN terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Nilai Slump”. Penelitian ini menggunakan kuat tekan rencana f'_c 41 MPa dengan variasi bahan tambah Sikament LN sebesar 0,6% slump 5 cm mencapai kuat tekan 45,65 MPa, bahan tambah Sikament LN 1% dengan slump 6 cm sebesar 47,38 MPa, bahan tambah Sikament LN 1,4% dengan slump 7 cm sebesar 44,20 MPa dan bahan tambah Sikament LN 1,8% dengan slump 8 cm sebesar 38,65 MPa. Hasil penelitian pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton dengan penambahan Sikament LN 1% dengan nilai slump 6 cm memperoleh nilai rata-rata kuat tekan tertinggi yaitu 47,38 MPa.

2.7.2 Sutrianus Arief

Melakukan penelitian mengenai “Studi Eksperimen Kuat Tekan Beton Menggunakan Semen PPC Dengan Tambahan Sikament-Ln”. Penelitian ini dilakukan pada beton normal dengan kadar bahan tambah bervariasi sebesar 0,7%, 1%, 1,3% dengan nilai slump 7-10 cm. Benda uji berbentuk silinder 150 mm x 300 mm dengan *Job Mix Formula* menggunakan metode ACI. Hasil penelitian pada umur beton 28 hari menunjukkan bahwa beton dengan penambahan Sikament LN berturut-turut ialah 36,54 MPa, 39,02 MPa, 46,22 MPa. Maka kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu pada penambahan Sikament LN sebesar 1,3%.

2.7.3 Yusverison Andika

Melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Penggunaan Sikament LN Terhadap Pengurangan Jumlah Kadar Air dan Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini dilakukan pada beton normal dengan kadar bahan tambah variasi sebesar 1% dan 3%. Hasil penelitian pada umur beton 28 hari menunjukkan bahwa beton dengan

penambahan Sikament LN berturut-turut ialah 33,96 MPa dan 21,51 MPa. Maka kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu pada penambahan Sikament LN sebesar 1%.

2.7.4 Persamaan dan Perbedaan

Tabel 2. 18 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1.	Ibrahim	Pengaruh Penambahan Aditif Sikament LN terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Nilai Slump	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah sikament-ln • Kuat tekan rencana beton f'_c 41 MPa • Pengujian sampel (7 hari, 14 hari dan 28 hari) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi penambahan Sikament LN (0,6% dengan slump 5 cm, 1% dengan slump 6 cm, 1,4% dengan slump 7 cm dan 1,8% dengan slump 8 cm) • Metode rencana campuran (SNI PD-T-04-2004-C Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi)
2.	Sutrianus Arief	Studi Eksperimen Kuat Tekan Beton Menggunakan Semen PPC Dengan Tambahan <i>Sikament-Ln</i>	Menggunakan bahan tambah <i>sikament-ln</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi penambahan Sikament LN (0,7%, 1% dan 1,3%) dengan control slump 7-10 cm • Metode rencana

No	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
				campuran (ACI) <ul style="list-style-type: none"> • Pengujian sampel (3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari)
3.	Yusverison Andika	Pengaruh Penggunaan Sikament- Ln Terhadap Pengurangan Jumlah Kadar Air dan Kuat Tekan Beton	Menggunakan bahan tambah sikament-ln	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi penambahan Sikament LN (1% dan 3%) • Metode rencana campuran (SNI 03-2834-2000) • Pengujian sampel (hanya umur 28 hari)