

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Dalam konstruksi beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi semen berhidrasi, mengelam komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti batu. Beton digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, pondasi, jalan, jembatan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok balok nama lama untuk beton adalah batu cair.

Sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan bahan lainnya kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut:

A. Kelebihan beton :

1. Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari bahan lokal, kecuali semen Portland.
2. Beton termasuk tahan aus dan tahan kebakaran, sehingga biaya perawatan termasuk rendah
3. Beton termasuk bahan yang kuat tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap karat/busuk oleh kondisi lingkungan.

4. Ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan beton tidak bertulang atau pasangan batu.
5. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran berapapun tergantung keinginan.

B. Kekurangan beton :

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan, atau tulangan kasar.
2. Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah sehingga dilatasi (constraction joint) perlu diadakan pada beton yang panjang/lebar untuk memberi tempat bagi susut pengerasan dan pengembangan beton.
3. Beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu sehingga perlu dibuat dilatasi (expansion joint) untuk mencegah terjadinya retak-retak akibat perubahan suhu.
4. Beton sulit untuk kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusakkan beton.
5. Beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dihitung dan didetail secara seksama agar setelah dikombinasikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa.
6. sehingga biaya perawatan termasuk rendah
7. Beton termasuk bahan yang kuat tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap karat/busuk oleh kondisi lingkungan.
8. Ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan beton tidak bertulang atau pasangan batu.

9. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran berapapun tergantung keinginan

2.2 Limbah Karbit Sebagai Pengganti Semen

Perkembangan zaman yang semakin modern memicu berkembangnya industri – industri guna mendukung kebutuhan – kebutuhan manusia yang semakin kompleks seiring dengan bertambahnya industri semakin meningkat pula permasalahan mengenai limbah yang dihasilkan oleh tiap- tiap industri. Salah satunya adalah industri yang bergerak dalam bidang produsen gas industri yang memproduksi gas Acetylene.

Acetylene merupakan gas yang tidak berwarna dan mudah terbakar gas ini banyak digunakan sebagai bahan bakar dalam pengelasan Acetylene bahan baku dalam pembuatan gas Acetylene adalah kalsium karbida (CaC_2) dengan ditambahkan air sebagai pereaksinya. Reaksi tersebut menghasilkan gas Acetylene (C_2H_2) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsium hidroksida) yang berwujud slurry. Limbah karbit yang dihasilkan dalam satu tahun rata – rata sekitar 1978,72 m³, Menurut PP No 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun pada lampiran I dinyatakan bahwa limbah karbit yang berasal dari kegiatan industri gas termasuk limbah B3 dengan kategori bahaya 2. Oleh karena itu diperlukan pengelolaan limbah B3 yang tepat untuk menghindari kontaminasi dengan manusia serta lingkungan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, komposisi kimia terbesar dalam limbah karbit adalah CaO sebesar 56,5% dan SiO_2 4,3% (Makaratat, 2010 dalam Denny & Luqman, 2016). Sedangkan komposisi terbesar semen portland adalah CaO sebesar 60 – 65% dan unsur Si 17 – 25% Material utama dari semen portland

adalah kapur dan silika. Beberapa semen juga mengandung sejumlah kecil Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO dan SO_3 (Sagel dkk, 1997 dalam Yusibani Et al, 2016). X-Ray Fluoresensi (XRF) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia dari suatu material (Duggal, 2008 dalam Yusibani Et al, 2016). X-Ray Fluoresensi (XRF) merupakan salah satu metode analisis unsur dalam suatu material secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dapat memberikan informasi mengenai unsur apa saja yang terkandung dalam material tersebut, sedangkan analisa kuantitatif dapat memberikan informasi mengenai jumlah unsur yang terkandung dalam material tersebut (Brouwer, 2010 dalam Yusibani Et al, 2016).

Berdasarkan hasil pengujian X-Ray Fluoresensi (XRF) dari limbah karbit menunjukkan bahwa komposisi limbah karbit terdiri dari senyawa Al_2O_3 sebesar 0,61%, SiO_2 0,94%, SO_3 0,3%, CaO 95,37%, Fe_2O_3 0,48%, Y_2O_3 0,25% dan MoO_3 2,1%. Material utama penyusun semen portland adalah kapur dan silika (Sagel dkk., 1997 dalam Yusibani, 2016). Komposisi senyawa kimia CaO dan SiO_2 dalam limbah karbit sebesar Conference Proceeding on Waste Treatment Technology ISSN No. 2623 - 1727 Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah – Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 8 95,37% dan 0,94%. Sedangkan senyawa kimia CaO dan SiO_2 dalam semen portland sebesar 60 – 65% dan 17 – 25% (Sagel dkk, 1997 dalam Yusibani Et al, 2016). Senyawa CaO dalam semen berfungsi sebagai pengontrol kekuatan dan ketahanan material terhadap palapukan dan SiO_2 berfungsi sebagai penambah kekuatan, jika terlalu banyak akan membuat setting time lambat (Sagel dkk, 1997 dalam Yusibani Et al, 2016). Sehingga dalam penelitian ini, dilakukan pemanfaatan limbah karbit sebagai

pengganti semen. Pengujian yang dilakukan yaitu uji waktu ikat semen yang telah ditambahkan limbah karbit sebesar 0%, 6%, 10% dan 12% terhadap pengurangan semen. Uji waktu ikat semen (setting time) berdasarkan SNI 03-6827-2002 bertujuan untuk mendapatkan nilai waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Waktu ikat awal merupakan waktu yang diperlukan oleh pasta semen untuk mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat. Waktu ikat awal ditentukan dari grafik penetrasi waktu, yaitu waktu dimana penetrasi jarum vicat mencapai nilai 25 mm. Waktu ikat akhir merupakan waktu dimana penetrasi jarum vicat tidak terlihat secara visual.

2.3 Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kapasitas dari suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Kuat tekan dapat diukur dengan memasukkan ke dalam kurva tegangan-tegangan dari data yang didapatkan dari mesin uji. Beberapa bahan akan patah pada batas tekan, beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan, meski belum patah, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (*irreversible*). Pengetahuan mengenai kekuatan tekan merupakan kunci dalam mendesain sebuah struktur. Kekuatan tekan dapat diukur dengan mesin uji universal. Pengujian kekuatan tekan, seperti halnya pengujian kuat tarik, dipengaruhi oleh kondisi pengujian (penyiapan spesimen, kondisi kelembaban dan temperatur ruang uji, dan sebagainya).

A. Rumus Perhitungan Kuat Tekan

1. Peralatan dan Bahan

a. Mesin tekan

- b. Tongkat pemadat
- c. Cetakan beton
- d. Mistar
- e. Timbangan kapasitas 20 kg

Adukan beton untuk benda uji harus diambil langsung dari mesin pengaduk dengan menggunakan peralatan yang tidak menyerap air, adukan beton harus diaduk lagi sebelum dimasukkan dalam cetakan.

2. Prosedur Percobaan

Pembuatan benda uji :

- a. Isi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, setiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali secara merata.
- b. Ratakan permukaan beton.
- c. Biarkan beton dalam cetakan selama ± 24 jam dan letakkan pada tempat yang bebas getaran serta ditutup dengan bahan yang kedap air.
- d. Setelah 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji.
- e. Rendam benda uji dalam bak yang berisi air agar proses perawatan (curing) beton berlangsung dengan baik, maka perendam dilakukan sampai batas waktu pengujian kuat tekan beton.

Penekanan benda uji :

- a. Ambil benda uji dari bak perendam dan lap dengan menggunakan lap lembab.
- b. Tentukan berat dan ukuran benda uji perhatikan : Jika benda ujinya berbentuk silinder, sebelum benda uji tersebut ditekan harus diberi

lapisan mortal / semen dipermukaan atas dan bawah setebal 4 mm untuk meratakan permukaan bidang tekan.

- c. Letakkan benda uji pada mesin penekan secara sentris.
- d. Jalankan mesin penekan dengan penambahan beban terutama berkisar antara 2 - 4 kg/cm².

Hitung kuat tekan beton dari benda uji tersebut.

$$\text{Kuat tekan beton } (\sigma_{bk}) = P/A$$

$$P = \text{Beban maksimum (kN)}$$

$$A = \text{Luas penampang bidang tekan (cm}^2\text{)}$$

Tabel 2.1 percobaan benda uji

| No | Umur | Berat (Kg) | Diameter (cm) | Tinggi (cm) | Luas (cm ²) | Beban Tekan (kN) |
|----|---------|--------------|-----------------|---------------|--------------------------|------------------|
| 1 | 3 hari | 12,57 | 15 | 30,3 | 176.625 | 190 |
| 2 | 3 hari | 12,52 | 15 | 30,4 | 176.625 | 200 |
| 3 | 3 hari | 12,66 | 15 | 30,3 | 176.625 | 210 |
| 1 | 7 hari | 12,66 | 15 | 30,2 | 176.625 | 320 |
| 2 | 7 hari | 12,53 | 15 | 30,0 | 176.625 | 300 |
| 3 | 7 hari | 12,69 | 15 | 30,4 | 176.625 | 350 |
| 1 | 14 hari | 12,60 | 15 | 30,1 | 176.625 | 390 |
| 2 | 14 hari | 12,65 | 15 | 30,1 | 176.625 | 400 |
| 3 | 14 hari | 12,73 | 15 | 30,5 | 176.625 | 400 |
| 1 | 28 hari | 12,70 | 15 | 30,4 | 176.625 | 480 |
| 2 | 28 hari | 12,65 | 15 | 30,5 | 176.625 | 460 |
| 3 | 28 hari | 12,60 | 15 | 30,2 | 176.625 | 420 |

$$\text{luas} = 1/4\pi d^2$$

$$\text{beban rata-rata (P)} = \text{Beban Tekan Dijumlahkan}/3$$

$$\text{kuat tekan beton (} \sigma_{bk} \text{)} = P/A$$

Hasil Perhitungan :

Tabel 2.2 hasil perhitungan benda uji

| Umur | Beban tekan rata-rata (P) | Kuat tekan beton (σ_{nk}) |
|---------|---------------------------|------------------------------------|
| 3 hari | 200 | 1.13 |
| 7 hari | 323.33 | 1.83 |
| 14 hari | 396.67 | 2.25 |
| 28 hari | 453.33 | 2.57 |

Catatan :

Masukkan data hasil pemeriksaan kedalam formulir kekuatan tekan beton.

Benda uji untuk pemeriksaan kuat tekan beton berdasarkan PBI'71 ada 3 bentuk, yaitu :

Tabel 2.3 perbandingan kuat tekan berdasarkan benda uji

| No | Benda uji | Pembandingan kuat tekan |
|----|-----------------------|-------------------------|
| 1 | Kubus 15 x 15 x 15 cm | 1,00 |
| 2 | Kubus 20 x 20 x 20 cm | 0,95 |
| 3 | Silinder 15 x 30 cm | 0,83 |

Benda uji kubus permukaan bidang tekannya tidak dilapisi adukan merata.

Pemeriksaan kekuatan tekan beton biasanya dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari

Tabel 2.4 perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur

| PERBANDINGAN KEKUATAN TEKAN BETON PADA BERBAGAI UMUR | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Umur beton (hari) | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 | 90 | 360 |
| Semen Portland (biasa) | 0,40 | 0,65 | 0,88 | 0,95 | 1,00 | 1,20 | 1,35 |
| Semen Portland kekuatan awal tinggi | 0,55 | 0,75 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,15 | 1,20 |

A. Faktor – faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

3. Kandungan Semen

Sejak lama para ahli dan praktisi sangat faham bahwa peningkatan rasio air/semen akan mendapatkan hasil kuat tekan beton lebih rendah.

Pengalaman laboratorium menunjukkan kenaikan rasio air/semen adalah

0.35 berturut menjadi 0.65 akan menurunkan kekuatan beton hampir secara linier menjadi 50% (pada kondisi campuran lain yang sama). Peningkatan jumlah pemakaian air bisa disebabkan oleh berbagai sebab antara lain: Kontrol pemakaian air jelek, variasi kelembaban dan absorpsi agregat, perubahan gradasi agregat.

4. Tipe Semen

SNI 15-2049-1994 dan ASTM C150 mengenalkan 5 tipe semen Portland (PC) (tanpa pakai air-entrained) :

Tabel 2.5 tipe semen portland (PC)

| Tipe PC | Keterangan |
|----------------|--|
| I | PC normal atau untuk tujuan umum |
| II | Panas hidratisasi moderat dan tahan sulfat moderat |
| III | Kekuatan awal tinggi |
| IV | Panas hidratisasi rendah |
| V | Tahan sulfat |

Ditinjau dari pertumbuhan kekuatannya, pada kondisi temperatur dan kelembaban yang sama, pada umur 90 hari semua Tipe PC akan mencapai kekuatan 100%. Namun pada umur 28 hari, masing-masing Tipe PC akan mencapai kekuatan yang berbeda-beda.

Tabel 2.6 kekuatan semen portland

| Tipe PC | Kuat Tekan |
|----------------|--|
| I | PC normal atau untuk tujuan umum |
| III | Panas hidratisasi moderat dan tahan sulfat moderat |
| II, IV, V | Kekuatan awal tinggi |

5. Agregat

Bila sifat-sifat agregat seperti ukuran, bentuk, tekstur permukaan dan komposisi mineralogi telah memenuhi syarat untuk dipakai sebagai

komponen pembentuk beton (Lihat, SNI 2847, Pasal 5.3) maka kekuatan beton sangat ditentukan oleh gradasi (distribusi ukuran partikel) agregat. Perubahan gradasi, tanpa ada perubahan ukuran maksimum agregat kasar dan rasio air/semén, akan menyebabkan penurunan kuat tekan beton terutama bila ada tanda/kenaikan slump. Karena itu konsistensi pemakaian grading sesuai ketentuan desain-campuran harus secara rutin dijaga terhadap penyimpangan. Grading agregat kasar dan agregat halus harus memenuhi grading ASTM C33 dan C136.

6. Air Campuran

Air untuk kebutuhan campuran dan kemudian juga pemeliharaan beton tidak boleh mengandung bahan-bahan yang merusak beton. Jadi harus bersih dan tawar. Air untuk campuran dan pemeliharaan beton paling baik adalah yang layak diminum, namun air sungai juga boleh dipakai asalkan tidak lumpur, sisa-sisa bahan organik dan atau mengandung larutan kimia (air buangan pabrik dan atau air laut). Pengalaman menunjukkan, pemakaian air yang kurang bersih itu menurunkan kuat tekan beton secara signifikan. Dalam hal menemui keraguan atas kualitas air, maka baiknya diperiksa dahulu kandungan kimianya atau diadakan uji percobaan kekuatan dahulu untuk mengetahui layak tidaknya air campuran.

7. Bahan Tambah (admixture)

Pengaruh bahan tambahan pada kekuatan beton tentunya tergantung pada tipe admixture. Pada rasio air/semén tertentu, pemakaian admixture yang mereduksi air dan mempercepat/membatalkan proses hidrasi jelas

berpengaruh besar pada laju pengerasan beton, tapi tidak berpengaruh pada kekuatan akhir beton yang direncanakan.

B. Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekan

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non struktur. Misalnya, dinding bukan penahan beban.
2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang dan bagian-bagian struktur penahan beban. Namun untuk struktur yang berada di daerah gempa, kuat tekannya minimum 20 Mpa. Misalnya kolom, balok, dinding yang menahan beban dan sebagainya.
3. Beton prategang, dipakai untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan dilentur dulu sebelum diberi beban.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi, dipakai pada struktur khusus misalnya gedung bertingkat sangat banyak.

Tabel 2.7 beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

| Jenis Beton | Kuat Tekan (Mpa) |
|---|------------------|
| Beton sederhana (<i>plain concrete</i>) | Sampai 10 Mpa |
| Beton normal | 10 – 30 Mpa |
| Beton prategang | 30 – 40 Mpa |
| Beton kuat tekan tinggi | 40 – 80 Mpa |
| Beton kuat tekan sangat tinggi | > 80 Mpa |

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodimulyo, M.E., 1998, Bahan Bangunan : IV-54, Tabel 2.3)

C. Rangkak Susut Beton

Setelah beton mengeras, maka beton akan mengalami pembebanan. Pada kondisi ini maka terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang

merupakan fungsi dari waktu pembebanan beton akan menunjukkan sifat elastisitas murni jika mengalami waktu pembebanan singkat, jika tidak maka beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai lama pembebanannya. Rangkak (creep) adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemudian berakhir setelah beberapa tahun. Nilai rangkakan untuk beton mutu tinggi akan lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah. Umumnya, rangkakan tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur, tetapi akan mengakibatkan redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya lendutan (deflection). Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Proses susut pada beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya akan bersifat menambah deformasi rangkakan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkakan dan susut.

D. Cara Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian terhadap beton dilakukan pada material beton segar bisa berbentuk kubus atau silinder yang mewakili campuran beton. Beton merupakan batu buatan yang dibuat dengan mencampurkan beberapa bahan pilihan yakni agregat halus, agregat kasar dan semen yang diaduk dan dibentuk menjadi struktur untuk bangunan. Berikut ini langkah-langkah selengkapnya.

1. Siapkan beton yang hendak diuji yakni dari beton segar yang mewakili campuran beton. Isikan cetakan dengan adukan beton dalam tiga lapis. Cetakan ini bisa berupa cetakan silinder dengan diameter 152 mm dan tinggi 305 mm.

2. Setiap lapisan adukan beton yang dimasukkan ke dalam cetakan dipadatkan dengan 25 x tusukan merata. Saat melakukan pemadatan pada lapisan yang pertama, tongkat pemadat tidak sampai menyentuh bagian dasar cetakan. Ketika pemadatan lapisan kedua dan ketiga, tongkat pemadat masuk kedalaman sekitar 25,4 mm pada lapisan yang ada di bawahnya.
3. Jika pemadatan sudah selesai dilakukan, ketuklah sisi-sisi cetakan sampai rongga tusukan tertutup sempurna. Ratakan permukaan beton dan tutup dengan bahan tahan karat dan kedap air. Diamkan beton dalam cetakan selama 24 jam. Pastikan beton dalam cetakan diletakkan pada lokasi yang tanpa getaran.
4. Bila sudah 24 jam, keluarkan beton dari cetakan dan rendam dalam air bersuhu 25⁰C selama waktu yang diinginkan atau sesuai dengan persyaratan sebagai proses pematangan.
5. Selanjutnya bersihkan beton yang hendak diuji dengan kain lembab. Pastikan tidak ada lagi kotoran yang menempel.
6. Kemudian catat berat dan ukuran beton yang akan diuji.
7. Beri lapisan mortar belerang di bagian permukaan atas dan bawah beton. Caranya, lelehkan terlebih dahulu mortar belerang lalu letakkan beton dalam posisi tegak lurus hingga belerang menjadi keras. Lakukan cara yang sama untuk bagian bawah beton

Pengujian Kuat Tekan Beton :

Jika beton yang hendak diuji sudah disiapkan dengan baik, selanjutnya siapkan alat uji kuat tekan beton. Alat ini secara khusus dirancang untuk menguji kuat tekan pada beton. Letakkan beton yang akan diuji tepat pada bagian tengah

mesin uji, operasikan mesin uji dengan penambahan beban yang konstan antara 2 Kg/cm² sampai dengan 4 Kg/cm² per detik uji beban ini terus dilakukan sampai beton uji hancur, catat dengan baik beban maksimum selama pengujian dilakukan catat pula kondisi beton uji dan gambar bentuk pecahannya, dari data tersebut, selanjutnya bisa dihitung kuat tekan beton dengan menggunakan rumus $P/A(\text{Kg}/\text{cm}^2)$. Dalam rumus ini, P adalah beban maksimum dengan satuan Kg. Sedangkan A adalah luas penampang benda uji dengan satuan Cm², uji kuat tekan beton umumnya dilakukan pada beton usia 14 hari, 21 hari dan 28 hari kemudian hasil uji diambil dari nilai rata-rata paling tidak 2 beton yang diuji dengan cara ini dapat diperoleh hasil yang akurat.

2.4 Bahan Penyusun Beton

Material Pembentuk Beton merupakan bagian bangunan yang dibuat dari pencampuran bahan Semen, Agregat Kasar (Kerikil atau Split), Agregat Halus (Pasir) dan Air. Namun tidak jarang pula beton ditambahkan zat Additive sebagai komponen ke 5. Zat additive merupakan cairan Kimia yang memiliki fungsi yang bermacam-macam, seperti halnya mempercepat pengerasan beton, Semua komponen tersebut dicampurkan sedemikian rupa dengan takaran atau perbandingan sesuai kebutuhan. Perbandingan ini disesuaikan dengan target mutu Kekuatan Beton yang kita inginkan atau dibutuhkan pada suatu bangunan. Mutu atau kekuatan Beton ini merupakan kekuatan atau daya tahan beton dalam menerima Gaya Tekan hingga beton tersebut mengalami Pecah (crash). Pengukuran mutu atau kekuatan beton tersebut dapat dilakukan dengan mengukur tingkat kekerasan beton menggunakan alat seperti Mesin Penetration Test (di Laboratorium), Perbedaan komposisi pada campuran beton yang digunakan akan

membuat betonpun memiliki kualitas yang berbeda-beda. Sebagai contohnya bila kita menggunakan campuran semen yang lebih banyak maka beton yang dihasilkan akan semakin kuat pula. Namun kita juga tidak dapat mengesampingkan campuran pasir dan batu kerikil karena material tersebut juga akan mempengaruhi kekuatan beton, bahkan kandungan lumpur/tanah yang ada pada Agregat juga mempengaruhi mutu beton. Namun kandungan lumpur/tanah justru akan membuat beton semakin jelek mutunya.

Material penyusun beton :

A. Semen

Apabila campuran semen diperbanyak maka akan membuat kekuatan dan durabilitas beton juga akan meningkat karena semen (bersama dengan air) akan membentuk pasta yang akan mengikat agregat mulai dari yang paling besar (kasar) sampai yang paling halus, jadi dapat disimpulkan bahwa semen ini merupakan bagian yang akan mengikat seluruh agregat.

B. Air

Apabila air yang digunakan terlalu banyak juga akan membuat kekuatan beton menurun, air yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan banyaknya semen yang digunakan. Hal ini karena air digunakan untuk melarutkan semen atau digunakan sebagai “Pereaksi”, yaitu menciptakan reaksi bagi Semen agar bisa menjadi pasta dan mengikat Agregat yang ada.

C. Agregat Halus

Pasir dalam beton bangunan digunakan sebagai bahan pengisi, bila penggunaannya terlalu banyak juga akan menurunkan kualitas beton. Namun penggunaan pasir ini juga tidak dapat dikesampingkan.

D. Agregat Kasar

Penggunaan agregat kasar ini juga harus disesuaikan dengan jumlah pasir yang digunakan, karena bila terlalu banyak maka dikhawatirkan pasir tidak dapat mengisi rongga yang dibuat oleh agregat kasar ini sehingga akan menurunkan kualitas beton.

2.5 Pengujian Bahan Penyusun Beton

A. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada uraian berikut :

1. Agregat halus yang berupa pasir galunggung
2. Agregat kasar yang digunakan ialah agregat yang di pecah/splite clereng yang diambil dari gunung galunggung
3. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland holcim
4. Air yang memenuhi syarat dan layak diminum sebagai campuran beton

B. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini dari mulai pemeriksaan bahan sampai dengan benda uji, dengan uraian berikut :

1. Neraca, digunakan untuk menimbang berat bahan penyusun beton
2. Saringan/ayakan, digunakan untuk mengukur ukuran agregat yang lolos saringan
3. Gelas ukur kapasitas maksimum 1000 ml dengan merk MC, digunakan untuk menakar volume air, berat jenis dan memeriksa kadar lumpur pasir

4. Kerucut Abrams dan baja penumbuk digunakan untuk mengukur nilai slump dari beton segar
5. Oven, digunakan untuk mengeringkan sample dalam pemeriksaan bahan yang digunakan dalam campuran beton
6. Cangkul/cetok (sendok pengaduk), untuk mengaduk semua agregat dan semen hingga bersifat homogen
7. Cetakan baja berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm
8. Tempat adukan digunakan untuk mengaduk agregat dan pasta menjadi beton segar
9. Mistar dan kaliper, digunakan untuk mengukur dimensi dari alat dan benda uji yang digunakan
10. Mesin uji tekan beton berkapasitas maksimum 2000 KN, yang dilengkapi dengan CPU dan printer merk
11. Erlenmeyer dengan merk Pyrex, untuk pemeriksaan berat jenis
12. Mesin Los Angeles, digunakan untuk menguji tingkat keausan agregat kasar
13. Concrete mixer/molen, digunakan untuk mengaduk dan mencampur bahan-bahan penyusun beton
14. Alat pengujian Beton Segar flowabilty yang digunakan yaitu Slump

C. Prsiapan Alat dan Bahan

Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah persiapan alat dan bahan, sedangkan untuk bahan yang dipersiapkan berupa agregat halus, agregat

kasar, dan semen Portland, untuk air disiapkan pada saat ketika akan dilaksanakan pengadukan beton.

D. Pengujian Bahan Dasar Beton

Pengujian bahan dasar beton bertujuan untuk mengetahui apakah bahan penyusun beton memenuhi kelayakan standar yang nantinya akan dipakai untuk campuran beton, untuk semen sendiri tidak dilakukan pengujian bahan semen hanya dilihat secara visual apakah terdapat gumpalan dan pembekuan atau tidak.

Pengujian bahan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton dilakukan beberapa pemeriksaan, antara lain :

a. Pemeriksaan gradasi agregat halus

Pemeriksaan dilakukan dengan langkah-langkah berdasarkan I SK SNI : 03-1968-1990 untuk mengetahui distribusi ukuran butiran pasir dengan menggunakan saringan atau ayakan standar ASTM C 136.

b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan langkah-langkah yang terdapat pada SNI : 03-1970-2008

c. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus

Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan berdasarkan SK SNI S-041989-F. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus. Seperti yang telah disyaratkan bahwa kandungan lumpur pada agregat halus tidak boleh lebih dari 5%.

d. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Pemeriksaan kadar air dilakukan berdasarkan SK SNI : 03-1971-1990 dengan tujuan untuk mengetahui angka persentasi dari kadar air yang terkandung dalam agregat halus

e. Pemeriksaan berat satuan agregat halus (Pasir)

Berat satuan agregat yaitu perbandingan antara berat dan volume agregat termasuk pori-pori antar butirannya, penelitian dilakukan untuk mengetahui berat satuan agregat halus.

2. Pemeriksaan Agregat Kasar (Batu Pecah/Kerikil)

Agregat kasar yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton dilakukan beberapa pemeriksaan, antara lain :

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SK SNI : 03-1968-1990 dan ASTM C127.

b. Pemeriksaan keausan agregat kasar

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan agregat kasar (split/kerikil), dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pemeriksaan keausan agregat kasar ini berdasarkan SK SNI : 03-24171991

c. Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar

Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan berdasarkan SK SNI S-041989-F. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada agregat kasar. Seperti yang telah disyaratkan bahwa kandungan lumpur pada agregat halus tidak boleh lebih dari 1%.

d. Pemeriksaan kadar air agregat kasar

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat pada agregat kasar. Pemeriksaan ini berdasarkan SK SNI : 03-971-1990.

e. Pemeriksaan berat satuan agregat kasar

Berat satuan agregat yaitu perbandingan antara berat dan volume agregat termasuk pori-pori antar butirannya, penelitian dilakukan untuk mengetahui berat satuan agregat kasar.

3. Perancangan Campuran (*Mix Design*)

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari medium campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. Perhitungan perencanaan campuran beton dengan menggunakan Metode SK.SNI.T-15-1990-03 (dalam buku Mulyono).

Tabel 2.8 model perhitungan komposisi bahan

| No | Material | Satuan | Komposisi |
|----|-------------|--------|-----------|
| 1 | PC | kg | ee |
| 2 | Split | kg | P |
| 3 | Pasir | kg | O |
| 4 | Air | ltr | G |
| 5 | Berat Beton | kg | M |
| 6 | Slump | cm | |
| 7 | S/A | % | ff% |

Berikut penjelasan langkah-langkah perencanaan campuran beton:

- a. Menentukan kuat tekan beton karakteristik yang telah ditetapkan.
- b. Menetapkan standar deviasi, penyimpangan/deviasi ini harus diperhatikan dalam menghitung nilai kuat tekan beton, karena semakin besar nilai

penyimpangan, semakin kecil nilai kuat tekan betonnya. Standar deviasi bisa diambil berdasarkan data pengujian terdahulu yang telah dilakukan oleh perusahaan dan kemudian ditetapkan oleh perusahaan tersebut sebagai patokan atau jika dilakukan pengujian sendiri, bisa dilakukan dengan perhitungan berdasarkan metode Standar Nasional Indonesia SK.SNI.T-15-1990-03, yaitu dilakukan pengujian sebanyak 30 benda uji berpasangan atau lebih. Jika jumlah benda uji lebih kecil dari 30, harus dilakukan korelasi dan apa bila tidak ada sama sekali maka diambil nilai tambahannya sebesar 12 Mpa. Menurut rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

dimana S adalah standar deviasi, x_i adalah kuat tekan beton yang didapat dari hasil pengujian untuk masing-masing benda uji, \bar{x} adalah kuat tekan beton rata-rata, dan n adalah jumlah data.

Tabel 2.9 faktor pengali untuk deviasi standar

| Jumlah Pengujian | Faktor Pengali Deviasi Standar |
|------------------|--------------------------------|
| Kurang dari 15 | |
| 15 | 1.16 |
| 20 | 1.08 |
| 25 | 1.03 |
| 30 atau lebih | 1.00 |

Catatan : nilai yang berada diantaranya dilakuka interpolasi

- c. Menghitung nilai tambah (m). Cara menghitung nilai tambah yaitu nilai standar deviasi (S) dikalikan dengan konstanta (k). Konstanta ini merupakan tetapan statistik yang nilainya diambil tergantung persentase hasil uji lebih rendah dari kuat tekan yang disyaratkan dan hal ini diambil

5%, sehingga nilai konstanta adalah 1,64, dan rumusnya adalah: $m = 1,64 \times S$

- d. Menentukan kekuatan tekan rencana yang hendak dicapai, yaitu kuat tekan karakteristik ditambah nilai margin.
- e. Menentukan material penyusun beton. Material penyusun beton ini meliputi semen type 1, pasir yang masuk dalam kategori zona gradasi 2, split dengan ukuran maksimum 20 mm, dan *admixture*
- f. Menentukan faktor air semen, tentukan dulu nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari sesuai dengan agregat dan jenis semen yang akan digunakan pada tabel perkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0.5 dan jenis semen serta agregat kasar yang bisa dipakai di Indonesia

Tabel 2.10 perkiraan kuat tekan beton dengan FAS

| Jenis semen ... | Jenis agregat Kasar | Kekuatan tekan (MPa) | | | | Bentuk uji |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----|----|----|------------|
| | | Pada umur (hari) | | | | |
| | | 3 | 7 | 28 | 29 | |
| Semen Portland Tipe 1 | 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 Batu pecah | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |
| | 30 | 40 | 53 | 60 | | |

- g. Menentukan nilai slump, Pada penelitian ini nilai slump ditetapkan dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan atau dapat memenuhi syarat workability, Jika tidak ada data yang lalu nilai slump dapat diambil dari table 5 slump yang disyaratkan untuk berbagai konstruksi menurut ACI

Tabel 2.11 nilai slump

| Jenis Kontruksi | Slump (mm) | |
|---|--------------|---------|
| | Maksimum | Minimum |
| Dinding Penahan dan Pondasi | 76.2 | 25.4 |
| Pondasi sederhana sumuran dan dingding sub struktur | 76.2 | 25.4 |
| Balok dan dinding beton | 101.6 | 25.4 |
| Kolom struktural | 101.6 | 25.4 |
| Perkerasan dan Slab | 76.2 | 25.4 |
| Beton massal | 50.8 | 25.4 |

- h. Menentukan ukuran agregat maksimum berdasarkan uji laboratorium
- i. Menentukan kadar air bebas berdasarkan table 6, kadar air bebas didapat dari besar ukuran maksimum agregat dan nilai slump, kemudian dimasukan kedalam rumus :

$$\frac{2}{3}w_n + \frac{1}{3}w_{k^i}$$

Table 2.12 perkiraan kadar air bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pekerjaan adukan

| Ukuran butir agregat maksimum | Jenis agregat | Slump (mm) | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|--------|
| | | 0-10 | 10-30 | 30-60 | 60-100 |
| 10 mm | Batu tak dipecah batu pecah | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 mm | Batu tak dipecah batu pecah | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 30 mm | Batu tak dipecah batu pecah | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | | 155 | 175 | 190 | 205 |

Untuk suhu di atas 20°C setiap kenaikan 5°C harus ditambahkan air sebanyak 5 liter per meter kubik adukan beton. Untuk permukaan agregat yang kasar, harus ditambahkan air kira-kira 10 liter per meter kubik adukan beton.

- j. Jika ada *admixture* maka tentukan dulu dosis *admixture*nya
- k. Kadar Semen dihitung dengan membagi jumlah air dengan faktor air semen
- l. Susunan gradasi agregat halus dilihat berdasarkan uji material dilaboratorium
- m. Persen Agregat Halus didapat dari melihat gradasi agregat halus ukuran besar butir agregat kasar FAS dan nilai slump
- n. Menentukan berat jenis agregat kasar dan halus berdasarkan hasil pengujian di laboratorium. Jika data tersebut tidak ada untuk agregat kasar diambil nilai 2.6 gr/cm^3 dan untuk agregat halus diambil nilai 2.7 gr/cm^3
- o. Menentukan berat jenis agregat gabungan didapat dari persen agregat halus dikali berat jenis agregat halus dan persen agregat kasar dikali berat jenis agregat kasar kemudian hasil kedua perkalian tersebut dijumlahkan
- p. Menentukan berat jenis beton, buat garis kurva dari berat jenis agregat gabungan, tarik garis dari nilai kadar air bebas yang telah didapat dari langkah 9 vertikal ke atas sampai perpotongan garis kurva baru yang telah dibuat dan beri titik pada potongan tersebut tarik garis horizontal ke arah sumbu Y hingga diperoleh nilai berat jenis beton

- q. Menghitung kadar agregat gabungan didapat dari pengurangan berat jenis beton dan kadar semen minimum, jika ada campuran *admixture* hasil pengurangan tadi dikurangi dengan *damixture*
- r. Menghitung kadar agregat halus didapat dari perkalian kadar agregat gabungan dengan persen agregat halus
- s. Menghitung kadar agregat kasar didapat dari pengurangan kadar agregat gabungan dengan kadar agregat halus
- t. Menghitung koreksi kandungan air pada agregat

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

$$Agregat Halus = C + \frac{(C_k - C_a) \times C}{100}$$

$$Agregat Kasar = D + \frac{(D_k - D_a) \times D}{100}$$

Keterangan :

B = jumlah air (kg/m^3)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah kerikil (kg/m^3)

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a = absorpsi air pada agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%)

D_k = kandungan air dalam agregat kasar (%)

4. Pembuatan Benda Uji

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji yaitu mempersiapkan bahan-bahan sesuai takaran yang ditentukan di dalam mix design concrete. Metode pembuatan beton yaitu sebagai berikut:

- a. Agregat kasar batu pecah dan agregat halus dicampurkan ke dalam *concrete mixer*
- b. Setelah agregat kasar batu pecah dan agregat halus (Pasir) sudah tercampur rata masukan semen berserta air ke dalam Concrete Mixer
- c. Kemudian campuran beton segar di keluarkan dari Concrete Mixer lalu di lakukan pemeriksaan slump
- d. Kemudian campuran beton segar dicetak kedalam cetakan silinder dengan ukuran 15 x 30 cm

5. Perawatan benda Uji

Setelah 24 jam cetakan beton kubus dibuka, lalu beton dibersihkan, ditimbang dan diberi nama sesuai dengan variasi bata ringan. Kemudian beton direndam selama 24 jam dalam air untuk menjaga agar tidak terjadi pengeringan yang lebih cepat, setelah itu beton diangkat dan didiamkan dalam suhu ruang sampai siap untuk diuji kuat tekan betonnya

6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan mesin uji tekan merk *Hung Ta* dan diuji pada umur 14 hari, 21 hari, dan 28 hari, yang secara langsung dapat memberikan nilai kuat tekan benda uji dengan beban yang dapat dibaca pada sekala pembebanan, pengujian dilakukan di Laboratorium beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji dapat diketahui pada saat angka penunjuk tekanan mencapai nilai tertinggi yang diikuti hancur atau retaknya beton setelah menerima beban maksimum

7. Analisis Hasil

Analisis hasil penelitian dapat dilakukan setelah data-data diolah, Data-data yang dapat diolah mulai dari saat penelitian sampai akhir penelitian adalah sebagai berikut :

- Data Pemeriksaan Agregat Halus
- Data Pemeriksaan Agregat Kasar
- Uji *Slump*
- Uji Kuat Tekan Beton

Setelah semua data tersebut diolah menjadi tabel dan grafik persamaan maka dapat dilakukan analisis dan pembahasan terhadap data tersebut, tahap selanjutnya setelah analisis dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan serta saran.

2.6 Perencanaan Campuran Beton SNI

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunannya. Karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Pada dasarnya perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proposi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal, antara lain : 1. Metode *American Concrete Institute* 2. *Portland Cement Association* 3. *Road note No. 4* 4. *British Standard Departement Ofengineering*, 5. Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03) dan 6.cara Coba-coba.

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonominya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara *ACI* melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*)

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 Mpa sesuai dengan teori perencanaan proporsi campuran adukan beton, pembuatan beton boleh menggunakan campuran dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan *slump* tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 Mpa boleh menggunakan penekanan volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan beton akan lebih besar dari 20 Mpa harus menggunakan campuran berat.

Sebelum melakukan perancangan, data-data yang dibutuhkan harus dicari. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, dapat diambil data yang telah ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu penyelesaian perancangan campuran beton.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal Metode Departemen pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03).

A. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan (0) pada umur tertentu.

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat.

B. Penetapan nilai devinisi standar (s)

Devinisi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai devisi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar(s) ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula. Jika pelaksanaan mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu, maka persyaratan (selain yang tersebut diatas) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. (Satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan. Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka, dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada table di bawah

Tabel 2.13 faktor pengali deviasi standar (s)

| | | | | |
|---------------------|------|------|------|-------------|
| Jumlah Data : 30 | 25 | 20 | 15 | <15 |
| FaktorPengali : 1,0 | 1,03 | 1,08 | 1,16 | tidak boleh |

Jika pelaksanaan tidak mempunyai catatan atau hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 Mpa.

Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat melihat tabel 2.14 berikut :

Tabel 2.14 nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

| Tingkat Pengendalian mutu Pekerjaan s_d (Mpa) | |
|---|-----|
| Memuaskan | 2,8 |
| Sangat baik | 3,5 |
| Baik | 4,2 |
| Cukup | 5,6 |
| Jelek | 7,0 |
| TanpaKendali | 8,4 |

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo Teknologi Beton; 72)

C. Perhitungan Nilai Tambah “margin”(M)

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 Mpa (karena tidak mempunyai data sebelumnya) maka langsung kelangkah (4). Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar s_d maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = k \times s_d$$

Dengan : M : nilai tambah (Mpa)

K : 1,64

s_d : deviasi standar (Mpa)

D. Menentukan kuat tekan rata-rata direncanakan

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus:

$$f'_a = f'_c + M$$

dengan : f'_a : kuat tekan rata-rata(Mpa)

f'_c : kuat tekan yang disyaratkan (Mpa)

M : nilai tambah (Mpa)

E. Menentukan jenis semen portland

Menurut PUBLI 1982 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah pakai semen biasa atau semen yang cepat mengeras.

F. Penetapan jenis agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tidak dipecahkan) atau agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*)

G. Tetapkan faktor air semen, dengan salah satu dari kedua cara berikut :

1. Cara pertama, berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur
2. Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air semen dengan tabel 2.15

Tabel 2.15 perkiraan kuat tekan beton (Mpa) dengan faktor air semen 0,50

| Jenis Semen | Jumlah agregat kasar | Umur (hari) | | | |
|-------------|----------------------|-------------|----|----|----|
| | | 3 | 7 | 28 | 91 |
| I, II, III | Alami | 17 | 23 | 33 | 40 |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 |
| III | Alami | 21 | 28 | 38 | 44 |
| | Batu Pecah | 25 | 33 | 44 | 48 |

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo, Teknologi Beton ;73)

3. Penetapan faktor air semen maksimum

Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Penetapan nilai faktor air semen maksimum dapat dilakukan dengan melihat tabel 2.16. Jika nilai fas maksimum ini lebih rendah dari pada nilai fas dari langkah G, maka nilai fas maksimum ini yang dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Tabel 2.16 persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.

| Kondisi Lapangan | Nilai Faktor air semen maksimum |
|--|---------------------------------|
| Beton di dalam ruangan bangunan | |
| a. Keadaan keliling no korosif | 0.60 |
| b. Keadaan keliling korosif di sebabkan oleh kondensi atau uap-uap korosif | 0.52 |
| Beton di luar ruangan : | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 0.60 |
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 0.60 |
| Beton yang masuk ke dalam tanah : | |
| a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti | 0.55 |
| b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah | Lihat tabel |
| Beton yang kontinyu berhubungan dengan air : | |
| a. air tawar | |
| b. air laut | Lihat Tabel |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimuljo, Teknologi Beton : 74 Tabel 7.12)

Tabel 2.17 faktor air-semen maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

| Konsentrasi sulfat (SO ₂) | | | Jenis Semen | Faktor air semen maksimum |
|---------------------------------------|---|--|--|---------------------------|
| Dalam Tanah | | SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr) | | |
| Total SO ₃ % | SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2:1 (gr/ltr) | | | |
| <0.2 | <1.0 | <0.3 | Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%) | 0.50 |
| 0.2-0.5 | 1.0-1.9 | 0.3-1.2 | Tipe I tanpa Pozolan | 0.50 |
| | | | Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen porland Pozolan | 0.55 |
| 0.5-1.0 | 1.9-3.1 | 1.2-2.5 | Tipe II dan V Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen Portland Pozolan | 0.45 |
| 1.0-2.0 | 3.1-5.6 | 2.5-5.0 | Tipe II dan V Tipe II dan V Tipe II atau V dan lapisan Pelindung | 0.45 |
| > 2.0 | >5.6 | >5.0 | | 0.45 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 75, Tabel 7.12.a)

Tabel 2.18 faktor air-semen untuk beton bertulang dalam air

| Berhubungan dengan | Tipe Semen | Faktor air Semen |
|--------------------|---|------------------|
| Air Tawar | Semua tipe I s.d V | 0.50 |
| Air Payau | Tipe I + Pozolan (15-40%) atau semen porland Pozolan | 0.45 |
| Air Laut | Tipe II atau V | 0.50 |
| | Tipe II atau V | 0.45 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 75, Tabel 7.12.b)

4. Penetapan Nilai Slump

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slump yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (*triller*) dapat dilakukan dengan nilai slump yang agak kecil. Nilai slump yang di inginkan dapat diperoleh dari tabel 2.19

Tabel 2.19 penetapan nilai slump

| Pemakaian Beton | Maksimum | Minimum |
|---|----------|---------|
| Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang | 12,5 | 5,0 |
| Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah | 9,0 | 2,5 |
| Plat, balok, kolom dan dinding | 15,0 | 7,5 |
| Pengerasan jalan | 7,5 | 5,0 |
| Pembetonan masal | 7,5 | 2,5 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 76, Tabel 7.13)

5. Penetapan besar butir Agregat minimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

- a. $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih minimum antar baja tulangan, atau berkas baja tulangan, atau tendon prategang atau selongsong
- b. Sepertiga kali tebal plat dan seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan

6. Tetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan . lihat tabel 2.20

Tabel 2.20 perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

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

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 77, Tabel 7.14)

Dari tabel diatas apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus : $A=0,67 A_h + 0,33 A_k$. Dengan :

A : Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

A_h : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus,

A_k : Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar.

7. Hitung berat semen yang diperlukan

Berat semen permeter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah K) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah G dan H.

8. 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 2.21 di bawah ini :

Tabel 2.21 kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.

| Kondisi Lapangan | Jumlah semen minimum (kg/m ³ beton) |
|---|--|
| Beton di dalam ruangan bangunan | |
| a. Keadaan keliling no korosif | 275 |
| b.Keadaan keliling korosif di sebabkan oleh kondensi atau uap-uap korosif | 325 |
| Beton di luar ruangan : | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 325 |
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 275 |

| | |
|--|-----------------------------|
| Beton yang masuk ke dalam tanah : a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah | 325 Lihat tabel 2.16 |
| Beton yang kontinyu berhubungan dengan air : a. air tawar b. air laut | Tabel 2.17 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 78, Tabel 7.15)

Tabel 2.22 kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

| Konsentrasi sulfat (SO ₂) | | SO ₃ dalam air tanah (gr/ltr) | Jenis Semen | kandungan semen minimum (kg/m ³) | | |
|---------------------------------------|---|--|--|--|-----|-----|
| Dalam Tanah | | | | Ukuran Maks. Agregat mm | | |
| Total SO ₃ % | SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2:1 (gr/ltr) | | | 40 | 20 | 10 |
| <0.2 0.2-0.5 | <1.0 | <0.3 | Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%) | 280 | 300 | 350 |
| | 1.0-1.9 | 0.3-1.2 | Tipe I tanpa Pozolan | 290 | 330 | 380 |
| 0.5-1.0 | 1.9-3.1 | 1.2-2.5 | Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland Pozolan | 250 | 290 | 430 |
| | | | Tipe II dan V | 340 | 380 | 430 |
| 1.0-2.0 | 3.1-5.6 | 2.5-5.0 | Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen Portland | 290 | 330 | 380 |
| | | | Tipe II dan V | 330 | 370 | 420 |
| > 2.0 | >5.6 | >5.0 | Tipe II dan V Tipe II atau V dan lapisan Pelindung | 330 | 370 | 420 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 79, Tabel 7.15.a)

Tabel 2.23 kandungan semen minimum untuk beton bertulang dalam air

| Berhubungan dengan | Tipe semen | kandungan semen min. Ukursn maks. Agregat (mm) | |
|--------------------|---|--|-----|
| | | 40 | 20 |
| Air Tawar | Semen tipe I s.d V | 280 | 300 |
| Air Payu | Tipe I + Pozolan (15-40) atau semen portland pozolan | 340 | 380 |
| | Tipe II atau v | 290 | 330 |
| Air Laut | Tipe II atau v | 330 | 370 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 80, Tabel 7.15.b)

9. Penyesuaian Kebutuhan Semen

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah 12 ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum langkah 13 maka kebutuhan semen harus dipakai yang minimum (yang nilainya lebih tinggi)

10. Penyesuaian jumlah air dan faktor air semen

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah (N) maka nilai faktor air semen berubah. Dalam hal ini, dapat dilakukan dengan dua cara berikut :

- a. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- b. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

11. Penentuan daerah gradasi agregat halus

Berdasarkan gradasi (hasil analisa ayakan) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan atas gradasi yang diberikan tersebut agregat halus dapat dimasukan menjadi salah satu dari 4 daerah, yaitu daerah 1,2,3, dan 4.

Tabel 2.24 batas gradasi pasir

| 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 | 01-10 | 0-15 |

(Sumber : Ir.Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton : 81, Tabel 7.16)

12. Perbandingan agregat halus dengan agregat kasar

Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik.pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar campuran. Penetapan dilakukan dengan memperlihatkan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, faktor air semen, dan daerah gradasi halus dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$Bj_{camp} = \frac{P}{100} \times Bj_{ag.hls} + \frac{K}{100} \times Bj_{ag.ksr}$$

Dengan :

Bj_{camp} : Berat jenis agregat campuran

$Bj_{ag.hls}$: berat jenis agregat halus

$B_{j \text{ ag.ksr}}$: berat jenis agregat kasar

P : Persentase ag.halus terhadap ag. Campuran

K : Persentase ag.kasar terhadap ag. Campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,5 untuk agregat tidak dipecah atau alami, untuk agregat pecahan diambil 2,60 dan 2,70

13. Penentuan berat jenis beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah R dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dapat diperkirakan berat jenis betonnya.

Caranya adalah sebagai berikut:

- a. Dari berat jenis agregat campuran pada langkah P dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat
- b. Kebutuhan air yang diperoleh padalangkah (K) dimasukkan dalam grafik kemudian dari nilai ini ditarik vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva yang dibuat diatas.
- c. Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.

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

$$W_{\text{campuran}} = W_{\text{beton}} - A - S$$

Dengan : W_{campuran} : kebutuhan agregat campuran (kg)

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

A : Kebutuhan Air (litr)

S : kebutuhan semen (kg)

14. Kebutuhan agregat halus (pasir)

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

$$W_{\text{pasir}} = \frac{P}{100} \times W_{\text{campuran}}$$

Dengan : W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir(kg)

W_{campuran} : kebutuhan agregat campuran (kg)

P : persentase pasir terhadap campuran

15. Kebutuhan agregat kasar (kerikil)

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

$$W_{\text{krk}} = W_{\text{campuran}} - W_{\text{pasir}}$$

Dengan : W_{kerikil} : kebutuhan agregat kerikil(kg)

W_{pasir} : kebutuhan agregat pasir (kg)

W_{campuran} : kebutuhan agregat campuran (kg)

Dalam perhitungan diatas agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering-muka, sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering-muka maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. koreksi harus dilakukan minimum satu kali sehari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$1. \text{ Air} = A - \frac{Ah-A1}{100} \times B - \frac{Ak-A2}{100} \times C$$

$$2. \text{ Agregat Halus} = B + \frac{Ah-A1}{100} \times B$$

$$3. \text{ Agregat Kasar} = C + \frac{Ah-A1}{100} \times C$$

Dengan :

A : jumlah kebutuhan air (liter/m^3)

B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m^3)

C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m^3)

A_b : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)

A_k : kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%)

A_1 : kadar air pada agregat halus jenuh muka (%)

A_2 : kadar air pada agregat kasar jenuh kering muka(%)