

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah material buatan yang sejak lama digunakan dalam bidang rekayasa sipil baik sebagai material struktural maupun nonstruktural untuk memenuhi kebutuhan dan menunjang aktifitas manusia. Sebagai material struktural, material beton kuat terhadap tekan tetapi lemah terhadap tarik, sehingga pada umumnya bagian – bagian struktur beton tersebut yang mengalami tarik diperkuat dengan material baja tulangan yang membentuk satu kesatuan material yang sering disebut beton bertulang.

Untuk menjamin terciptanya kerjasama yang baik antara kedua material tersebut, perlu ditinjau intervensi dari berbagai faktor eksternal yang akan mempengaruhi bahkan dapat merubah perilaku baik ditinjau sebagai satu kesatuan beton bertulang, sebagai material beton, ataupun material baja itu sendiri.

Terdapat karakteristik dari hubungan antara beton dengan elemen penguatnya (bajatulangan) adalah kekuatan lekatan antara keduanya. Kekuatan lekatan ini akan berpengaruh terhadap penentuan panjang penjangkaran minimum yang harus disediakan agar tulangan baja tidak tercabut dari betonnya pada saat beban luar diberikan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan selama ini umumnya menyelidiki hubungan antara tegangan lekat rata-rata dengan *slip* yang diukur dengan menggunakan *dial gages* dan mesin uji Tarik (*pull-out test machine*).

Pada konstruksi beton bertulang umumnya, khususnya untuk pengangkeran/penyambungan tulangan, kerjasama antara beton dengan tulangan

merupakan kebutuhan yang mendasar/mutlak, sehingga saat terbebani tidak terjadi pergeseran secara relatif terhadap tulangan. Untuk itu tegangan lekat memegang peranan penting. Tegangan lekat disini merupakan penghambat gelincir, sehingga terjadi perubahan/transformasi energi antara batang-batang tulangan yang disambung maupun antara beton ketulangan atau dari tulangan pada pengangkeran.

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah lekatan (*bond stress*) antara tulangan dengan beton disekelilingnya untuk menghindari terjadinya *slip*. Faktor-faktor yang mempengaruhi lekatan antara baja tulangan dengan beton disekelilingnya antara lain mutu beton, selimut beton, panjang penyaluran, diameter tulangan, serta adhesi.

Oleh karena hal diatas, maka ingin diketahui dan dibandingkan seberapa besar perbedaan antara kuat lekat tulangan sirip/ulir tulang ikan dengan tulangan polos.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah berapa besar perbedaan antara kuat lekat tulangan berulir dengan tulangan polos berdasarkan pengujian laboratorium beton pada Politeknik Negeri Medan?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mengetahui ruang lingkup permasalahan yang akan diteliti maka diberikan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak dapat meninjau kedalaman selanjutnya dikarenakan terjadinya pembengkokan flens di propil I pada alat saat pembebanan yang lebih besar terjadi.
2. Karena tidak tersedianya alat, maka tidak dapat meninjau leleh pada baja dan juga regangannya. Maka hanya dapat meninjau kuat lekat yang terjadi berdasarkan pembebanannya.
3. Jumlah benda uji yang sedikit mempengaruhi standard deviasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah untuk membandingkan kuat lekat (*bond stress*) tulangan polos dengan tulangan Sirip/ulir pada beton dengan cara ditarik dengan mesin *pull-out test*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Untuk bahan pertimbangan pelaksanaan dilapangan dalam pemakaian antara tulangan baja berulir dengan tulangan baja polos.
2. Memberikan sumbangan pemikiran bagi kalangan akademis, khususnya bidang Teknik Sipil bagian struktur beton bertulang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bahan Dasar Pembentukan Beton

Beton dibentuk dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari sejumlah material pembentukan. Bahan dasar pembentukan beton yang utama adalah semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air. Pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen sangat dibutuhkan dalam merencanakan campuran beton.

2.2.1. Semen

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah semen *Portland* atau semen *Portland pozzoland*, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat unsur beton yang memerlukan air guna berlangsungnya reaksi kimia pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk massa padat.

Semen *Portland* terutama mengandung kalsium dan aluminium silika. Di buat dari bahan utama limestone yang mengandung kalsium oksida (CaO), dengan lempung yang mengandung silika dioksida (SiO₂) serta aluminium oksida (AlO₃). Setelah melalui suatu proses industri, semen di pasarkan dalam bentuk bubuk, di kemas dalam kantung (berat ± 50 kg).

Semen portland yang dipakai harus memenuhi syarat SII 003-81 dan peraturan umum bahan bangunan Indonesia (PUBI) 1982, sedangkan semen *Portland pozzoland* harus memenuhi syarat SII 0132-75. Di dalam syarat pelaksana

pekerjaan beton harus dicantumkan dengan jelas jenis semen yang boleh dipakai, dan harus selalu di pertahankan sesuai dengan yang dipakai pada waktu penentuan rencana campuran.

Semen diproduksi dalam beberapa tipe untuk mencapai target pengguna tertentu. Menurut ASTM disebutkan semen diproduksi dalam lima tipe, yaitu: I, II, III, IV, dan V. Reaksi Hidrasi pada campuran semen adalah merupakan reaksi eksotermik. Temperatur dimana hidrasi itu terjadi akan sangat mempengaruhi laju kenaikan panas, kenaikan panas hidrasi ini lebih penting dari pada panas hidrasi totalnya. Jangka waktu terjadinya reaksi hidrasi semen yang umum untuk semen Portland sekitar setengah dari total panas yang dilepaskan antara 1 hari sampai 3 hari, sekitar tiga perempat dalam 7 hari, dan sekitar 90% dalam 6 bulan.

Panas hidrasi tergantung dari komposisi kimia semen dan besarnya jumlah panas hidrasi yang dihasilkan dari masing-masing bahan pembetukan. Waktu yang dibutuhkan untuk perubahan bentuk dari keadaan cair menjadi keras disebut waktu pengikatan. Pengikatan awal ditandai dengan kenaikan temperatur yang cepat, sedang pengikat akhir sangat berhubungan dengan temperature puncak. Pengikat awal dan akhir ini berbeda dengan pengikat palsu (*false set*). Pengikat palsu ini dapat terjadi dalam beberapa menit saat pencampuran dengan air. Dalam pengikatan palsu tidak ada panas yang terjadi dalam material beton belum benar-benar mengikat.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan pengikatan semen adalah:

- a. Kehalusan semen, semakin halus butiran semen akan semakin cepat waktu pengikatan.

- b. Jumlah air, pengikatan semen akan semakin cepat bila jumlah air berkurang
- c. Temperatur, waktu pengikatan akan semakin cepat bila temperature makin tinggi.
- d. Penambahan bahan kimia tertentu.

2.2.2. Bahan Agregat

Beton umumnya mengandung 65% sampai 80% agregat halus dan agregat kasar yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam adukan beton. Agregat tidak hanya membuat kekuatan dalam beton tetapi juga berpengaruh besar terhadap daya tahan kekompakan strukturalnya. Agregat alam terjadi dari proses pelapukan dan abrasi atau dengan cara mekanis (*crushing*) dari bantuan asal (*raw material*). Dengan demikian sifat agregat banyak tergantung dari sifat batu anasal, seperti sifat kimia, komposisi mineral klasifikasi *petrographic*, berat jenis kekerasan, kekuatan, kestabilan, struktur pori dan lain-lain. Bahan agregat terbagi dua yaitu:

- 1. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desin tegrasi alami bantuan atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 5 mm. Persyaratan untuk agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut:
 - a. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang di hasilkan oleh alat-alat pemecah batu.
 - b. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras

- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering).
 - d. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus di buktikan dengan percobaan warna dari Abram-Herder (dengan larutan NaOH).
 - e. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat (1) SK SNI-15-1990-03, harus memenuhi syarat berikut:
 - Sisa diatas ayakan 4 mm, harus memenuhi minimum 2% berat.
 - Sisa diatas ayakan 1 mm, harus memenuhi minimum 10 % berat.
 - Sisa diatas ayakan 0.25 mm harus berkisar antara 80 % - 95 % berat.
 - f. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua jenis beton kecuali petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
2. Agregat kasar adalah kerikil sebagai bahan hasil desintegrasi alami bantuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 - 10 mm. Persyaratan untuk agregat kasar adalah sebagai berikut:
- Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu-batuan atau batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu
 - Agregat terdiri dari butir-butir dan tidak berpori.

- Agregat tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (ditentukan dari berat kering).
- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- Agregat kasar harus terdiri dari butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang di tentukan dalam pasal 3.5 ayat (1) SK SNI T-15-1990-03, harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - Sisa diatas ayakan 31.5 mm, harus 0 % berat
 - Sisa diatas ayakan 40 mm, harus berkisar antara 90 % - 98 % berat
 - Sisa antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.

2.2.3. Air

Air mempunyai pengaruh yang penting dalam menentukan kekuatan dan kemudahan pengerjaan beton, sehingga untuk mendapatkan beton yang mudah dikerjakan harus di tentukan perbandingan antara jumlah air dan semen yang di gunakan. Selain dari perbandingan jumlah air, kualitasnya juga harus di perhatikan karena kotoran didalamnya akan dapat mempengaruhi pelekatan semen yang dapat menyebabkan pengurangan kekuatan, dan tidak mustahil sebagai timbulnya korosi pada baja tulangan. Dalam beberapa spesifikasi disebut bahwa sebaiknya digunakan air tawar yang dapat diminum sebagai bahan adukan.

2.2. Pemeriksaan Sifat Material

Hal – hal yang menyangkut penelitian bahan dasar beton meliputi: semen, agregat halus, dan agregat kasar. Semen sebagai bahan pengikat digunakan semen Portland tipe I merek semen padang. Agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) dalam penelitian ini berasal dari Binjai, Sumatera Utara.

Pengujian yang dilakukan meliputi:

- Analisa ayakan (*Sieve Analysis*).
- Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*).
- Kadar air (*Moisture Content*).
- Berat Isi (*Bulk Density*)
- Kadar lumpur (*Clay Lumps*)

2.2.1. Analisa Ayakan

Analisa ayakan (*sieve analysis*) terbagi dua percobaan yaitu sebagai berikut:

1. Analisa ayakan agregat halus (Pasir)

Tujuan dari analisa ayakan pasir yaitu untuk mengetahui gradasi agregat halus dan untuk mengetahui tingkat kehalusannya (*Fines Modulus*).

Gradasi butiran suatu agregat mempengaruhi kekuatan dari suatu campuran beton. Agregat dengan gradasi perbutiran yang homogen (sama besar) disebut bergradasi jelek dan tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, karena dengan butiran yang homogen banyak terdapat ruang yang kosong/rongga. Sedangkan agregat yang baik digunakan untuk campuran bahan beton adalah agregat dengan perbutiran yang heterogen (bervariasi).

Karena dengan butiran yang heterogen ruang kosong antara butiran dapat saling mengisi antara butiran yang satu dengan yang lain.

Prosedur pekerjaan untuk Analisa saringan agregat halus (pasir):

- a. Timbang pasir seberat 1000 gram, lalu susun ayakan dengan urutan diameter : 9,50 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,60 mm; 0,30mm; 0,106 mm; 0,075 mm; dan terakhir pan penampung.
- b. Masukkan sample keayakan diameter 9,50 mm, lalu tutup.
- c. Setelah dimasukkan sampel, kemudian kita guncang kekiri dan kekanan selama 10 menit.
- d. Setelah selesai ambil sampel dari tiap-tiap ayakan, lalu timbang dan catat hasil yang diperoleh dari berat tiap sampel.
- e. Percobaan dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan menggunakan rumus:

$$FM = \frac{A}{100} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$FM_{rata-rata} = \frac{FM_1 + FM_2}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

FM = *Fines Modulus* (%)

A = Persentase komulatif tertahan total dari saringan no 9,5 mm
– 0.15 mm (%)

FM₁ = *Fines modulus* percobaan pertama (%)

FM₂ = *Fines modulus* percobaan kedua (%)

Maka dapat diperoleh data-data dari percobaan ini (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat). Dari hasil percobaan tersebut sesuai dengan persamaan (2.1) didapat *Fines Modulus* rata-rata yaitu 2.10%.

2. Analisa ayakan agregat kasar (kerikil)

Tujuan dari analisa ayakan kerikil yaitu untuk mengetahui gradasi agregat kasar dan tingkat kehalusannya (*Fines Modulus*). Distribusi agregat kasar sangat berpengaruh dalam menentukan kekuatan beton agregat yang hanya terdiri dari butiran-butiran yang sama (homogen) yang akan mengganggu kekuatan beton karena dengan butiran yang homogen akan terdapat ruang yang kosong (rongga) diantara butiran, dan juga berakibat kurang baik untuk mutu beton, agregat yang baik untuk campuran beton adalah agregat yang terdiri dari butiran yang beraneka ragam (heterogen), karena ruangan yang kosong semakin kecil.

Prosedur pekerjaan untuk Analisa saringan agregat kasar (kerikil):

- a. Timbang kerikil seberat 9848 gram, lalu susun ayakan dengan urutan diameter : 37.5 mm; 19.0 mm; 9.50; 4.75; 4.75 mm; 2,36 mm; 0.60 mm; dan pan.
- b. Masukkan sample keayakan diameter 37.5 mm , lalu tutup.
- c. Setelah dimasukkan sampel, kemudian kita guncang kekiri dan kekanan selama 10 menit.
- d. Setelah selesai ambil sampel dari tiap-tiap ayakan, lalu timbang dan catat hasil yang diperoleh dari berat tiap sampel.
- e. Percobaan dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan menggunakan rumus:

$$FM = \frac{A}{100} \dots\dots\dots (Persamaan 2.1)$$

$$FM_{rata-rata} = \frac{FM_1+FM_2}{2} \dots\dots\dots (Persamaan 2.2)$$

Dimana :

FM = *Fines Modulus* (%)

A = Persentase kumulatif tertahan total dari saringan no 37.5 mm
– 0.15 mm (%)

FM₁ = *Fines modulus* percobaan pertama (%)

FM₂ = *Fines modulus* percobaan kedua (%)

Maka dapat diperoleh data-data dari percobaan ini (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat). Dari hasil percobaan tersebut didapat *Fines Modulus* rata-rata dari persamaan (2.2), yaitu 7.11%.

2.2.2. Berat Jenis

Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*) terbagi dua percobaan yaitu sebagai berikut:

1. Berat jenis Agregat Halus (Pasir)

Tujuan dari percobaan ini yaitu untuk menentukan berat jenis pasir dalam keadaan kering, dalam keadaan SSD, berat jenis semu dan untuk menentukan daya serap (absorpsi) pasir. Berat jenis kering merupakan perbandingan antara berat benda uji keadaan kering dengan volume uji dalam keadaan SSD. Berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat benda uji dalam keadaan kering, berat jenis pasir perlu diketahui untuk

menentukan banyaknya agregat yang perlu digunakan dalam campuran beton.

Berat jenis agregat tergantung pada kandungan dalam agregat tersebut, sedangkan tinggi kandungan air atau semakin lembab suatu agregat tersebut maka semakin besar berat jenis agregat tersebut. Persentase absorpsi dari suatu agregat tergantung keadaan SSD dari agregat.

Prosedur pekerjaan untuk berat jenis agregat halus (pasir):

- a. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$, sampai berat tetap. Yang dimaksud berat tetap adalah keadaan berat benda uji selama tiga kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih dari pada 0.1 %.
- b. Buang air perendam hati hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talam, keringkan diudara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai terjadi keadaan kering permukaan jenuh.
- c. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk selama 25 kali, angkat kerucut terpancung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh, akan tetapi masih dalam keadaan cetak.
- d. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji kedalam pikno meter. Masukkan air suling sampai mencapai 90%, isi pikno meter, putar sambil diguncangkan sampai tidak

terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat proses ini dapat digunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terhisap.

- e. Rendam piknometer dalam air sampai mencapai tanda batas, piknometer ini direndam selama 24 jam.
- f. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0.1 gram.
- g. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ selama 24 jam.
- h. Setelah benda uji kering didalam oven, kemudian ditimbang.
- i. Percobaan dilakukan sebanyak 1 (satu) kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$B.J \text{ kering} = \frac{E}{E+D-C} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$B.J \text{ SSD} = \frac{B}{B+D-C} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$B.J \text{ semu} = \frac{E}{B+D-C} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\% \text{ Absorpsi} = \frac{B-E}{E} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

A = Berat Picnometer (gr)

B = Berat contoh SSD (gr)

C = Berat Picnometer + Air + contoh SSD (gr)

D = Berat Picnometer + Air (gr)

E = Berat contoh kering (gr)

Dari hasil percobaan di atas dan dimasukkan kedalam persamaan (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat). Maka di dapat hasil perhitungan tersebut sebagai berikut:

1. Berat jenis kering = 2.651 gr/cm
2. Berat jenis SSD = 2.618 gr/cm
3. Berat jenis semu = 2.597 gr/cm
4. % Absorpsi = 0.786 %

2. Berat jenis kerikil

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan berat jenis kerikil dalam keadaan kering, dalam keadaan SSD, dalam keadaan semu untuk menentukan peresapan (absorpsi agregat kasar). Kandungan pada agregat kasar berupa:

- Kandungan air sebagai agregat, yang terdiri dari:
 - Air pori pada agregat.
 - Air yang menyebabkan agregat dalam keadaan kering.
- Kandungan air bebas, yang terdiri dari:
 - Air untuk hidrasi semen.
 - Air untuk keperluan kemudahan pengerjaan (*work ability*) beton segar.

Prosedur pekerjaan untuk berat jenis Agregat kasar (kerikil):

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.

- b. Kemudian, masukkan benda uji dalam oven dengan suhu 105°C sampai berat tetap.
- c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0.3 gram.
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam.
- e. Keluarkan benda uji dalam air, lap dengan menggunakan kain penyerap sampai air pada permukaan hilang (SSD), untuk butiran yang besar pengeringan harus dilakukan satu persatu.
- f. Timbang benda uji kering sampai permukaan jenuh.
- g. Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang terserap dan tentukan beratnya didalam air.
- h. Sampel tersebut selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 24 jam dan ditimbang beratnya, hal ini dinamakan keadaan kering, percobaan ini di lakukan 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$B. J \text{ kering} = \frac{E}{E+D-C} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.3})$$

$$B. J \text{ SSD} = \frac{B}{B+D-C} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.4})$$

$$B. J \text{ semu} = \frac{E}{B+D-C} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.5})$$

$$\% \text{ Absorpsi} = \frac{B-E}{E} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.6})$$

Dimana:

A = Berat contoh SSD (gr)

B = Berat contoh dalam air (gr)

C = Berat contoh kering udara (gr)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan (2.3) sampai (2.6) (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), Maka di dapat hasil perhitungan tersebut sebagai berikut:

1. Berat jenis kering = 2.734 gr/cm
2. Berat jenis SSD = 2.639 gr/cm
3. Berat jenis semu = 2.584 gr/cm
4. %Absorpsi = 2.134 %

2.2.3. Kadar Air

Kadar air (*Moisture Content*) terbagi dua percobaan yaitu sebagai berikut :

1. Kadar Air Agregat Halus (Pasir)

Tujuan dari pecobaan kadar air agregat yaitu menentukan kadar air agregat yaitu dengan cara pengeringan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat semula. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi tekanan air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat dilapangan.

Prosedur pekerjaan untuk Kadar Air Agregat Halus (pasir):

- a. Timbang dan catat berat talam.
- b. Masukan benda uji kedalam talam dan kemudian berat talam + benda uji ditimbang dan catat beratnya.
- c. Keringkan contoh benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai mencapai bobot tetap selama 24 jam.

d. Setelah kering, contoh ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam.

e. Percobaan ini dilakukan 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

Kadar air agregat

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{C-D}{C} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

A = Berat talam (gr)

B = Berat talam + contoh agregat (gr)

C = Berat contoh agregat (gr)

D = Berat contoh agregat kering (gr)

Dari hasil percobaan di atas dan dimasukkan kedalam persamaan 2.7 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka di dapat kadar air agregat halus (pasir) adalah 1.5 %.

2. Kadar Air Agregat Kasar (kerikil)

Tujuan dari pecobaan kadar air agregat yaitu menentukan kadar air agregat yaitu dengan cara pengeringan. Kadar air agregat adalah, perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat semula. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi tekanan air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat dilapangan.

Prosedur pekerjaan untuk Kadar Air Agregat kasar (kerikil):

a. Timbang dan catat berat talam.

- b. Masukkan benda uji kedalam talam dan kemudian berat talam + benda uji ditimbang dan catat beratnya.
- c. Keringkan contoh benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai mencapai bobot tetap selama 24 jam.
- d. Setelah kering, contoh ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam.
- e. Percobaan ini dilakukan 2 (dua) kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{C-D}{C} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.7})$$

Dimana :

- A = Berat talam (gr)
- B = Berat talam + contoh agregat (gr)
- C = Berat contoh agregat (gr)
- D = Berat contoh agregat kering (gr)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan 2.7 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka di dapat kadar air agregat halus (pasir) adalah 1.5 %.

2.2.4. Berat Isi

Berat Isi (*Bulk Density*) terbagi dua percobaan yaitu sebagai berikut:

1. Berat Isi Agregat Halus (Pasir)

Tujuan dari percobaan ini mengetahui berat isi agregat halus. Berat isi agregat halus merupakan perbandingan antara berat pasir dengan volume

pasir (volume total). Prosedur pekerjaan untuk Berat isi Agregat Halus (pasir):

- Cara Longgar
 - o Bersihkan bejana dan timbang beratnya.
 - o Masukkan pasir kedalam bejana dengan cara menumpahkan dari ketinggian 50 mm diatas permukaan bejana sampai penuh dan diratakan permukaannya.
 - o Bejana yang berisi pasir di timbang dan dicatat beratnya.
 - o Kosongkan bejana dan bersihkan.
 - o Isi bejana dengan air sampai penuh.
 - o Timbang bejana berisi air dan catat beratnya.
 - o Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat isi} = \frac{D}{A} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- A = Volume Bejana (liter)
- B = Berat Bejana (kN)
- C = Berat Bejana + contoh agregat (kN)
- D = Berat contoh agregat (kN)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan 2.8 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka didapat Berat isi agregat halus (pasir) untuk cara longgar adalah 0.013 kN/ltr.

- Cara Padat

- Bersihkan bejana dan timbang beratnya.
- Masukkan pasir kedalam bejana sebanyak 1/3 bagian dari tinggi bejana kemudian dirojok sebanyak 25 kali.
- Masukkan kembali pasir sebanyak 1/3 bagian dan dirojok kembali sebanyak 25 kali.
- Kemudian pasir dimasukkan sampai penuh dan diratakan permukaannya.
- Bejana yang berisi pasir ditimbang dan dicatat beratnya.
- Kosongkan bejana dan bersihkan.
- Isi bejana dengan air sampai penuh.
- Timbang bejana berisi air dan catat beratnya.
- Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat isi} = \frac{D}{A} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.8})$$

Dimana :

A = Volume Bejana (liter)

B = Berat Bejana (kN)

C = Berat Bejana + contoh agregat (kN)

D = Berat contoh agregat (kN)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan 2.8 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka di dapat Berat isi agregat halus (pasir) untuk cara padat adalah 0.014 kN/ltr.

2. Berat Isi Agregat Kasar (Kerikil)

Tujuan dari percobaan ini mengetahui berat isi agregat kasar. Berat isi agregat kasar merupakan perbandingan antara batu kerikil dengan volume batu kerikil (volume total).

Prosedur pekerjaan untuk Berat isi Agregat kasar (kerikil):

- Cara Longgar
 - Bersihkan bejana dan timbang beratnya.
 - Masukkan pasir kedalam bejana dengan cara menumpahkan dari ketinggian 50 mm diatas permukaan bejana sampai penuh dan diratakan permukaannya.
 - Bejana yang berisi pasir di timbang dan dicatat beratnya.
 - Kosongkan bejana dan bersihkan.
 - Isi bejana dengan air sampai penuh.
 - Timbang bejana berisi air dan catat beratnya.
 - Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat isi} = \frac{D}{A} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.8})$$

Dimana :

A = Volume Bejana (liter)

B = Berat Bejana (kN)

C = Berat Bejana + contoh agregat (kN)

D = Berat contoh agregat (kN)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan 2.8 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka didapat Berat isi agregat kasar (kerikil) untuk cara longgar adalah 0.013 kN/ltr.

- Cara Padat

- Bersihkan bejana dan timbang beratnya.
- Masukkan pasir kedalam bejana sebanyak 1/3 bagian dari tinggi bejana kemudian dirojok sebanyak 25 kali.
- Masukkan kembali pasir sebanyak 1/3 bagian dan dirojok kembali sebanyak 25 kali.
- Kemudian pasir dimasukkan sampai penuh dan diratakan permukaannya
- Bejana yang berisi pasir ditimbang dan dicatat beratnya.
- Kosongkan bejana dan bersihkan.
- Isi bejana dengan air sampai penuh.
- Timbang bejana berisi air dan catat beratnya.
- Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat isi} = \frac{D}{A} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.8})$$

Dimana :

A = Volume Bejana (liter)

B = Berat Bejana (kN)

C = Berat Bejana + contoh agregat (kN)

D = Berat contoh agregat (kN)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan 2.8 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka di dapat Berat isi agregat kasar (kerikil) untuk cara padat adalah 0.015 kN/ltr.

2.2.5. Kadar Lumpur

Tujuan dari percobaan kadar lumpur agregat halus yaitu untuk menentukan persentase kadar lumpur pada agregat halus. Menurut SKSNI T – 15 -1991 bahwa agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 %. Apabila kadar lumpur lebih besar dari 5 % maka agregat tersebut harus dicuci.

Prosedur pekerjaan untuk kadar lumpur :

- a. Siapkan benda uji
- b. Cuci benda uji dengan menggunakan saringan 200, sampai air cucian tersebut berwarna jernih, tidak keruh.
- c. Keringkan benda uji dalam oven dengan suhu(110 ± 5)⁰ C selama 24 jam. Kemudian timbang benda uji tersebut.
- d. Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan.

Dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A-b}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

A = Berat contoh (N)

B = Berat contoh kering (N)

Dari hasil percobaan di atas dan di masukan kedalam persamaan 2.9 (lihat lampiran Data Pemeriksaan Agregat), maka di dapat kadar lumpur sebesar 2.95 %.

2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan yang dapat dicapai beton tergantung pada perbandingan air-semen serta tingkat pemadatan. Selain dari pada itu kuat tekan dari beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain oleh perbandingan air semen dan tingkat pemadatannya. Faktor faktor yang penting lainnya yaitu :

1. Jenis semen dan kualitasnya

Mempengaruhi kekuatan rata rata dan kuat batas beton.

2. Jenis dan lekak – lekuk bidang permukaan agregat

Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun tarik yang lebih dari pada penggunaan kerikil halus dari sungai.

3. Efisiensi dari perawatan (Curing)

Kehilangan kekuatan sampai 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.

5. Umur

Pada kenyataan yang normal kekuatan beton bertambah dengan bertambahnya umur. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen. Misalnya semen dengan kadar “alumina” tinggi menghasilkan

beton yang hacurnya pada 24 jam sama dengan semen portland biasa pada 28 hari, pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

Penggunaan ukuran benda uji juga berpengaruh pada berpengaruh pada kekuatan tekan beton berikut adalah nilai perbandingan kekuatan tekan beton dengan berbagai ukuran benda uji.

Tabel 2.1 Perbandingan Kekutan Tekan Beton pada Berbagai Benda Uji

| Benda Uji | Perbandingan kekuatan tekan |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Kubus 15 x 15 x 15 | 1.00 |
| Kubus 20 x 20 x 20 | 0.95 |
| Silinder Ø 15 cm x tinggi 30 cm | 0.83 |
| Silinder Ø 10 cm x tinggi 20 cm | 0.825 |

Sumber : Nau, 2013

Apabila tidak ditentukan percobaan-percobaan, maka untuk keperluan perhitungan perhitungan kekuatan atau pemeriksaan mutu beton perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur dapat dilihat pada tabel diatas.

Kuat tekan beton (F'_c) yang didapat dari masing masing benda uji yang dapat ditentukan dengan mempergunakan mesin uji tekan, dan benda uji yang dipergunakan dapat berupa kubus atau silinder (pada penelitian hanya silinder saja), seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1: Kuat Tekan Beton

Sumber : Nau, 2013

Tetapi dalam percobaan penelitian ini dipergunakan silinder dengan ukuran Ø 15 cm dan tinggi 30 cm. Adapun rumus yang dipergunakan untuk menentukan kuat tekan beton adalah sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- P = Beban maksimum (Kg)
- A = Luas Permukaan (cm²)
- f'c = Kuat tekan beton (Mpa)

2.3.1. Perencanaan proporsi campuran beton (*Mix design*)

Ada beberapa metode yang dapat dijadikan dasar untuk mendesain campuran beton sebagai acuan untuk menentukan komposisi beton mutu tinggi BW. Schacklock mengatakan bahwa untuk mendesain beton dengan kuat tekan 45 Mpa (450kg/cm²) atau lebih, maka cara desain campuran biasa-biasanya sudah tidak akurat lagi, sehingga untuk mendesain campuran beton dengan kuat tekan tinggi perlu adanya pengetahuan dan pengalaman eksperimental tentang sifat-sifat bahan dasar beton yang dapat menaikkan kekuatan dan keawetannya.

Beberapa metode desain campuran beton diantaranya adalah:

- Metode Francis (*DREUX*)
- Metode Inggris (*DOE*)
- Metode Amerika (*ACI*)
- Metode Indonesia (*SKSNI*) → (yang dipergunakan untuk penelitian ini).

Adapun dalam penelitian ini digunakan metode Indonesia (SKSNI). Metode desain campuran beton ini berdasarkan kepada SKSNI T-15-1990-03 yang mengatur tata cara membuat campuran beton normal.

Beberapa persyaratan yang penting dalam mendesain campuran adalah:

- a. Kekentalan yang memungkinkan untuk pekerjaan beton dapat mengisi acuan (*workability*)
- b. Keawetan (*durability*)
- c. Kuat tekan (*compressive strenght*)
- d. Ekonomis (*economics*)

Langkah-langkah desain campuran beton metoda SKSNI sebagai berikut :

1. Rencanakan kuat tekan yang hendak dicapai pada umur tertentu (*fc*).
2. Menghitung deviasi yang standar menurut rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - X]^2}{N-1}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

S = deviasi standar(*kN/cm²*)

X_i = kuat tekan masing-masing benda uji (MPa).

X = kuat tekan beton rata-rata (MPa)

Yang di hitung menurut rumus:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \dots\dots\dots(2.12)$$

N = jumlah nilai uji

Apabila tidak terpenuhi atas hasil benda uji tersebut, maka nilai deviasi standar dihitung dengan mengalikan deviasi standar menurut persamaan (2.11) dengan factor pengali dari tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar

| Jumlah Data Hasil Asli Ujian | Faktor Pengali Deviasi Standar |
|------------------------------|--|
| <15 data | target kuat tekan rata-rata harus diambil $f'_{cr} > (f'_c + 12)$ Mpa |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| 30 atau lebih | 1,00 |

Sumber: SKSNI T – 15 – 1990 – 03

Nilai tambah (*margin*) dihitung menurut persamaan berikut:

$$M = K \times S \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

M = nilai tambah (*margin*)

K = ketetapan statistik, yang tergantung pada persentase hasil uji yang lebih rendah dari f'_c , untuk persentase 5% nilai k = 1,64

S = deviasi standart

Cara menghitung kuat tekan rata-rata yang di targetkan f' di gunakan persamaan (2.15) atau (2.16) berikut ini,

$$f' = f'_{cr} + M \dots\dots\dots (2.15)$$

$$f' = f'_{cr} = 1.64 \dots\dots\dots (2.16)$$

3. Tentukan jenis semen yang digunakan.

4. Tentukan jenis agregat halus dan agregat kasar, bahan dasar ini dalam bentuk tidak pecah atau yang dipecah.
5. Menurut faktor air semen, dengan menggunakan tabel 2.3

Tabel 2.3 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen 0.50 dengan Jenis Semen/Agregat Kasar yang Digunakan

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Kekuatan Tekan Beton (Kn/mm ²) | | | | Benda Uji |
|--|---------------------|--|----|----|----|-----------|
| | | Pada umur (hari) | | | | |
| | | 3 | 7 | 28 | 91 | |
| Semen Portland Tipe I atau semen tahan sulfat tipe II, V | Batu Tidak dipecah | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| | Batu Tidak dipecah | 20 | 23 | 40 | 48 | Kubus |
| | Batu Pecah | 23 | 32 | 45 | 54 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu Tidak dipecah | 21 | 28 | 38 | 44 | Silinder |
| | Batu Pecah | 25 | 33 | 44 | 60 | |
| | Batu Tidak dipecah | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |
| | Batu Pecah | 30 | 40 | 53 | 60 | |

Sumber : SKSNI T-15-1990-03

6. Menetapkan faktor air semen maksimum (dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak). Bila ternyata factor air semen yang di peroleh dari butir 5 diatas lebih kecil dari pada yang di kehendaki, maka yang di pakai yang terendah.
7. Tetapkan nilai *slump* yang dikehendaki.
Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan dari pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dipindahkan, dipadatkan dan diratakan.
8. Tetapkan ukuran agregat maksimum yang digunakan.
Besar butiran agregat maksimum tidak boleh melebihi:
 - a. 1/5 dari jarak terkecil antara bidang-bidang sampai dari cetakan.
 - b. 1/3 dari tebal pelat.
 - c. 3/4 dari jarak bersih minimum batang-batang tulangan
9. Tentukan nilai kadar air bebas.

Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:

- a. Untuk agregat yang tidak pecah dan agregat yang di pecah dipergunakan ketentuan pada tabel 2.4.
- b. Agregat campuran (yang tidak dipecah dan yang dipecah), dihitung menurut rumus berikut ini.

$$W_c = 2/3 W_h + 1/3 W_k \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

W_c = kadar air bebas agregat campuran (tidak dipecah dan dipecah)

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (menggunakan tabel 2.4)

Tabel 2.4 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan

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

Sumber: SKSNI T-15-1990-03

10. Menentukan jumlah semen yang di butuhkan, dengan cara membagi kadar air bebas dengan faktor air semen.
11. Memperkirakan jumlah semen maksimum, jika tidak ada dapat diabaikan.

12. Tentukan jumlah semen minimum, dapat juga dipergunakan persyaratan, jumlah semen minimum.
13. Sesuai faktor air semen yang dipakai, jika jumlah semen berubah karena lebih kecil atau lebih besar dari jumlah semen minimum atau maksimum yang telah di syaratkan. Sehingga faktor air semen harus dihitung kembali.
14. Tentukan susunan butir agregat halus, dan sesuai apakah termasuk dalam gradasi nomor 1, nomor 2, nomor 3 atau nomor 4.
15. Menentukan persentase agregat halus dengan menggunakan kurva.
16. Menghitung berat jenis relatif.

Setelah terlebih dahulu di peroleh jenis agregat halus dan agregat kasar dalam kondisi SSD, selanjutnya berat jenis relatif dapat di hitung dengan rumus, yaitu:

$$BJ.RA = (PAH \times BJ.AH) + (PAK \times BJ.AK) \dots\dots\dots (2.18)$$

- Dimana :
- BJ.RA = Berat jenis relatif agregat (gr/cm^3)
 - PAH = Persentase agregat halus (%)
 - BJ.AH = Berat jenis agregat halus (gr/cm^3)
 - PAK = Persentase agregat kasar (%)
 - BJ.AK = Berat jenis agregat kasar (gr/cm^3)

17. Tentukan berat jenis beton menurut grafik, yang disesuaikan terhadap kadar air bebas dan berat relatif agregat.
18. Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi dengan jumlah kadar semen air bebas.

19. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persentase agregat halus dengan kadar agregat gabungan yang telah diperoleh.
20. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan dikurangi kadar agregat gabungan halus yang telah di peroleh, sehingga dari prosedur yang telah dilakukan ini akan didapat proporsi bahan dasar campuran untuk 1m³ beton.
21. Koreksi proporsi campuran.

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan (*SSD*), proporsi campuran halus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat, yang dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$a. \text{ Air} = B - (C_k - C_a) \times c / 100 - (D_k - C_a) \times D / 100 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$b. \text{ Agregat halus} = C + (C_k - C_a) \times C / 100 \dots\dots\dots (2.20)$$

$$c. \text{ Agregat kasar} = D + (C_k - C_a) \times C / 100 \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana:

- B = Kadar air bebas (kN/m³)
- C = Jumlah agregat halus (kN/cm³)
- D = Jumlah agregat kasar (kN/cm³)
- C_a = Absorpsi pada agregat halus (%)
- D_a = Absorpsi pada agregat kasar (%)
- C_k = Kandungan air dalam agregat halus (%)
- D_k = Kandungan air dalam agregat kasar (%)

Hasil metode desain campuran SKSNI T-15-1991-03 dapat dilihat pada lampiran Data Pemeriksaan Agregat.

2.4. Kuat Tekan

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tarikan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 part 115; part 116 pada umur 28 hari.

Kekuatan tekan relative antara benda uji silinder dan kubus ditunjukkan pada tabel 2.5 dan tabel 2.6 (menurut standar ISO)

Tabel 2.5 Rasio kuat tekan silinder -kubus

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Kuat Tekan (Mpa) | 7,0 | 15,2 | 20,0 | 24,1 | 26,2 | 34,50 | 36,50 | 40,70 | 44,10 |
| Kuat Rasio silinder / kubus | 0,76 | 0,77 | 0,81 | 0,87 | 0,91 | 0,94 | 0,87 | 0,92 | 0,91 |

Sumber: Neville "properties of concret", 3rd Edition, pitman publishing, London, 1981 p544.

Tabel 2.6 Perbandingan Kuat tekan antara silinder dan kubus

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----|---|-----|----|------|----|----|----|----|----|----|
| Kuat Tekan Silinder (Mpa) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| Kuat Tekan Kubus (Mpa) | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |

Sumber: ISO standar 3893-1997

Menurut BS,1881, rasio kubus terhadap silinder (cube/cylinder) untuk semua kelas adalah 1.25, sedangkan menurut K.W.Day.”*Concrete Mix Design. Quality Control and Specification*”,E& FN SPON.London 1995. Kekuatan tekan kubus jika dibandingkan dengan silinder dinyatakan dalam persamaan 2.5 dan 2.6. dengan nilai kuat tekan kubus dan silinder dinyatakan dalam Mpa atau N/mm². Departemen Pekerjaan Umum memberikan hubungan antara kekuatan tekan dengan silinder dalam persamaan 2.7

$$f'ck = \left(f'c - \frac{19}{\sqrt{f'ck}} \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

$$f'c = \left(f'ck - \frac{20}{\sqrt{f'ck}} \right) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$f'c = \left[0,76 + 0,2 \cdot \log \left(\frac{f'ck}{15} \right) \right] f'ck \dots\dots\dots (2.24)$$

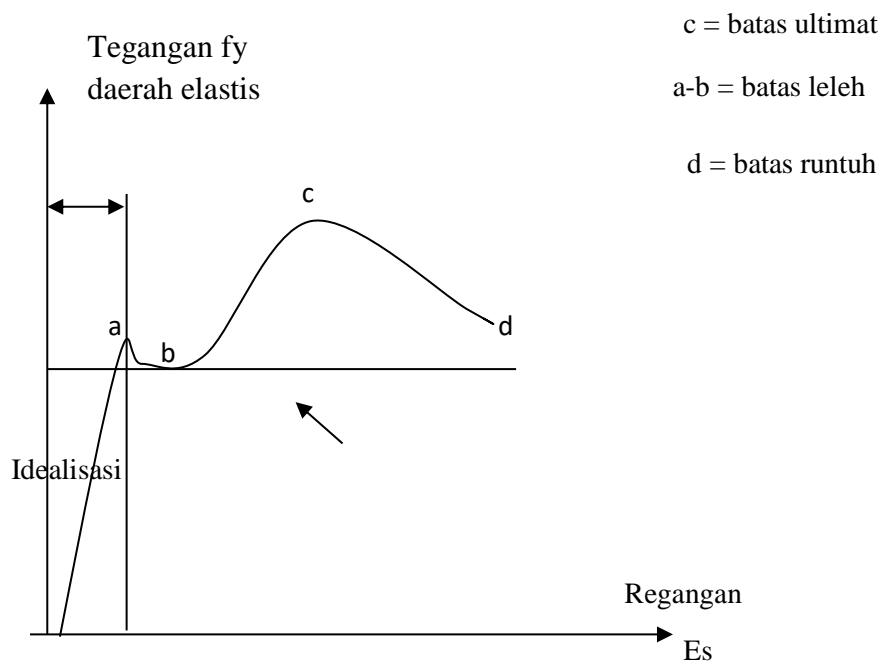
2.5. Kuat Tarik Beton

Biasanya kuat tarik beton jarang diperhitungkan didalam perencanaan bangunan beton, namun kuat tarik merupakan bagian penting didalam menahan retak retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Nilai kuat tarik beton bervariasi yaitu berkisar antara 10 % sampai dengan dari nilai tekannya.

2.5.1. Bahan Baja Tulangan

Beton tidak dapat menahan tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak retak. Untuk itu agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu system struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan terutama yang akan berfungsi menahan gaya yang bakal timbul didalam struktur tersebut. Sifat

fisis batang baja tulangan yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan leleh (f_y) dan Modulus Elastisitas (E_s). Suatu diagram hubungan tegangan tegangan tipikal untuk batang baja tulangan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2: Diagram tegangan regangan batang tulangan

Sumber : Struktur beton bertulang, Istimawan Diphusodo, hal : 13

Tegangan leleh (f_y) adalah tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangan. Menurut SK SNI T-15-1991-03 bahwa modulus elastisitas baja adalah 200000 Mpa.

2.5.2. Penyaluran Tegangan Lekatan

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang adalah lekatan batang baja tulangan dengan beton yang mengelilingi berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran. Ini berarti bahwa beban kerja tidak terjadi slip (Selip) dari baja tulangan terhadap beton sekeliling. Berdasarkan atas anggapan tersebut, pada waktu komponen struktur beton bertulang berkerja menahan beban akan timbul tegangan lekat yang serupa (*bond stress*) pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton.

Perkuatan pada beton dapat meningkatkan kekuatan tarik penampang bergantung pada keserasian (*Compatibility*) antara kedua bahan tersebut untuk dapat berkerjasama memikul beban luar. Dalam keadaan terbebani, elemen penguat seperti baja tulangan harus mengalami regangan atau deformasi yang sama dengan sekelilingnya untuk mencegah terpisahnya kedua material.

Kekuatan lekatan yang merupakan hasil dari berbagai parameter seperti adhesi antara beton dengan permukaan tulangan baja dan tekanan beton kering terhadap tulangan dan beton sekitarnya, yang menyebabkan peningkatan tahanan terhadap gelincir. Efek total ini disebut sebagai lekatan (*bond*).

Kekuatan lekatan bergantung pada faktor- faktor utama sebagai berikut:

1. Adhesi (gabungan) antara elemen beton dan bahan penguatnya (baja tulangan).

2. Efek Gripping (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton disekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton sekelilingnya.
3. Tahanan gesekan (friksi) terhadap gelincir dan saling kunci pada saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik.
4. Pengaruh kualitas beton, kekuatan tarik dan tekannya.
5. Pengaruh mekanis penjangkaran ujung tulangan, yaitu panjang penyaluran (*development length*), panjang lewatan (*splicing*), bengkokan tulangan (*hooks*) dan persilangan tulangan.
6. Diameter, bentuk dan jarak tulangan karena kesemuanya mempengaruhi pertumbuhan retak.
7. Keadaan permukaan dari tulangan (licin, kasar, berulir).
8. Arah tarik dari tulangan terhadap arah pengecoran.
9. Letak dari tulangan dalam beton (atas, tengah, bawah).

Agar beton bertulang dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan komposit dimana batang baja tulangan saling berkerjasama sepenuhnya dengan beton maka perlu diusahakan supaya terjadi penyaluran gaya yang baik dari suatu bahan ke bahan yang lain. Untuk menjamin hal ini diperlukan adanya lekatan yang baik diantara beton dengan tulangan baja. Agar batang tulangan baja dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, baja harus tertanam didalam beton hingga kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran.

Ada tiga jenis percobaan yang dapat menentukan kualitas lekatan elemen tulangan yaitu;

a. Percobaan Tarik Langsung (*pull – out test*)

Pada percobaan ini memberikan perbandingan yang baik antara efisien lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanaman. Akan tetapi, hasilnya belum memberikan tegangan lekat sesungguhnya pada struktur rangka. Dalam percobaan ini beton mengalami tekan dan baja tulangan mengalami tarik dimana baja dan beton disekeliling mengalami tegangan yang sama.

b. Percobaan Penjangkaran Tulangan (*Embedded rod*)

Pada percobaan ini, banyak retak, lebarnya dan jarak antara untuk berbagai taraf pembebanan merupakan ukuran pertambahan tegangan lekatan dan kekuatan lekatan. Proses ini serupa dengan perilaku balok dimana bertambahnya lebar retak secara terus menerus menyebabkan gelincir baja tulangan, dan dapat menyebabkan keruntuhan pada balok tersebut.

c. Percobaan Balok

Percobaan balok mencerminkan pengaruh dari retak–retak tarik lentur. Bertambahnya lebar retak pada secara terus menerus akan menyebabkan keruntuhan balok tersebut. Sebagai akibatnya, perlu dipilih panjang tulangan yang cukup untuk memperkecil retak dan terlepasnya lekatan. Dengan demikian tulangan dapat mempertahankan seluruh kekuatan tariknya, yaitu kekuatan lelehnya dalam elemen struktur, tanpa adanya kegagalan lekatan.

Bila tegangan lekat bekerja merata pada seluruh bagian batang tulangan baja yang tertanam, total gaya yang harus dilawan sebelum batang tulangan baja itu keluar dari beton, akan sama dengan panjang batang yang tertanam dikalikan keliling batang tulangan itu dikali kekuatan lekatnya.

Bila dirumuskan sebagai berikut:

$$P_l = L_d \times K \times \tau \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana: P_l = Gaya lekat (kN)

L_d = Panjang baja tulangan yang tertanam (cm)

K = Keliling batang baja tulangan (cm)

τ = Kekuatan lekat (kN/cm²)

Karena tulangan berbentuk lingkaran, maka rumusan diatas menjadi:

$$P_l = L_d \times \pi \times K \times \tau \dots\dots\dots(2.26)$$

Sedangkan gaya maksimum yang dapat ditahan oleh batang baja tulangan itu sendiri sama dengan luas penampang dikali kekuatan tarik baja, dirumuskan sebagai berikut:

$$P_b = A \times \sigma \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana: P_b = Gaya yang ditahan baja (kN)

A = Luas penampang (cm²)

σ = Kekuatan tarik baja (kN/cm²)

Luas penampang $\frac{1}{4} \pi d^2$ sehingga bila disederhanakan akan menjadi :

$$P_b = \frac{1}{4} \pi d^2 \sigma \dots\dots\dots(2.28)$$

Agar terjadi keseimbangan horizontal. Maka kedua gaya ini harus sama besar

$$P_l = P_b \rightarrow L_d \times \pi \times K \times \tau = \frac{1}{4} \pi d^2 \sigma_c$$

$$\tau = \frac{\frac{1}{4} d^2 \sigma_c}{L_d} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana: τ = Kuat lekat baja dengan beton (kN/cm²)

d = Diameter tulangan (cm)

σ_c = Kuat tarik baja (kN/cm²)

L_d = Panjang baja tulangan yang tertanam (cm)

Karena hubungan ϵ dan σ linier maka tegangan baja dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_s = \frac{E_s}{E_c} \sigma_c \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana: σ_s = Tegangan baja

E_c = Elastisitas beton

E_s = Modulus elastisitas baja

Modulus elastisitas beton dapat ditentukan dengan rumus $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$

Bila diketahui adalah besar kuat lekat baja dengan beton, maka rumusan diatas dapat dipakai untuk menghitung besarnya panjang penyaluran yang dirumuskan sebagai berikut:

$$L_d = \frac{\frac{1}{4} d^2 \pi}{\tau} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan demikian, panjang penyaluran dan kuat lekat baja dengan beton memiliki hubungan berbanding terbalik yakni jika panjang penyaluran semakin besar, maka kuat lekatnya akan kecil dan berlaku pula sebaliknya.

Berdasarkan bentuk tulangan dan arah penarik tulangan, maka besarnya tegangan lekat baja dengan beton menurut *Die Grundlagen des bewehrten beton*

unter besorderer berucksichtigung der neun DIN 1045, Prof.Dr.Ing.E.h HUBERT

RUSCH dirumuskan sebagai berikut :

Tabel 2.7 Peletakan Tulangan Berdasarkan Tulangan Berulir dan Polos

| Letak Tulangan | Jenis Tulangan Baja | |
|--------------------------------|---------------------|------------------|
| | Tulangan Polos | Tulangan Berulir |
| Ditengah dan ditarik Vertikal | $\tau = 0,30 K$ | $\tau = 0,12 K$ |
| Dibawah dan ditarik Horizontal | $\tau = 0,15 K$ | $\tau = 0,04 K$ |
| Diatas dan ditarik Horizontal | $\tau = 0,08 K$ | $\tau = 0,02 K$ |

Sumber: Prof.Dr.Ing.E.h HUBERT RUSCH, Die Grundlagen des bewehrten beton unter besorderer berucksichtigung der neun DIN 1045

Dimana: K = Mutu beton (Kg/cm²)

Dari berbagai eksperimen telah dibuktikan bahwa kekuatan lekatan merupakan fungsi dari kekuatan tekan beton, yaitu dengan hubungan:

$$\tau = k \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana k adalah konstanta

Hal ini berarti, besar tegangan lekat baja dengan beton dipengaruhi oleh mutu beton. Semakin baik mutu betonnya maka semakin tinggi pula nilai kuat lekat tegangan baja dengan beton.

2.5.3. Sifat Keruntuhan Lekatan

Bila digunakan baja polos (tulangan yang relatif ringan mulus) untuk penulangan, lekat dianggap sebagai suatu adhesi antara pasta beton dengan permukaan dari baja. Tegangan tarik yang relatif rendah didalam penulangan

bahkan akan timbul selip yang cukup untuk menghilangkan adhesi pada lokasi yang berdekatan langsung dengan retak didalam beton, sehingga pergeseran relatif antara tulangan dan beton sekelilingnya hanya ditahan oleh gesekan disepanjang daerah selip.

Susut juga terdapat menimbulkan seretan gesek terhadap batang tulangan, umumnya suatu tulangan polos yang dibentuk dengan cara penggilingan panas, dapat terlepas dari beton karena terbelah diarah memanjang bila terjadi perlawanan gesek yang cukup tinggi, atau dapat terlepas keluar dengan menimbulkan lubang bulat di dalam beton.

2.6. Variasi Kedalaman Penjangkaran Tulangan

Variasi kedalaman baja tulangan akan mempengaruhi tingkat kelecakan antara baja dan beton. Benda uji silinder Ø15 – 30 cm merupakan benda uji beton tempat dimana baja tulangan ditanamkan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.8 Variasi kedalaman

| Variasi Kedalaman | Benda Uji Silinder | Jumlah Benda Uji |
|-------------------|--------------------|------------------|
| 5 cm | Ø15 – 30 cm | 3 |
| 10 cm | Ø15 – 30 cm | 3 |
| 15 cm | Ø15 – 30 cm | 3 |

Sumber : Azizah, 2018

2.7. Pembuatan Benda Uji

Sebelum dilakukan pengecoran bahan – bahan dasar beton, pertama–tama dilakukan penimbangan terhadap bahan dasar tersebut. Setelah dilakukan

pengadukan dengan menggunakan alat pengaduk (molen), yang dalam penelitian ini dengan menggunakan molen dengan kapasitas 50 liter (0.0050 m^3). Mula – mula masukan pasir dan semen kemolen dan aduk selama ± 30 detik, setelah itu masukkan kerikil kemudian aduk lagi selama ± 30 detik, setelah ± 30 detik memasukan air sebanyak yang telah diproporsikan sedikit demi sedikit. Setelah semua bahan dimasukan kemudian diaduk lagi selama 2 (dua) menit . Selanjutnya slump diukur sesuai dengan nilai slump yang direncanakan dengan menggunakan “Kerucut Abraham” dan bila nilai slump sudah tercapai selanjutnya adukan beton siap untuk dicetak kedalam cetakan silinder tetapi bila nilai slump belum tercapai maka dilakukan penambahan air dari persen banyaknya air yang telah diproporsikan, sampai nilai slump yang direncanakan tercapai.

Setelah prosedur diatas dilaksanakan, selanjutnya isilah cetakan yang tersedia dengan adukan beton dalam 3 (tiga) tahap, dimana setiap tahapnya dipadatkan dengan cara merojok sebanyak 25 (dua puluh lima) kali dengan tongkat pemadat. Setelah dicetak diamkan selama 24 jam, lalu cetakan dibuka.

Lalu benda uji baik yang berulir maupun yang polos, terlebih dahulu besi tersebut digantungkan pada sebuah kayu, dan besi tersebut ditanamkan dengan kedalaman sesuai dengan yang telah ditentukan. Setelah itu, adukan beton dimasukkan dalam tiga tahap, dimana setiap tahapnya dipadatkan dengan alat getar (*vibrator*) Setelah itu, diamkan selama 24 jam, lalu cetakan dibuka.

2.7.1. Perawatan Beton (Curing)

Setelah dilaksanakan pengecoran, biarkan benda uji selama 24 jam, lalu buka cetakan. Selanjutnya dilakukan perawatan benda uji dengan cara direndam dalam air selama umur rencana (28 hari).

2.8. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Benda uji ini berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari. Dan banyak benda uji yang akan di uji sebanyak 9 (sembilan) benda uji.

Letakan benda uji silinder beton sentris dibawah mesin tekan (press), kemudian diberi beban perlahan -lahan sampai hancur, dan catat beban maksimum dan tegangan yang terjadi.

2.9. Pengujian Kuat Lekat Tulangan

Benda uji ini berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari. Dan banyak benda uji yang akan di uji sebanyak 9 (sembilan) benda uji.

Letakan benda uji (kepala tulangan) pada penarik mesin pull out test, kemudian diberi beban perlahan – lahan sampai pembacaan dial tidak naik lagi, dan catat beban maksimum terjadi.