

BAB II

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang limbah keramik sebagai bahan substitusi sebelumnya sudah pernah dilakukan Kurniawan Dwi Wicaksono (2012) pemanfaatan limbah keramik sebagai pengganti agregat kasar menggunakan proporsi campuran 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75%, dan 100% dengan kuat tekan rencana f_c 25 MPa. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh pada umur 28 hari dengan persentase 30% sebesar 30,8233 MPa.

Khoirul Sodik (2009) Pemanfaatan limbah pecahan keramik sebagai alternatif agregat kasar pada beton dengan variasi 0%, 50% dan 100% dengan kuat tekan rencana 25 MPa. Diperoleh kesimpulan penggunaan limbah keramik ternyata dapat menaikkan nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh beton dengan umur perendaman 28 hari dan presentase 50% sebesar 35,477 MPa.

Adapun penelitian tentang tulang sapi sebagai bahan substitusi semen dan marmer sebagai substitusi agregat kasar Tim PKM UNS (2019) Diperoleh kesimpulan bahwa tulang sapi memiliki Kandungan Kalsium oksida (CaO). CaO merupakan komposisi besar dalam semen, kandungan CaO dapat mempercepat dan pengerasan beton. Nilai kuat tekan yang diperoleh mencapai 20 MPa pada umur 1 hari sekitar 41,6 persen dari kuat tekan 28 hari dengan proporsi campuran 7,5% tulang sapi dan 60% marmer.

M.Samsul Anam (2013) Pengaruh penggunaan *bone ash* dan *rice husk* terhadap sifat mekanis pasta semen menggunakan proporsi campuran 0%, 2,5%, 5%, dan 10%. Diperoleh kesimpulan penggunaan tulang sapi dapat menaikkan kuat tekan optimum, nilai kuat tekan terbesar diperoleh pada presentase 10% sebesar 49,04 MPa.

Darwis Darmawati (2018) Analisis sifat-sifat fisik keramik dengan bahan dasar tulang sapi dan lempung asal desa Sidera Kecamatan Sigi Biromarun

dengan proporsi campuran 0%, 5%, 10%, dan 15%. Diperoleh kesimpulan bahwa presentase 5% tulang sapi dari volume lempung memiliki kuat tekan 14,04 MPa, susut kering 10,3%, susut bakar 0,5%, dan daya serap air 12,3%. Nilai-nilai tersebut telah memenuhi batas yang dipersyaratkan untuk pembuatan keramik yang baik.

3.2 Beton

3.2.1 2.2.1 Pengertian Beton

Beton merupakan ikatan dari material pembentuk yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus), semen dan air. Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen, dan berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga antara agregat kasar. Bahan dipilih sesuai dengan ketentuan yang ada, dicampur dengan perbandingan tertentu dan digunakan sedemikian rupa untuk menghasilkan beton yang diinginkan. Karakteristik bahan pembentuk bangunan adalah tahan cuaca, kuat dan harga murah. Kualitas pemilihan dari bahan akan mempengaruhi beton, karena terdapat banyak variasi yang menuntut dari beton, yaitu dari segi bentuk kualitas dan mutu dari beton yang dihasilkan serta diperlukan juga pencampuran yang merata. Pencampuran bahan - bahan yang merata akan bersifat homogen yaitu saling mengikat dan mengisi antara semua bahan pada waktu dilaksanakan pengecoran dan pencetakan beton.

3.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

1. Kelebihan beton antara lain :
 - a. Mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi
 - b. Bahan dasar yang dipakai mudah didapat
 - c. Mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi
 - d. Mampu memikul beban yang berat
 - e. Tahan terhadap temperatur tinggi. Minim biaya pemeliharaan
2. Kekurangan beton antara lain :
 - a. Bentuk yang telah dibuat sulit untuk diubah.

- b. Memantulkan suara yang besar.
- c. Mempunyai kuat tarik yang rendah sehingga mudah menimbulkan retak.
- d. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi.
- e. Beton mempunyai bobot yang berat.
- f. Panas saat proses hidrasi sangat tinggi dapat menimbulkan retak.

3.2.3 Karakteristik Beton

Beton adalah material konstruksi yang kuat, yang dihasilkan dengan mencampur bahan dasar semen, agregat dan air serta juga dapat menambahnya dengan bahan tambah (*admixture*). Beton terkenal dengan kuat tekannya, keawetan dan kemudahan dalam pengerjaannya serta dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

Beton memiliki sifat-sifat tertentu yaitu :

1. Sifat dalam keadaan beton antara lain :
 - a. Keleccakan (*workability*)
2. Sifat dalam keadaan beton keras antara lain :
 - a. Kekuatan
 - b. Modulus elastisitas
 - c. Penyusutan
 - d. Sifat fisik (keawetan, kedap air, tidak mudah terkikis)
 - e. Waktu ikat
 - f. Ketahanan terhadap lingkungan dan cuaca (*durability*)

Dalam prakteknya, kita tidak membutuhkan semua sifat dari beton bernilai maksimal. Semua tergantung dari fungsi beton itu sendiri, bangunan dan korelasinya terhadap biaya. Karena itu sifat-sifat yang dimiliki beton inilah yang merupakan hal-hal yang membuat beton masih menjadi material yang paling sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi.

3.2.4 Keleccakan (*workability*)

Keleccakan atau *workability* digunakan untuk menggambarkan kemudahan beton untuk dapat dikerjakan dalam hal pembentukan, pemadatan dan transportasi.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi nilai kelecakan yaitu :

a. Kompakabilitas

Kemudahan beton untuk dapat dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat dihilangkan.

b. Stabilitas

Kemampuan beton untuk tetap stabil agar material dalam beton tidak terjadi segregasi.

c. Mobilitas

Kemudahan beton dalam mengalir ke dalam cetakan disekitar tulangan.

Pengetesan yang dilakukan dalam mengukur kelecakan antara lain *slump test* dan *compacting test*. Namun yang paling sering digunakan adalah *slump test*.

3.2.5 Bahan Pembentuk Beton Menurut SNI 7656-2012

Berdasarkan (SNI 7656:2012, 2012) mengenai data dari bahan-bahan yang akan digunakan untuk penentuan proporsi campuran adalah sebagai berikut :

a. Analisa ayak (gradasi) agregat halus dan agregat kasar

b. Bobot isi agregat

c. Berat jenis, penyerapan air pada agregat

d. Air pencampur yang dibutuhkan beton berdasarkan pengalaman dengan menggunakan agregat yang ada.

e. Hubungan antara kekuatan dan rasio air-semen atau rasio air terhadap semen+bahan bersifat semen lainnya

f. Berat jenis semen atau bahan bersifat semen lainnya bila digunakan.

Pada penelitian ini menggunakan bahan substitusi dengan komposisi campuran dari limbah tulang sapi sebagai substitusi semen dan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar. Berikut ini bahan-bahan penyusun yang digunakan untuk membuat beton :

1. Semen

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana, definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu bata dan batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan – bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. (Bonardo Pangaribuan, Holcim).

Pada umumnya proyek (konsultan dan kontraktor) mempercayakan dan dapat menerima kontrol mutu atas material semen portland pada produsen. Tetapi bila ingin membuktikan kualitas (mutu) semen tersebut maka dapat dilakukan pengujian berat jenis semen dalam laboratorium.

Menurut SNI atau standar tentang semen portland dan semen campuran, sebagai acuan pengecekan jenis dan tipe semen yang digunakan :

- SNI 15-2049-2004 (Semen Portland)
- SNI 15-0302-2004 (Semen Portland Pozolan)
- SNI 15-7064-2004 (Semen Portland Komposit)
- SNI 15-3500-2004 (Semen Portland Campur)

Pada bagian ini hanya akan diulas secara ringkas jenis semen portland yang digunakan untuk konstruksi beton dan adukan mortar.

a. Semen Portland (OPC = *Ordinary Portland Cement*)

Menurut SNI 15-2049-2004 Semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Jenis-jenis semen portland (OPC) pada SNI 15-2049-2004 dikelompokkan berdasar penggunaannya sebagai berikut :

- Tipe I: Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

- Tipe II: Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
- Tipe III: Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Tipe IV: Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
- Tipe V: Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi pada sulfat.

b. Semen Portland Pozolan (PPC = *Portland Pozzolan Cement*)

Menurut SNI 15-0302-2004 semen portland pozolan didefinisikan sebagai suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dan pozolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, di mana kadar pozolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland. Jenis-jenis semen portland pozolan (PPC) pada SNI 15-0302-2004 dikelompokkan sebagai berikut :

- IP-U: Dapat digunakan untuk semua adukan beton.
- IP-K: Dapat digunakan untuk semua adukan beton, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- P-U: Dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
- P-K: Dapat digunakan untuk kebutuhan beton yang tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, dengan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jadi semen PPC mengandung 2 unsur utama yaitu semen portland (OPC) dan pozolan (*fly ash*). Persyaratan kimia dan fisik untuk semen portland pozolan (PPC) termasuk pengujian mutunya yang harus dipenuhi masing-masing tipe ditetapkan dalam SNI 15-0302-2004.

c. Semen Portland Komposit (PCC = *Portland Composite Cement*)

Menurut SNI 15-7064-2004 Semen Portland Komposit didefinisikan sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit. Jadi semen PCC mengandung 3 unsur utama :

- semen portland (OPC)
- gips
- bahan anorganik (bisa lebih dari 1 macam bahan anorganik seperti terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur).

d. Semen Portland Campur (SMC = *Super Masonry Cement*)

Menurut *super masonry cement* didefinisikan sebagai semen hidrolis, yang digunakan terutama dalam pekerjaan menembok dan memplester konstruksi, yang terdiri dari campuran dari semen portland atau campuran semen hidrolis dengan bahan yang bersifat menambah keplastisan (seperti batu kapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis) bersamaan dengan bahan lain yang digunakan untuk meningkatkan satu atau lebih sifat seperti waktu pengikatan (*setting time*), kemampuan kerja (*workability*), daya simpan air (*water retention*), dan ketahanan (*durability*). Semen ini cocok digunakan untuk bahan pengikat dan direkomendasikan untuk penggunaan sebagai berikut:

- Konstruksi ringan ($K < 225 \text{ kg/cm}^2$ atau f_c' setinggi - tingginya 20 MPa)
- Pembuatan bahan bangunan (hollow brick, batako, paving block, genteng, ubin dll).
- Pemasangan keramik, hollow brick, bata dll.

2. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar terbesar 5,0 mm (SNI 03-2834-

2000). Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% berat, sedangkan jika dipakai magnesium sulfat yang hancur maksimum 15% berat.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering). Jika kadar lumpur melebihi 5% pasir harus dicuci.

Agregat yang dipakai untuk campuran adukan atau mortar harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 03-2834-2000 yakni dengan modulus halus 2,0% sampai 3,0%. Tabel syarat batas gradasi agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut :

Table 3.1 Gradasi Pasir Berdasarkan Kategori Zona Kekasaran Pasir

| Ukuran Saringan Ayakan Menurut SNI (mm) | Zona I (Kasar) | Zona II (Agak Kasar) | Zona III (Agak Halus) | Zona IV (Halus) |
|---|---------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|
| 9,6 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4.8 | 90 – 100 | 90 – 100 | 90 – 100 | 95 – 100 |
| 2.4 | 60 – 95 | 75 – 100 | 85 - 100 | 95 – 100 |
| 1.2 | 30 – 70 | 55 – 90 | 75 - 100 | 90 – 100 |
| 0.6 | 15 – 34 | 35 – 59 | 60 – 79 | 80 - 100 |
| 0.3 | 5 – 20 | 8 – 30 | 12 – 40 | 15 - 50 |
| 0.15 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 - 10 | 0 - 15 |

Sumber : *British Standard, 882:1992*

Keterangan: Zona 1 = Pasir Kasar

Zona 2 = Pasir Agak Kasar

Zona 3 = Pasir Agak Halus

Zona 4 = Pasir Halus

3. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000). Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 38,1 mm, 25,4 mm, 19,1 mm, 9,52 mm, 4,76 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm dan pan untuk agregat kasar.

Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007), yaitu :

1. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2.5-2.7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2.3 gram/cm³.

2. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2.8 gram/cm³, misalnya *magnetik (FeO₄)* atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis tinggi sampai 5 gram/cm³. Penggunaannya sebagai pelindung dari radiasi.

3. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,3 gram/cm³, yang biasanya dibuat untuk beton non struktural atau dinding beton. Kebalikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga struktural ringan dan pondasinya lebih ringan.

Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, besar butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan maksimal persyaratan agregat, ketentuan itu antara lain :

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara tulangan dan cetakan.
- b. Ukuran maksimum butiran agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal plat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Agregat yang dapat dipakai harus memenuhi syarat-syarat (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007) :

1. Kerikil harus merupakan butir yang keras dan tidak berpori. Kerikil tidak boleh hancur adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras juga. Sifat tidak berpori, untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus air.
2. Agregat harus bersih dari unsur organik.
3. Kerikil tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering, lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila lumpur melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Kerikil mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan membuat pasta semen mengikat agregat dengan baik.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta semen lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirannya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007).

Table 3.2 Syarat Gradasi Agregat Kasar

| Ukuran Lubang Ayakan (mm) | Persentase Berat Bagian Yang Lewat Ayakan | | |
|---------------------------|---|-----------|------------|
| | Ukuran Nominal Agregat (mm) | | |
| | 38 - 4,76 | 19 - 4,76 | 9,6 - 4,76 |
| 38,1 | 95 - 100 | 100 | - |
| 19,1 | 37 - 70 | 95- 100 | 100 |
| 9,52 | 10 - 40 | 30 - 60 | 50 - 85 |
| 4,76 | 0 - 5 | 0 - 10 | 0 - 10 |

Sumber : SNI 03-2834-2000

4. Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan faktor yang sangat penting karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena jika kelebihan penggunaan air akan berakibat pada penurunan kekuatan beton tersebut. Sebaliknya jika kelebihan penggunaan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama sama dengan semen akan naik ke atas permukaan adukan segar yang baru dituang.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007) :

- Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
- Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
- Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.

3.3 Keramik

Bahan keramik adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan untuk melapisi lantai atau dinding yang biasanya berbentuk plat persegi dan tipis yang terbuat dari tanah liat atau campuran tanah liat dan bahan mentah keramik lainnya, dengan cara dibakar sampai suhu tertentu, sehingga mempunyai sifat-sifat fisik khusus. Bahan keramik selain dipergunakan untuk ubin, digunakan juga

dalam pembangunan sebagai perlengkapan saniter (wastafel, kloset, urinoir dan sebagainya) dan pada rumah tangga sebagai barang pecah belah.

1. Bahan pembuatan keramik dapat digolongkan menjadi 4, yaitu:

a. Keramik Kasar

Keramik kasar terbuat dari tanah liat (pasir kuarsa, tanah pekat, termasuk abu tertentu) yang dibakar pada suhu $1000^{\circ} - 1400^{\circ} \text{C}$. Jika dibutuhkan glasir maka keramik kasar dilapisi dengan campuran felspar, kuarsar, kaolin, kapurspar, dan dolomit yang diaduk dengan air. Pada proses pembakaran glasir ini terjadi lapisan seperti kaca tipis. Kegunaan keramik kasar di dalam pembangunan berupa :

- Pipa keramik kasar (sebagai pipa saluran air kotor)
- Bata klinker (sebagai dinding bata yang terbuka terhadap udara)
- Ubin tanah liat (sebagai ubin lantai yang agak alamiah)
- Genting tanah liat berglasir (sebagai genting keramik flam)

b. Keramik Halus

Terbuat dari tanah liat yang halus sekali dengan campuran jerami yang digiling (tembikar merah) atau dengan tambahan kaolin, kuarsar, felspar, atau bubuk magnesium silika yang dibakar (pembakaran tunggal) pada suhu 1330°C . Kecuali barang tembikar yang berwarna agak merah, maka keramik halus biasanya berwarna putih kekuning-kuningan. Keramik halus umumnya dilapisi glasir atau tembikar. Kegunaan keramik halus didalam pembangunan dipergunakan dalam perlengkapan saniter (wastafel, kloset, urinoir).

c. Keramik Pelapis Dinding (*fayence*)

Keramik *fayence* terbuat dari tanah pekat putih yang halus sekali dan mengandung kaolin, felspar, kuarsa atau bubuk magnesium silika sehingga warna menjadi putih. Setelah dicetak atau dibentuk keramik fayence dikeringkan dan dilapisi glasir (tembikar) yang mengandung banyak timah oksid dan selama tembikar masih basah dilakukan proses pewarnaan. Kemudian dibakar pada suhu 1100°C (pembakaran ganda). Kegunaan keramik fayence di dalam pembangunan berupa: tegel dinding dan barang pecah belah.

d. *Porselen* (tembikar putih)

Terbuat dari 50% kaolin, 25% felspar, dan 25% kuarsa. Sesudah dicetak atau dibentuk porselen dibakar pada suhu 1200° – 1300° C. Setelah dingin diberi glasir halus (tembikkar putih) dan dibakar kedua kalinya pada suhu 1380° – 1450° C selama 24 jam sehingga menjadi dua lapisan seperti kaca tipis. Warna porselen biasanya putih dan jika perlu perawatan dapat dilakukan dengan kobalt-oksida. Kegunaan *poselen* dalam pembangunan berupa: barang pecah belah.

2. Sifat-sifat Keramik

a. Sifat Mekanik

Keramik merupakan material yang kuat, keras, dan juga tahan korosi. Selain itu keramik memiliki kerapatan yang rendah dan juga titik lelehnya yang tinggi. Keterbatasan utama keramik adalah kerapuhannya, yakni kecenderungan untuk patah tiba-tiba dengan deformasi plastik yang sedikit. Faktor rapuh terjadi bila pembentukan dan propagasi keretakan yang cepat. Dalam padatan kristalin, retakan tumbuh melalui butiran dan sepanjang bidang retakan dalam kristalnya. Permukaan tempat putus yang dihasilkan mungkin memiliki tekstur yang penuh butiran atau kasar. Kekuatan tekan keramik biasanya lebih besar dari kekuatan tariknya.

b. Sifat Fisik

Sebagian besar keramik adalah ikatan dari karbon, oksigen atau nitrogen dengan material lain seperti logam ringan dan semi logam. Hal ini menyebabkan keramik memiliki densitas yang kecil. Sebagian keramik yang ringan mungkin dapat sekeras logam yang berat. Keramik yang keras juga tahan terhadap gesekan. Senyawa keramik yang paling keras adalah berlian, diikuti boron nitrida pada urutan kedua dalam bentuk kristal kubusnya.

3.4 Tulang Sapi

Tulang sapi merupakan salah satu komponen dari limbah organik susah terurai. Bahan padatan utama tulang mengandung kristal kalsium hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ dan kalsium karbonat (CaCO_3) yang berpotensi digunakan sebagai adsorben aktif. Tulang sapi merupakan tempat penyimpanan garam kalsium. Mineral yang utama adalah kalsium fosfat dan karbonat.

Tabel 2.2 Perbedaan komposisi pada semen dan serbuk tulang sapi

| No | Kandungan | Semen | Serbuk Tulang | Selisi h |
|----|--------------------------------|-------|---------------|----------|
| | | (%) | (%) | (%) |
| 1 | CaO | 72,26 | 70,87 | 1,39 |
| 2 | SiO ₂ | 6,39 | 7,03 | 0,64 |
| 3 | Al ₂ O ₃ | 0,88 | 0,91 | 0,03 |
| 4 | Fe ₂ O ₃ | 0,05 | 0,15 | 0,1 |
| 5 | MnO | 0,01 | 0,03 | 0,02 |
| 6 | MgO | 2,6 | 2,58 | 0,02 |
| 7 | K ₂ O | 0,39 | 0,51 | 0,12 |
| 8 | Na ₂ O | 1,58 | 1,67 | 0,09 |
| 9 | SO ₂ | 0,73 | 1,24 | 0,51 |
| 10 | H ₂ O | 0,62 | 0,75 | 0,13 |

Sumber : F.Falade 2012 (Muharam 2013)

3.5 Mix Design

Sebelum masuk ke *mix design* terlebih dahulu melakukan pengujian bahan khususnya agregat kasar dan agregat halus, yang nantinya hasil dari pengujian tersebut akan dimasukkan kedalam *mix design*. *Mix design* untuk beton normal pada penelitian ini berdasarkan "Tata Cara Pemilihan Campuran Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa" mengacu pada SNI 7656 - 2012. Spesifikasi/persyaratan beton yang akan diproduksi dapat didasarkan sebagian atau seluruh dari ketentuan berikut ini :

- a. Pemilihan Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum dan *Slump*

Ukuran nominal agregat kasar mempunyai ukuran butir 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2002) dan slump rencana sesuai Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara Untuk Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah (SNI 7656-2012)

- b. Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara di dapatkan dari ukuran nominal agregat kasar maksimum dan slump rencana.

Table 3.3 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara Untuk Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah

| Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah | | | | | | | | |
|---|----------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|
| Slump test (mm) | 9,5 (mm) | 12,7 (mm) | 19 (mm) | 25 (mm) | 37,5 (mm) | 50 (mm) | 75 (mm) | 150 (mm) |
| Beton tanpa tambahan udara | | | | | | | | |
| 25-50 | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 75-100 | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 150-175 | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 179 | 160 | - |
| >175 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Banyaknya udara dalam beton (%) | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| Beton dengan tambahan udara | | | | | | | | |
| 25-50 | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 75-100 | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 150-175 | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | - |
| >175 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 |

| | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| pemaparan : ringan (%) | | | | | | | | |
| Sedang (%) | 6,0 | 5,5 | 5,0 | 4,5 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| Berat (%) | 7,5 | 7,0 | 6,0 | 6,0 | 5,5 | 5,0 | 4,5 | 4,0 |

c. Pemilihan Rasio Air - Semen atau Rasio Air - Bahan Bersifat Semen :

Table 3.4 Hubungan Antara Rasio Air - Semen (w/c) atau Rasio Air - Bahan Bersifat Semen {w/(c=p)} dan Kekuatan Beton

| Kekuatan beton umur 28 hari (MPa) | Rasio air semen | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | Beton tanpa tambahan udara | Beton dengan tambahan udara |
| 15 | 0,79 | 0,70 |
| 20 | 0,69 | 0,60 |
| 25 | 0,61 | 0,52 |
| 30 | 0,54 | 0,45 |
| 35 | 0,47 | 0,39 |
| 40 | 0,42 | - |

Sumber : SNI 7656 – 2012

d. Perhitungan Kadar Semen

Banyaknya semen untuk tiap satuan volume beton diperoleh air pencampur tabel 2.5 dibagi dengan rasio air semen tabek di atas.

e. Perkiraan kadar agregat kasar

Banyaknya berat agregat kasar diperoleh dari berat kering agregat kasar dikali dengan hasil tabel di bawah ini:

Table 3.5 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

| Ukuran nominal agregat maksimum (mm) | Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus | | | |
|--------------------------------------|--|------|------|------|
| | 2,40 | 2,60 | 2,80 | 3,0 |
| 9,5 | 0,50 | 0,48 | 0,46 | 0,44 |
| 12,5 | 0,59 | 0,57 | 0,55 | 0,53 |
| 19,0 | 0,66 | 0,64 | 0,62 | 0,60 |
| 25,0 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,65 |
| 37,5 | 0,75 | 0,73 | 0,71 | 0,69 |
| 50,0 | 0,78 | 0,76 | 0,74 | 0,72 |
| 75,0 | 0,82 | 0,80 | 0,78 | 0,76 |
| 150,0 | 0,87 | 0,85 | 0,83 | 0,81 |

Sumber : SNI 7656 – 2012

f. Perkiraan Kadar Agregat Halus

Perkiraan kadar agregat pasir dapat didapatkan dari ukuran nominal agregat kasar maksimum didapatkan perkiraan awal berat beton pada tabel di bawah ini:

Table 3.6 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

| Ukuran nominal agregat maksimum (mm) | Perkiraan awal berat beton (kg/m ³) | |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| | Beton tanpa tambahan udara | Beton dengan tambahan udara |
| 9,5 | 2280 | 2200 |
| 12,5 | 2310 | 2230 |
| 19,0 | 2345 | 2275 |
| 25,0 | 2380 | 2290 |
| 37,5 | 2410 | 2320 |
| 50,0 | 2445 | 2345 |
| 75,0 | 2490 | 2405 |
| 150,0 | 2530 | 2435 |

Sumber : SNI 7656-2012

g. Penyesuaian Terhadap Kelembaban Agregat

Jumlah agregat yang harus ditimbang untuk beton harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang terserap dalam agregat. Umumnya, agregat ada dalam keadaan lembab, sehingga berat keringnya harus ditambah sebanyak persentase air yang dikandungnya baik yang terserap maupun yang ada dipermukaan.

3.6 Slump Test

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan.

Slump pada dasarnya salah satu pengetesan sederhana untuk mengetahui *workability* beton segar sebelum diterima dan diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. *Workability* beton segar pada umumnya diasosiasikan dengan :

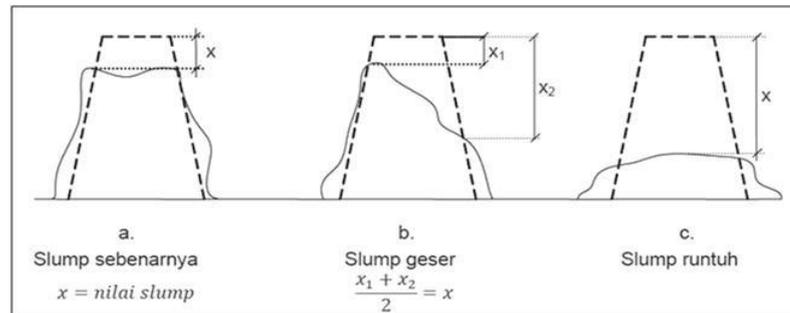
- a. Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar (*homogeneity*).
- b. Kelekatan adukan pasta semen (*cohesiveness*).
- c. Kemampuan alir beton segar (*flowability*).
- d. Kemampuan beton segar dalam mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut (*mobility*).
- e. Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis (*plasticity*).

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton makin mudah untuk dikerjakan.

Dalam praktek, ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi yaitu :

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring.

c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.



Gambar 3.1 Tipe-tipe Keruntuhan Slump

Pengukuran *slump test* mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam [SNI 1972-2008 \(Cara Uji Slump Beton\)](#). Pengukuran *Slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

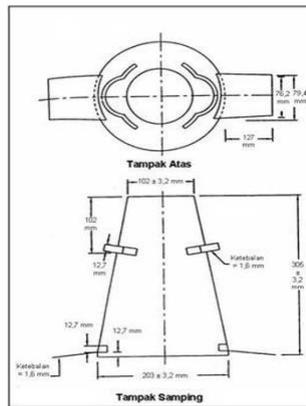
a. Kerucut Abrams :

- Kerucut terpancung, dengan bagian atas dan di bawah terbuka.
- Diameter atas 102 mm.
- Diameter bawah 203 mm.
- Tebal plat minimal 1,5 mm.

b. Bentang besi penusuk :

- Diameter 16 mm.
- Panjang 60 cm.
- Memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16mm.

c. Alas : datar, dalam kondisi lembab tidak menyerap air dan kaku.



Gambar 3.2 Tampak Atas dan Samping Kerucut Abrams

Table 3.7 Kategori Nilai Slump Test

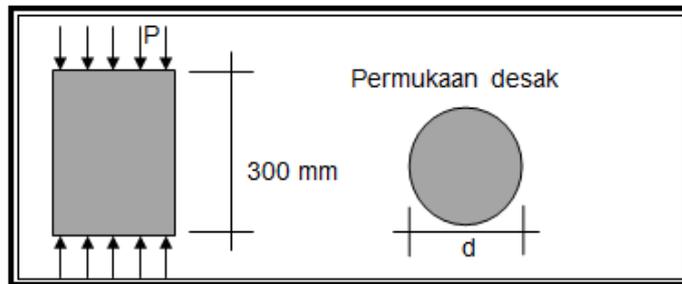
| Keterangan | Nilai Slump (mm) | Air Yang Diperlukan (%) |
|---------------|------------------|-------------------------|
| Sangat Kering | - | 78 |
| Sangat Keras | - | 83 |
| Keras | 0-30 | 88 |
| Agak Plastis | 30-80 | 92 |
| Plastis | 80-130 | 100 |
| Encer | 130-180 | 106 |

Sumber : Buku referensi "Propertis of Concrete" oleh AM Neville

3.7 Kuat Tekan

Perlu catatan bahwa nilai f_c' berarti kuat tekan beton dengan benda uji silinder jika diketahui nilai K, maka kuat tekan perlu dikonversi. Berdasarkan SNI 03-1974-2011 dicantumkan sebagai bahan pertimbangan dan perbandingan. Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm, diameter 150 mm. kuat tekan beton untuk benda uji dimensi yang berbeda dapat diperoleh dengan mengkonversikan hasil kali yang telah tersedia pada SNI 03-1974-2011.

Table 3.8 Pengetesan Kuat Tekan Benda Uji Beton



Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai kuat tekan beton adalah :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1) \quad 3.1$$

Dimana :

f_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban hancur (N)

A = Luas silinder (mm^2)

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton. Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah :

- a. permukaan dan bentuk agregat,
- b. gradasi agregat, dan
- c. ukuran maksimum agregat.

3.8 Absorpsi

Penyerapan merupakan kemampuan air untuk bergerak melalui rongga-rongga kapiler melalui permukaan hingga lapisan dalam pada beton ketika benda tersebut bersentuhan dengan air. Biasanya penelitian *absorpsi* diukur dengan menghitung prosentase antara perbedaan massa dari kondisi kering dengan kondisi SSD (*saturated surface dry*).

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-6433-2000, tentang tata cara perhitungan pengujian penyerapan air (*absorpsi*) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Absorpsi = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (2) \quad \mathbf{3.2}$$

Dimana :

A = Berat Benda Uji Kering (kg)

B = Berat Benda Uji Setelah Direndam (kg)