

BAB II

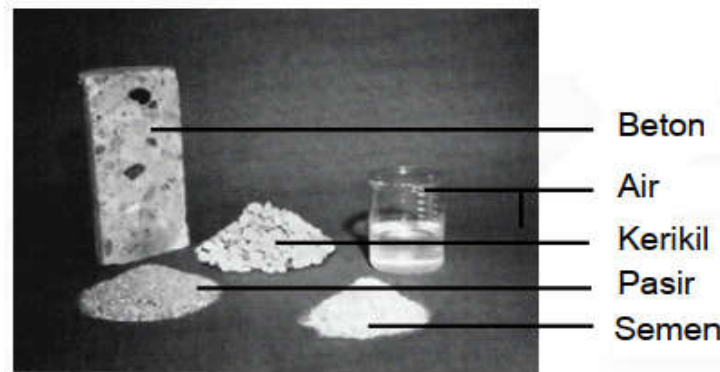
TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 2847:2013, 2013). Beton merupakan material komposit. Disebut komposit karena terdiri dari media pengikat (pada umumnya campuran semen hidrolis dan air), agregat halus (pada umumnya pasir), dan agregat kasar (pada umumnya kerikil) dengan atau tanpa bahan tambahan/campuran (Bahar, 2005). Beton merupakan salah satu komponen struktur yang sangat dikenal di dunia teknik sipil. Beton biasa digunakan pada struktur bangunan seperti gedung, bangunan air, jembatan, jalan, dll. Beton dipilih sebagai salah satu komponen struktur bangunan karena kekuatannya. Kuat tekan beton merupakan salah satu andalan utama bahan ini (Lie, 2017). Selain itu, beton memiliki kelebihan lain, yaitu tahan terhadap air, mudah dibentuk, dan mudah perawatannya. Kelebihan beton juga terdapat pada material penyusunnya yang relatif mudah didapat.

Selain kelebihan tersebut, beton juga memiliki kekurangan. Kekurangan beton yaitu sifatnya yang kaku dan kuat tarik yang lebih rendah dibanding kuat tekannya. Sifat kaku atau getas, mengakibatkan beton menjadi susah dibentuk ketika beton sudah mengeras, selain itu, beton yang terlalu getas tidak memberi tanda berupa retakan ketika akan mengalami kegagalan struktur atau runtuh. Beton yang sudah retak, kekuatannya akan berkurang dan sulit untuk diperbaiki.

Regangan beton digunakan untuk berbagai parameter dalam perencanaan. Data regangan beton digunakan sebagai parameter untuk perencanaan beton bertulang. Data regangan juga diperlukan untuk mengetahui diagram kesetimbangan tegangan-regangan dan modulus elastisitas beton. Diagram tersebut digunakan untuk menentukan kategori beton bertulang. Apabila beton sudah mencapai atau melampaui regangan maksimal, sedangkan baja tulangan belum mencapai leleh maka, beton bertulang tersebut termasuk kategori beton gagal tekan. Selain itu, data regangan pada beton digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan.



Gambar 1. Bahan utama campuran beton (Bahar, 2005).

Saat ini terdapat beberapa jenis beton yang dapat ditemui. Jenis-jenis beton tersebut digunakan berdasarkan fungsinya. Menurut Bahar (2005), jenis-jenis beton dan fungsinya diuraikan sebagai berikut:

1. Beton ringan.

Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari 1.900 kg/m^3 . Beton ringan digunakan untuk elemen non-struktural. Beton ringan dibuat dengan cara membuat gelembung udara dalam adukan semen dan menggunakan agregat ringan (tanah liat bakar/batu apung) atau pembuatan beton non-pasir.

2. Beton normal.

Beton normal memiliki berat jenis 2.200 – 2.500 kg/m³. Beton normal digunakan hampir pada setiap elemen struktur bangunan.

3. Beton berat.

Beton berat memiliki berat jenis lebih dari 2.500 kg/m³. Beton berat digunakan untuk struktur tertentu, seperti struktur yang harus tahan terhadap radiasi atom.

4. Beton jenis lain.

Beton jenis lain merupakan beton yang digunakan untuk struktur yang memiliki persyaratan khusus, seperti: beton massa, ferosemen, beton serat, beton siklop, beton hampa, beton ekspos, dll.

Selain itu, jenis-jenis beton berdasarkan kuat tekan dapat dikategorikan seperti di bawah ini:

1. Beton mutu rendah.

Beton mutu rendah yaitu beton yang memiliki nilai kuat tekan di bawah 20 MPa. Beton mutu rendah biasa digunakan untuk struktur rumah tinggal.

2. Beton mutu sedang.

Beton mutu sedang yaitu beton yang memiliki nilai kuat tekan 21 MPa hingga 40 MPa. Beton mutu sedang biasa digunakan untuk struktur bangunan bertingkat.

3. Beton mutu tinggi.

Beton mutu tinggi yaitu beton yang memiliki nilai kuat tekan di atas 41 MPa. Beton mutu tinggi biasa digunakan pada bangunan pencakar langit atau *High Rise Building*.

Kekuatan yang dihasilkan oleh beton bergantung pada beberapa faktor, antara lain: proporsi campuran, kondisi temperatur, dan kelembaban tempat beton akan mengeras (Pratikto, 2009). Proporsi campuran untuk adukan beton harus diperhitungkan dengan baik sesuai dengan metode yang digunakan. Pengujian bahan untuk campuran adukan beton juga harus sesuai dengan metode yang digunakan. Kondisi temperatur udara dan kelembaban tempat beton akan mengeras harus dikendalikan agar selama proses hidrasi beton tidak mengalami retak akibat panas hidrasi. Panas hidrasi adalah efek samping dari proses hidrasi yaitu berupa pelepasan panas/kalor dari reaksi hidrasi (Bahar, 2005). Kuat tekan pada beton juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain. Menurut Mustafid (2016), faktor-faktor tersebut dijelaskan dalam uraian berikut:

1. Faktor Air Semen (FAS).
2. Perbandingan campuran.
3. Proses pembuatan dan *quality control*.
4. Perawatan.
5. Jenis semen
6. Susunan dan gradasi agregat.
7. Umur beton.

B. Sifat-sifat Beton.

Beton merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki berbagai sifat. Sifat beton sangat rentan untuk berubah, terutama sifat pada beton segar yang bersifat plastis dan mudah dibentuk. Sedangkan beton padat bersifat keras dan cenderung susah untuk dibentuk. Beberapa sifat yang mempengaruhi beton yang harus diperhatikan adalah *workability* atau kelecakan dan nilai *slump*. Kedua sifat tersebut dapat berpengaruh pada sifat beton segar yang lain seperti segregasi dan *bleeding*. Syarat membuat beton berkekuatan tertentu dan bermutu baik, harus dapat dikerjakan dengan baik dan dipadatkan dengan sempurna sehingga kekuatan dan mutu beton yang dikehendaki dapat dicapai. Sifat-sifat yang berpengaruh pada beton segar yaitu:

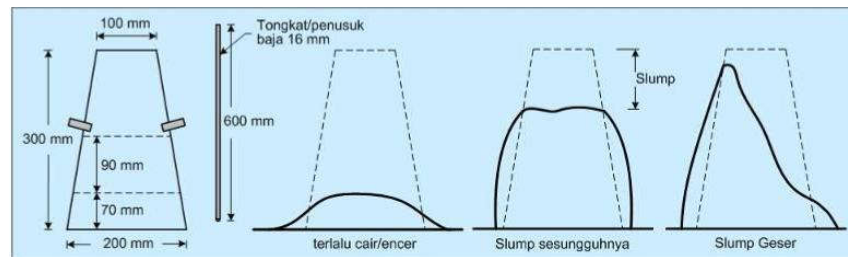
1. Nilai *slump*.
2. Kelecakan (*workability*).
3. Segregasi
4. *Bleeding*
5. Perawatan (*curing*).

Sifat-sifat tersebut yang nantinya akan mempengaruhi sifat-sifat pada beton keras. Penjelasan dari sifat-sifat yang berpengaruh pada beton segar diatas yaitu:

1. *Slump* beton.

Slump beton adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat (SNI 1972:2008, 2008). Nilai *slump* pada umumnya akan meningkat sebanding dengan kadar

air yang ada dalam campuran beton segar dan berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan beton. Nilai *slump* beton menjadi patokan untuk tingkat kemudahan dalam pekerjaan beton. Beton dengan nilai *slump* < 15 mm mungkin tidak cukup plastis dan beton dengan nilai *slump* > 230 mm mungkin tidak cukup kohesif (SNI 1972:2008, 2008).



Gambar 2. Kerucut Abrams dan gambaran hasil uji *slump* (Firdausia, 2018).

2. Keleccakan (*Workability*).

Menurut Firdausia (2018), keleccakan merupakan tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, diangkut, dan dipadatkan serta tidak terjadi pemisahan/segregasi. Keleccakan beton diketahui dengan cara melakukan uji *slump*. *Slump* merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump* (SNI 1972:2008, 2008).

Menurut Bahar (2005), faktor lain yang mempengaruhi keleccakan pada beton segar adalah:

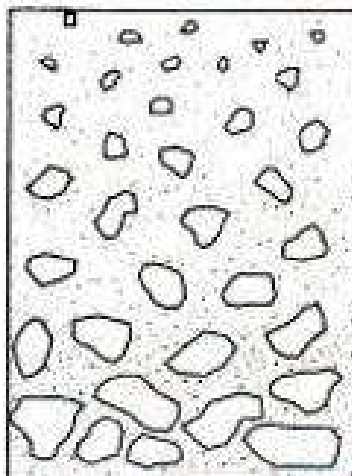
- a. Jumlah air yang dipakai. Semakin banyak air, maka beton semakin mudah dikerjakan.
- b. Penambahan semen. Jika semen bertambah, maka air juga ditambah agar FAS tetap, sehingga beton semakin mudah dikerjakan.

- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil.
 - d. Pemakaian butir maksimal kerikil yang dipakai.
 - e. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat.
3. Segregasi.

Menurut Bahar (2005), segregasi merupakan kecenderungan agregat kasar untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton. Peluang segregasi diperbesar dengan:

- a. Campuran yang kurus atau kurang semen.
- b. Pemakaian air yang terlalu banyak.
- c. Semakin besar butir kerikil yang dipakai.
- d. Campuran yang kasar atau kurang agregat halus.
- e. Tinggi jatuh pengecoran beton yang terlalu tinggi.

Pada dasarnya, segregasi adalah proses terjadinya penurunan agregat kasar ke bagian bawah beton segar atau terpisahnya agregat kasar dari campuran karena cara penuangan dan pemadatan yang tidak baik (Firdausia, 2018).



Gambar 3. Segregasi pada beton segar (Firdausia, 2018).

4. *Bleeding*.

Menurut Bahar (2005), *bleeding* merupakan kecenderungan air untuk naik (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipindahkan. *Bleeding* dapat dikurangi dengan beberapa cara, yaitu:

- a. Memberi lebih banyak semen dalam campuran.
- b. Menggunakan air sedikit mungkin.
- c. Menggunakan lebih banyak pasir.
- d. Menyesuaikan intensitas dan durasi penggetaran pemadatan sesuai dengan nilai *slump* campuran.

5. Perawatan (*curing*).

Menurut (SNI 2493-2011, 2011), benda uji harus dirawat basah dari waktu pencetakan sampai saat pengujian. Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji silinder beton selama 28 hari. Selain itu, pada masa *setting time*, benda uji silinder beton harus diletakkan di tempat yang aman, datar, bebas dari getaran, dan terhindar dari hal-hal yang berpotensi merusak benda uji silinder beton.

Seperti beton segar, beton keras juga memiliki beberapa sifat. Sifat-sifat pada beton keras terjadi saat beton segar berubah menjadi keras. Menurut Bahar (2005), sifat-sifat beton keras dipisahkan menjadi dua yaitu:

a. Sifat jangka pendek.

Sifat beton keras jangka pendek meliputi kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser. Nilai kuat tekan dipengaruhi oleh perbandingan air dan semen, tingkat pemadatan, jenis dan kualitas semen, jenis dan kekasaran permukaan

agregat, umur, suhu, dan perawatan. Kuat tarik berperan penting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Kuat tarik beton berkisar $1/18$ kuat tekan beton saat umurnya masih muda dan menjadi $1/20$ sesudahnya. Sedangkan kuat geser, dalam praktiknya, mengikuti kuat tekan dan tarik.

b. Sifat jangka panjang.

Sifat jangka panjang pada beton keras adalah rangkak dan susut. Rangkak adalah peningkatan deformasi (regangan) secara bertahap terhadap waktu akibat beban yang bekerja secara konstan. Susut adalah berkurangnya volume beton jika terjadi kehilangan kandungan uap air akibat penguapan.

Beton keras selain memiliki dua sifat di atas, juga memiliki sifat lainnya yaitu kuat tekan. Volume semen dan air dalam setiap adukan beton mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Volume semen dan air didapat dari nilai Faktor Air dan Semen (FAS) yang telah ditentukan. Nilai kuat tekan beton akan meningkat seiring berjalannya waktu dan akan mencapai nilai maksimal pada usia 28 hari.

C. Semen.

Semen adalah material pengikat yang akan mengeras (hidrasi) bila bereaksi dengan air (Lie, 2017). Fungsi semen adalah untuk mengikat agregat yang ada dalam campuran adukan beton segar melalui reaksi kimia. Selain itu, semen juga berfungsi sebagai bahan pengisi rongga antar agregat. Campuran semen dan air akan menimbulkan proses hidrasi, yaitu reaksi kimia antara partikel semen dan air untuk menjadi bahan perekat. Bahan perekat bersifat hidrolis atau

semen memiliki tiga material penyusun yang terdiri dari klinker/terak, gypsum, dan material ketiga seperti abu terbang, batu kapur, pozzolan, dan lain-lain.

Semen hidrolis dibagi menjadi tiga berdasarkan bahan penyusunnya, yaitu:

1. *Portland Cement* (PC).

Portland Cement atau semen portland merupakan 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 (SNI 15-2049-2004, 2004).

Menurut SNI 15-2049-2004 (2004), semen portland memiliki lima jenis berdasarkan tujuan penggunaan semen tersebut. Jenis dan fungsi semen portland yaitu:

- a. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.
2. Semen *portland* pozolan adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi 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, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan (SNI 15-0302-2004, 2004).

Pozolan merupakan bahan yang halus mengandung silika dan alumina. Pozolan tidak memiliki sifat mengikat pada suhu kamar. Pozolan dapat bersifat mengikat seperti semen apabila bercampur dengan air. Senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida.

Menurut SNI 15-0302-2004 (2004), semen *portland* pozolan memiliki beberapa jenis dan fungsi antara lain:

- a. PPC jenis IP-U, yaitu PPC yang dapat digunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.
- b. PPC IP-K, yaitu PPC yang dapat digunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- c. PPC jenis P-U, yaitu PPC yang dapat digunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.

- d. PPC jenis P-K, yaitu PPC yang dapat digunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Semen *portland* pozolan jenis IP-U dan IP-K harus memenuhi persyaratan kimia dan fisika. Persyaratan tersebut antara lain:

Tabel 1. Syarat kimia PPC jenis IP-U dan IP-K.

| No | Jenis uji | Satuan | Persyaratan | |
|----|-----------------|--------|-------------|------------|
| | | | IP - U | IP - K |
| 1 | MgO | % | maks. 6,00 | maks. 6,00 |
| 2 | SO ₃ | % | maks. 4,00 | maks. 4,00 |
| 3. | Hilang pijar | % | maks. 5,00 | maks. 5,00 |

Tabel 2. Syarat fisika PPC jenis IP-U dan IP-K.

| No | Jenis uji | Satuan | Persyaratan | |
|----|--|--|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | IP-U | IP-K |
| 1 | Kehalusan dengan alat blaine | m ² /kg | min 280 | min 280 |
| 2. | Waktu pengikatan dengan jarum vicat - pengikatan awal - pengikatan akhir | menit jam | min. 45 maks. 7 | min 45 maks. 7 |
| 3. | Kekekalan dengan autoclave - pemuaian - penyusutan | % % | maks. 0,80 maks. 0,20 | maks. 0,80 maks. 0,20 |
| 4. | Kuat tekan - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari | kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ² | min. 125 min. 200 min. 250 | min. 110 min. 165 min. 205 |
| 5. | Panas hidrasi - umur 7 hari - umur 28 hari | kal/g kal/g | - - | maks. 70 maks. 80 |
| 6. | Kandungan udara dari mortar | %. volume | maks. 12 | maks. 12 |

Semen *portland* pozolan jenis P-U dan P-K harus memenuhi persyaratan kimia dan fisika. Persyaratan tersebut antara lain:

Tabel 3. Syarat kimia PPC jenis P-U dan P-K.

| No | Jenis uji | Satuan | Persyaratan | |
|----|-----------------|--------|-------------|------------|
| | | | P - U | P - K |
| 1 | MgO | % | maks. 6,00 | maks. 6,00 |
| 2 | SO ₃ | % | maks. 4,00 | maks. 4,00 |
| 3. | Hilang pijar | % | maks. 5,00 | maks. 5,00 |

Tabel 4. Syarat fisika PPC jenis P-U dan P-K.

| No | Jenis uji | Satuan | Persyaratan | |
|----|--|--|---------------------------|--------------------------|
| | | | P-U | P-K |
| 1 | Kehalusan dengan alat blaine | m ² /kg | min 280 | min 280 |
| 2. | Waktu pengikatan dengan jarum vicat - pengikatan awal - pengikatan akhir | menit jam | min. 45 maks. 7 | min 45 maks. 7 |
| 3. | Kekekalan dengan autoclave - pemuai - penyusutan | % % | maks. 0,80 maks. 0,20 | maks. 0,80 maks. 0,20 |
| 4. | Kuat tekan - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari | kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ² | - min. 115 min. 215 | - min. 90 min. 175 |
| 5. | Panas hidrasi - umur 7 hari - umur 28 hari | kal/g kal/g | - - | maks. 60 maks. 70 |
| 6. | Kandungan udara dari mortar | % volume | maks. 12 | maks. 22 |

3. Semen *portland* komposit adalah 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 (SNI 15-7064-2004, 2004). Bahan penyusun semen *portland* komposit yaitu terak tanur tinggi, pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massa semen *portland* komposit. Semen *portland* komposit atau PCC dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata,

selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (paving block) dan sebagainya.

D. Agregat

Menurut (SNI 2847:2013, 2013), agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Agregat merupakan butiran mineral dengan ukuran dan gradasi tertentu sebagai komposisi beton yang apabila dicampur dengan air dan semen akan menghasilkan beton. Kandungan agregat dalam beton dapat mencapai 80% dari berat campuran beton sehingga agregat memiliki peran yang besar untuk mencapai kuat tekan beton yang disyaratkan. Selain berperan dalam kuat tekan, tujuan penggunaan agregat dalam beton antara lain:

1. Menghemat semen.
2. Mengurangi tingkat penyusutan beton.
3. Mencapai kepadatan beton yang maksimal.
4. Memperoleh *workability* yang baik.

Peran agregat dalam beton sangat penting, maka karakteristik agregat sebagai bahan penyusun beton perlu diketahui sebelum melakukan *mix design* agar kekuatan dan mutu beton yang disyaratkan dapat dicapai.

Agregat dibagi menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan kasar. Agregat halus merupakan butiran yang tembus ayakan 4,75 mm sehingga ukuran

maksimal diameter agregat halus adalah 4,75 mm. Agregat kasar merupakan butiran yang tertahan ayakan 4,75 mm sehingga ukuran diameter minimal agregat kasar adalah 4,75 mm.

1. Agregat Halus

ASTM C33 menyebutkan bahwa agregat halus merupakan butiran yang lolos ayakan ukuran 4.75 mm. Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir buatan atau campuran keduanya. Pasir alam merupakan pasir yang terbentuk secara alami, yaitu pasir gunung vulkanik dan pasir sungai. Sedangkan pasir buatan merupakan pasir hasil dari suatu pengolahan atau hasil pemecahan. Agregat halus sangat berperan dalam menentukan kemudahan pengerjaan, kekuatan beton, dan keawetan beton. Syarat susunan besar butir atau gradasi agregat halus menurut ASTM C33 dinyatakan pada tabel 5.

Tabel 5. Persyaratan gradasi butir agregat halus ASTM C 33.

| Lubang Ayakan ASTM C33 | Lolos Ayakan (%) |
|-------------------------------|-------------------------|
| 9.5 mm | 100 |
| 4.75 mm | 95 – 100 |
| 2.36 mm | 80 – 100 |
| 1.18 mm | 50 – 85 |
| 0.6 mm | 25 – 60 |
| 0.3 mm | 5 – 30 |
| 0.15 mm | 0 – 10 |

Syarat-syarat agregat halus yang harus dipenuhi untuk digunakan sebagai campuran beton yaitu:

- a. Kadar lumpur maksimal pada agregat halus sebanyak 5% dari volume agregat. Jika kadar lumpur melebihi 5% maka, agregat harus dicuci sebelum digunakan untuk campuran beton.
- b. Tidak mengandung zat organik yang dapat mengurangi mutu beton.
- c. Butir agregat halus harus keras.
- d. Tidak mengandung bahan reaktif alkali.
- e. Memenuhi modulus kehalusan butir yang disyaratkan, yaitu 1,5 – 3,8

2. Agregat Kasar

ASTM C33 menyebutkan bahwa agregat kasar adalah butir agregat yang tertahan ayakan 4,75 mm. Ukuran agregat kasar yang dimaksud dalam ASTM C33 adalah agregat yang memiliki ukuran diameter lebih dari 4,75 mm dikategorikan sebagai agregat kasar. Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton dapat diperoleh dari alam atau dari hasil pemecahan batu, biasa disebut batu pecah. Agregat kasar untuk campuran beton harus memenuhi persyaratan yang ditentukan, yaitu:

- a. Kadar lumpur maksimal pada agregat kasar sebanyak 1% dari volume agregat. Jika kadar lumpur melebihi 1% maka, agregat harus dicuci sebelum digunakan untuk campuran beton.
- b. Tidak mengandung zat organik yang dapat mengurangi mutu beton.
- c. Butir agregat kasar harus memenuhi syarat kekerasan yang diuji menggunakan cara uji Los Angeles.

- d. Memiliki butiran yang tajam, kuat, dan bersudut.
- e. Jumlah butir pipih tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
- f. Tidak mengandung bahan reaktif alkali.
- g. Memenuhi gradasi butir agregat kasar yang disyaratkan.

Ketentuan gradasi agregat kasar menurut ASTM C33 dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Persyaratan gradasi butir agregat kasar ASTM C33.

| Lubang Ayakan ASTM C33 | Lolos Ayakan (%) |
|-------------------------------|-------------------------|
| 37,50 mm | 100 |
| 25,00 mm | 90 – 100 |
| 19,00 mm | 40 – 85 |
| 12,50 mm | 10 – 40 |
| 9,50 mm | 0 – 15 |
| 4,75 mm | 0 – 5 |

E. Air

Air merupakan bahan yang digunakan untuk mereaksikan semen. Air berfungsi sebagai bahan untuk menghidrasi semen agar semen dapat mengikat agregat dalam adukan beton. Selain itu, air berfungsi sebagai pelumas untuk memudahkan agregat untuk dicampur dan memudahkan pelaksanaan pengecoran beton (*workability*).

Menurut Bahar (2005), air untuk campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton

maupun tulangan. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (SNI 2847:2013, 2013).

Kebutuhan air dalam suatu rancangan adukan beton dapat diketahui setelah menentukan nilai *slump* dan rasio FAS. Jumlah air harus optimum agar tingkat kemudahan pengecoran beton yang diinginkan tercapai. Jika jumlah air kurang dari yang disyaratkan akan mengakibatkan beberapa hal, yaitu:

1. Dalam batas tertentu kuat tekan akan naik karena nilai rasio FAS menurun.
2. *Workability* menurun.
3. Nilai *slump* menurun.
4. Waktu yang dibutuhkan adukan beton untuk mengeras (*setting time*) relatif lebih singkat.
5. Diperlukan pemadatan ekstra agar beton tidak keropos.

Jika jumlah air lebih dari yang disyaratkan akan mengakibatkan beberapa hal, yaitu:

1. Kuat tekan beton akan menurun.
2. *Workability* meningkat.
3. Segregasi.
4. Cenderung terjadi penyusutan.
5. *Bleeding*.
6. Menimbulkan pori-pori dalam beton.

F. Tegangan Normal

Tegangan normal merupakan salah satu parameter yang penting dalam menentukan kualitas beton. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh agregat, FAS, jenis semen, perawatan, dan usia beton. Kuat tekan beton merupakan besar tegangan per satuan luas yang dapat ditahan oleh beton hingga hancur. Nilai kuat tekan beton diperoleh dari pengujian benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada usia 28 hari. Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton yaitu:

$$f_c' = \frac{P_{maks}}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

f_c = Tegangan normal beton (MPa)

P_{maks} = Gaya tekan maksimal (N)

A = Luas penampang silinder beton (mm²)

G. Modulus Elastisitas

Menurut (SNI 2847:2013, 2013), modulus elastisitas merupakan rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarik atau tekan di bawah batas proporsional material. Modulus elastisitas tergantung pada tegangan normal, sifat agregat dan semen, semen, umur beton, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji beton (Maria M. M. Pade, 2013).

Modulus elastisitas merupakan perbandingan tegangan dengan regangan. Modulus elastisitas secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ϵ = Regangan

P = Gaya tekan (N)

A = Luas penampang (mm²)

Δl = Selisih tinggi (mm)

l_0 = Tinggi awal (mm)

Rumus yang ada dalam SNI 2847:2013 digunakan sebagai pembanding dengan rumus modulus elastisitas dari ASTM C 469. Rumus yang ada dalam SNI tersebut digunakan untuk mengetahui modulus elastisitas beton normal. Rumus tersebut adalah:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

E_c = Modulus elastisitas beton tekan (MPa)

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

Rumus yang digunakan untuk analisis modulus elastisitas dalam penelitian ini menggunakan rumus yang ada dalam ASTM C 469. Rumus tersebut adalah:

$$E_c = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050) \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

E_c = Modulus elastisitas beton tekan (MPa)

S_2 = 40% f_c puncak (MPa)

S_1 = f_c pada $\epsilon_1 = 0,005\%$

ϵ_2 = Nilai regangan pada S_2

H. Tegangan Normal

Tegangan normal atau kuat tekan beton diperoleh dari nilai kuat tekan maksimal tiap satuan luas penampang silinder beton atau dapat dirumuskan dengan rumus berikut:

$$f_c' = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

f_c' = Tegangan normal beton (MPa)

P_{maks} = Kuat tekan maksimal (N)

A = Luas penampang silinder beton (mm²)

I. Regangan

Regangan merupakan selisih tinggi awal dengan tinggi akhir silinder beton ketika mencapai tegangan maksimal. Regangan diukur menggunakan alat *dial gauge* yang dipasang pada silinder beton ketika diuji tekan.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

ε = Regangan

Δl = Selisih tinggi (mm)

l_0 = Tinggi awal (mm)

J. Analisis *Outlier* Data dengan Chauvenet's Criterion

Chauvenet's Criterion merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis data yang dihasilkan dari penelitian ini. Chauvenet's Criterion adalah metode yang digunakan untuk menemukan pita probabilitas yang berpatokan pada nilai rata-rata distribusi normal. Setiap titik data dari N sampel yang berada di luar pita probabilitas dianggap sebagai data *outlier* atau data pencilan. Data pencilan tersebut dapat dihapus sehingga nilai rata-rata dan standar deviasi dihitung kembali tanpa data pencilan yang telah dihapus. Identifikasi *outlier* dicapai dengan menemukan jumlah standar deviasi yang sesuai dengan batas-batas pita probabilitas di sekitar nilai rata-rata (D_{max}). Nilai simpangan maksimal yang diizinkan (D_{max}) kemudian dibandingkan dengan nilai absolut dari perbedaan antara nilai yang diduga sebagai pencilan dan rata-

rata dibagi dengan standar deviasi sampel yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D_{max} \geq \left| \frac{\chi - \bar{x}}{Sx} \right| \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- D_{max} = Penyimpangan maksimal yang diizinkan
- $|\cdot|$ = Nilai absolut
- χ = Nilai dugaan pencilan
- $\bar{\chi}$ = Nilai rata-rata
- Sx = Standar deviasi sampel

Nilai D_{max} dapat ditentukan menggunakan tabel Chauvenet's Criterion dan disesuaikan dengan N sampel. Jika N sampel tidak ada dalam tabel, maka dapat dilakukan interpolasi linier. Tabel Chauvenet's Criterion dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai D_{max} Chauvenet's Criterion.

| No. | Jumlah sampel (N) | D_{max} |
|-----|-------------------|-----------|
| 1 | 3 | 1,383 |
| 2 | 4 | 1,534 |
| 3 | 5 | 1,645 |
| 4 | 6 | 1,732 |
| 5 | 7 | 1,803 |
| 6 | 8 | 1,863 |
| 7 | 9 | 1,915 |
| 8 | 10 | 1.960 |

Tabel 7. (lanjutan).

| No. | Jumlah sampel (N) | D_{max} |
|------------|--------------------------|-----------------------------|
| 9 | 20 | 2.241 |
| 10 | 30 | 2.394 |
| 12 | 40 | 2.498 |
| 13 | 50 | 2.576 |
| 14 | 100 | 2.807 |
| 15 | 500 | 3.291 |
| 16 | 1000 | 3.481 |

K. R Square (R^2)

Menurut Junaidi (2008), R square (R^2) adalah ukuran kebaikan suai (*goodness of fit*) dari persamaan regresi. R^2 sering disebut dengan koefisien determinasi. Nilai R^2 terletak antara 0 – 1 dan kesesuaian model dikatakan lebih baik jika nilai R^2 mendekati 1.

L. R Majemuk

Menurut Junaidi (2008), R majemuk atau *multiple R* adalah ukuran untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linier antara variabel terikat dengan variabel bebas secara bersama-sama. R majemuk pada kasus dua variabel (variabel bebas dan terikat), besaran R dapat bernilai positif maupun negatif antara -1 – 1. Besaran R untuk jumlah variabel lebih dari 2 selalu bernilai positif antara 0 – 1. Nilai R yang lebih besar menunjukkan hubungan yang lebih kuat.

M. Kajian Penelitian Relevan

Maria M. M. Pade, dkk. (2013) telah melakukan penelitian mengenai modulus elastisitas beton menggunakan agregat kasar berupa batu Ape sebagai salah satu bahan penyusun beton. Penelitian tersebut menggunakan batu Ape sebagai agregat kasar dengan ukuran 1 – 2 cm. nilai FAS yang ditetapkan sebesar 0,61 dengan kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dan dilakukan uji tekan pada usia 28 hari. Penelitian tersebut menghasilkan nilai modulus elastisitas beton yang bervariasi antara 18527 MPa hingga 31119 MPa. Berat volume beton berkisar antara 1993 kg/m³ hingga 2092 kg/m³.