

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

##### **2.1.1 Alief Abdan Syakur, Tahun 2022**

Melakukan penelitian mengenai “Penggunaan Kadar Sikagrout Sebagai Subtitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Beton”. Penelitian ini menggunakan tambahan Sikagrout sebagai bahan tambahan pada semen. Sistem pembebanan pada pengujian kuat lentur yaitu benda uji dibebani sedemikian rupa sehingga hanya akan mengalami keruntukan akibat lentur murni. Nilai kuat lentur beton dari subtitusi Sikagrout terhadap semen 10%, 20% dan 30% berturut turut 4 MPa, 3,6 MPa, 3,2 MPa. Uji lentur balok beton yang dilakukan pada umur 28 hari, pengujian kuat lentur benda uji balok 10 cm x 10 cm x 40 cm menggunakan alat *Flexural testing machine* kapasitas 50 kN dengan pembebanan 1/3 bentang (*three point loading*).

Hasil penelitian pada umur 28 hari menunjukkan bahwa nilai kuat lentur rata rata untuk benda uji yang menggunakan semen gruting sebagai persial yang paling optimum pada penelitian ini adalah beton varian 10%.

##### **2.1.2 Roy Suganda, Tahun 2023**

Penelitian yang dilakukan oleh Suganda et al., (2023) membahas mengenai “Pengaruh Variasi Campuran Sikagrout 215 New Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton”. Penelitian ini menggunakan semen Sikagrout 215 New sebagai pengganti sebagian semen. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi campuran Sikagrout 215 New terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Beton direncanakan  $f'_c$  20 MPa dengan variasi campuran 0%, 15%, 25%, 35% dari berat sebagian semen. Untuk pembuatan beton pertama mempersiapkan bahan seperti air, pasir, kerikil, semen dan bahan tambah. Setelah bahan terkumpul, lalu dicampur di mesin molen sampai merata. Setelah tercampur merata langsung dicari nilai *slump* dan dimasukkan dalam cetakan silinder.

Ditunggu sampai kering terus direndam selama 28 hari. Setelah 28 hari diangkat dan dikeringkan kembali terus diuji menggunakan alat CTM

Hasil pengujian 28 hari nilai kuat tekan untuk semua variasi sebesar 28,69 MPa, 28,12 MPa, 29,06 MPa, 30,76 MPa. Sedangkan nilai kuat tarik belah untuk semua variasi sebesar 3,44 MPa, 3,32 MPa, 3,65 MPa, 3,89 MPa. Nilai optimum terdapat pada variasi 35% dengan nilai kuat tekan 30,76 MPa dan kuat tarik belah 3,89 MPa.

### **2.1.3 Wahyudi Mahendra, Tahun 2022**

Penelitian ini melakukan penelitian yang berjudul "Perencanaan Beton Mutu Tinggi Dengan Perbandingan Bahan Tambah SikagROUT 215 New". Penelitian ini adalah merencanakan beton mutu tinggi dengan perbandingan bahan tambah sikagROUT 215 New, pada penelitian ini menggunakan metode perancangan campuran beton SNI 03-2834-2000. Kuat tekan beton menggunakan sikagROUT 215 New pada umur 7 hari didapat pada didapat kuat tekan beton pada variasi 0 % sebesar 257,96 kg/cm<sup>2</sup>, mengalami penurunan pada variasi 0,3 % sebesar 204,48 kg/cm<sup>2</sup>, kenaikan pada variasi 0,6 % sebesar 263,58 kg/cm<sup>2</sup>, kenaikan kuat tekan pada variasi 0,9 % sebesar 282,93 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada umur 14 hari didapat kuat tekan beton pada variasi 0 % sebesar 287,33 kg/cm<sup>2</sup>, penurunan pada variasi 0,3 % sebesar 271,92 kg/cm<sup>2</sup>, kenaikan pada variasi 0,6 % sebesar 287,42 kg/cm<sup>2</sup>, dan kenaikan kuat tekan pada variasi 0,9 % sebesar 400,54 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil uji kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan sikagROUT 215 New mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan beton tanpa sikagROUT 215 New.

### **2.1.4 Sugira Said, Tahun 2023**

Penelitian ini dilakukan oleh Said et al., (2023) berjudul "Pengaruh Penambahan SikagROUT pada Balok Beton Bertulang dengan Kondisi *Spalling*" pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan SikagROUT pada balok beton yang telah mengalami kondisi spalling. Dalam penelitian ini digunakan sikagROUT 215 yang mempunyai karakteristik tidak susut, tidak korosif, dan dapat mengalir dengan baik sehingga dapat dengan mudah mengisi bagian-bagian kecil pada beton dimana digunakan benda uji

berupa balok beton bertulang dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 3300 mm, mutu beton yang digunakan 20 MPa. Benda uji yang dibuat dalam dua variasi yaitu balok beton bertulang tanpa grouting yang berfungsi sebagai balok kontrol diberi simbol BK sebanyak 3 buah. Variasi kedua balok beton bertulang dengan penambahan Sikagrout pada daerah tarik balok dan diberi simbol BGR sebanyak 3 buah balok.

Hasil penelitian menunjukkan beban maksimum balok BGR menurun 47,62% dibandingkan balok BK, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan grouting pada balok yang mengalami kerusakan tidak mampu meningkatkan kapasitas kekuatan beton tetapi hanya berfungsi sebagai perbaikan untuk menutupi beton yang mengalami spalling agar bentuknya seperti semula. Hasil uji balok BK menunjukkan bahwa semua balok mengalami kegagalan lentur sedangkan untuk balok variasi mengalami kegagalan debonding

#### **2.1.5 Rio Herdianto Rahamudin, Tahun 2016**

Penelitian yang dilakukan oleh Rahamudin et al., (2016) mengenai “Pengujian Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen”. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kadar optimum penggunaan Abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen yang berkaitan dengan kuat Tarik belah dan kuat Tarik lentur beton. Pengujian dilakukan terhadap tiga jenis variasi penambahan Abu sekam padi dan agregat normal yaitu 10%, 15%, dan 20%. Benda uji beton berbentuk silinder 100/200 mm dan balok 100x100x500 mm. Hasil pengujian menghasilkan beton ringan dengan berat isi  $1440 \text{ kg/m}^3$ , dengan kuat tekan beton maksimum sebesar 14,59 MPa, kuat Tarik belah dan kuat Tarik lentur beton yaitu 1,61 MPa dan 3,48 MPa pada kadar substitusi parsial ASP sebesar 15% dari berat semen.

## **2.2 Definisi Beton**

Menurut (SNI 7656:2012, 2012) beton adalah Gabungan antara semen Portland atau semen hidrolik lainnya, pasir, kerikil, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk campuran yang padat, kokoh, dan stabil. Beton adalah hasil

dari kombinasi bahan penyusunnya, yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambahan (*admixture* atau *aditif*). Dalam hal penggunaan agregat kasar berupa batu apung (*pumice*), berat volumenya berkisar antara 720 hingga 1440 kg/m<sup>3</sup> dan memiliki kekuatan tekan sekitar 2 hingga 14 MPa (Rahamudin et al., 2016). Sifat dan karakteristik bahan penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat baik itu beton untuk rumah tinggal, perumahan, dan struktur yang menggunakan beton mutu tinggi.

### 2.3 Jenis Beton

Dalam pengerjaan beton segar, terdapat tiga sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), segregasi, dan *bleeding* (Mulyono, 2004). Menurut (SNI 03-2847- 2002) beton dapat dibedakan menjadi 3 jenis berdasar berat satuan yaitu:

1. Beton ringan, adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1.900 kg/m<sup>3</sup>
2. Beton normal, adalah beton yang mempunyai berat satuan 2.200 kg/m<sup>3</sup> sampai 2.500 kg/m<sup>3</sup> dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.
3. Beton berat, adalah beton yang mempunyai berat satuan lebih dari 2.500 kg/m<sup>3</sup>.

Menurut Mulyono (2004) secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu:

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton. Kelas dan mutu beton ini, dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu:
  - a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan non *structural*. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak diisyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I dinyatakan dengan B0.
  - b. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu

standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan tambahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak diisyaratkan pemeriksaan. Pada mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara menerus dari hasil pemeriksaan benda uji.

- c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaanya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Diisyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara menerus.

2. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

a. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar  $800\text{--}1800\text{ kg/m}^3$  atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar  $1400\text{ kg/m}^3$ , dengan kekuatan tekan umur 28 hari antara 6,89 MPa sampai 17,24 MPa menurut SNI 08-1991-03.

b. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara  $2200\text{ kg/m}^3\text{--}2400\text{ kg/m}^3$  dengan kuat tekan sekitar 15 – 40 MPa.

c. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari  $2400\text{ kg/m}^3$ . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

d. Beton massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan massif, misalnya untuk bendungan, kanal dan jembatan.

e. *Ferro-Cement*

*Ferro-Cement* adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktil pada mortar semen.

f. Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

## 2.4 Kelebihan dan kekurangan beton

### 2.4.1 Kelebihan Beton

Menurut (Mahendra, 2022) kelebihan dari beton:

1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
2. Mampu memikul beban yang berat
3. Tahan terhadap temperature tinggi
4. Biaya pemeliharaan kecil.

### 2.4.2 Kekurangan Beton

5. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah
6. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
7. Berat
8. Daya pantul suara yang besar

## 2.5 Bahan Penyusun Beton

### 2.5.1 Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004), Semen Portland adalah jenis semen hidrolis yang diproduksi melalui proses penggilingan terak semen Portland. Terak tersebut terdiri dari kalsium silikat yang dapat mengalami hidrolisis, dan kemudian digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk senyawa kristal kalsium sulfat, dan bisa juga melibatkan bahan tambahan lainnya. Semen portland merupakan jenis semen yang paling umum digunakan sebagai bahan

pembuatan beton. Kandungan bahan kimia dalam semen dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Bahan Kimia dalam Bahan Baku Semen

| Oksida                                            | % Berat   |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Kapur, CaO                                        | 60 – 67   |
| Silika, SiO <sub>2</sub>                          | 17 – 25   |
| Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 3 – 8     |
| Besi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>              | 0,5 – 0,6 |
| Magnesia, MgO                                     | 0,1 – 4   |
| Sulfur, SO <sub>3</sub>                           | 1,3       |
| Soda/Potash, Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | 0,2 – 1,3 |

Sumber: Neville and Brooks, 1987

Semen merupakan serbuk yang halus yang digunakan sebagai perekat antara agregat kasar dengan agregat halus. Apabila bubuk halus ini dicampur dengan air selang beberapa waktu akan menjadi keras dan dapat digunakan sebagai pengikat hidrolis. Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut yang biasa disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil) maka akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif yang berfungsi sebagai pengisi. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya semen portland dibagi menjadi 5 (lima) tipe yaitu:

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*): Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II (*Moderate Sulfat Resistance*): Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III (*High Early Strenght*): Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV (*Low Heat of Hydration*): Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
5. Tipe V (*Sulfat Resistance Cement*): Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

### 2.5.2 Agregat Kasar

Agregat pada beton sangatlah penting. Kandungan agregat dalam beton kira kira mencapai 70%-75% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar yang didapat secara alami atau buatan. Untuk menghasilkan beton yang baik, diperlukan gradiasi agregat yang baik. Gradiasi agregat adalah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat. Gradiasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan 40 mm untuk kerikil. Untuk pasir lubang ayakan 4,8 mm, 2,4 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi:

1. Menghemat penggunaan semen.
2. Mengurangi susut pengerasan.
3. Mencapai susunan pampat beton dengan gradiasi beton yang baik.
4. Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradiasi bahan batuan baik (Antono, 1982)

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan berdasarkan pada ukuran butirnya. Agregat yang mempunyai butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,8 mm. Sedangkan butir agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm.

Jenis agregat kasar pada umumnya adalah:

1. Batu pecah alami, didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis metamorf. Batu ini memberikan kekuatan yang tinggi tetapi kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan agregat kasar lainnya.
2. Kerikil alami, didapat dari proses alami yaitu pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil mempunyai kekuatan lekat lebih rendah dari batu pecah.
3. Agregat kasar buatan, terutama berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.



4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat, agregat jenis ini misalnya: baja pecah, magnetit, dan limonit.

Agregat kasar berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm. Ukuran maksimum dari agregat kasar dalam beton bertulang diatur berdasarkan kebutuhan bahwa agregat tersebut harus dengan mudah dapat mengisi cetakan dan lolos dari celah yang terdapat diantara tulangan. Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 golongan (Tjokrodinuljo, 2007) yaitu:

1. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7 gr/cm<sup>3</sup>. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit dan kuarsa. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2,3 gr/cm<sup>3</sup>.

2. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 gr/cm<sup>3</sup>, misalnya magnetit (FeO<sub>4</sub>) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis tinggi 5 gr/cm<sup>3</sup>. Penggunaannya dipakai sebagai pelindung dari radiasi.

3. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 gr/cm<sup>3</sup> yang biasanya dibuat untuk beton non struktural atau dinding beton.

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

1. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh dari 3/4 kali jarak bersih antara baja tulangan atau antara tulangan dan cetakan.
2. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh besar dari 1/3 kali tebal pelat.
3. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari 1/5 kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Menurut PBI 1971, ketentuan mengenai penggunaan agregat kasar untuk beton harus memenuhi syarat antara lain:

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan

batu. Pada umumnya yang dimaksudkan dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm.

2. Harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Lumpur adalah bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm, apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
5. Kekerasan dari butir agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban penguji 20t, dengan mana harus dipenuhi syarat-syarat berikut:
  - a. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24% berat.
  - b. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19-30 mm lebih dari 22% berat.

Atau dengan mesin pengaus los angeles dengan mana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
6. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih daripada seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tigaperempat dari jarak bersih minimum diantara batang atau berkas-berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian pengawas ahli, cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadinya sarang-sarang kerikil.

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran agregat. Sebagai pernyataan dipakai nilai presentasi berat butir yang tertahan atau lolos saringan standar. Gradasi agregat (Tabel 2.2) untuk campuran beton dipengaruhi oleh:

1. Jumlah semen yang dibutuhkan.
2. Jumlah air yang diperlukan.
3. Pengecoran, pemadatan beton (*workability* dan segregasi).
4. Penyelesaian akhir beton.
5. Sifat-sifat beton setelah mengeras

Tabel 2.2 Gradasi Kerikil

| Besar Lubang Ayakan<br>(milimeter) | Persen (%) Bahan Butiran yang Lewat<br>Ayakan |            |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|
|                                    | Berat Butiran Maksimum                        |            |
|                                    | 40 mm                                         | 20 mm      |
| 40                                 | 95 – 100 %                                    | 100 %      |
| 20                                 | 30 – 70 %                                     | 95 – 100 % |
| 10                                 | 10 – 35 %                                     | 25 – 55 %  |

Sumber: Teknologi Beton, Ir. Kardiyono Tjokrodinulyo, 2007

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton terhadap kekuatan agregat (Mulyono, 2004):

1. Perbandingan agregat dan semen campuran.
2. Kekuatan agregat.
3. Bentuk dan ukuran agregat.
4. Tekstur permukaan.
5. Reaksi kimia.
6. Ketahanan terhadap panas.

### 2.5.3 Agregat Halus

Cara membedakan faktor yang paling banyak dilakukan adalah dengan berdasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai butir-butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,8 mm, sedangkan butir agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm.

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan

kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
5. Gradasinya harus memenuhi syarat seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Gradasi Pasir

| <b>Besar Lubang Ayakan (milimeter)</b> | <b>Persen (%) Bahan Butiran yang Lewat Ayakan</b> |                  |                   |                  |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
|                                        | <b>Daerah I</b>                                   | <b>Daerah II</b> | <b>Daerah III</b> | <b>Daerah IV</b> |
| 10,0                                   | 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          |

Sumber: Teknologi Beton, Ir. Kardiyono Tjokrodinulyo, 2007

Keterangan:

- Daerah I: Pasir kasar.
- Daerah II: Pasir agak kasar.
- Daerah III: Pasir agak halus.
- Daerah IV: Pasir halus.

Agregat halus adalah pasir alam sebagai disintegrasi alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran terbesar 4,8 mm.

#### 2.5.4 Air

Air merupakan salah satu komponen esensial dalam pembuatan beton, dan meskipun harganya terjangkau, memiliki peran yang sangat penting. Air digunakan dalam reaksi kimia dengan semen, memicu pengikatan dan menginisiasi proses pengerasan beton. Selain itu, air berfungsi sebagai pelumas antara partikel-partikel agregat, memudahkan proses pemadatan dan pengolahan beton. Air yang digunakan dalam campuran beton agar semen dapat bereaksi hanya sekitar (25%-30%) dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25% dari berat semen, maka *workability* tidak akan tercapai. Sebaliknya, semakin banyak air yang digunakan ke dalam campuran beton dapat mempermudah proses pengadukan, pengangkutan, dan pencetakan. Akan tetapi dapat mengakibatkan penurunan kekuatan beton, dikarenakan air yang terlalu banyak akan menyebabkan banyaknya gelembung udara setelah proses hidrasi selesai sehingga pasta semen berpori lebih banyak. Penggunaan air yang sedikit tidak menentukan kekuatan beton mutu tinggi, karena dengan jumlah air yang sedikit dapat mengakibatkan tidak selesainya proses hidrasi sehingga mutu beton dapat menurun. Oleh karena itu, air yang ditambahkan ke dalam campuran harus dilakukan sedikit demi sedikit sampai mencapai nilai maksimum.

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

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
  - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
  - b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.
1. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
2. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
3. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

Adapun fungsi air didalam campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pelicin bagi agregat.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan bahan atau material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Membasahi agregat untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.
5. Memungkinkan campuran beton mengalir ke dalam cetakan.

## 2.6 Sikagrout 215 NEW

Sikagrout 215 *new* adalah semen *grouting* siap pakai yang mempunyai karakteristik tidak menyusut dengan waktu kerja yang sesuai untuk temperatur lokal. Dapat mengalir sangat baik. Memenuhi persyaratan standar *Corps of Engineer* CRD C-621 dan ASTM C 1107 Standards, (2011).

Sikagrout 215 *new* ini berbentuk bubuk dan berwarna abu-abu sama seperti semen biasa, namun memiliki kuat tekan yang cukup tinggi. Kekuatan sikagrout

215 *new* untuk daya tekan setelah umur 1 hari mencapai  $240 \text{ kg/cm}^2$ . Pada umur 3 hari mencapai  $410 \text{ kg/cm}^2$ . Pada umur 7 hari mencapai  $530 \text{ kg/cm}^2$ . Pada umur 28 hari mencapai  $650 \text{ kg/cm}^2$ . Keuntungan lain dari sikagrout 215 *new* adalah:

1. Mudah penggunaanya.
2. Karakteristik mudah mengalir.
3. Konsistensi dapat diatur.
4. Kekuatan awal sangat cepat.
5. Tahan terhadap penyusutan.
6. Kekuatan tekan tinggi.
7. Tidak korosi.
8. Tidak beracun.

Kekurangan dari sikagrout 215 *new* ialah harga yang relatif mahal. Sikagrout 215 *new* merupakan beton grouting yang mengandung silica fume yang memiliki kemampuan mengalir yang sangat baik, dapat digunakan untuk memperbesar volume beton dan mengganti penyusutan plastis pada beton. sikagrout 215 *new* dapat digolongkan ke dalam semen hidrolis karena dapat mengeras jika ditambahkan air.

Kandungan silica fume dalam sikagrout 215 *new* ini merupakan bahan yang sangat efektif untuk memproduksi beton grouting dengan kualitas tinggi. Tersusun lebih dari 95%  $\text{SiO}_2$  dengan ukuran partikel lebih kecil dari 1 micron (ACI Committee 226, 1987).

Keuntungan yang dihasilkan dari pemakaian silica fume ini sebagai berikut:

1. Menambah daya lekat dan kestabilan dari campuran beton grouting.
2. Kepadatan bertambah tinggi.
3. Daya tembus gas menjadi sangat berkurang.
4. Sangat mengurangi infiltrasi dan klorid.
5. Mempercepat terbentuknya kekuatan beton.

Dengan ukuran butirnya yang sangat halus, silica fume akan mengisi pori-pori dalam campuran mortar beton sehingga akan menambah kepadatan beton.

Komposisi dari sikagrout 215 *new*:

1. SiO<sub>2</sub>.

Silika (SiO<sub>2</sub>) merupakan bahan kimia yang dapat meningkatkan Mutu Beton, akibat reaksi yang terjadi antara Silika dan Kapur bebas yang ada didalam campuran beton.

2. Semen Portland.

Semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis.

3. Silica fume.

Silica fume merupakan bahan pengisi (*filler*) dalam beton yang mengandung kadar silica yang tinggi mencapai lebih dari 90%. Dalam penggunaannya Silica fume dapat berfungsi sebagai pengganti sebagian semen yang akan dicampurkan menjadi beton, sebanyak 5% - 15% dari total berat semen yang akan digunakan.

Menurut ASTM C125, (2009) , pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, yang sifatnya sendiri memiliki sedikit atau tidak adanya sifat semen akan tetapi dalam bentuk yang halus dan dengan adanya uap air / kelembaban maka akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu normal untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat semen.

Silica fume merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Silica fume merupakan produk yang dihasilkan dari reduksi kwarsa murni dengan batu bara didalam suatu tungku listrik pada pembuatan silica dan ferro silicon. Silica fume mengandung kadar SiO<sub>2</sub> yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, berbentuk bulat dan berdiameter sangat kecil lebih kecil dari 1 micron.

Daerah transisi (*tranzien zona*) adalah daerah antara pasta semen dengan agregat. Pada hampir semua beton daerah tersebut merupakan daerah yang lemah karena terjadi *bleeding* dan segregasi pada daerah tersebut. Dengan adanya silica fume akan meningkatkan kepadatan pada daerah transisi sehingga meningkatkan kekuatan dari beton.



## 2.7 Standar Deviasi

Standar deviasi (Tabel 2.4) ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya.

Tabel 2.4 Nilai Standar Deviasi

| <b>Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan</b> | <b>S<sub>d</sub> (MPa)</b> |
|--------------------------------------------|----------------------------|
| Memuaskan                                  | 2,8                        |
| Sangat baik                                | 3,5                        |
| Baik                                       | 4,2                        |
| Cukup                                      | 5,6                        |
| Jelek                                      | 7,0                        |
| Tidak terkendali                           | 8,4                        |

Sumber: SNI 7656:2012

Jika sebelumnya pernah melakukan pengujian dan mempunyai catatan hasil dari pembuatan beton yang mana berjumlah minimum 30 buah, maka diambil satu data hasil uji kuat tekan dari rata-rata uji tekan dua silinder pada umur 28 hari. Jika jumlah data kurang dari 30 hari, maka dilakukan koreksi dengan faktor pengkali nilai standar deviasi (Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Faktor Pengkali Deviasi Standar

| <b>Jumlah Pengujian</b> | <b>Faktor Pengkali Deviasi Standar</b> |
|-------------------------|----------------------------------------|
| Kurang dari 15 kali     | Tidak boleh                            |
| 15 kali                 | 1,16                                   |
| 20 kali                 | 1,08                                   |
| 25 kali                 | 1,03                                   |
| 30 kali                 | 1,00                                   |
| >30 kali                | 1,00                                   |

Sumber: SNI 7656:2012

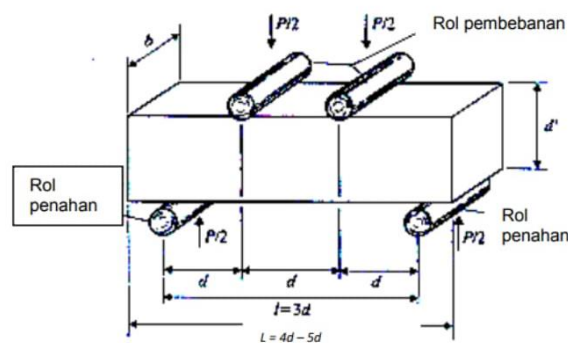
Jika tidak mempunyai catatan hasil penelitian atau bila data uji kurang dari 15 buah, maka nilai margin diambil sebesar 12 MPa.

## 2.8 Uji Lentur Beton

Pada dasarnya, struktur beton dalam konstruksi sipil harus dapat menahan berbagai gaya, seperti tekanan dan lenturan, yang disebabkan oleh energi eksternal, termasuk angin dan gempa pada gedung, tekanan air dan gempa pada bangunan penyimpanan air, serta beban kendaraan pada jembatan. Struktur beton harus

dirancang untuk menghadapi gaya-gaya ini dengan aman. Untuk itu, struktur beton perlu memenuhi standar tertentu agar bangunan tetap stabil, aman, dan tidak mengalami kerusakan. Beton harus memiliki kekuatan lentur yang memadai sesuai dengan spesifikasi agar dapat menahan gaya lentur yang bekerja.

Kekuatan lentur beton merujuk pada kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua titik penyangga untuk menahan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu balok hingga balok tersebut patah, dan diukur dalam Mega Pascal (MPa) per satuan luas. Kekuatan tarik lentur, yang juga dikenal sebagai kekuatan tarik tidak langsung, sering dipilih sebagai alternatif karena pengujian tarik langsung dengan gaya aksial sulit dilakukan. Untuk menentukan kekuatan lentur beton, pengujian dilakukan pada balok sederhana yang dibebani pada dua titik, sesuai dengan standar SNI 4431:2011, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan dapat dilihat pada Gambar 2.2. Ilustrasi patah pada 1/3 bentang tengah dapat dilihat pada Gambar 2.3. Ilustrasi patah diluar pada 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang dapat dilihat pada Gambar 2.4. Ilustrasi patah diluar pada 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.1 Benda Uji Balok untuk Uji Kuat Lentur

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2017

$$f_r = \frac{P \times L}{b \times h^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan Pengertian:

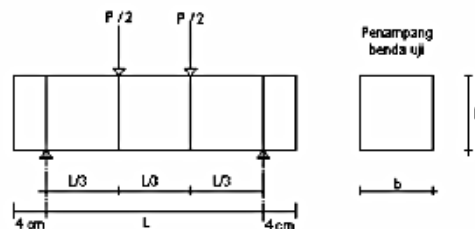
$f_r$  adalah kuat lentur benda uji (MPa)

P adalah beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam tonsampai 3 angka di belakang koma)

L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b adalah lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h adalah lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)



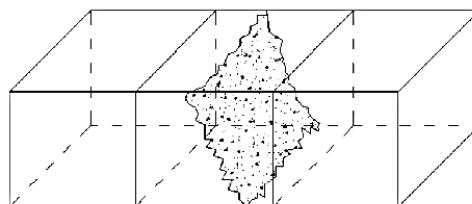
Gambar 2.2 Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan  
(Sumber: SNI 4431:2011)

Keterangan gambar:

L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (cm) b adalah lebar tampak lintang benda uji (cm)

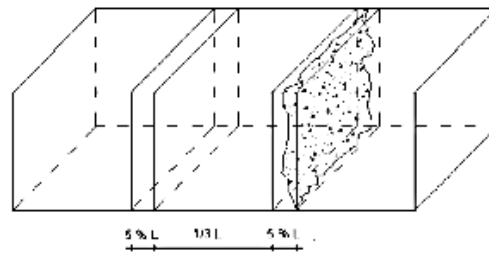
h adalah tinggi tampak lintang benda uji (cm)

P adalah beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji (kg)



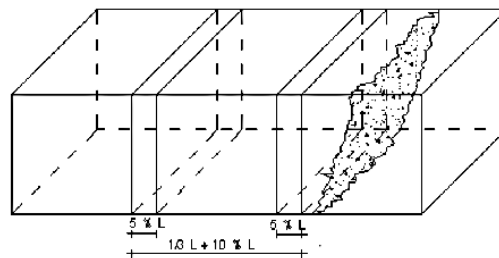
Gambar 2.3 Patah pada 1/3 Bentang Tengah

(Sumber: SNI 4331 2011)



Gambar 2.4 Patah diluar pada 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada <5% dari Bentang

(Sumber: SNI 4331 2011)



Gambar 2.5 Patah diluar pada 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada <5% dari Bentang

(Sumber: SNI 4331 2011)