

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Penelitian Terkait**

Hasil Penelitian (Sri Raharja, Sholihin As'ad, Sunarmasto Sunarmasto, 2013), “Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total 18 benda uji. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 7,62 cm (3 inch) dan tinggi 15,24 cm (6 inch) dan menggunakan variasi komposisi abu sekam padi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 15%. Setiap jenis campuran beton dibuat 3 benda uji. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f_c' = 80$  MPa. Uji kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen mengakibatkan peningkatan nilai kuat tekan. Peningkatan terbesar terjadi pada variasi 10% abu sekam padi yaitu sebesar 18,15% (dari 85,55 MPa menjadi 101,07 MPa). Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya. Nilai modulus elastisitas juga cenderung mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen, yaitu sebesar 2,45% - 14,11%.

Hasil Penelitian (Hendramawat Aski Safarizki, Marwahyudi Marwahyudi, Wahyu Aji Pamungkas, 2021). “Beton Ramah Lingkungan Dengan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Era New Normal”. Metode yang digunakan adalah penelitian destruktif laboratoris menggunakan sampel benda uji. Pembuatan benda uji dibedakan berdasarkan kadar yang sudah ditentukan. Penggunaan kadar abu sekam padi untuk campuran beton yang digunakan adalah 8%, 9%, 10%, 11%, dan 12%. Sampel silinder beton benda uji pada penelitian ini berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dimana pengujian dilakukan pada umur silinder beton 28 hari. Hasil analisis menunjukkan beton abu sekam adanya peningkatan kuat tekan pada variasi kadar abu sekam padi 10% menjadi 25,70 MPa dibandingkan beton normal tanpa sekam padi sebesar 22,39 MPa. Dapat

disimpulkan bahwa penggunaan abu sekam padi dapat mengurangi jumlah semen pada campuran beton untuk mencapai kuat tekan yang lebih tinggi.

Hasil Penelitian (Ulil Azmi, Bahrul Anif, Indra Khaidir, 2019). “Analisa Campuran Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton” . Sekam padi merupakan limbah dari hasil penggilingan padi yang mempunyai kandungan silika yang dominan yaitu sebesar 94.5% dan hampir sama kandungan silika yang terdapat pada *microsilica* buatan pabrik. Dengan sifatnya tersebut apabila dicampurkan kedalam beton akan memperbaiki kuat tekan beton. Dalam penelitian ini abu sekam padi ditambahkan kedalam adukan beton  $f_c'25$  MPa dengan variasi campuran abu sekam padi 0%,5%,10% dan 15%. Persentase berat abu sekam ini diambil berdasarkan berat semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan yang dicapai dari campuran abu sekam padi dalam beton  $f_c'25$  MPa. Benda uji yang dibuat untuk masing – masing campuran abu sekam padi adalah sebanyak 3 sampel, dengan ukuran cetakan silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. Berdasarkan hasil uji kuat tekan diketahui kuat tekan beton normal umur 90 hari 27.057 MPa, pada penambahan abu sekam padi sebanyak 5% terjadi peningkatan kuat tekan beton umur 90 hari 27.711 MPa, sedangkan hasil uji kuat tekan terendah terdapat pada penambahan abu sekam padi 15% umur 90 hari yaitu 17.704 MPa.

Hasil Penelitian (Mufidah Aulia Annisa, Masdar Helmi, Laskmi Irianti, 2019). “Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Pada Beton Reaktif (*Reactive Powder Concrete*). Kualitas beton dapat ditentukan dari komposisi adukan, jenis bahan, dan cara perawatan. Beton reaktif adalah salah satu jenis beton mutu tinggi yang komposisinya mengandung banyak semen dan bahan sangat halus lainnya serta di rawat dengan cara pemanasan. Abu sekam padi yang mengandung senyawa silika juga berpotensi untuk bahan adukan beton reaktif. Penelitian ini dilakukan pada variasi presentase abu sekam sebagai pengganti sejumlah semen (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%) dan cara perawatan benda uji prisma 40 x 40 x 160 mm (pemanasan suhu pada 180°, perawatan uap air panas pada 90 °, dan perendaman dalam air). Pengujian kuat lentur pada umur 7 hari dan kuat tekan pada umur 7

hari dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur optimum 16,48 MPa diperoleh dari komposisi 10% abu sekam dan perawatan uap air panas. Kuat tekan optimum juga diperoleh dari perawatan uap air panas, namun pada komposisi 30% abu sekam, yaitu 37,54 MPa umur 7 hari dan 54,44 MPa umur 28 hari. Dengan demikian abu sekam dapat digunakan untuk bahan pengganti sebagian semen dalam komposisi beton reaktif dengan perawatan uap air panas.

Hasil Penelitian (Aruan, Ajuhan Febrizal, 2020). “Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Menggunakan Abu Sekam Padi Dari Desa Hutanabolon Sebagai Substitusi Semen”. Desa Hutanabolon Kecamatan Tukka Kabupaten Tapanuli Tengah adalah salah satu tempat yang banyak persawahan dimana masyarakatnya sebagian besar adalah petani padi. Penggilingan padi menghasilkan beras dan meyisahkan sekam padi yang dibakar menjadi abu sekam padi. Limbah abu sekam padi menyebabkan masalah lingkungan yang sangat berbahaya pada kerusakan tanah dan udara. Salah satu Solusi untuk mengatasi dampak lingkungan dari abu sekam padi adalah dengan cara mengolah limbah abu sekam padi menjadi bahan pengganti sebagian semen. Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis kuat tekan beton mutu tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan memanfaatkan abu sekam padi sebagai substitusi semen pada beton dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan penambahan superplasticizer. Benda uji dibuat dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Benda uji dirawat dengan menggunakan air PDAM. Proses pengujian kuat tekan dilakukan setelah hari ke 7 dan 28. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini ialah pengujian kuat tekan beton, dan absorpsi beton.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1 Beton**

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (portland cement), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (admixtural atau additive). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1985:8)

mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

1. Kualitas semen
2. Proporsi semen terhadap campuran
3. Kekuatan dan kebersihan agregat
4. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pembentuk beton
7. Perawatan beton
8. Kandungan klorida tidak melebihi 0.15% dalam beton yang dieskpos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985:24).

Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton. Murdock dan Brook (1991) mengatakan : "kecakapan tenaga kerja adalah salah satu faktor penting dalam produksi suatu bangunan yang bermutu, dan kunci keberhasilan untuk mendapatkan tenaga kerja yang cakap adalah untuk pengetahuan dan daya tarik pada pekerjaan yang sedang dikerjakan".

Menurut Paul Nugraha dan Antoni, berdasarkan pemakaiannya yang begitu luas maka dapat diduga sejak dini bahwa struktur beton mempunyai banyak keunggulan dibanding materi struktur yang lain. Berikut ini merupakan keunggulan dari penggunaan beton secara rinci Menurut Paul Nugraha dan Antoni:

1. Ketersediaan (availability) material dasar:
  - a. Biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan mudah didapat. Bahan termahal adalah semen tetapi bisa diproduksi di Indonesia.
  - b. Pengangkutan / mobilisasi beton bisa dilakukan dengan mudah
2. Kemudahan untuk digunakan (versatility)
  - a. Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.

- b. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, pondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas. Beton ringan bisa dipakai untuk blok dan panel. Beton arsitektural bisa digunakan untuk keperluan dekoratif.
  - c. Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat.
3. Kemampuan beradaptasi
- a. Beton bersifat mololit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
  - b. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (shell) maupun bentuk-bentuk kubus 3 dimensi
  - c. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar.
  - c. Konsumsi energi minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bata.
4. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal
- Secara umum ketahanan (durability) beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

Berikut merupakan kelemahan dari penggunaan beton dan cara untuk mengatasi seperti terlihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kelemahan Beton dan Cara Mengatasinya

No.	Kelemahan	Solusi
1	Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m <sup>3</sup>	Untuk elemen struktural: membuat beton mutu tinggi, beton prateka, atau keduanya, sedangkan untuk elemen non-struktural dapat memakai beton ringan
2.	Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.	Memakai beton bertulang atau pratekan
3.	Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan dilapangan. beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama	Mempelajari teknologi beton dan melakukan pengawasan dan kontrol kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (ready mix) atau beton pracetak.
4.	Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis	Melakukan perawatan (curing) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (expansive admixture)
5.	Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur	Melakukan perawatan (curing) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (expansive admixture)

(Sumber : Paul Nugraha dan Antoni, 2007)

### 2.2.2 Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Beton mutu tinggi (high strength concrete) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 35 MPa. Beton mutu tinggi bermanfaat pada pracetak dan pratekan. Pada bangunan tinggi mengurangi beban mati. Kelemahannya adalah kegetasannya. Produksi beton mutu tinggi memerlukan pemasok untuk mengoptimalkan 3 aspek yang

mempengaruhi kekuatan beton : pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Ini perlu perhatian pada semua aspek produksi, yaitu pemilihan material, mix design, penanganan dan penuangan. Kontrol kualitas adalah bagian yang penting dan memerlukan kerja sama penuh antara pemasok, perencana dan kontraktor. (Paul Nugraha & Antoni, 2007).

Pada umumnya jika berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang tinggi, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan dalam menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi, meliputi, faktor air semen yang rendah, kualitas agregat halus (pasir), kualitas agregat kasar (batu pecah), kadar yang tepat dari bahan tambah (chemical admixture & additive). (Mulyono, 2005)

### **2.2.3 Material Penyusun Beton**

#### **a. Semen Portland**

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen, 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.

Semen Portland dibagi menjadi 5 (lima jenis) berdasarkan jenis dan penggunaannya, antara lain :

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

b. Air

Air adalah bahan untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penuangan beton. Jumlah air yang diperlukan untuk kelecakan tertentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton. (Paul Nugraha dan Antoni, 2007)

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan. (Tri Mulyono, 2005)

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. Air yang digunakan dalam pembuatan beton pra tekan dan beton yang akan ditanami logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (ACI318 – 89:2-2). Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen, dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas. (Tri Mulyono, 2005)

Air yang diperlukan dipengaruhi factor-faktor di bawah ini :

- 1) Ukuran agregat maksimum, diameter membesar maka kebutuhan air menurun, begitu juga jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit.

- 2) Bentuk butir, bentuk bulat akan menyebabkan kebutuhan air menurun misalkan untuk batu pecah perlu lebih banyak air.
- 3) Gradasi agregat, gradasi baik akan menyebabkan kebutuhan air menurun untuk kelecakan (workability) yang sama.
- 4) Kotoran dalam agregat, Makin banyak tanah liat dan lumpur maka akan meningkatkan kebutuhan air meningkat.
- 5) Jumlah agregat halus ( dibandingkan agregat kasar,) Jika agregat halus lebih sedikit maka kebutuhan air menurun.

#### c. Agregat

Agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (workable), kuat tekan lama (durable), dan ekonomis. Berdasarkan gradasinya agregat terbagi menjadi dua macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

##### 1) Agregat Halus

Agregat halus atau pasir adalah butiran-butiran mineral yang bentuknya mendekati bulat, tajam, dan bersifat kekal dengan ukuran butir sebagian besar terletak antara 0,07 – 5 mm (SNI 03-1750-1990)

- Syarat Mutu Agregat

Syarat Mutu Agregat Syarat Mutu menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F: a.

Agregat Halus (pasir):

- a. Butirannya tajam, kuat dan keras.
- b. Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- c. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
  - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%. 2)
  - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10.0%
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.

- e. Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
  - Sisa di atas ayakan 4,8 mm, maksimal 2 % dari berat.
  - Sisa di atas ayakan 1,2 mm, maksimal 10% dari berat.
  - Sisa di atas ayakan 0,30 mm, maksimal 15% dari berat.
- g. Tidak boleh mengandung garam.
- Syarat Mutu Agregat Menurut SII 0052-80 :
  - a. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 2,50 – 3,80.
  - b. Kadar Lumpur atau bagian butir lebih kecil dari 70 mikron, mak 5%.
  - c. Kadar zat organik ditentukan dengan larutan Na-Sulfat 3%, jika dibandingkan warna standar tidak lebih tua daripada warna standar.
  - d. Kekerasan butir jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka hasil bagi tidak lebih dari 2,20.
  - e. Kekekalan Jika dengan Natrium Sulfat , bagian yg hancur maksimum 10% dan kika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.
  - f.
- Cara-cara memeriksa sifat-sifat pasir :
  - a. Untuk mengetahui kandungan tanah liat/Lumpur pada pasir dilakukan dengan cara meremas atau menggenggam pasir dengan tangan. Bila pasir masih terlihat bergumpal dan kotoran tertempel di tangan, berarti pasir banyak mengandung Lumpur.
  - b. Kandungan Lumpur dapat pula dilakukan dengan mengisi gelas dengan air, kemudian masukkan sedikit pasir ke dalam gelas. Setelah diaduk dan

didiamkan beberapa saat maka bila pasir<sup>19</sup> mengandung Lumpur, Lumpur akan terlihat mengendap di atasnya.

- c. Pemeriksaan kandungan zat organik dilakukan dengan cara memasukkan pasir ke dalam larutan Natrium Hidroksida ( NaOH) 3%. Setelah diaduk dan didiamkan selama 24jam, warnanya dibandingkan dengan warna pembanding.
- d. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh garam Natrium Sulfat atau Magnesium Sulfat.

Bentuk agregat halus akan mempengaruhi kualitas mutu beton yang dibuat. Agregat berbentuk bulat mempunyai rongga udara minimum 33% lebih kecil dari rongga udara yang dipunyai oleh agregat berbentuk lainnya. Dengan semakin berkurangnya rongga udara yang berbentuk, beton yang dihasilkan akan mempunyai rongga udara yang lebih sedikit.

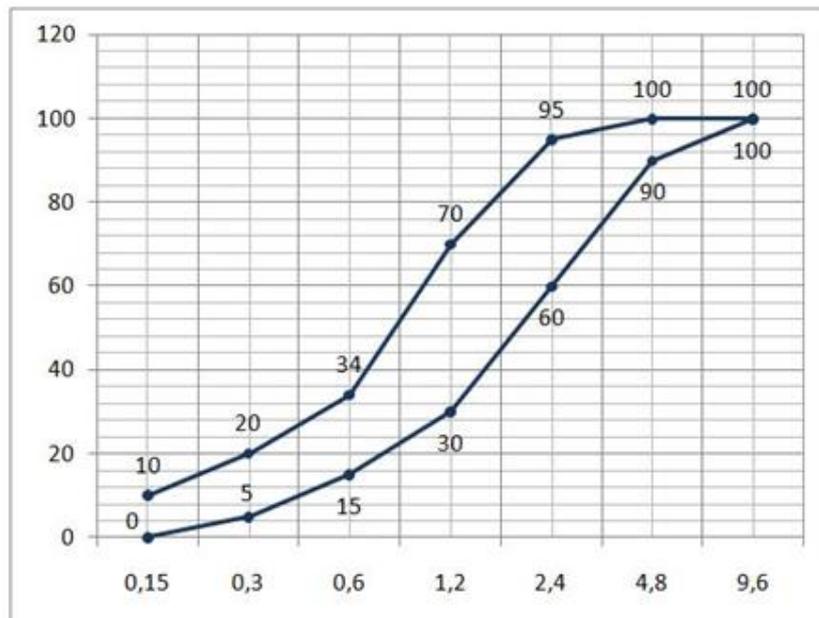
Gradasi yang baik dan teratur dari agregat halus, besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras, seperti terlihat pada tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Gradasi Agregat Halus Menurut (BS)

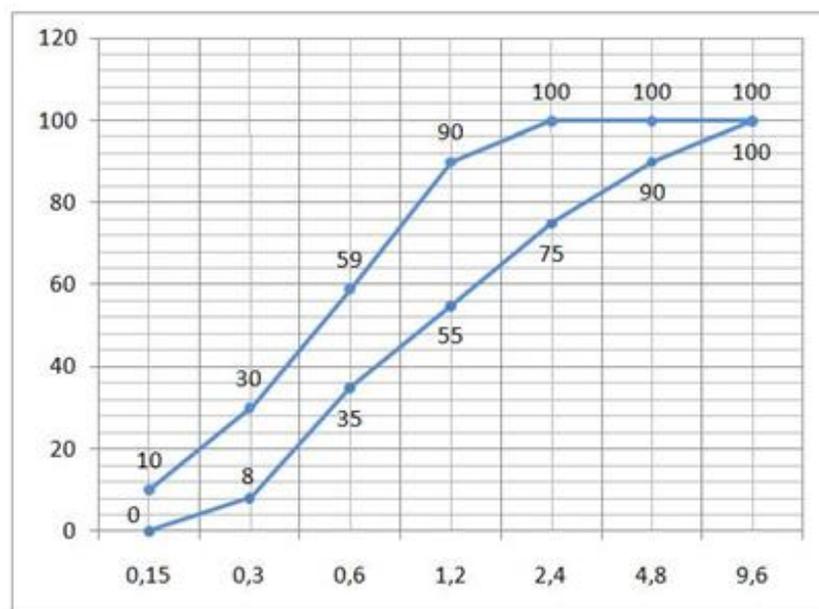
Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber : Tri Mulyono, 2005)



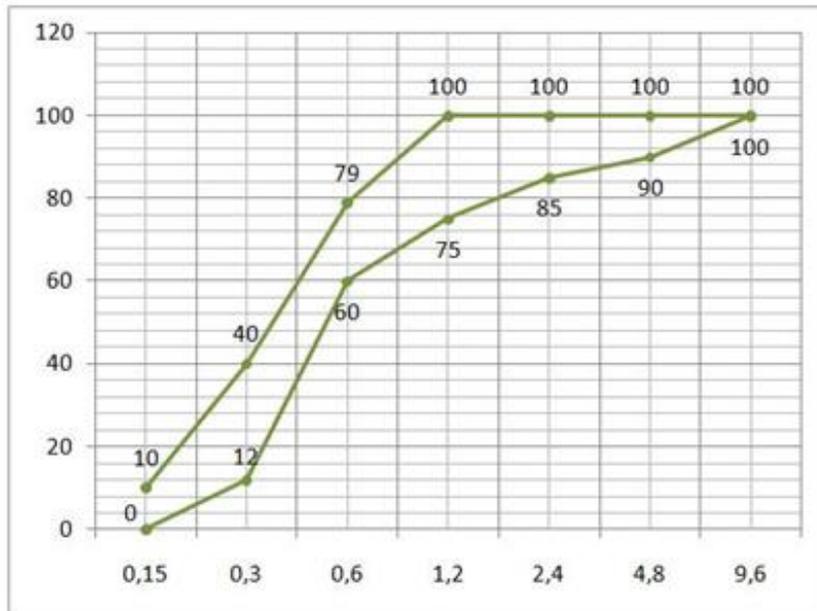
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Gambar 2.1 Gradasi Pasir Zona I



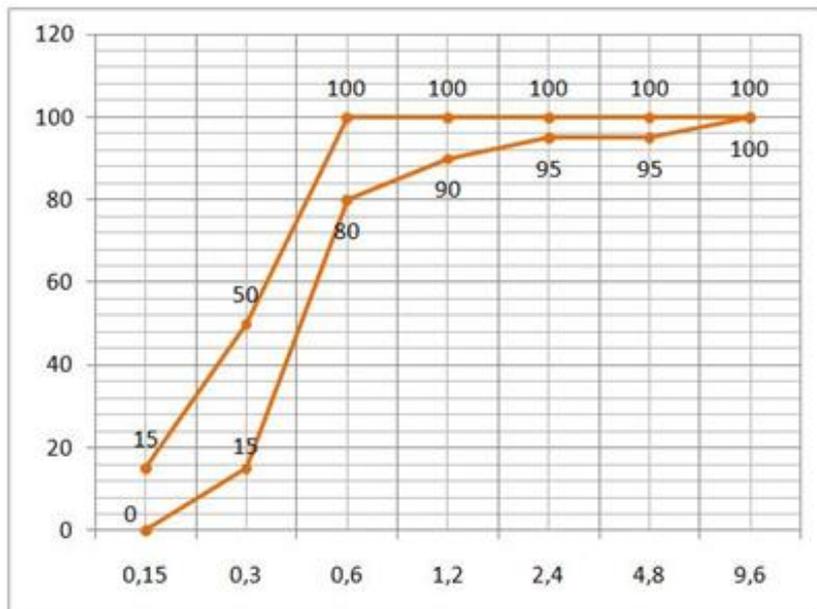
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Gambar 2.2 Gradasi Pasir Zona II



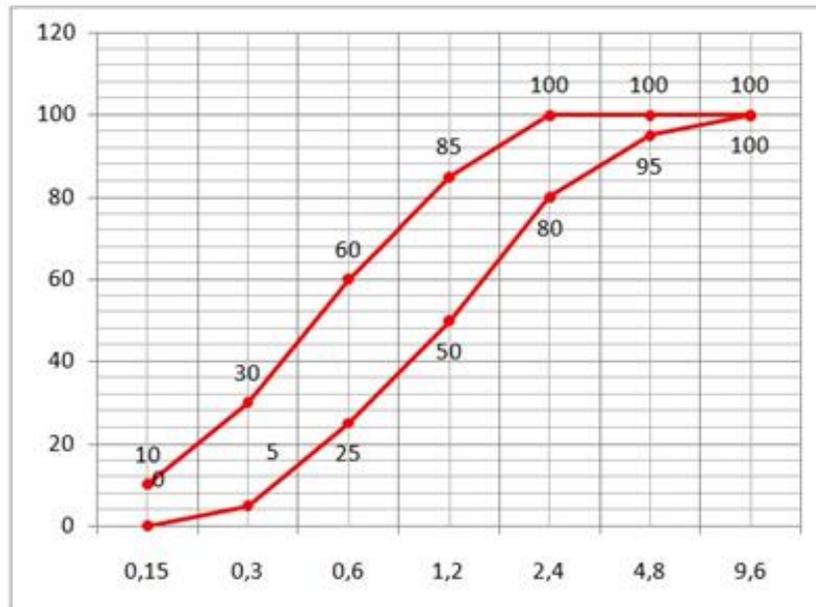
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Gambar 2.3 Gradasi Pasir Zona III



(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Gambar 2.4 Gradasi Pasir Zona IV



(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Gambar 2.5 Gradasi Agregat Halus

## 2) Agregat Kasar

Agregat Kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75mm (ASTM C33,1982) atau 5,0mm (BS.812,1976). Bentuk fisik dari agregat kasar yang bersudut. Agregat ini mempunyai sudut-sudut yang tampak jelas yang berbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar antara 38% - 40%, dengan demikian membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah dikerjakan untuk mengurangi rongga ini dikombinasikan dengan butiran agregat halus yang berbentuk bulat.

Beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregat baik dan kuat. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat kasar besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat

halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan di buat terutama dari zat-zat yang dapat merusak pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras. Syarat mutu agregat kasar menurut SII.0052 sebagai berikut :

- a. Modulus halus butir 6,0 sampai 7,1
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (0,075 mm) maksimum 1%
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%
- d. Kekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12% dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%
- e. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai  $\text{Na}_2\text{O}$  lebih besar dari 0,6%
- f. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%
- g. Kekerasan agregat harus memenuhi syarat Tabel 2.3

Kekerasan atau kekuatan dari butir-butir agregat bergantung pada bahannya dan tidak dipengaruhi oleh lekatan antara butir satu dengan yang lainnya. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Hasil penilitan Larrad (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan arti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25mm masih memungkinkan diperolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya.

Kebersihan agregat juga akan mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras, seperti terlihat pada Tabel 2.3. sebagai berikut :

Tabel 2.3 Syarat Mutu Kekuatan Agregat

Kelas dan Mutu Beton	Kekerasan dengan bejana Rudolff, bagian hancur menembus ayakan 2mm, persen (%) maksimum		Kekerasan dengan bejana geser Los Angeles, bagian hancur menembus ayakan 1,7mm, %maks
	Fraksi Butir 9,5 – 19 mm	Fraksi Butir 19 – 30 mm	
(1)	(2)	(3)	(4)
Beton Kelas I dan mutu Bo dan B1	22 – 30	24 – 32	40 – 50
Beton Kelas II dan mutu K.125, K.175, dan K.225	14 – 22	16 – 24	27 – 40
Beton Kelas III dan mutu > K.225 atau beton pratekan	Kurang dari 14	Kurang dari 16	Kurang dari 27

(Sumber : SII.0052-80)

Dalam membentuk suatu beton yang akan mempunyai mutu yang tinggi kualitas kekuatannya perlu menjadi perhatian, dalam hal ini ditentukan dengan suatu pengujian kuat tekan dan ketahanan akan abrasinya.

#### 2.2.4 Abu Sekam Padi

Bahan campuran tambahan semen dalam beton adalah abu sekam padi. Abu sekam padi merupakan limbah yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam padi. Abu sekam padi merupakan material yang bersifat pozzolanic dalam arti kandungan material terbesarnya adalah silika dan baik untuk digunakan dalam campuran pozzolan kapur yaitu mengikat kapur bebas yang timbul pada waktu hidrasi semen. Silika dapat bereaksi dengan kapur membentuk klasium silika hidrat sehingga menghasilkan ketahanan dari beton bertambah besar karena berkurangnya kapur. Pada pembakaran sekam padi, semua komponen organik di ubah menjadi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan Air (H<sub>2</sub>O) dan tinggal abu yang merupakan komponen anorganik. Karbon dan silika merupakan unsur dari unsur-

unsur yang terdapat dalam golongan IV A dan merupakan unsur penting dalam kehidupan sehari-hari.

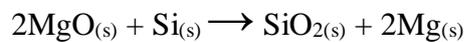
a) Karbon

merupakan salah satu unsur yang terdapat di alam dengan simbol dalam sistem periodik adalah "C". Karbon merupakan unsur ke-19 yang paling banyak terdapat di kerak bumi yaitu dengan prosentase berat 0,0027% dan menjadi unsur paling banyak ke-4 terdapat di jagat raya setelah hydrogen, helium dan oksigen. Unsur karbon pun di dalam kerak bumi dalam bentuk unsur bebas dan senyawa. Senyawa alamiah karbon yang utama adalah zat-zat organik, misalnya senyawa organik dalam jaringan tubuh makhluk hidup baik tumbuhan maupun hewan. Selain itu, dalam bahan yang berasal dari benda hidup seperti arang dan minyak bumi, juga terdapat dalam senyawa organik komersial, misalnya senyawa asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dan freon (CFC). Senyawa karbon lainnya adalah senyawa anorganik, yaitu senyawa karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan batuan karbonat ( $\text{CO}_3$ ) yang dikenal sebagai mineral seperti karbonat dari unsur II A ( $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ , dan  $\text{BaCO}_3$ ). Sebagian besar makhluk hidup mengandung atom karbon, ini dapat diketahui jika makhluk hidup tersebut dibakar maka akan menyisakan zat yang berwarna hitam, seperti kayu dibakar, binatang dibakar, dan lain sebagainya yang terbakar. Sisa dari pembakaran itu adalah karbon.

b) Silika

$\text{SiO}_2$  murni terdapat dalam dua bentuk, kuarsa dan kristobalit. Si selalu terikat secara tetrahedral kepada empat atom oksigen namun ikatan – ikatannya mempunyai sifat yang cukup ionik. Dalam kristobalit, atom – 41 atom silikon ditempatkan seperti halnya atom-atom karbon dalam intan, dengan atom-atom oksigen berada ditengah dari setiap pasangan. Dalam kuarsa, terdapat heliks, sehingga terjadi enansimorf dan hal ini dapat dengan mudah dikenali dan dipisahkan secara mekanik. (Mas'udah, 2013). Oleh karena itu abu sekam padi yang mengandung ikatan campuran senyawa karbon dan silika sangatlah berpengaruh terhadap kekuatan beton, hasil pembakaran sekam padi yang alami mengandung senyawa karbon aktif memiliki struktur amorf dan ruang

pori. Pori tersebut berukuran sangat kecil dan dapat berbentuk seperti celah panjang yang dapat mengikat kapur bebas pada saat proses hidrasi semen.



*Proses Pecampuran Senyawa Silika & Karbon.*

Adapun komposisi senyawa kimiawi yang terdapat pada abu sekam padi yang diperoleh dari pembakaran terbuka. Komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi Abu Sekam Padi

Komponen	% Berat Kering
SiO <sub>2</sub>	86,9 – 97,3
K <sub>2</sub> O	0,58 – 2,50
Na <sub>2</sub> O	0,0 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Trace – 0,54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20 – 2,85
SO <sub>3</sub>	0,10 – 1,13
Cl	Trace – 0,42

(Sumber : Tri Mulyono, 2005)

### 2.2.5 Kuat Tekan Beton

Kekuatan beton merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas (Tri Mulyono, 2005). Kekuatan tekan beton dapat mencapai 1000 kg/cm<sup>2</sup> atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200kg/cm<sup>2</sup> sampai 500kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran 15cm x 30 cm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan (*compression testing machine*) sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam Mpa atau kg/cm<sup>2</sup>.

Menurut SNI 03-6468-2000, untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dapat dipilih untuk umur 28 hari atau 56 hari. Campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian di lapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang disyaratkan  $f_c'$ .

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

- $\sigma$  = Kuat tekan beton (kg/cm<sup>2</sup>).  
 $P$  = Beban maksimum (N).  
 $A$  = Luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>).

### 2.2.6 Klasifikasi Beton

Klasifikasi beton dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori yaitu berdasarkan berat jenis, kelas, mutu, tingkat kekerasan, teknik pembuatan, dan berdasarkan tegangan.

- a. Klasifikasi Berdasarkan Berat Jenis Beton (SNI 03-2847-2002)
  - Beton ringan : berat satuan  $\leq 1.900 \text{ kg/m}^3$
  - Beton normal : berat satuan  $2.200 \text{ kg/m}^3 - 2.500 \text{ kg/m}^3$
  - Beton berat : berat satuan  $> 2.500 \text{ kg/m}^3$
- b. Klasifikasi Berdasarkan Tingkat Kekerasan Beton
  - Beton segar : Masih dapat dikerjakan
  - Beton hijau : Beton yang baru saja dituangkan dan segera harus dipadatkan.
  - Beton muda : 3 hari  $< 28$  hari
  - Beton keras : Umur  $> 28$  hari

## c. Klasifikasi Berdasarkan Mutu Beton

Tabel 2.5 Mutu Beton dan Penggunaan

Jenis Beton	$f_c'$ (Mpa)	$\sigma_{bk}'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Uraian
Mutu Tinggi	35 - 65	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, pekat beton, prategang dan sejenisnya.
Mutu Sedang	20 - < 35	K250 – < K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar, beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu Rendah	15 - < 20	K175 – < K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10 - < 15	K125 - < K175	Digunakan sebagai lantai kerja penimbunan kembali dengan beton.

(Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 -2005)

## d. Klasifikasi Berdasarkan Teknik Pembuatan Beton

- Beton cast in-situ, yaitu beton yang dicor di tempat, dengan cetakan atau acuan yang dipasang di lokasi elemen struktur pada bangunan atau gedung atau infrastruktur
- Beton pre-cast, yaitu beton yang dicor di lokasi pabrikasi khusus, dan kemudian diangkut dan dirangkai untuk dipasang di lokasi elemen struktur pada bangunan atau gedung atau infrastruktur

## e. Klasifikasi Berdasarkan Tegangan Beton (Beton Pra-tegang)

- Beton konvensional, adalah beton normal yang tidak mengalami pemberian tegangan.
- Beton pre-stressed, disebut juga metode pra-tarik. Pemberian tegangan dilakukan ketika beton belum dicor dan mengeras.
- Beton post-tensioned, disebut juga metode pasca tarik. Pemberian tegangan dilakukan ketika beton sudah mengeras.