

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

2.1.1 Nur Choiri (2012)

Penelitian dan pengujian ini dilaksanakan dengan cara pengujian terhadap kemampuan daya tekan beton dan kekedapan/porositas beton melalui media benda uji (*specimen*) yang berbentuk silinder berdimensi diameter 15cm dan tinggi 30cm dengan variasi penambahan abu terbang sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% terhadap berat semen pada benda uji berumur 28 hari (Choiri, 2012).

Hasil penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Beton Balai Irigasi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan diperoleh nilai *slump* menurun dari nilai rencana *slump* yaitu 12cm, dengan penambahan abu terbang 20% menurun menjadi 11,5cm, penambahan abu terbang 30% nilai *slump* menurun menjadi 10cm, penambahan abu terbang 40% nilai *slump* menurun menjadi 7cm dan penambahan abu terbang 50% nilai *slump* menurun menjadi 3cm. Kuat tekan maksimum diperoleh pada campuran tambahan abu terbang pada proporsi 40% dengan kuat tekan 349,5 kg/cm² terjadi peningkatan mutu sebesar 35,83% dari beton konvensional. Dan dari hasil pengujian porositas diperoleh nilai kekedapan maksimum pada proporsi campuran tambahan beton 50% dengan nilai kekedapan (porositas) sebesar 1,134-10. Secara umum dengan penambahan abu terbang sebesar 40% terhadap berat semen dengan mutu rencana K-225 memiliki kuat tekan 349,5 kg/m².

2.1.2 Darmawan, dkk (2018)

Batubara sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga uap menghasilkan limbah berupa *fly ash* yang bisa mencemari lingkungan sekitar. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah pada campuran beton sangat bermanfaat ditinjau dari segi aspek wawasan lingkungan dapat mengurangi debu polusi di daerah di mana *fly ash* diproduksi dan selain itu dapat mengurangi pencemaran

lingkungan karena fly ash merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga akan lebih merepotkan dalam penanganannya (Darmawan et al., 2018)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai bahan pada campuran beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 dan 28 hari menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan variasi *fly ash* 7%, 14% dan 21%. Dari penelitian ini diketahui bahwa dengan prosentase penambahan *fly ash*, beton akan memiliki nilai kuat tekan yang hampir sama dengan beton normal. Nilai kuat tekan beton yang paling tinggi didapat dari komposisi campuran 7% penambahan *fly ash* yang mencapai nilai 25,43 MPa yang tidak berbeda jauh dari beton normal 26,63 dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Sedangkan 14% mencapai nilai 24,53 MPa dan 21% mencapai nilai 23, 58 MPa. Sehingga penggunaan *fly ash* bisa digunakan dengan takaran kurang dari 7% (Darmawan et al., 2018)

2.1.3 Mohammad Erfan & Sriliani Surbakti (2019)

Beton merupakan campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, semen, air maupun dengan atau tanpa bahan tambahan yang dicampurkan menjadi satu bagian. Semen dalam campuran beton sendiri memiliki fungsi sebagai bahan perekat agregat dalam suatu campuran beton. Untuk mengurangi pemakaian semen, maka penggunaan *fly ash* yang merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton merupakan salah satu solusi tepat, sehingga pemanfaatan limbah lebih optimal dalam mengurangi dampak terhadap lingkungan seperti penambangan batu kapur maupun polusi udara dari hasil produksi semen, mengurangi limbah hasil pembakaran batu bara dan menekan biaya pembuatan beton. Untuk mengetahui pengaruh optimasi penggunaan *fly ash* dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi, kadar optimum penggunaan *fly ash* dan kuat tekan yang dapat tercapai, maka ditentukan variasi kadar campuran *fly ash* yang digunakan sebesar 30%, 35%, 40%, 45%, 50% dari berat semen yang digunakan, serta mutu beton rencana sebesar F^c_c 50 MPa. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder (diameter 15cm x 30cm) yang diuji pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan masing-masing variasi sebanyak 15 sampel. Berdasarkan hasil penelitian optimasi penggunaan *fly ash* dengan kadar semen

minimum didapatkan nilai kuat tekan rata-rata umur 28 hari pada kadar 0% *fly ash* sebesar 57,21 MPa, 30% *fly ash* sebesar 58,77 MPa, 35% *fly ash* sebesar 61,97 MPa, 40% *fly ash* sebesar 63,75 MPa, 45% *fly ash* sebesar 62,38 MPa dan 50% *fly ash* sebesar 57,89 MPa (M. Erfan, S.Surbakri, 2019).

Adanya pengaruh secara signifikan dari optimasi penggunaan *fly ash* dengan kadar semen minimum terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan dapat dibuktikan dari hasil pengujian hipotesis dan analisa regresi, dimana $t_{hitung} = 14,897 > t_{tabel} = 3,182$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 98,67% perubahan nilai kuat tekan beton dipengaruhi prosentase penggunaan *fly ash*, kemudian nilai koefisien korelasi (R) atau tingkat hubungan yang sangat kuat antara prosentase *fly ash* dan kuat tekan beton sebesar 0,9933. Nilai optimum penggunaan *fly ash* dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi ($F''c$ 50 MPa) dapat dibuktikan dari kurva hasil pengujian analisa regresi, dimana hasil analisa tersebut menunjukkan nilai prosentase optimum penggunaan *fly ash* adalah 40% dan kuat tekan beton yang dapat dicapai dengan kadar optimum 40% penggunaan *fly ash* adalah sebesar 63,60 MPa.

2.1.4 Mira Setiawati (2018)

Pemanfaatan *fly ash* sebagai material pembentuk beton memberikan dampak positif jika ditinjau dari segi lingkungan. *Fly ash* merupakan sisa pembakaran batu bara yang sangat halus. Kehalusan butiran *fly ash* ini berpotensi terhadap pencemaran udara. Penanganan *fly ash* pada saat ini masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Dalam penelitian ini, akan mengidentifikasi manfaat *fly ash* sebagai material pengganti semen pada beton. Identifikasi material *fly ash* menitikberatkan pada pengaruh penggunaan material ini terhadap kuat tekan beton khususnya pada awal umur beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton. Persentase *fly ash* yang digunakan bervariasi, mulai dari 5% sampai 12,5% dengan interval penggunaan *fly ash* sebesar 2,5%. Beton akan diuji pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari setelah terlebih dahulu dilakukan curing. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus sebanyak 96 benda uji dimana untuk setiap variasi sebanyak 12 benda uji. Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% *fly ash*, yaitu 404,03 kg/cm² pada umur 28 hari dengan

persentase peningkatan 27,95%. Pada awal umur beton nilai kuat tertinggi pada penggunaan *fly ash* 12,5%, sebesar 231,04 kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 60% terhadap beton normal. Dapat disimpulkan bahwa pada awal umur beton, penggunaan *fly ash* mempengaruhi kekuatan beton. Persentase penggunaan *fly ash* 12,5% pada beton, akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum (Setiawati, 2018).

2.1.5 M. Kholidi, Aleksander Purba, dan Trisya Septiana (2023)

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan. Secara Sederhana Beton dibentuk oleh pengkerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang- kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton . Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, agregat dengan atau tanpa bahan tambah tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai dengan keinginan. Abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa hasil pembakaran serbuk batu bara dari tungku pembangkit tenaga uap yang terbawa gas buangan cerobong asap yang kemudian ditangkap sebelum terbawa keluar cerobong (Surat Edaran Menteri PUPR No. 14/SE/M/2019) (Kholidi et al., 2023)

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/m³, 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* . 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^3 .
2. Beton normal, adalah beton yang mempunyai berat satuan 2.200 kg/m^3 sampai 2.500 kg/m^3 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^3 .

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 800-1800 kg/m³ atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m³, 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 kg/m³ – 2400 kg/m³ 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 kg/m³. 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

1. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
3. Berat
4. 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 berikut:

Tabel 2.1 Kandungan Bahan Kimia dalam Bahan Baku Semen

Oksida	% Berat
Kapur, CaO	60 – 67
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 0,6
Magnesia, MgO	0,1 – 4
Sulfur, SO ₃	1,3
Soda/Potash, Na ₂ O + K ₂ 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 Strength*): 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 sampai beton dengan gradiasi beton yang baik.
4. Mengontrol *workability* adukan beton dengan gradiasi bahan batuan baik

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 (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007), yaitu:

1. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7 gr/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari agregat basalt, granit dan kuarsa. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2,3 gr/cm³.

2. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 gr/cm³, misalnya magnetic (FeO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis tinggi 5 gr/cm³. Penggunaannya dipakai sebagai pelindung dari radiasi.

3. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 gr/cm³ 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.

Agregat Kasar menurut SNI-03-2847-2002, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Dalam penggunaannya harus memenuhi syarat- syarat sebagai berikut:

1. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
2. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.

3. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
4. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

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 (milimeter)	Persen (%) bahan butiran yang lewat 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:

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 Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Gradasi Pasir

Besar lubang ayakan (milimeter)	Persen (%) bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
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. Kardiyo 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 dihembuskan 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 Abu Batu Bara (*Fly Ash*)

Penggunaan batu bara di sektor industri saat ini semakin meningkat seiring dengan harga batu bara yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Penggunaan batu bara sebagai pengganti BBM memberikan keuntungan, namun juga menimbulkan beberapa masalah. Salah satu masalah utama adalah

timbulnya abu batu bara sebagai hasil sampingan dari proses pembakaran batu bara. Setiap penggunaan batu bara dapat menghasilkan abu sekitar 2-10%. Saat ini, pengelolaan limbah abu batu bara masih terbatas pada penimbunan di area pabrik (ash disposal).

Abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa halus yang dihasilkan dari proses pembakaran atau pembubukan batu bara yang kemudian terbawa oleh aliran udara panas (SNI 2460-2014). Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007), kualitas *fly ash* bergantung pada sejauh mana proses pembakarannya sempurna. *Fly ash* memiliki kandungan semen yang tinggi serta sifat pozzolanik.

Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat oksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit.

a. Sifat Fisik

Menurut ACI Committee 226, abu terbang (*fly ash*) memiliki butiran halus yang dapat lolos ayakan No. 325 (45 mikron) dengan persentase 5-27%. Abu terbang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Densitas abu terbang adalah $2,23 \text{ gr/cm}^3$, dengan kadar air sekitar 4%. Nilai specific gravity abu terbang berkisar antara 2,15 hingga 2,6, dan warnanya abu-abu kehitaman. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous umumnya lebih kecil dari 0,075 mm, dengan luas area spesifik 170–1000 m^2/kg . Untuk abu terbang dari batubara sub-bituminous, ukuran partikel rata-ratanya antara 0,01 mm hingga 0,015 mm, dengan luas permukaan 1-2 m^2/g . Partikel abu terbang sebagian besar berbentuk bola, yang meningkatkan kelancaran material tersebut (Nugroho, P dan Antoni, 2007).

b. Sifat Kimiawi

Sifat kimia dari *fly ash* dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya. Pembakaran batu bara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada jenis bituminous. Komponen utama *fly ash* batu bara adalah silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi

oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO); dan magnesium , potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit.

2.7 Standar Deviasi

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

Tabel 2.4 Nilai Standar Deviasi

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	S_d (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tidak terkendali	8,4

Sumber: SNI 03-2834-2000

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

Jumlah Pengujian	Faktor Pengkali Deviasi Standar
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

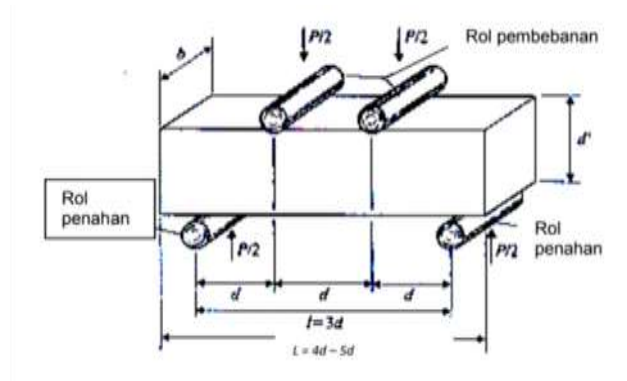
Sumber: SNI 03-2834-2000

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

Kuat lentur beton pada sistem pembebanan dua titik merupakan kapasitas balok beton yang ditempatkan pada dua tumpuan untuk menahan beban yang bekerja secara tegak lurus terhadap sumbu benda uji, hingga terjadi kerusakan atau patah. Nilai ini dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa), yang merepresentasikan gaya per satuan luas. Struktur beton dalam konstruksi sipil pada dasarnya harus mampu menahan berbagai jenis gaya, seperti gaya tekan dan lentur, yang timbul akibat pengaruh eksternal. Contohnya termasuk gaya angin dan gempa pada bangunan gedung, tekanan air serta gempa pada struktur penampungan air, dan beban kendaraan pada jembatan. Oleh karena itu, struktur beton harus dirancang secara aman untuk menghadapi beban-beban tersebut. Agar bangunan tetap kokoh dan tidak mengalami kerusakan, beton harus memenuhi standar tertentu, termasuk memiliki kekuatan lentur yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

Kekuatan lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang disangga pada dua titik untuk menahan beban yang bekerja secara tegak lurus terhadap sumbu balok hingga balok mengalami kerusakan atau patah, dan dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa) berdasarkan luas penampang. Karena pengujian tarik langsung dengan beban aksial sulit dilakukan, kekuatan tarik lentur—juga dikenal sebagai kekuatan tarik tidak langsung—sering digunakan sebagai metode alternatif. Pengujian kekuatan lentur biasanya dilakukan pada balok beton sederhana dengan pembebanan di dua titik, mengacu pada standar SNI 4431:2011. Tata letak perletakan dan titik pembebanan dapat dilihat pada (Gambar 2.1) dan (Gambar 2.2). Contoh kerusakan pada sepertiga bentang tengah ditampilkan pada Gambar 2.3, sedangkan contoh patah di luar sepertiga tengah dengan garis retak kurang dari 5% dari panjang bentang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan

Sumber: (Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, 2017)

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

Dengan Pengertian:

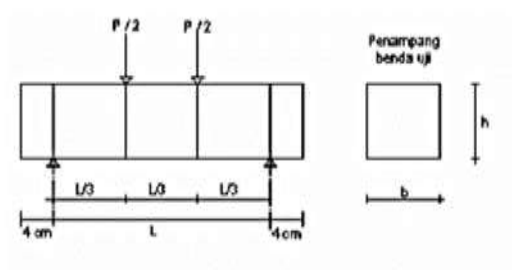
f_r adalah kuat lentur benda uji (MPa)

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

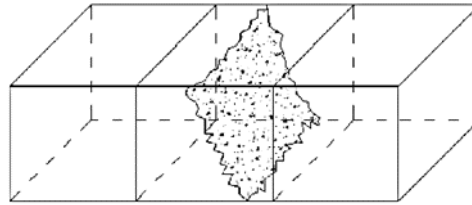
Sumber : (SNI 4431, 2011)

Keterangan gambar:

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

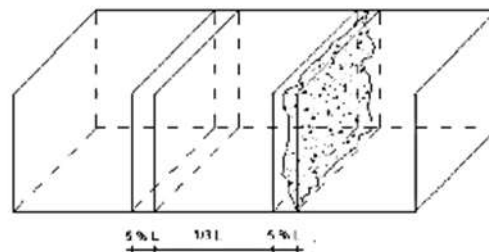
h adalah tinggi tampak lintang benda uji (cm)

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



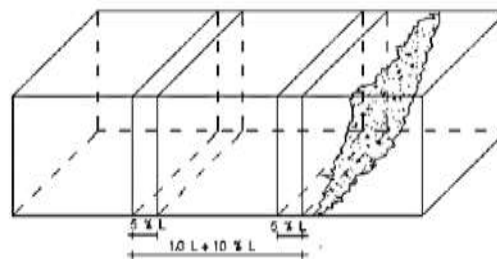
Gambar 2.3 Patah 1/3 Bentang Tengah

Sumber : (SNI 4431, 2011)



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

Sumber : (SNI 4431, 2011)



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

Sumber: (SNI 4431, 2011)