

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasari oleh literatur atau referensi yang berhubungan dengan obyek pembahasan. Penggunaan referensi bertujuan untuk memberikan batasan-batasan terhadap pembahasan dari penelitian yang akan dikembangkan serta agar dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dari referensi penelitian sebelumnya. Referensi penelitian terdahulu yang peneliti dapatkan dapat dilihat pada uraian berikut.

Rahmat Muhlis Mohamad, dkk (2015) meneliti tentang Studi Kuat Tekan Beton Untuk Mutu Tinggi 45 Mpa Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen. Dalam pengujianya menambahkan *fly ash* dengan komposisi 0%, 25%, 30%, 35%, dan 40% terhadap berat semen. Berdasarkan Hasil pengujian kuat beton pada umur 28 hari menunjukkan pada penambahan masing-masing *fly ash*, 0% menghasilkan kuat tekan (52,90 MPa), 25% (53,31 MPa), 30% (45,81 MPa), 35% (43,66 MPa), dan 40% (41,08 MPa). Semakin besar nilai *Fly Ash* yang digunakan maka nilai kuat tekan yang didapat semakin rendah dari nilai tekan yang direncanakan sebesar 45 MPa. Hal ini terlihat pada hasil pengujian kuat tekan pada campuran kadar *Fly Ash* 25% nilai kuat tekan di dapat sebesar 53,31 MPa dan pada pada campuran kadar Fly Ash 40% nilai kuat tekan di dapat sebesar 41,08 MPa.

Muhammad Andi Rizki Ferdiansyah, Nurul Rochmah (2021) meneliti tentang Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Pada Beton Mutu Tinggi Terhadap Nilai Kuat Tekan. Pada riset ini adalah persentase *fly ash* 0%, 5%, 10%, 12%, 15%, dan 20%. Pada penelitian ini juga digunakan *superplasticizer* consol SS-74. Untuk uji kekuatan pada beton itu sendiri dilakukan pada saat beton hari ke 7 dan 28. Berdasarkan Dari hasil riset yang sudah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai tertinggi pada hasil uji kuat tekan beton mutu tinggi adalah pada beton dengan penambahan *fly ash* sebesar 10% di hari ke 28 yang bernilai 52 MPa. Lalu pada persentase penambahan fly ash di atas 10%, nilai kuat dari beton semakin berkurang.

Fauna Adibroto, dkk (2018) meneliti tentang Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen. Komposisi variasi penambahan abu terbang sebanyak 0%, 10%, 12,5%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Mutu beton yang direncanakan 40 MPa yang diuji pada umur 7 hari dan 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai kuat tekan beton dapat mengalami peningkatan sampai umur 28 hari dengan kuat tekan tertinggi 30,770 MPa pada variasi 10% kemudian diikuti variasi 12,5%, 15%, 20%, 25%. Kuat tekan tertinggi 30,770 MPa dengan variasi Fly Ash 10%, melebihi kuat tekan beton normal pada umur 28 hari yaitu 28,134 MPa.

Kgs. Amarul Rizki, Muhammad Wahyu Rizzani (2022) meneliti tentang Pengaruh Penambahan Aditif Sikament LN Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton f'c 42 MPa Dan Absorpsi Beton. Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah yaitu *Sikament LN* dengan komposisi terhadap campuran beton sebesar 0,4%, 0,6%, 1,2%, dan 1,6%. Kuat tekan beton maksimal pada campuran beton dengan bahan tambah *Sikament LN* 0,6% dengan nilai kuat tekan sebesar 48,42 Mpa. Dapat disimpulkan pada beton normal sampai BC (0,4%) dan BC (0,8%) terjadi peningkatan kuat tekan, sedangkan pada BC (1,2%) dan BC (1,6%) terjadi penurunan kuat tekan dari variasi sebelumnya, sedangkan nilai absorpsi pada beton normal sebesar 4,44%, Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan beton campuran Sikament LN 0,4% sampai 1,6% sebesar 3,44% sampai 3,47%.

2.2 Beton

Beton adalah material yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen Portland atau bahan pengikat hidrolis yang lain yang sejenis, dengan menggunakan atau tidak menggunakan bahan tambah lain (SK SNI T-15-1990-03:1). Pada prinsipnya beton tersebut direkatkan oleh semen yang dicampur dengan air yang mengikat agregat kasar maupun agregat halus.

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). (Nawy,1998:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah :

- a. Kualitas semen
- b. Proporsi terhadap campuran
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat
- d. interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan pembentuk beton
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton
- g. Perawatan beton
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985:24).

Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton. (Murdock dan Brook, 1991:6) 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, keunggulan dari penggunaan beton:

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 (*Versality*)
 - a. Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.
 - b. Beton biasa 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 untuk keperluan dekoratif.
 - c. Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat, seperti jembatan, gedung, tendon air, bangunan maritim, instalasi militer

dengan beban kejut besar, landasan pacu pesawat terbang, kapal dan sebagainya.

3. Kemampuan beradaptasi (*Adaptability*)

- a. Beton bersifat *monolit* sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
- b. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk-bentuk khusus 3 dimensi.
- c. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak memerlukan ahli khusus (kecuali beberapa pengawas yang sudah mempelajari teknologi beton), sampai alat modern pabrik yang serba otomatis dan terkomputerisasi. Metode produksi modern memungkinkan industri beton yang profesional.
- d. Konsumsi energi minimal perkapasitas 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.

Disamping segala keunggulan diatas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan.

1. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
2. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatannya besar.
3. Beton cenderung retak, karena semennya hidraulis. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terekspose separah struktur baja.
4. Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton baik maupun yang buruk dapat berbentuk dari rumus dan campuran sama.
5. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul, misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

Meskipun demikian beberapa kelemahan beton tersebut dapat diatasi dengan berbagai cara, yaitu:

1. Untuk elemen struktural: membuat beton mutu tinggi, beton pratekan, atau keduanya, sedangkan untuk elemen non-struktural dapat memakai beton ringan.
2. Memakai beton bertulang atau beton pratekan.
3. Melakukan perawatan (*curing*) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (*expansive admixtures*).
4. Mempelajari teknologi beton dan melakukan pengawasan dan kontrol kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (*ready mix*) atau beton pracetak.
5. Beberapa elemen struktur dibuat pracetak (*precast*) sehingga dapat dilepas per elemen seperti baja. Kemungkinan untuk melakukan beton *recycle* sedang dioptimalkan.

2.2.1 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 beton didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan yang diisyaratkan $f_c' \geq 41,4$ Mpa.

Aspek paling umum dari Beton Kinerja Tinggi adalah Beton Mutu Tinggi. Meskipun tidak ada kesepakatan universal, umumnya pengertian mutu tinggi adalah di atas 60 Mpa. Terutama disebabkan standar perencanaan saat ini tidak memberikan informasi cukup untuk kekuatan di atas ini

Beton mutu tinggi dengan kuat tekan 55 – 70 Mpa telah dapat dibuat oleh produsen *ready-mix*. Kuat tekan lebih dari 100 Mpa sudah bisa didapat di laboratorium. 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 yaitu pasta semen, agregat, dan lekatan semen agregat. Ini perlu diperhatikan 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 dan Antoni, 2007).

Tabel 2.1 Klasifikasi Beton Mutu Tinggi

Jenis	Faktor air - semen	Kuat 28 hari (Mpa)	Catatan
Konsistensi normal	0,35 – 0,40	35 – 80	Slump 50 – 100 mm, semen >
No-slump	0,30 – 0,45	35 – 50	Slump < 25 mm
w/c rendah	0,20 – 0,35	100 – 170	Pakai admixtures
Compacted	0,05 – 0,30	70 - 240	Tekanan > 70 MPa

2.2.2 Faktor Air Semen

Menurut SNI 03-2834-2000, faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam beton. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi, ada batas batas dalam hal ini. Nilai FAS rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun.

2.2.3 Umur Beton

Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun diawal. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang mengkehendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-I). laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya (Mulyono, 2005).

2.2.4 Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan beton didapatkan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang yang menerima beban.

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari f'_c seperti yang telah disyaratkan. Kriteria penerimaan beton tersebut harus pula sesuai dengan standar yang berlaku. Menurut standar Nasional Indonesia, kuat tekan harus memenuhi $0,85 f'_c$ untuk kuat tekan rata-rata dua silinder dan memenuhi $f'_c + 0,82 (s)$ untuk rata-rata empat buah benda uji yang berpasangan. Jika tidak memenuhi, maka diuji mengikuti ketentuan selanjutnya (Mulyono, 2005).

2.3 Material Penyusun Pada Campuran Beton

2.3.1 Semen

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu : semen non hidrolis dan semen hidrolis (Mulyono, 2005)

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan

tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10 %, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

Semen Portland berdasarkan jenis dan penggunaannya :

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

2.3.2 Air

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-garaman 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 dimasukan tulangan logam aluminium (termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat) tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan menurut (ACI 318- 89:2-2). Untuk perlindungan terhadap korosi, konsentrasi ion klorida maksimum yang terdapat dalam beton yang mengeras pada umur 28 hari yang dihasilkan dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan semen, dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas (Tri Mulyono, 2005).

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 diperlukan dipengaruhi faktor-faktor dibawah ini:

- a. Ukuran agregat maksimum : diameter membesar → kebutuhan air menurun (begitu pula jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit).
- b. Bentuk butir : bentuk bulat → kebutuhan air menurun (batu pecah perlu lebih banyak air).
- c. Gradasi agregat : gradasi baik → kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama .
- d. Kotoran dalam agregat : makin banyak tanah liat dan lumpur → kebutuhan air meningkat.
- e. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar, atau h/lk : Agregat halus lebih sedikit → kebutuhan air menurun. (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

2.3.3 Agregat

Agregat artinya sekumpulan buah- butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa akibat alam juga buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang digunakan bersama-sama menggunakan suatu media pengikat buat membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. 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 tahan lama (*durable*), dan ekonomis (Paul Nugraha dan Antoni, 2007). Berdasarkan gradasinya agregat terbagi menjadi dua macam yaitu agregat halus dan agregat kasar.

A. 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). Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton sehingga dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi pemakaian bahan pengikat / semen. Pasir adalah salah satu dari bahan campuran beton yang diklasifikasikan sebagai agregat halus dimana agregat halus adalah butiran yang lolos saringan no. 8 dan tertahan pada saringan no. 200.

1. 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%.
 - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %.
- 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 perbandingan.
- f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8.

Apabila diayak dengan susunan butir menurut zona 1, 2, 3, dan 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.
2. Syarat Mutu Agregat Menurut SII 0052
- a. Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 1,50 – 3,80.
 - b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5 %.
 - c. Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3 % jika dibandingkan warna standar / pembanding tidak lebih tua dari warna standar.
 - d. Kekerasan butiran 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 diuji dengan Na-Sulfat bagian yang hancur maksimum 10 % dan jika dipakai magnesium sulfat maksimum 15 %).
3. 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 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 24 jam, warnanya dibandingkan dengan warna pembanding.
- d. Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh garam Na-Sulfat/Magnesium Sulfat.

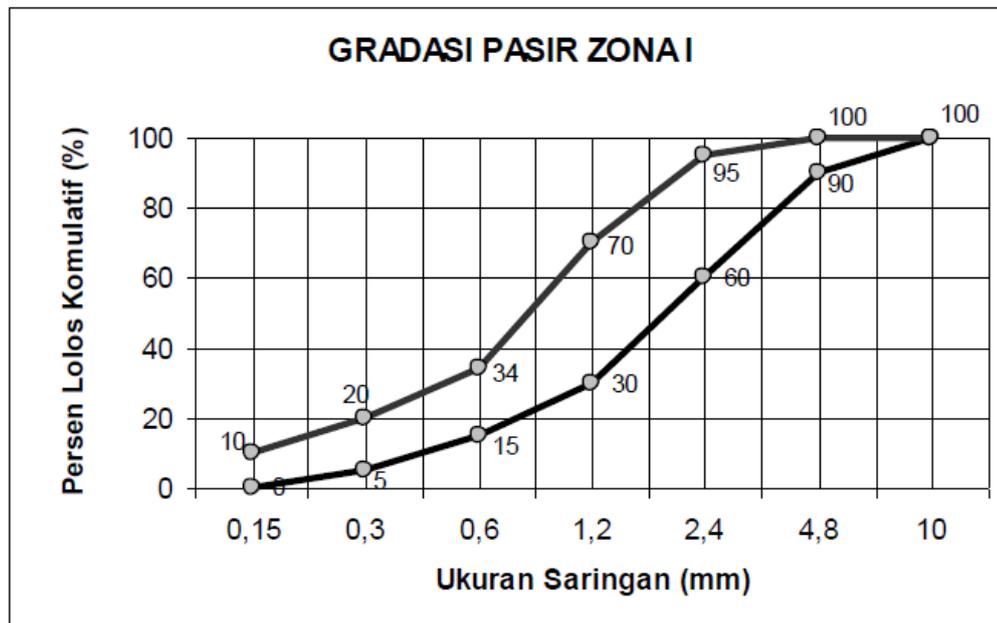
Gradasi yang baik dan teratur dari agregat halus, besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada suatu 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 seperti salah satunya sulfat, yang dapat menyebabkan beton antara lain pengelupasan selimut beton (honeycomb), keretakan (cracking), pengeroposan beton serta beton yang melengkung tidak rata pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras.

Tabel 2. 2 Gradasi Agregat Halus Menurut (BS)

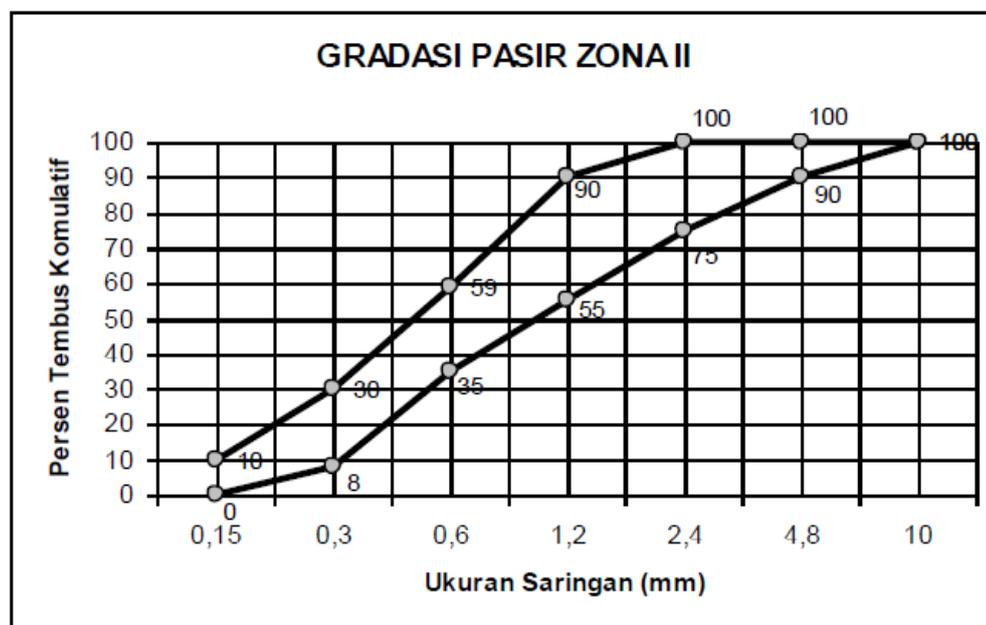
Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15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

(Sumber : SNI-03-2834-2000)



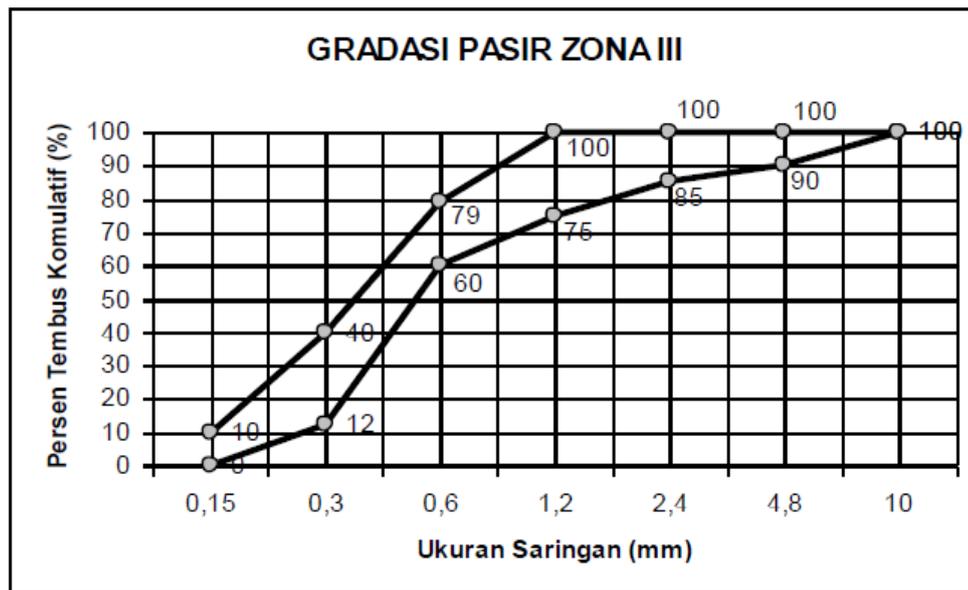
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Gambar 2. 1 Gradasi pasir zona I



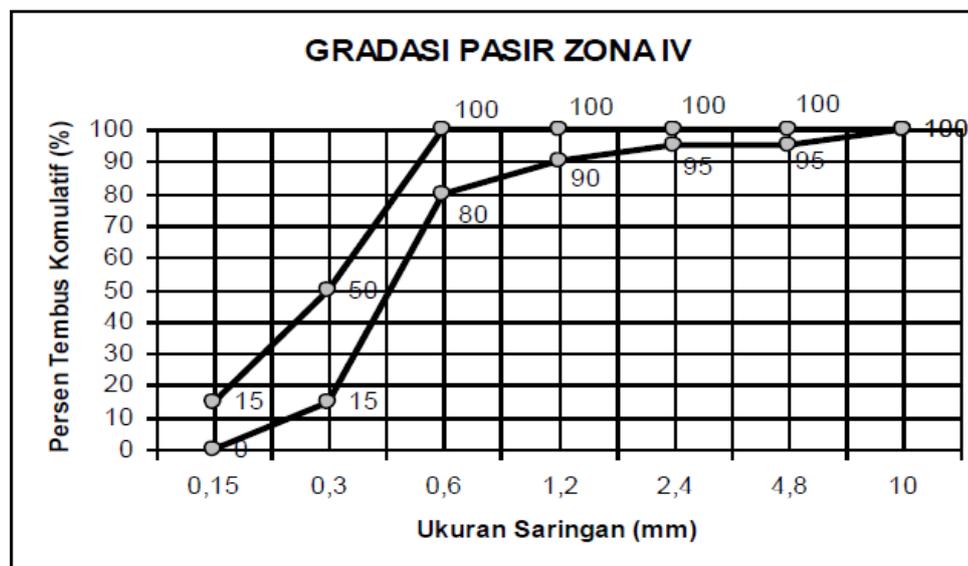
(Sumber : : SNI-03-2834-2000)

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

Keterangan:

Zona I : Pasir Kasar Sekali

Zona II : Pasir Kasar

Zona III : Pasir Halus

Zona IV : Pasir Halus Sekali

B. Agregat Kasar

Menurut SII modulus kehalusan agregat kasar yaitu antara 6,0 – 7,1. Gradasi agregat kasar untuk ukuran maksimum tertentu dapat divariasikan tanpa berpengaruh besar pada kebutuhan semen dan air yang baik. Makin besar diameter maksimum maka semakin ekonomis. Berikut ini syarat gradasi agregat menurut ASTM C33:

Tabel 2. 3 Syarat gradasi agregat sesuai ASTM C33

No. Ayakan	Ukuran ayakan (mm)	% Berat melalui ayakan			
		Agregat Kasar		Agregat Halus	
		Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas
1 in	25	95	100		
3/4 in	19				
1/2 in	12,5	25	60		
3/8 in	10			100	100
No.4	5	0	10	95	100
No.8	2,5	0	5	80	100
No.16	1,2			50	85
No.30	0,6			25	60
No.50	0,3			10	30
No.100	0,15			2	10
Pan					

(Sumber : Paul Nugraha dan Antoni,2007)

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.

Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi dari mutu beton yang akan digunakan untuk membuat beton terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik 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 atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074mm) maksimum 1%.
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
- d. Kekekalan 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 dalam semen sebagai Na₂O lebih besar dari 0,6%.
- f. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.

Kekerasan atau kekuatan dari butir-butir agregat bergantung pada bahannya dan tidak dipengaruhi oleh lekatan antara butir satu dengan lainnya. Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Dalam membentuk suatu beton yang akan mempunyai mutu yang tinggi kualitas kekuatan tekannya perlu menjadi perhatian, dalam hal ini ditentukan dengan suatu pengujian kuat tekan dan ketahanan akan abrasinya.

Tabel 2. 4 Syarat Mutu Kekuatan Agregat Sesuai SII.0052-80

Kelas dan mutu beton	Kekerasan dengan bejana Rudelhof, bagian hancur menembus ayakan 2mm, Persen (%) maksimum		Kekerasan dengan bejana geser Los Angeles, bagian hancur menembus ayakan 1,7 mm, % maksimum.
	Fraksi butir 9,5 – 19 mm	Fraksi butir 19 – 30 mm	
(1)	(2)	(3)	(4)
Beton kelas I dan mutu B0 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: Tri Mulyono, 2005)

2.4 Bahan Tambah

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixtures*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) sedangkan bahan tambah aditif yaitu yang bersifat mineral ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan.

Bahan tambah ini biasanya merupakan bahan tambah kimia yang dimaksudkan lebih banyak mengubah perilaku beton saat pelaksanaan pekerjaan jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah aditif merupakan bahan tambah yang lebih digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya. (Tri Mulyono, 2005)

Menurut Standar ASTM. C.494 (1995) dan pedoman beton 1989 SKBI.1.4.53.1989 (Ulasan Pedoman Beton 1989: 29), jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah. Pada dasarnya suatu bahan tambahan harus mampu memperlihatkan komposisi dan untuk kerja sama yang sama sepanjang waktu pekerjaan selama bahan tersebut digunakan dalam racikan beton sesuai dengan pemilihan proporsi betonnya. Jenis dan definisi bahan tambah kimia ini sebagai berikut:

a. Tipe A : *Water Reducing Admixture*

Tipe Bahan tambah ini untuk mengurangi campuran air yang dibutuhkan untuk menghasilkan plastik beton dengan konsistensi yang diinginkan. Bahan tambahan ini ialah water reducer atau disebut juga dengan superplasticizer, cara menggunakannya yaitu : Kadar air dikurangi, kadar semen tetap, Kadar air dan semen tetap, FAS tetap, kadar semen dikurangi

b. Tipe B : *Retarding Admixture*

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pemadatan untuk

menghindari *cold joints* dan menghindari dampak penurunan saat beton segar pada saat pengecoran dilaksanakan.

c. Tipe C : *Accelerating Admixtures*

Accelerating Admixtures bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat proses pengikatan awal dan pengembangan kekuatan beton awal. Bahan ini perlu digunakan ketika penuangan adukan dilakukan di bawah permukaan air atau di struktur beton yang mengharuskan beton cepat mengeras. Ada beberapa akselerator antara lain : Kalsium klorida, bromide, karbonat, dan silikat pada daerah - daerah yang menyebabkan korosi tinggi tidak dianjurkan menggunakan accelator jenis kalsium klorida. Dosis maksimum yang dapat ditambahkan pada beton adalah sebesar 2% dari berat semen.

d. Tipe D : *Water Reducing and Retarding Admixtures*

Water Reducing and Retarding Admixtures bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sehingga tetap (*workable*), Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton sekaligus memperlambat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Dengan menambahkan bahan ini ke dalam beton, jumlah semen dapat dikurangi sebanding dengan jumlah air yang dikurangi.

e. Tipe E : *Water Reducing and Accelerating Admixtures*

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu (*workable*) dan mempercepat pengikatan awal. Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton, bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air artinya FAS yang digunakan tetap dengan mengurangi kadar air.

f. Tipe F : *Water Reducing, High Range Admixtures*

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu (*workable*), sebanyak 12%

atau lebih. Kadar pengurangan air dalam bahan ini lebih tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi, bahan tambah jenis ini berupa *superplasticizer*.

g. Tipe G : *Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan menunda waktu pengikatan beton, biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja.

Jenis bahan tambah mineral (*additive*) yang ditambahkan pada beton dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat sebagai pelumas antar partikel agregat. Beton yang kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah *bleeding*. Untuk mengatasi kondisi ini biasanya ditambahkan bahan *additive* yang berbentuk butiran padat yang halus. Penambahan *additive* biasanya dilakukan pada beton kurus, dimana betonnya kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen yang biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh. Yang termasuk jenis *additive* adalah : *pozzolan, fly ash, slag, dan silica fume*.

Bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Master Rheobuild 866* yang mana pengaruh dari bahan tambah ini untuk pengurang kadar air dan *Fly Ash* sebagai substitusi semen.

2.4.1 Master Rheobuild 866

Master Rheobuild 866 adalah adalah jenis bahan tambah kimia berfungsi sebagai aditif untuk Sesuai dengan namanya (*water reducer*), *admixture* jenis ini berguna untuk mengurangi campuran air tanpa mengurangi *workability*, dan

superplasticizer untuk mempercepat waktu ikat beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera atau sebagai (*accelerator*) dan kelecakannya tinggi (*workable*). Sesuai dengan A.S.T.M. C 494 dan termasuk dalam bahan tambah Tipe F.

2.4.2 Fly Ash

Abu terbang (*Fly ash*) merupakan hasil sampingan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik merupakan limbah padat yang bersifat *Pozzolanik*. Ketersediaan abu terbang yang berlimpah saat ini, serta kondisinya sebagai material limbah mencemari tanah, udara, dan air setempat yang membuat abu terbang menjadi salah satu material dasar pilihan untuk campuran beton. Disamping penggunaannya yang praktis (tanpa proses kalsinasi), pemanfaatannya juga sangat menguntungkan bagi lingkungan.

Berdasarkan *ACI Committee 226*, ukuran butiran *fly ash* yang lolos ayakan No. 325 (45 milimikron) berkisar 5-27%, dengan *specific gravity* antara 2.15-2.8. Komposisi kimia dari *fly ash* terdiri dari karbon yang belum terbakar, *mullite*, *quartz* dan *hematite*. Kandungan tersebut tergantung dari asal batu bara seta desain dari pembangkit listrik dari masing-masing PLTU (Temuujin dkk, 2009)

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

Fly ash dibedakan dalam 2 jenis (*ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3*), yaitu:

- a. Merupakan *fly ash* dengan kandungan CaO di atas 10%, yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda). Untuk kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) mencapai lebih dari 50% dari kandungan oksida total. Dalam campuran beton konvensional digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.
- b. Kelas F : Merupakan *fly ash* dengan kandungan CaO kurang dari 10%, yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara. Untuk kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) mencapai lebih dari 70% dari kandungan oksida total. Dalam campuran beton konvensional digunakan sebanyak 15%- 25%.

2.5 Slump Beton

Menurut SNI 03–1972–2008 Slump beton ialah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. *Workabilty* beton segar pada umumnya diasosiasikan dengan :

1. Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar (*homogeneity*).
2. Kelekatan adukan pasta (*cohesiveness*).
3. Kemampuan alir beton segar (*flowability*).
4. Kemampuan beton segar mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut (*mobility*).
5. Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis (*plasticity*).

Slump beton segar harus dilakukan sebelum beton dituangkan dan jika terlihat indikasi plastisitas beton segar telah menurun cukup banyak, untuk melihat apakah beton segar masih layak dipakai atau tidak. Pengukuran *slump* dilakukan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam 2 peraturan standar yaitu PBI 1971 NI 2 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia) dan SNI 1972 – 2008 (Cara Uji Slump Beton).



Gambar 2. 5 Alat Slump Beton

1. Berdasarkan PBI 1971 N.1-2

Pengukuran *slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

- a. Kerucut Abrams : Kerucut terpancung, dengan bagian atas dan bawah terbuka.

- Diameter atas 10 cm.
- Diameter bawah 20 cm.
- Tinggi 30 cm.
- b. Batang besi penusuk
 - Diameter 16 mm.
 - Panjang 60 cm.
 - Ujung dibulatkan.
- c. Alas : rata, tidak menyerap air.

2. SNI 1972 – 2008

Pengukuran *slump* berdasarkan peraturan ini dilakukan dengan alat sebagai berikut :

- a. Kerucut Abrams :
 - Kerucut terpancung, dengan bagian atas dan bawah terbuka.
 - Diameter atas 102 mm.
 - Diameter bawah 203 mm.
 - Tinggi 305 mm.
 - Tebal plat min 1,5 mm.
- b. Batang besi penusuk :
 - Diameter 16 mm.
 - Panjang 60 cm.
 - Memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16 mm.
- c. Alas : datar, dalam kondisi lembab, tidak menyerap air dan kaku.

2.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 (Tri Mulyono,2005).

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm². 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 15 cm 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/cm².

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Secara teoritis, kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh kekuatan komponennya yaitu:

1. Pasta semen,
2. Volume rongga,
3. Agregat, dan *Interface* (hubungan antar muka) pasta semen dengan agregat.

Menurut SNI : 03-1974-1990 dalam pelaksanaannya di lapangan, faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah sebagai berikut:

1. Faktor air semen (FAS)
2. Sifat agregat
3. Proporsi semen dan jenis semen yang digunakan
4. Bahan tambah

Tabel 2. 5 Rasio Kuat Tekan Silinder – Kubus

Kuat Tekan (Mpa)	7.0	15.2	20.0	24.1	26.2	34.5	36.5	40.7	44.1	50.3
Kuat Rasio Silinder/Kubus	0.76	0.77	0.81	0.87	0.91	0.94	0.87	0.92	0.91	0.96

(Sumber :Neville, "properties of concrete", 3rd Edition, Pitman Publishing, London 1981)

Tabel 2. 6 Perbandingan Kuat Tekan Antara Silinder Dan Kubus

Kuat Tekan Silinder (Mpa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kuat Tekan Kubus (Mpa)	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40	45	50	55

(Sumber : ISO Standard 3893-1977)

Berikut ini merupakan hubungan antara kuat tekan kubus dan silinder:

$$f'_{ck} = (f'_c - \frac{19}{\sqrt{f'_c}}) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$f'_{ck} = (f'_{ck} - \frac{19}{\sqrt{f'_c}}) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$f'_{ck} = (0,76 + 0,2 \log (\frac{f'_{ck}}{15})) f'_{ck} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

f'_c adalah kuat tekan silinder (MPa), dan

f'_{ck} adalah kuat tekan kubus (MPa)

Rumus kuat tekan beton dengan benda uji berbentuk kubus:

$$\sigma (f'_c) = \frac{p}{a} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

σ adalah kuat tekan (MPa)

P adalah beban maksimum (Kg)

A adalah luas penampang (cm²)

2.7 Perawatan (*curing*)

Curing adalah perlakuan atau perawatan terhadap beton selama masa pembekuan. Pengukuran *curing* diperlukan untuk menjaga kondisi kelembaban dan suhu yang diinginkan pada beton, karena suhu dan kelembaban di dalam secara langsung berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Pengukuran *curing* mencegah air hilang dari adukan dan membuat lebih banyak hidrasi semen. Untuk memaksimalkan mutu beton perlu diterapkan pengukuran *curing* sesegera mungkin setelah beton dicetak. *Curing* merupakan hal yang kritis untuk membuat permukaan beton yang tahan.

Curing harus dibuat pada setiap bahan bangunan, bagian konstruksi atau produk yang menggunakan semen sebagai bahan baku. Hal ini karena semen memerlukan air untuk memulai proses hidrasi dan untuk menjaga suhu di dalam yang dihasilkan oleh proses ini demi mengoptimalkan pembekuan dan kekuatan semen. Pengaturan suhu di dalam dengan air disebut *curing*. Proses hidrasi yang tidak terkontrol akan menyebabkan suhu semen kelebihan panas dan kehilangan

bahan-bahan dasar untuk pengerasan dan kekuatan akhir produk semen seperti beton, mortar, dan lain-lain.

Curing yang baik berarti penguapan dapat dicegah atau dikurangi. Berikut ini merupakan macam-macam *curing*.

1. *Curing* air

Curing air adalah yang paling banyak digunakan. Ini merupakan sistem dimana sangat cocok untuk konstruksi rumah dan tidak memerlukan infrastruktur atau keahlian khusus. Bagaimanapun *curing* air memerlukan banyak air yang mungkin tidak selalu mudah dan bahkan mungkin mahal. Untuk mengekonomiskan penggunaan air perlu dilakukan pengukuran untuk mencegah penguapan air pada produk semen, beton harus dilindungi dari sinar matahari langsung dan angin untuk mencegah penguapan air yang cepat. Cara seperti menutup beton dengan pasir, serbuk gergaji, rumput dan dedaunan tidaklah mahal, tetapi masih cukup efektif. Selanjutnya plastik, karung goni juga bisa digunakan sebagai bahan untuk mencegah penguapan air dengan cepat. Sangat penting seluruh produk semen (batako, *paving blok*, batu pondasi, bata pondasi, pekerjaan plaster, pekerjaan lantai, dll) dijaga tetap basah dan jangan pernah kering, jika tidak kekuatan akhir produk semen tidak dapat dipenuhi. Jika proses hidrasi secara dini berakhir akibat kelebihan panas (tanpa *curing*), air yang disiram pada produk semen yang telah kering tidak akan mengaktifkan kembali proses hidrasi, kehilangan kekuatan akan permanen. Pada *curing* air, produk semen harus dijaga tetap basah (dengan menutup produk dengan plastik) untuk lebih kurang 7 hari.

2. *Curing* uap air

Curing uap air dilakukan dimana air sulit diperoleh dan semen berdasarkan unsur-unsur bahan setengah jadi seperti slop toilet, ubin, tangga, jalusi dan lain-lain diproduksi massal. *Curing* uap air menurunkan waktu *curing* dibandingkan dengan *curing* air biasa lebih kurang sekitar 50 – 60%. Prinsip kerja *curing* air adalah dengan menjaga produk semen pada lingkungan lembab dan panas ini perlu dibuat suatu ruang pemanasan

sederhana dengan dinding dan lantai penahan air yang ditutup dengan plastik untuk membuat matahari memanaskan ruang pemanasan dan mencegah air menguap. Tinggi permukaan air dari lantai sekitar 5 sampai 7 cm dijaga setiap waktu agar prinsip kerja sistem penguapan dapat bekerja.

3. *Curing* uap panas

Curing uap panas biasanya hanya digunakan pada pabrik yang sudah canggih yang memproduksi produk semen massal. Sistem *curing* uap panas mahal dan membutuhkan banyak energi untuk membangkitkan panas yang dibutuhkan untuk uap panas. Bagaimanapun, produk *curing* uap panas dapat digunakan setelah kira-kira 24 – 36 jam setelah produksi, yang mempunyai keunggulan dibandingkan *curing* sistem lainnya.

2.8 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Mix Design dalam beton adalah pekerjaan merancang dan memilih material bermutu tinggi untuk kepentingan produksi beton serta menentukan tata cara perencanaan beton kekuatan tinggi dengan semen dan bahan tambah ini dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran semen beton kekuatan tinggi dan untuk mengoptimasi proporsi campuran tersebut berdasarkan campuran coba. Tata cara ini hanya berlaku untuk beton berkekuatan tinggi yang diproduksi dengan menggunakan bahan dan metode produksi konvensional. Metode perhitungan yang digunakan adalah SNI 2834-2000.

2.8.1 Persyaratan kinerja

Persyaratan kinerja yang terdapat pada SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03) terdiri dari:

1. Umur Uji

Kuat tekan yang diisyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dapat dipilih untuk umur 28 hari atau 56 hari.

2. Kuat Tekan Yang Diisyaratkan

Untuk mencapai kuat tekan yang diisyaratkan, campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian di lapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang diisyaratkan.

Produsen beton boleh menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi berdasarkan pengalaman di lapangan berdasarkan pada kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}') yang nilainya lebih besar dari dua persamaan berikut:

$$f_{cr}' = f_c' + (1,34.s) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$f_{cr}' = (0,90.f_c') + (2,33.s) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dalam hal ini produsen beton menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi berdasarkan campuran coba di laboratorium, kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}') dapat ditentukan dengan persamaan:

$$f_{cr}' = \frac{(f_c' + 9,66) \text{Mpa}}{0,90} \dots\dots\dots (2.7)$$

3. Persyaratan Lain

Beberapa persyaratan lain yang dapat mempengaruhi pemilihan bahan dan proporsi campuran beton antara lain:

- a. Modulus Elastisitas.
- b. Kuat Tekan dan Kuat Lentur.
- c. Panas hidrasi.
- d. Rangkak dan susut akibat pengeringan.
- e. Permeabilitas.
- f. Waktu pengikatan.
- g. Metode pengecoran dan kelecakan.

2.8.2 Faktor-faktor yang menentukan

Faktor - faktor yang menentukan untuk membuat beton mutu tinggi adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan Bahan

Proporsi campuran yang optimum harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik semen portland, kualitas agregat,

proporsi pasta, interaksi agregat pasta, macam dan jumlah bahan campuran tambahan dan pelaksanaan pengadukan. Hasil evaluasi tentang semen portland, bahan campuran, dapat digunakan untuk menentukan kombinasi bahan yang optimum.

2. *Ordinary Portland Cement (OPC)*

Semen portland harus memenuhi SNI 15-2049-2004 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland. Semen yang dipakai adalah semen portland type I.

3. Air

Air harus memenuhi SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan bagian A (Bahan Bangunan bukan Logam).

4. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat normal yang sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat Beton. Ukuran nominal agregat maksimum 20 mm atau 25 mm, jika digunakan untuk membuat beton berkekuatan sampai 62,1 MPa, dan ukuran 10 mm atau 15 mm, jika digunakan untuk beton berkekuatan lebih besar dari pada 62,1 MPa. Secara umum, untuk rasio air bahan bersifat semen $\frac{W}{(C+P)}$ yang sama, agregat yang ukuran maksimumnya lebih kecil akan menghasilkan kekuatan beton yang lebih tinggi.

5. Agregat Halus

Agregat halus harus memenuhi ketentuan SNI 03-1750-1990 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat beton. Beton kekuatan tinggi sebaiknya menggunakan agregat halus dengan modulus kehalusan 2,5 sampai dengan 3,2. Bila digunakan pasir buatan, adukan beton harus mencapai kelecakan adukan yang sama dengan pasir alam.

6. *Master Rheobuild 866*

Dosis *Master Rheobuild 866* : 250-300 ml per zak semen, dengan syarat boleh mengurangi pemakaian air sampai 15% dari penggunaan air pada beton normal. Pemakaian yang dianjurkan 0,6% - 1,5% dari jumlah berat semen.

7. Rasio Air dengan Bahan Bersifat Semen $\frac{W}{(C+P)}$

Rasio air dengan bersifat semen $\frac{W}{(C+P)}$ harus dihitung berdasarkan perbandingan berat. Perbandingan $\frac{W}{(C+P)}$ untuk beton kekuatan tinggi secara tipikal ada dalam rentang nilai 0,20 – 0,5.

8. Keleccakan

Keleccakan adalah kemudahan pengerjaan yang meliputi pengadukan, pengecoran, pemadatan dan penyelesaian permukaan (*finishing*) tanpa terjadi segregasi.

9. *Slump*

Beton kekuatan tinggi harus diproduksi dengan *slump* terkecil yang masih memungkinkan adukan beton dilapangan untuk dicor dan dipadatkan dengan baik. *Slump* yang digunakan umumnya sebesar 50 – 100 mm. Dalam pengujian ini *slump* yang digunakan 50-80 mm.

10. Metode Pengujian

Meode pengujian yang digunakan adalah berdasarkan SNI, kecuali jika terdapat indikasi adanya penyimpangan akibat karakteristik beton berkekuatan tinggi tersebut. Kekuatan potensial untuk satu set bahan tertentu dapat ditetapkan hanya bila benda uji telah dibuat dan diuji pada kondisi standar. Minimum dua benda uji harus diuji untuk setiap umur dan kondisi uji.

11. Ukuran Benda Uji

Ukuran benda uji silinder yang dapat digunakan adalah 150 x 300 mm atau 100 x 200 mm.

12. Cetakan

Cetakan benda uji dibuat dari baja sesuai dengan SNI 03-2493-1991.

13. Mesin Uji

Mesin uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Kekakuan Lateral Minimum 17874 kg/cm.
- Kekakuan Longitudinal Minimum 178740.

2.8.3 Prosedur proporsi campuran beton kekuatan tinggi

Perancangan proporsi campuran harus mengikuti prosedur sebagai berikut:

1. Tentukan *slump* dan kekuatan rata-rata yang ditargetkan.

Slump untuk beton kekuatan tinggi dapat diambil sebesar 50-100 mm disesuaikan dengan kondisi pembetonan namun dalam pengujian ini diambil *slump* dengan nilai 50-80 mm, kemudian sebelum dilaksanakan pengecoran di lapangan beton ditambah dengan bahan aditif *Sikamen LN* sampai *slump* yang diisyaratkan tercapai. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan untuk proporsi campuran yang dirancang berdasarkan pengalaman di lapangan, diambil yang lebih besar dari pada persamaan (2.5) atau (2.6), sedangkan untuk proporsi campuran berdasarkan campuran coba laboratorium diambil sesuai persamaan (2.5).

2. Ukuran agregat kasar

Untuk agregat tekan rata-rata $<62,1$ MPa digunakan ukuran agregat maksimum 20-25 mm. Untuk kuat tekan rata-rata $>62,1$ MPa digunakan ukuran agregat maksimum 10-15 mm. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai SNI 03-2497-1992, yaitu:

- 1/5 lebar minimum acuan, dan 1/3 tebal pelat beton.
- 3/4 jarak bersih minimum antar batang tulangan, kabel prategang.

3. Kadar agregat kasar optimum

Kadar agregat kasar optimum digunakan bersama-sama dengan agregat halus yang mempunyai nilai modulus kehalusan antara 2,5-3,2. Berat agregat kasar padat kering oven per m^3 beton adalah besarnya fraksi volume padat kering oven dikalikan dengan berat isi padat kering oven (kg/m^3).

Besarnya fraksi volume agregat padat kering oven yang disarankan berdasarkan besarnya ukuran agregat maksimum, tercantum dalam tabel 2.7 di bawah ini:

Tabel 2. 7 Fraksi Volume Agregat Kasar Yang Disarankan

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi Volume Padat kering Oven	0,65	0,68	0,72	0,75

(Sumber: SNI 03-6468-2000)

4. Tentukan *slump* dan kekuatan rata-rata yang ditargetkan.

Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar diberikan pada tabel 2.7. bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus berpengaruh pada kadar rongga udara pasir, karena itu kadar rongga udara yang aktual dan kadar air harus dikoreksi dengan persamaan (2.8) dan (2.9).

$$\text{Kadar Rongga Udara (V)} = \left(1 - \left(\frac{x}{y}\right)\right) \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

X = Berat isi padat kering oven.

Y = Berat jenis relatif kering.

$$\text{Koreksi Kadar Air, liter/m}^3 = (V-35) \times 4,75 \dots\dots\dots(2.9)$$

Penggunaan persamaan (2.9) mengakibatkan penyesuaian air sebanyak 4,75 liter/m³ untuk setiap persen (%) penyimpanan kadar udara dari 35%.

Tabel 2.8 Estimasi Pertama Kebutuhan Air Pencampuran Dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir Dengan 35% Rongga Udara

<i>Slump</i>	Ukuran agregat kasar maksimum (mm)				keterangan
	10	15	20	25	
25-50	184	175	169	166	
50-75	190	184	175	172	
75-100	196	190	181	178	
Kadar Udara	3,0	2,5	2,0	1,5	Tanpa <i>Superplasticizer</i>
(%)	2,5	20	1,5	1,0	Dengan <i>Superplasticizer</i>

(Sumber : SNI 03-6468-2000)

Catatan:

- Kebutuhan air pencampuran pada tabel di atas adalah untuk beton kekuatan tinggi.
- Nilai kebutuhan air di atas merupakan nilai-nilai maksimum jika agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan bentuk butiran yang baik, permukaannya bersih, dan bergradasi baik sesuai ASTM C 33.

- Nilai-nilai harus dikoreksi jika rongga udara pasir bukan 35%, dengan menggunakan persamaan (2.9).

5. Tentukan rasio air dengan bahan bersifat semen $\frac{W}{(C+P)}$

Rasio $\frac{W}{(C+P)}$ untuk beton dihitung dengan tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Rasio $\frac{W}{(C+P)}$ Maksimum yang disarankan

Kekuatan Lapangan F_{cr} (MPa)		$\frac{W}{(C+P)}$			
		Ukuran Agregat Maksimum (mm)			
		10	15	20	25
48,3	28 hari	0,42	0,41	0,40	0,39
	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55,2	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62,1	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,32	0,30
69,0	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

(Sumber: SNI 03-6468-2000)

$$F_{cr}' = f_c' + 9,66 \text{ (MPa)}$$

6. Tentukan kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen per m^3 beton dapat ditentukan dengan membagi kadar air dengan $(c + p)$. Bila kadar bahan bersifat semen yang dibutuhkan lebih dari 594 kg/m^3 , proporsi campuran beton disarankan dibuat dengan menggunakan bahan bersifat semen alternatif atau metode perancangan proporsi beton lain.

7. Proporsi campuran dasar tanpa bahan bersifat semen lainnya

Salah satu campuran harus dibuat hanya dengan semen portland saja sebagai campuran dasar.

Penentuan proporsi campuran dasar harus menggunakan persyaratan berikut:

- a. Kadar semen untuk campuran dasar, arena semen portland merupakan satu-satunya bahan bersifat semen yang digunakan, maka kadar semen portland sama dengan berat total bahan bersifat semen yang dihitung pada prosedur (6).

- b. Kadar pasir, sesudah ditentukan kadar agregat kasar, kadar air, kadar udara dan kadar semen, maka pasir untuk membuat 1 m^3 campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan Metode Volume Absolut.

8. Campuran coba

Dari setiap proporsi campuran harus dibuat campuran coba untuk pemeriksaan karakteristik kelecakan dan kekuatan beton dari proporsi tersebut. Berat pasir, berat agregat kasar dan volume air harus dikoreksi sesuai kondisi kebasahan agregat saat itu. Setelah pengadukan, setiap adukan harus menghasilkan campuran yang merata dalam volume yang cukup untuk pembuatan sejumlah benda uji.

9. Penyesuaian proporsi campuran coba

Bila sifat-sifat beton yang diinginkan tidak tercapai, maka proporsi campuran coba semula harus dikoreksi agar menghasilkan sifat-sifat beton yang diinginkan.

a. *Slump* awal

Jika *slump* awal campuran coba di luar rentang *slump* yang diinginkan, maka pertama-tama harus dikoreksi adalah kadar air. Kemudian kadar bahan bersifat semen dikoreksi agar rasio $\frac{W}{(C+P)}$ tidak berubah, dan kemudian baru dilakukan koreksi kadar pasir untuk menjamin tercapainya *slump* yang diinginkan.

b. Kadar aditif

Bila digunakan bahan zat aditif maka kadarnya harus divariasikan pada suatu rentang yang cukup besar untuk mengetahui efek yang timbul pada kelecakan dan kekuatan beton.

c. Kadar agregat kasar

Setelah campuran coba dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan, harus dilihat apakah campuran menjadi terlalu kasar untuk pengecoran atau untuk finishing. Bila perlu, kadar agregat kasar boleh direduksi dan kadar pasir disesuaikan supaya kelecakan yang diinginkan tercapai. Proporsi ini dapat

mengakibatkan kebutuhan air bertambah sehingga kebutuhan total bahan bersifat semen juga meningkat agar rasio $\frac{W}{(C+P)}$ terjaga konstan.

d. Kadar udara

Bila kadar udara hasil pengukuran berbeda jauh dari yang diperkirakan pada prosedur (4), jumlah *Sikamen LN* harus direduksi atau kadar pasir dikoreksi untuk mencapai kelecakan yang direncanakan.

e. Rasio $\frac{W}{(C+P)}$

Bila kuat tekan yang ditargetkan tidak dapat dicapai dengan menggunakan $\frac{W}{(C+P)}$ yang ditentukan pada tabel 2.9 dan campuran coba ekstra dengan perbandingan $\frac{W}{(C+P)}$ yang lebih rendah harus dibuat dan diuji.

10. Penentuan proporsi campuran yang optimum

Setelah campuran coba yang dikoreksi menghasilkan kelecakan dan kekuatan yang diinginkan, benda-benda uji harus dibuat dengan proporsi campuran coba tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan.

Untuk mempermudah prosedur produksi dan pengontrolan mutu, maka pelaksanaan pembuatan benda uji itu harus dilakukan oleh personil dengan menggunakan peralatan yang akan digunakan di lapangan. Hasil uji kekuatan untuk menentukan proporsi campuran optimum yang akan digunakan berdasarkan dua pertimbangan utama yaitu kekuatan beton dan biaya produksi.