

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

1. Edoardus Satria Wicaksana Putra

Pada penelitian mengenai “Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Cairan X Terhadap Kuat Tekan Mortar”. Penelitian ini menggunakan campuran Abu Sekam Padi dan cairan x sebagai bahan tambah campuran mortar. Cairan x yang dimaksud adalah *admixture bestmittel yang memiliki sifat water reducing serta accelerating admixture*. Dengan variasi 5%, 10%, dan 15% dari berat semen, cairan x dengan perbandingan 0,5% dari berat semen dan lumpur sebesar 10% dari berat pasir dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm untuk pengujian kuat tekan mortar. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada saat mortar sudah berumur 7 hari dan 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 96 sampel.

Hasil penelitian pada mortar umur 28 hari didapatkan kuat tekan maksimum pada mortar dengan komposisi penambahan cairan x sebesar 0,5% yaitu sebesar 22 MPa, untuk kuat tekan mortar minimum didapat pada mortar dengan komposisi penambahan Abu Sekam Padi sebesar 15% dan lumpur sebesar 10% yaitu sebesar 6 MPa dan kuat tekan mortar normal yaitu sebesar 12 MPa.

2. Fahrur Ihza Insani

“Pengaruh Penambahan Sika Fiber PPM-12 Dan Viscocrete 3115N Terhadap Kekuatan Beton (*The Impact of Adding Sika Fiber PPM-12 and Viscocrete 3115N on The Concrete Strength*)”. Penelitian ini membahas penggunaan Sika Viscocrete 3115N dan Sika Fiber PPM-12 sebagai campuran untuk kuat tekan beton. Sika Fiber PPM-12 merupakan serat polimer berbahan dasar *polypropylene* berbentuk *mono filamen* dengan diameter serat 18mm dan Panjang serat 12mm. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh variasi Sika Fiber PPM-12 disertai Viscocrete 3115N (*Superplasticizer*) dengan mutu rencana 25 MPa. Menggunakan metode eksperimental SNI 03-2834-2000.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan Sika Fiber PPM-12 (serat *polypropylene*) disertai Sika *Viscocrete* 3115N (*Superplasticizer*) sebanyak 0,6% dari berat semen ke dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan beton dengan peningkatan kuat tekan maksimum 57,08%. Penambahan kadar serat *polypropylene* juga dapat mengurangi tingkat kelecakan atau *workability* beton yang diakibatkan oleh air yang tertahan di sekitar permukaan serat, Hal ini menyimpulkan bahwa pengaruh dari penambahan *Superplasticizer* disertai pengurangan kadar air memberikan efek yang lebih dominan daripada penambahan seratnya.

3. Muhammad Taufik Bima Perdana

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dan *Viscocrete* 1003 Pada Karakteristik Beton Geopolimer (*The Effect of Adding Rice Husk Ash and Viscocrete 1003 to The Characteristic of Geopolymer Concrete*)”. Penggunaan beton geopolimer merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk menggantikan beton normal yang menggunakan semen karena dianggap lebih ramah lingkungan dikarenakan bahan penyusunnya tidak lagi menggunakan semen. Pozzolan menjadi kunci pada beton geopolimer dikarenakan ditemukannya kandungan yang menyerupai semen, yaitu silika dan alumina. Contoh dari pozzolan sisa industry lainnya adalah Abu Sekam Padi. Abu Sekam Padi merupakan hasil dari pembakaran sekam padi yang didapat dari pembakaran sekam padi.

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan variasi persentase pada Abu Sekam Padi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dengan *Viscocrete* 1003, nilai kuat tekan beton geopolimer tertinggi terdapat pada beton geopolimer tanpa penambahan Abu Sekam Padi sebesar 4,798 MPa, dan nilai kuat tekan terendah terdapat pada beton geopolimer dengan penambahan 20% Abu Sekam Padi sebesar 0,273 MPa.

Tabel 2. 1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Sebelumnya

No.	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1	Edoardus Satria Wicaksana Putra	Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Cairan X Terhadap Kuat Tekan Mortar	- Menggunakan bahan tambah Abu Sekam Padi. - Tinjauan Analisa pada kuat tekan beton.	- Menggunakan Abu Sekam Padi dan <i>Viscocrete</i> sebagai bahan tambah pada semen - Tinjauan Analisa pada kuat tekan beton - Variasi penambahan 0%, 6%, 12% dan 18%
2	Fahrur Ihza Insani	Pengaruh Penambahan Sika Fiber PPM-12 Dan <i>Viscocrete</i> 3115N Terhadap Kekuatan Beton	- Menggunakan Sika <i>Viscocrete</i> 3115N sebagai bahan tambah campuran beton. - Tinjauan Analisa pada kuat tekan beton.	- Menggunakan Abu Sekam Padi dan <i>Viscocrete</i> sebagai bahan tambah pada semen - Tinjauan Analisa pada kuat tekan beton - Persentase variasi 0%, 6%, 12% dan 18%.

No.	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
3	Muhammad Taufik Bima Perdana	Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dan <i>Viscocrete</i> 1003 Pada Karakteristik Beton Geopolimer	- Menggunakan Abu Sekam Padi dan <i>Viscocrete</i> sebagai bahan tambah pada kuat tekan beton. - Tinjauan Analisa pada kuat tekan beton.	- Menggunakan Abu Sekam Padi dan <i>Viscocrete</i> sebagai bahan tambah pada semen - Tinjauan Analisa kuat tekan pada beton

2.2 Beton

Menurut SNI 2847 - 2013 beton adalah campuran yang terdiri dari semen *Portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'_c) pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan.

Tidak semua material substitusi berhasil meningkatkan kinerja beton karena berbagai sebab seperti karakteristiknya yang tidak baik sehingga interaksinya dengan komponen-komponen lain pembentuk beton tidak efektif, demikian pula halnya dengan komposisi penyusun material substitusi yang pada tingkat tertentu justru menurunkan kinerja beton (Karwur, R. Tenda, Wallah, & Windah, 2013).

Tingkat mutu beton atau sifat-sifat lain yang hendak dicapai, dapat dihasilkan dengan perencanaan yang baik dalam pemilihan bahan-bahan pembentuk serta komposisinya. Beton yang dihasilkan diharapkan memenuhi ketentuan-ketentuan seperti kelecakan dan konsistensi yang memungkinkan pengerjaan beton dengan mudah tanpa menimbulkan *segregasi* atau pemisahan

agregat dan *bleeding*, ketahanan terhadap kondisi khusus yang diinginkan, memenuhi kekuatan yang hendak dicapai, serta ekonomis dari segi biayanya (Aji, Pujo, Rachmat Purwono, 2010).

Cara yang ditempuh untuk mendapatkan beton mutu tinggi adalah dengan memperbaiki mutu material pembentuk betony aitu agregat kasar, air, dan semen, selain itu juga diperhatikan perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton, sehingga diperlukan ketelitian untuk menentukan komposisi bahan penyusun beton. Selain itu produksi beton mutu tinggi biasanya menggunakan bahan tambah untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan, sedangkan untuk meningkatkan kemudahan pekerjaan akibat kecilnya rasio air dan bahan ikat digunakan bahan tambah *Superplasticizer*.

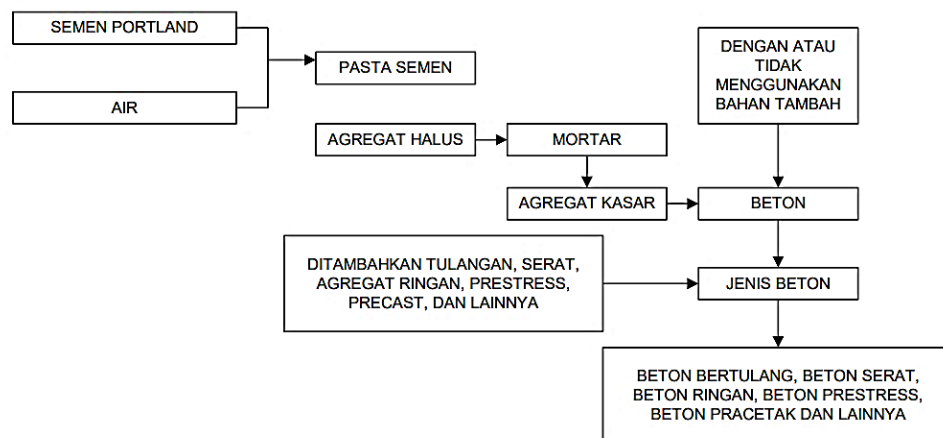
2.3 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa. Pada tahun 1959an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960an hingga awal 1970an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa. Saat ini, disebut mutu tinggi untuk kuat tekan di atas 50 MPa, dan di atas 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan untuk di atas 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi (Supartono, 1998). 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 41,4 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 yaitu 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).

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tarik yang lemah. Kuat tekan di Indonesia sering menggunakan satuan N/mm^2 . Kuat hancur dari beton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Jenis dan kualitas semen.
2. Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. Penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat tekan dan kuat tarik lebih besar daripada penggunaan kerikil halus dari sungai.
3. Perawatan. Kehilangan kekuatan sampai dengan sekitar 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.
4. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. Umur. Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya



Gambar 2. 1 Proses Terbentuknya Beton

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- a. Kualitas semen.
- b. Faktor air semen.
- c. Proporsi semen terhadap campuran.
- d. Kekuatan dan kebersihan agregat.
- e. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat.
- f. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
- g. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton.

- h. Perawatan beton.
- i. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1 % bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985 : 24).

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton

2.4.1 Kelebihan Beton

Dari pemakaiannya yang begitu luas, struktur beton mempunyai banyak keunggulan. Menurut Antoni dan Paul Nugraha, 2007, kelebihan beton sebagai berikut:

- a. Secara umum ketahanan (*durability*) beton yang cukup tinggi, lebih tahan karat, tahan terhadap bahaya kebakaran.
- b. Beton sangat baik dalam menambah gaya tekan, tetapi beton tidak mampu menahan gaya tegangan yang tinggi, karena elastisitas yang rendah.
- c. Ketersediaan (*availability*) material dasar. Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari daerah setempat, semen pada umumnya juga dapat dibuat di daerah setempat, bila tersedia dengan demikian, biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan bisa didapat di dalam negeri di daerah setempat.
- d. Kemudahan untuk digunakan (*versibility*). Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah. 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.
- e. Kemampuan beradaptasi (*adabtalilty*).
- f. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar.
- g. Beton bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
- h. Beton dapat dicetak dan dibentuk dengan ukuran berapapun.
- i. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

2.4.2 Kekurangan Beton

Disamping keunggulan, beton sebagai struktur juga memiliki beberapa kelemahan. Menurut Antoni dan Paul Nugraha, 2007, kekurangan beton sebagai berikut:

- a. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- b. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
- c. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terlihat separah struktur baja.
- d. Penyusutan kering dan perubahan kadar air. Beton menyusut apabila mengalami kekeirngan dan bahkan Ketika terjadi pengerasan, memuai dan menyusut bilamana basah dan kering. Perubahan-perubahan ini mengharuskan untuk disediakannya suatu sambungan kontraksi pada suatu interval-interval agar tidak terjadi retak-retak yang tidak terlihat.
- e. Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
- f. Rayapan. Beton mengalami perubahan bentuk secara berangsur-angsur bilamana mengalami pembebanan, perubahan bentuk yang ditimbulkan oleh rayapan beton ini tidak dapat Kembali seperti semula bilamana beban ditiadakan. Rayapan ini hal yang sangat penting terutama yang berhubungan dengan beton pra-tekan.
- g. Kerapatan terhadap air. Beton yang paling baik tidak dapat secara sempurna rapat terhadap air dan kelembapan serta mengandung senyawa-senyawa yang mudah laurt serta terbawa keluar oleh air yang jumlahnya berubah-ubah. Kerapatan terhadap air merupakan hal yang sangat penting pada beton bertulang Dimana perhatian utama adalah perlindungan terhadap karat pada baja tulangan.

2.5 Sifat Beton Segar

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) Pengerjaan beton segar terdiri dari tiga sifat penting yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workabillity*), pemisahan kerikil (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*).

2.5.1 Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Tingkat kemudahan (*workabillity*) merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pembentuk beton.

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari konsistensi adukan beton yang identik tingkat keplastisan adukan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Adapun konsistensi adukan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut, diantaranya:

1. Jumlah air pencampur

Semakin banyak air, adukan beton akan lebih mudah untuk dikerjakan.

2. Kandungan semen

Jika perbandingan air dan semen tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, sehingga keplastisannya juga akan lebih tinggi.

3. Gradasi Agregat

Agregat yang memenuhi syarat gradasi akan memberi kemudahan pengerjaan beton.

4. Bentuk butiran agregat

Beton yang menggunakan agregat bentuk bulat akan lebih mudah dikerjakan.

5. Butiran maksimum agregat

Pada penggunaan jumlah air yang sama, butiran maksimum agregat yang lebih besar akan menghasilkan kemudahan yang lebih tinggi.

6. Cara Pemadatan dan alat pemadatan

Cara menggunakan alat pemadat dengan benar akan berpengaruh terhadap kondisi terakhir beton basah. Setelah selesai pemadatan, akan memungkinkan tercapainya target mutu beton keras.

2.5.2 Pemisahan Kerikil (*Segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan pemisahan bahan-bahan pembentuk beton karena penuangan dan pemadatan yang tidak baik. Bentuk *segregasi* beton merupakan proses penurunan partikel yang lebih kasar ke bagian bawah beton untuk memisahkan diri dari partikel yang lebih halus dan terpisahnya air semen dari adukan. Hal ini akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Faktor penyebab segresi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu kurang semen, kekurangan atau kelebihan air pada campuran, kurangnya jumlah agregat halus, ukuran agregat maksimum > 40 mm, dan kekasaran permukaan butir agregat. Kecenderungan

terjadinya segregasi dapat dicegah jika tinggi jatuh dibatasi, penggunaan air sesuai dengan yang telah ditetapkan, ukuran agregat sesuai dengan yang telah ditetapkan, dan pemadatan yang baik sesuai aturan.

2.5.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah peristiwa pemisahan naiknya air ke permukaan beton setelah dilakukan pemadatan. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir yang pada saat beton mengeras akan membentuk selaput (*laitance*) yang tidak berguna. Peristiwa ini terjadi pada campuran yang terlalu banyak air, susunan butir agregat, kecepatan hidrasi, dan pada saat proses pemadatan. Terjadinya *bleeding* dimungkinkan oleh faktor gradasi agregat yang kurang baik, terlalu banyak air, proses hidrasi yang lambat, dan pemadatan yang berlebihan. Untuk mengurangi terjadinya *bleeding* dapat dilakukan dengan cara menggunakan semen lebih banyak, menggunakan sedikit mungkin air, menggunakan butir halus lebih banyak, dan memasukkan sedikit udara ke dalam beton.

2.6 Sifat Beton

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) beton adalah bahan bangunan yang dibuat dari air, semen *Portland*, agregat halus, dan agregat kasar, yang bersifat keras seperti batuan. Beberapa sifat beton yang sering dipakai antara lain:

2.6.1 Kekuatan Beton

Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat beton dibagi menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.2 (Tjokrodimuljo, 2007).

Tabel 2. 2 Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis beton	Kuat tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal (beton biasa)	15-30 MPa
Beton pra tegang	30-40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	≥ 80 MPa

(Sumber: IR. Kardiyono Tjokrodimuljo, M.E., 2007)

2.6.2 Berat Jenis

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil normal berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat dilihat pada tabel 2.3. (Tjokrodimuljo, 2007)

Tabel 2. 3 Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenisnya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1.00	Non struktur
Beton ringan	1.00-2.00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2.30-2.50	struktur
Beton berat	≥ 3.00	Perisai sinar X

(Sumber: IR. Kardiyono Tjokrodimuljo, M.E., 2007)

2.6.3 Susutan Pengerasan

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dibandingkan volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras, beton mengalami sedikit penyusutan akibat penguapan air. Bagian yang susut adalah pastinya karena agregat tidak merubah volume. Oleh karena itu, semakin besar pastinya semakin besar penyusutan beton. Sedangkan pasta semakin besar faktor air semennya maka semakin besar susutannya

2.6.4 Kerapatan Air

Pada bangunan tertentu sering beton diharapkan rapat air atau kedap air agar tidak bocor, misalnya: plat lantai, dinding basement, tandon air, kolam renang dan sebagainya.

2.7 Material Penyusun Beton

2.7.1 Semen

Semen merupakan bahan campuran kimiawi yang menjadi aktif setelah bereaksi dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Komposisi semen sekitar 10% dari volume beton. (Tjokrodimuljo, 2007) Semen sendiri memiliki susunan unsur pokok, yaitu:

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 - 65
Silika, SiO ₂	17 - 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 - 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 - 6
Magnesia, MgO	0,5 - 4
Sulfur, SO ₃	1 - 2
Soda/potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

(Sumber: IR. Kardiyo Tjokrodinuljo, M.E., 2007)

Semen mempunyai sifat fisikadan sifat kimia yaitu:

a. Sifat Fisika Semen

Sifat-sifat fisika semen *Portland* meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar.

b. Sifat Kimia Semen

Sifat-sifat kimiawi dari semen *Portland* meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut (insoluble residu), panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen dan faktor air semen. Semen *Portland* dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan alumunium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan hamper sama seperti batu.

Bahan baku pembentuk semen adalah sebagai berikut:

1. Kapur (CaO) dari batu kapur.
2. Silika (SiO₂) dari lempung.
3. Alumunium (AlO₃) dari lempung.

Kandungan kimia semen adalah:

1. Trikalsium Silikat.
2. Dikalsium Silikat.
3. Trikalsium Aluminat.
4. Tetrakalsium Aluminofe.
5. Gypsum.

Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima jenis:

1. Jenis 1 (normal) : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II (modifikasi) : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang *relative* sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat.
3. Jenis III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
4. Jenis IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah, biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
5. Jenis V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat.

2.7.2 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan menentukan besarnya mutu beton. Agregat untuk beton adalah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70 % volume beton sehingga dapat pengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk besar butiran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5mm – 40mm (SNI 03-2834-2000). Agregat kasar ialah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di ayakan 4,75 mm.

Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut (SK SNI S-04-1989-F) syarat-syarat tersebut adalah:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
2. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %, apabila kadar lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
5. Modulus halus butir antara 6 – 7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang didapat dari pelapukan batuan secara alami atau pasir yang dihasilkan dari pemecahan batu yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antara agregat kasar.

Agregat halus yang digunakan untuk campuran pembuatan beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut (SK SNI S-04-1989-F) syarat-syarat tersebut adalah:

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila melebihi agregat halus harus dicuci.

4. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik.
5. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Menurut (Tjkrodimulyo, 2007), beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan agregat untuk pekerjaan campuran beton, antara lain:

1. Bentuk agregat

Bentuk agregat dipengaruhi dua sifat, yaitu kebulatan dan sperikal. Kebulatan atau ketajaman sudut, ialah sifat yang dimiliki yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir. Sedangkan sperikal adalah sifat yang tergantung pada rasio antara luas bidang permukaan butir dan volume butir. Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi: agregat bulat, bulat sebagian, bersudut, panjang dan pipih.

2. Tekstur permukaan

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran, halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada dasarnya tekstur permukaan dapat dibedakan menjadi: sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkilat, berpori, dan berlubang-lubang. Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang menyebabkan kehalusan permukaan agregat.

3. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat dan massa air dengan volume yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup/tidak saling berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah yaitu, berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

4. Berat satuan dan kepadatan

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m³. Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya ialah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbuka.

5. Ukuran maksimum agregat

Ukuran maksimum butiran agregat yang biasanya dipakai adalah 10 mm, 20 mm, 40 mm.

6. Gradasi agregat

Gradasi agregat ialah distribusi dari butiran agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirnya bervariasi maka akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya sedikit dengan kata lain kemampuannya tinggi.

7. Kadar air agregat

Kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu benar-benar tidak berair atau dapat secara penuh menyerap air,
- b. Kering udara, yaitu butir-butir agregat kering permukaannya tetapi mengandung sedikit air didalam porinya,
- c. Jenuh kering muka, yaitu tidak air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran tidak menyerap dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah yaitu butir-butir mengandung banyak air di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran akan menambah air.

- e. Keadaan jenuh kering muka (Saturated surface dry, SSD) lebih dipakai sebagai standar, karena merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak mengurangi dan menambah air dalam pastanya, dan kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD dari pada kering tungku.
- f. Kekuatan dan keuletan agregat.

Kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Butiran agregat dapat bersifat kurang kuat disebabkan dua hal yaitu karena terdiri bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat kuat.

2.7.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen agar bisa berfungsi sebagai bahan pengikat. Serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mempermudah pencampuran agregat dan semen serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton, dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling. Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut, (SNI 03-2847-2002):

1. Harus bersih, tidak boleh mengandung minyak asam, alkali dan zat organik atau bahan lain yang dapat merusak beton.
2. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.

3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan. Tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai bahan utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

2.7.4 Superplasticizer Sika Viscocrete 3115N

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia (*chemcical admixture*) yang berfungsi untuk melarutkan gumpalan-gumpalan pada campuran beton dengan cara melapisi pasta semen sehingga kandungan semen dalam adukan beton dapat tersebar secara merata, *Superplasticizer* memiliki pengaruh yang cukup besar dalam meningkatkan *workability* beton. Penggunaan *Superplasticizer* dalam campuran beton dapat mereduksi kadar penggunaan air hingga 40% dari kadar campuran awal. Penggunaan air yang berkurang dapat mengurangi nilai faktor air semen beton sehingga dapat menghasilkan beton dengan mutu yang lebih tinggi (Raynaldi dan Kusdian, 2019).

Cara kerja *Superplasticizer* yang dapat larut dalam air adalah dengan menghasilkan gaya tolak-menolak (*dispersion*) antara partikel-partikel semen agar tidak membentuk gumpalan (*focculate*) yang berpotensi menciptakan rongga udara di dalam campuran beton. Penambahan *Superplasticizer* dapat menghasilkan beton yang mengalir tanpa adanya pemisahan semen ke permukaan adukan beton yang biasa disebut *segregasi/bleeding* yang umum ditemui pada beton dengan jumlah kandungan air yang besar. Bahan tambah ini juga berfungsi untuk proses pencetakan beton di tempat-tempat yang sulit dilakukan proses penuangan campuran beton.

Pada penelitian ini, digunakan produk *Superplasticizer* dari PT. Sika Indonesia yaitu *Viscocrete 3115N* yang merupakan *Superplasticizer* generasi ketiga dari Sika yang dikembangkan untuk produksi beton aliran tinggi dengan sifat

retensi aliran yang sangat baik. Penggunaan *Superplasticizer* jenis ini dapat memfasilitasi pengurangan air yang ekstrem pada campuran beton serta menghasilkan campuran beton kemampuan mengalir yang sangat baik dengan kohesi yang optimal dan perilaku pemadatan diri yang kuat. *Viscocrete 3115N* bekerja dengan cara menimbulkan adsorpsi pada permukaan partikel semen yang menghasilkan efek sterik. Bahan tambah ini juga tidak mengandung klorida atau bahan lain yang dapat menyebabkan korosi (PT. Sika Indonesia, 2016).

Selain beberapa keuntungan di atas, penggunaan *Superplasticizer* pada campuran beton juga memiliki kelemahan yaitu tingginya kemampuan mengalir campuran beton yang dapat menimbulkan peningkatan nilai *slump*, selain itu penggunaan dosis yang berlebihan dapat mengurangi nilai ekonomis beton serta membuat beton kehilangan kekuatan akhir akibat setting time yang terlalu lama.

PT. Sika Indonesia menuliskan dalam brosur produknya bahwa rekomendasi kadar penggunaan *Viscocrete 3115N* adalah antara 0,3 – 0,8 % dari berat semen untuk campuran beton normal dan antara 0,8 – 2,0 % dari berat semen untuk campuran *self compacting concrete*.

2.7.5 Abu Sekam Padi

Di Indonesia, banyak ditemukan sekam padi. Sekam padi merupakan limbah dari hasil penggilingan padi. Butir dari sekam padi memiliki bobot yang ringan dan juga tidak begitu halus, sehingga diperlukan tempat yang luas untuk penyimpanan limbah tersebut. sekam padi biasa disebut dengan kulit padi, sekam padi merupakan salah satu bahan sisa yang dihasilkan dari pengolahan padi dan biasa dianggap sebagai limbah.

Abu Sekam Padi merupakan hasil dari pembakaran sekam padi atau kulit padi. Abu Sekam Padi memiliki warna putih keabu-abuan hingga hitam, warna tersebut tergantung dari suhu pembakaran dan sumber sekam padi. Abu Sekam Padi mengandung silika yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambah pada pembuatan beton. penggunaan Abu Sekam Padi pada pembuatan beton dapat meningkatkan kekuatan beton. Pada penelitian ini Abu Sekam Padi yang digunakan memiliki dua variasi yaitu Abu Sekam Padi tanpa digiling (ASP) dengan Abu Sekam Padi digiling (ASPG). Variasi Abu Sekam Padi tanpa digiling (ASP) disaring dengan saringan no. 100, untuk variasi Abu Sekam Padi yang digiling

(ASPG), Abu digiling dihaluskan dan disaring dengan saringan no. 200. Komposisi yang terkandung dalam Abu Sekam Padi dapat dilihat dalam Tabel sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Komposisi Abu Sekam Padi

Senyawa Kimia	Jumlah (% berat)
SiO ₂	93,44
Al ₂ O ₃	0,10
P ₂ O ₅	1,01
S	0,22
K ₂ O	3,48
CaO	0,72
TiO ₂	0,09
MnO ₂	0,23
Fe ₂ O ₃	0,68
ZnO	0,02

(Sumber: Latief, A, 2010)

2.8 Pengujian Material

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan dengan tujuan memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda, maupun beton yang telah mengeras. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat-alat yang tersedia di laboratorium. Pengujian bahan ini meliputi bahan agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah lainnya.

2.8.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (*gradasi*) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar.

Cara pelaksanaan pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut:

1. Peralatan
 - a. Timbangan dan neraca
 - b. Satu set saringan: 76,2 mm (3"); 63,5 mm (2 ½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25,4 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (3/8"); No 4 (4,75 mm); No 8 (2,36 mm); No 16 (1,18 mm); No 30 (0,600 mm); No 50 (0,300 mm); No 100 (0,150 mm); No 200 (0,075 mm).
 - c. Oven
 - d. Alat pemisah contoh
 - e. Mesin mengguncang saringan
 - f. Talam-talam
 - g. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya
2. Benda uji
 - a. Agregat halus
 - b. Agregat kasar
3. Prosedur pengujian
 - a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
 - b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Perhitungan

Hitunglah persentase benda berat uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

2.8.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C . Berat jenis kering permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C . Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam

keadaan kering pada suhu 25°C. Penyerapan ialah perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan angka penyerapan dari agregat kasar dan halus. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan. Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut:

- a. Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
 1. Peralatan yang digunakan diantaranya: (1) Keranjang kawat; (2) Tempat air; (3) Timbangan; (4) Oven; (5) Alat pemisah contoh; (6) Saringan no 4 (4,75 mm)
 2. Benda uji Agregat yang tertahan saringan no 4 (4,75 mm)
 3. Prosedur pengujian:
 - (a) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
 - (b) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven.
 - (c) Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang (Bk).
 - (d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
 - (e) Keluarkan benda uji dalam air, lap dengan kain penyerap sampai selaput pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
 - (f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj).
 - (g) Letakkan benda uji didalam keranjang guncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (Ba).

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \quad (2.1)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \quad (2.2)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

- Bk = Berat jenis uji kering oven (gram)
 Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)
 Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

b. Cara pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

1. Peralatan yang digunakan diantaranya: (1) Timbangan; (2) Piknometer; (3) Kerucut perpancung; (4) Batang penumbuk; (5) Saringan no 4 (4,75 mm); (6) Oven; (7) Pengukur suhu; (8) Talam; (9) Bejana tempat air; (10) Pompa hampa udara; (11) Desikator
2. Benda uji: Agregat yang lewat saringan no 4 (4,75 mm)
3. Prosedur pengujian
 - (a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - (b) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
 - (c) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.

- (d) Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
- (e) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C.
- (f) Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
- (g) Timbang piknometer berisi air dan benda uji
- (h) Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- (i) Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (B_k).
- (j) Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu 25°C (B).

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \quad (2.5)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \quad (2.6)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

- B_k = Berat benda uji kering oven (gram)
- B = Berat piknometer berisi air (gram)
- B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
- 500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

2.8.3 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Mesin abrasi Los Angeles merupakan alat simulasi keausan dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari pelat baja berputar dengan kecepatan tertentu.

Tujuan analisis pengujian keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

Cara pelaksanaan pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles adalah sebagai berikut:

1. Peralatan
 - a. Mesin abrasi Los Angeles
Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28") panjang dalam 508 mm (20"), silinder berlubang untuk memasukkan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu, di bagian dalam silinder terdapat bilah naja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5").
 - b. Saringan No 12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.
 - c. Timbangan
 - d. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32") dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram
 - e. Oven
 - f. Alat bantu pan dan kuas
2. Benda uji
 - a. Agregat Kasar
3. Prosedur Pengujian
 - a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara berikut:
 - 1) Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
 - 2) Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - 3) Cara C : Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - 4) Cara D : Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.

- 5) Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 - 6) Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
 - 7) Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- b. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles.
 - c. Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, jumlah putaran gradasi A, B, C dan D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, F dan G adalah 1000 putaran.
 - d. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No 12 (1,70 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - e. Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di atas saringan No 12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20.
4. Perhitungan

$$\text{Keausan} = \frac{(a - b)}{a} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

- a = Berat benda uji semula (gram)
 b = Berat benda uji tertahan saringan No 12 (1,70 mm)
 (gram)

2.8.4 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menemukan kadar air agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Cara pelaksanaan pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan: (1) Timbangan; (2) Oven; (3) Talam.
2. Benda uji: (1) Agregat halus; (2) Agregat kasar.
3. Prosedur pengujian
 - a. Timbang dan catatlah berat talam (W1).
 - b. Masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang dan catat beratnya(W2).
 - c. Hitunglah berat benda uji ($W3 = W2 - W1$)
 - d. Keringkan benda uji beserta dalam oven dengan suhu 110 ± 5 oC sampaiberatnya tetap.
 - e. Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W4)
 - f. Hitunglah berat benda uji kering ($W5 = W4 - W1$)
4. Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W3 - W5)}{W5} \times 100\% \quad (2.9)$$

Keterangan:

W3 = Berat benda uji semula (gram)

W5 = Berat benda uji kering (gram)

2.8.5 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat

Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Berat adalah gaya gravitasi yang mendesak agregat. Agregat adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu beton semen hidrolik atau adukan. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

Cara pelaksanaan pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat adalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan: (1) Timbangan; (2) Batang penusuk; (3) Alat penakar berbentuk silinder; (4) Sekop atau sendok
2. Benda uji: (1) Agregat halus; (2) Agregat kasar
3. Prosedur pengujian

a. Kondisi padat

- 1) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- 2) Tusuk lapisan agregat dengan 25 x tusukan batang penusuk.
- 3) Isi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk 25 x tusukan.
- 4) Isi penakar sampai berlebih dan tusuk lagi.
- 5) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- 6) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.
- 7) Catat beratnya
- 8) Hitung berat isi agregat dengan rumus:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad \text{atau} \quad M = (G - T) \times F$$

- 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus:

$$\text{MSSD} = \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\}$$

b. Kondisi gembur

- 1) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebih dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- 2) Ratakan permukaan dengan batang perata.
- 3) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar sendiri.
- 4) Catat beratnya.
- 5) Hitung berat isi dan kadar rongga udara dalam agregat seperti langkah di atas.

4. Perhitungan

a. Agregat dalam keadaan kering oven

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad \text{atau} \quad (2.10)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2.11)$$

Keterangan:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m³)

G = Berat agregat dan penakar (kg)

T = Berat penakar (kg)

V = Volume penakar (m³)

F = Faktor penakar (m³)

b. Agregat dalam keadaan kering permukaan

$$MSSD = M \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad (2.12)$$

Keterangan:

MSSD = Berat isi agregat dalam kondisi kering permukaan (kg/m³)

M = Berat isi dalam kondisi kering oven (kg/m³)

A = Absorpsi (%)

2.8.6 Pengujian Kadar Lumpur

Tujuan pengujian ini adalah untuk menghasilkan mutu beton yang baik (kuat tekan tinggi), maka bahan penyusun beton harus memenuhi syarat teknis. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F salah satu syarat teknis adalah agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat pasir.

Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Gelas ukur.
2. Alat pengaduk.

Bahan yang digunakan adalah contoh pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air biasa.

Prosedur Pelaksanaan:

1. Contoh benda uji dimasukan ke dalam gelas ukur.
2. Air ditambahan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
3. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
4. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
5. Tinggi pasir, (V₁) dan tinggi lumpur (V₂) diukur.
6. Kemudian hitung:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{(V_1 + V_2)} \times 100 \% \quad (2.13)$$

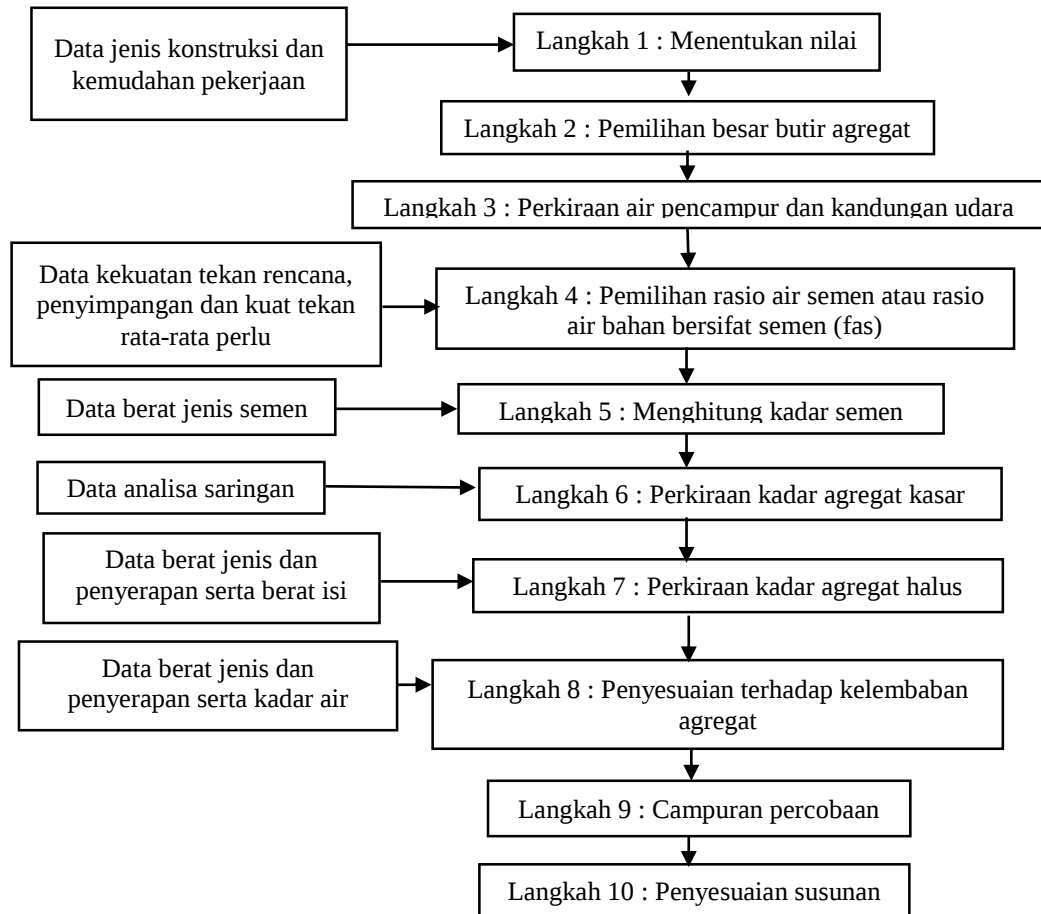
Keterangan:

V₁ = tinggi pasir (gram)

V₂ = tinggi lumpur (gram)

2.9 Rancangan Campuran Beton Normal

Karakteristik dari beton yang dipersyaratkan dalam spesifikasi untuk menentukan proporsi campuran tiap meter kubik campuran beton, dilakukan secara berurutan (SNI 7656: 2012), dengan diagram alir seperti Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Diagram Alir Rancangan Campuran Beton Normal

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.9.1 Menetapkan Nilai Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Direncanakan

Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan beton (f'_c) sebesar 41 MPa. Direncanakan untuk konstruksi kolom yang berada di dalam ruangan dan beton yang dibuat tanpa tambahan udara.

2.9.2 Menetapkan Standar Deviasi

Nilai standar deviasi diambil berdasarkan data penelitian pada masa lalu, jika data tersebut tidak tersedia, maka nilai standar deviasi diambil dari Tabel 2.5 (Mulyono, 2019) berdasarkan volume pekerjaan dan mutu pelaksanaan yang diinginkan.

Tabel 2. 5 Kuat Tekan Rata-rata Apabila Tidak Tersedia Data Standar Deviasi

Kuat Tekan yang Disyaratkan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Perlu (MPa)
$f'_c < 21$	$F'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$F'_{cr} = f'_c + 8,3$
$F'_c > 35$	$F'_{cr} = 1,1 f'_c + 5,0$

(Sumber: SNI 2847:2013)

2.9.3 Menghitung Nilai Tambah Margin (M)

Nilai margin dihitung berdasarkan nilai deviasi standar (Sd) dengan rumus sebagai berikut:

$$M = 1,64 \times Sd \quad (2.14)$$

Keterangan:

M = nilai tambah (MPa)

Sd = deviasi standar (MPa)

2.9.4 Menghitung Kuat Tekan Rata-rata

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan dihitung dengan rumus:

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.15)$$

Dengan:

f'_{cr} = kuat tekan rata-rata (MPa)

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = nilai tambah (MPa)

2.9.5 Faktor Air Semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan:

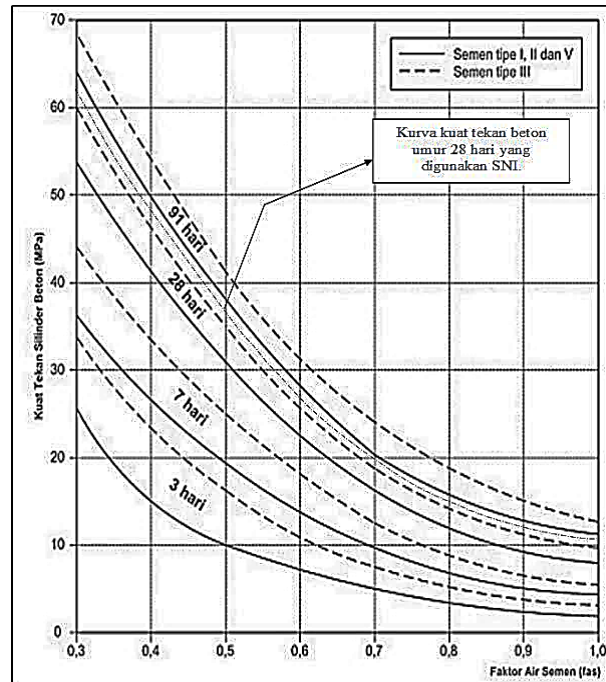
- Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 2.6.
- Lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

Langkah-langkah dalam menentukan faktor air semen sebagai berikut:

- 1) Dari Tabel 2.6 tentukan perkiraan nilai kuat tekan beton umur 28 hari pada FAS 0,5 dengan indikator jenis semen, jenis agregat kasar, dan bentuk benda uji.
- 2) Pada Gambar 2. 3, perkiraan nilai kuat tekan beton diplot kemudian tarik garis mendatar hingga memotong garis FAS 0,5.
- 3) Melalui titik potong tersebut, tarik kurva yang proporsional terhadap kurva lengkung yang mengapitnya.
- 4) Plot nilai kuat tekan rata-rata dari langkah 2.6.2.4, kemudian tarik garis mendatar hingga memotong kurva yang sudah dibuat.
- 5) Dari titik potong tersebut tarik garis lurus vertikal ke bawah untuk mendapatkan nilai FAS yang diperlukan.

Tabel 2. 6 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) dengan Nilai FAS dan Agregat Kasar

Jenis semen	Jenis Agregat kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	91	Benda uji
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	



Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Beton untuk Benda Uji Silinder

2.9.6 Menentukan Nilai *Slump*

Rancangan campuran yang tidak mensyaratkan nilai *slump*, dapat menggunakan Tabel 2.7. Rentang nilai *slump* tersebut berlaku bila beton dipadatkan dengan digetar. Nilai *slump* didapatkan dari jenis konstruksi yang akan menggunakan beton.

Tabel 2. 7 Nilai *Slump* yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe Konstruksi	<i>Slump</i> , mm (inch)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75 (3)	25 (1)
Pondasi telapak tanda tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah.	75 (3)	25 (1)
Balok dan dinding bertulang	100 (4)	25 (1)
Kolom bangunan	100 (4)	25 (1)
Perkerasan dan pelat lantai	75 (3)	25 (1)
Beton massa	75 (3)	25 (1)

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.9.7 Ukuran Agregat Kasar Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan yaitu maks 20 mm. Ukuran agregat ditetapkan sesuai dengan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

1. $1/5$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
2. $1/3$ ketebalan pelat lantai, ataupun
3. $3/4$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan, kawat-kawat, bundel tulangan, tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

2.9.8 Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara

Banyaknya air untuk tiap satuan isi beton yang dibutuhkan agar menghasilkan *slump* tertentu tergantung pada ukuran nominal maksimum, bentuk partikel dan gradasi agregat; temperatur beton; perkiraan kadar udara, dan; penggunaan bahan tambahan kimia.

Slump tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya dalam tingkat pemakaian yang normal, penggunaan sedikit bahan tambahan mineral yang halus dapat mengurangi kebutuhan air, perkiraan kebutuhan air untuk beberapa ukuran agregat dan target nilai *slump* yang diinginkan sesuai Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Perkiraan Air Campuran untuk Nilai *Slump* yang Berbeda dan Ukuran Maksimum Nominal Agregat

<i>Slump</i> , mm	Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25 s.d 50	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
75 s.d 100	181	175	168	160	150	142	122	107
150 s.d 175	202	193	184	175	165	157	133	119
>175	216	205	197	184	174	166	154	-
jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat pemaparan sebagai berikut								
Pemaparan ringan	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Pemaparan sedang	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Pemaparan berat	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.9.9 Pemilihan Rasio Air Semen Atau Rasio Air Bahan Bersifat Semen

Rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang diperlukan tidak hanya ditentukan oleh syarat kekuatan, tetapi juga oleh beberapa faktor diantaranya oleh keawetan. Oleh karena agregat, semen, dan bahan bersifat semen yang berbeda-beda umumnya menghasilkan kekuatan yang berbeda untuk rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang sama, sangat dibutuhkan adanya hubungan antara kekuatan dengan w/c atau $w/(c+p)$ dari bahan-bahan yang sebenarnya akan dipakai. Bila data ini tidak ada, maka perkiraan dan nilai lama dari beton yang menggunakan semen *Portland* tipe I, diberikan dalam Tabel 2.9.

Nilai rasio semen-air didapatkan dari data kekuatan beton umur 28 hari, MPa dan rencana beton tanpa atau dengan tambahan udara dalam beton. Pendekatan lainnya dapat menggunakan SNI 2847:2013 yang memperhitungkan kuat tekan perlu dan deviasi standar hasil uji.

Tabel 2. 9 Hubungan Rasio Material Air-Semen dan Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan umur 28 hari [(<i>Compressive strength</i> <i>at 28 days</i>), MPa (Kg/cm ²)]	Rasio air semen berdasarkan berat (<i>Water-cementitious materials ratio by mass</i>)	
	Beton tanpa tambahan udara (<i>Non-air-entrained concrete</i>)	Beton dengan tambahan udara (<i>Air-entrained concrete</i>)
45 (450)	0,38	0,30
40 (400)	0,42	0,34
35 (350)	0,47	0,39
30 (300)	0,54	0,45
25 (250)	0,61	0,52
20 (200)	0,69	0,60
15 (150)	0,79	0,70

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.9.10 Perhitungan Kadar Semen

Banyaknya semen untuk tiap satuan volume beton diperoleh dari nilai di langkah 3 perkiraan kebutuhan air pencampur dan dibagi dengan langkah 4 rasio air-semen. Jika persyaratannya memasukkan pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari persyaratan kekuatan dan keawetan, campuran

haruslah didasarkan pada kriteria apapun yang mengarah pada pemakaian semen yang lebih banyak. Penggunaan bahan pozolanik atau bahan tambahan kimia akan mempengaruhi sifat-sifat dari beton baik beton segar maupun beton yang telah mengeras dan penghitungannya masuk dalam kadar semen.

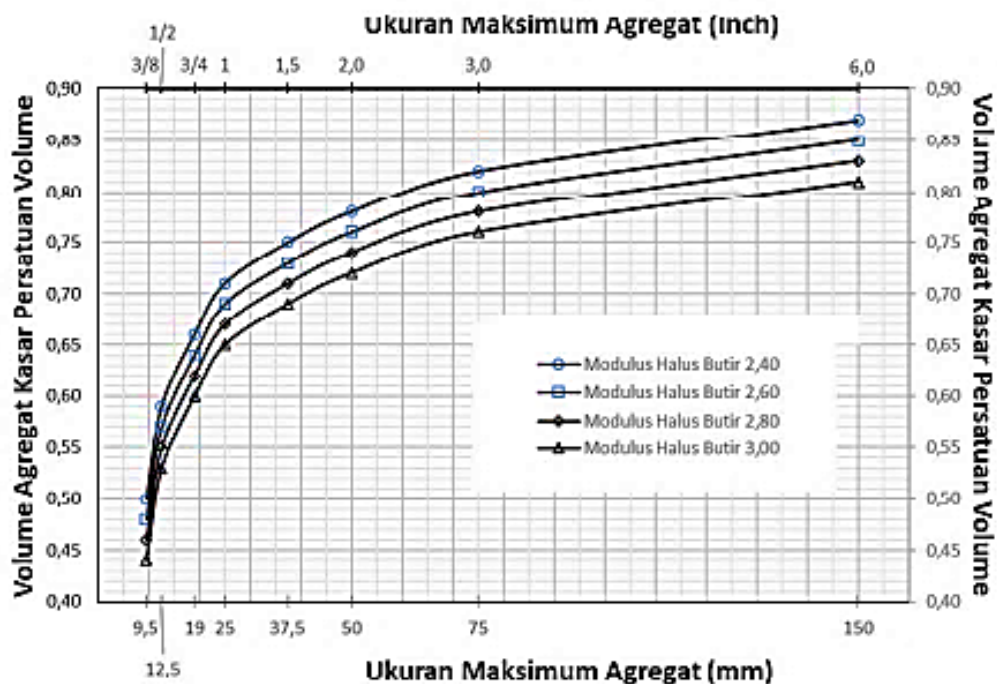
2.9.11 Perkiraan Kadar Agregat Kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton. Volume agregat kasar per satuan volume beton dapat diperkirakan dari Tabel 2.10 atau Gambar 2.4, atau dilakukan perhitungan secara analitis atau grafis. Nilai perkiraan kadar agregat kasar didapatkan dari data ukuran maksimum agregat dan modulus kehalusan dari agregat halus yang digunakan.

Tabel 2. 10 Berat Isi Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Nominal maximum size of aggregate, mm (in.)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan** dari agregat halus (<i>Bulk volume of dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate**</i>)			
	2,40	2,6	2,8	3,00
9,5 (3/8)	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2)	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4)	0,66	0,64	0,62	0,60
25 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1½)	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3)	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

(Sumber: SNI 7656:2012)



Gambar 2. 4 Hubungan Ukuran Nominal Maksimum Agregat dengan Fraksi Halus (Diadaptasi dari Tabel 9-4, ACI 211.1 dan Hover (1995 dan 1998) dan Tabel SNI 7656:2012)

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.9.12 Perkiraan Kadar Agregat Halus

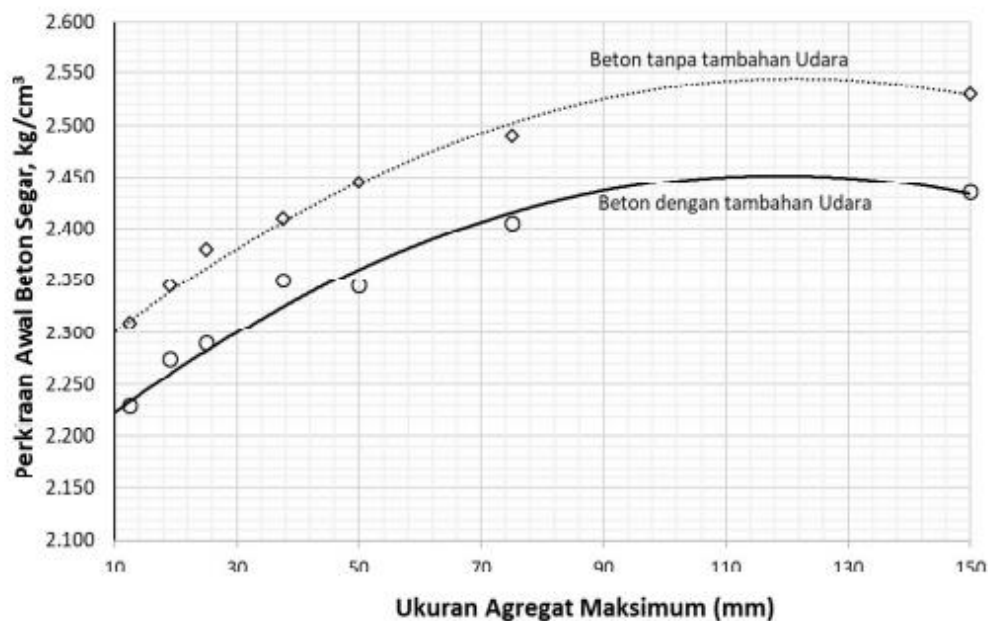
Agregat halus didapatkan dari perkiraan awal berat beton segar dengan data ukuran nominal maksimum agregat (mm) dan penggunaan tanpa tambahan udara atau tidak dalam beton menggunakan Tabel 2.11 atau Gambar 2.5 Nilainya didapatkan dengan mengurangi berat semen dan air pada berat isi perkiraan beton segar.

Tabel 2. 11 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat	Perkiraan awal berat beton segar	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290

37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

(Sumber: SNI 7656:2012)



Gambar 2. 5 Hubungan butir maksimum agregat dengan perkiraan awal berat beton segar (Diadaptasi dari Tabel 6 SNI 7656:2012)

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.9.13 Penyesuaian Terhadap Kelembapan Agregat

Jumlah agregat yang harus ditimbang untuk beton harus memperhitungkan banyaknya kandungan air yang terserap dalam agregat yang didapatkan dari hasil pengujian kadar air. Banyaknya air pencampuran yang harus ditambahkan ke dalam campuran haruslah dikurangi sebanyak air bebas yang didapat dari agregat, yaitu jumlah air dikurangi air terserap yang didapatkan dari hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat.

2.9.14 Proporsi Campuran Percobaan

Campuran percobaan di laboratorium, akan lebih mudah bila berat campuran tersebut diperkecil dalam volume tertentu sesuai kapasitas alat adukan atau sesuai volume benda uji yang akan dibuat. Pertimbangan terhadap kemudahan pekerjaan diperhitungkan.

2.9.15 Penyesuaian Proporsi Campuran

Penyesuaian susunan campuran yang ditentukan atas dasar volume absolut.

Rancanglah campuran beton dengan data sebagai berikut:

1. Struktur beton akan digunakan untuk struktur di bawah permukaan tanah (Pondasi Tapak) pada lokasi yang tidak akan terpapar pada cuaca terlalu buruk atau serangan sulfat.
2. Pemadatan beton dikerjakan secara manual dengan menggunakan tangan.
3. Syarat kekuatan tekan rencana pada umur 28 hari sebesar 41 MPa dengan bagian yang cacat 5% dan data deviasi standar (penyimpangan) beton tidak tersedia.
4. Ukuran nominal agregat maksimum 37,5 mm hasil uji ayakan memberikan Modulus halus butir agregat kasar 6,25 dan agregat halus 2,75.
5. Berat jenis pada kondisi jenuh kering permukaan dan penyerapan agregat halus sebesar 2,65 dan 0,85%.
6. Berat jenis pada kondisi jenuh kering permukaan dan penyerapan agregat kasar hasil uji sebesar 2,675 dan 0,65%.
7. Hasil uji kadar air agregat halus sebesar 2,62% dan agregat kasar 1,05%.
8. Hasil uji berat kering oven agregat halus 1625 kg/m³ dan agregat kasar adalah 1585 kg/m³
9. Semen yang digunakan adalah semen tanpa tambahan udara Tipe 1 dengan hasil uji berat jenis sebesar 3,125.
10. Air menggunakan potable water (air yang dapat diminum) dengan berat jenis air sebesar 1.
11. Kandungan organis dalam pasir 2%, lumpur 2,5% dan butir yang lolos #200 sebesar 1,75%.

2.10 Pembuatan dan Perawatan di Laboratorium

Kegiatan ini melingkupi cara pembuatan benda uji beton di laboratorium sesuai dengan ketentuan yang sudah ditentukan dengan tujuan untuk memperoleh benda uji di laboratorium yang memenuhi syarat.

Pembuatan dan perawatan beton di lapangan menurut SNI 2493-2011 yaitu:
Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Cetakan balok dengan ukuran 15×30 cm
2. Batang penusuk
3. Palu
4. Alat penggetar
5. Alat pengambil beton
6. Wadah pengambilan adukan yang akan diuji
7. Peralatan saringan basah
8. Alat uji untuk kadar udara
9. Timbangan
10. Pengaduk beton

Adapun bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Cara pembuatan beton sebagai berikut.

1. Tuangkan agregat dan Sebagian air pencampur ke dalam mixer sebelum mulai pengadukan. Nyalakan pengaduk lalu tambahkan agregat halus, semen, dan air yang tersisa Ketika mesin sedang berjalan. Jika penambahan bahan tidak dapat dilangsungkan saat mesin sedang berjalan, maka mixer dimatikan dulu. Setelah seluruh bahan di masukan ke dalam mixer beton di aduk lagi selama 3 menit, lalu 3 menit berhenti, dan di teruskan 2 menit untuk diaduk sampai merata. Agar tidak terjadi *segregasi* mixer harus tertutup rapat saat berhenti, bersihkan sisa adukan lalu gunakan sekop untuk di aduk kembali hingga merata.
2. Pilih bagian campuran beton yang akan digunakan kedalam pengujian untuk cetakan benda uji yang mewakili perbandingan dengan keadaan sebenarnya. Jika beton tidak diaduk atau diambil sampelnya, tutup kembali untuk mencegah penguapan.
3. Pada masing-masing campuran beton hitung nilai *slump* nya.
4. Jika nilai *slump* sudah memenuhi nilai yang ditetapkan, agar tidak terjadi *segregasi* gunakan sekop untuk mencampur kembali Beton segar yang ada di wadah.

5. Cara pemadatan bisa dilakukan dengan ditusuk atau di getar dari luar maupun dalam. Nilai *slump* dari adukan beton dapat mempengaruhi pemilihan teknik yang akan digunakan. Pemadatan dikerjakan dengan cara ditusuk apabila *slump* lebih dari 75 mm, pemadatan dapat dikerjakan dengan cara ditusuk atau di getar apabila nilai *slump* antara 25 hingga 75 mm, dan pemadatan dikerjakan hanya dengan cara di getar apabila nilai *slump* dibawah 25mm.
6. Jika benda uji berbentuk Silinder, apabila kekentalannya memungkinkan permukaan beton diratakan dengan batang penusuk dan apabila kekentalan nya tidak memungkinkan diratakan dengan roskam. Semen *Portland* bisa digunakan sebagai perata lapisan tipis pada permukaan silinder.
7. Agar mencegah penguapan air dari beton segar, gunakan plat yang tidak menyerap dan tidak reaktif untuk menutup benda uji, seperti lembaran plastik yang kokoh dan kedap air ataupun goni basah.
8. Setelah 24 ± 8 jam pisahkan benda uji dari cetakan.
9. Rendam benda uji saat dilepaskan dari cetakan sampai pengujian kuat tekan dilakukan di dalam suhu air $23 \pm 1,7$ C. Perawatan juga bisa dilakukan dengan metode Merendam beton di dalam air kapur jenuh atau disimpan di ruangan lembab. Hindari benda uji dari tetesan air atau aliran air.

2.11 Pengujian *Slump Test*

Pengujian *slump* adalah salah satu cara untuk mengetahui, serta menentukan konsistensi atau tingkat kualitas campuran beton adalah dengan cara melakukan pengujian *slump* menurut SNI 1972:2008 sebagai berikut:

Adapun peralatan yang digunakan antara lain:

1. Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
3. Pelat logam yang permukaannya kokoh, rata, dan kedap air.
4. Sendok cekung.
5. Mistar.

Benda uji yang digunakan adalah contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

Cara pengujian *slump* sebagai berikut:

1. Lap cetakan dan plat menggunakan kain basah
2. Tempatkan cetakan di atas plat
3. Beton segar di tuangkan ke cetakan dalam 3 lapis, tiap lapis terdapat 1/3 isi cetakan lalu di tusuk sebanyak 25 tusukan dengan tongkat pemadat
4. Jika penusukan selesai, gunakan tongkat untuk meratakan permukaan benda uji lalu singkirkan benda uji yang jatuh di sekitar cetakan, selanjutnya cetakan diangkat harus selesai.
5. Balikkan cetakan dan angkat secara pelan di samping benda uji, kemudian hitung *slump* dengan mengukur tegak lurus antara ujung cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

2.12 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2019).

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lainnya, misalnya kuat tarik dan modulus elastisitas beton dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut (SNI 2847-2013), kuat tekan beton diberi notasi dengan f'_c , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton (diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm ataupun diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm) ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P , maka terjadi tegangan tekan pada beton (f'_c) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan:

$$(f'_c) = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (2.16)$$

Dengan:

(f'_c) = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Faktor koreksi rasio panjang (L) dengan diameter (D) benda uji yang disajikan pada Tabel 2.12 sebagai berikut (SNI 1974:2011).

Tabel 2. 12 Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D) Benda Uji

L/D	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Faktor	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

(Sumber: SNI 1974:2011)

Koreksi faktor di atas berlaku untuk beton ringan dengan bobot isi antara 1600 kg/m³ sampai dengan 1920 kg/m³ dan untuk beton normal. Koreksi faktor ini berlaku untuk kondisi kering atau basah saat pembebanan. Nilai yang tidak terdapat pada tabel harus ditetapkan dengan interpolasi.