

BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Studi Literatur

Penelitian serupa dilakukan oleh Rival Araz dengan judul “Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Tambah Mutu Beton K-250”, menggunakan abu tempurung kelapa lolos saringan No. 200 sebagai bahan tambah dari berat semen, dengan persentase penambahan 0%, 5,5%, dan 6,5%.

Hasil perhitungan perbandingan kuat tekan beton pada penelitian tersebut, menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai 321,17 kg/cm², sehingga pada variasi campuran ATK 5,5% mengalami penurunan 225,90 kg/cm², kemudian pada variasi campuran ATK 6% mengalami penurunan lagi pada nilai kuat tekan menjadi 197,16 kg/cm², namun pada variasi 6,5% mengalami penurunan menjadi 219,02 kg/cm².

Penelitian lain dilakukan oleh Jevon Febrian Saiselar membahas penggunaan limbah “Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan pecahan tempurung kelapa sebagai bahan tambah terhadap agregat kasar pada kuat tekan beton mutu rencana K-175 (≈ 14 MPa). Perencanaan campuran mengacu pada SNI 03- 2834-2000 dengan benda uji kubus 15×15×15 cm, tiga variasi campuran: 0% (normal), 2%, dan 4% (terhadap berat agregat kasar), masing-masing diuji pada umur 7 dan 14 hari (total 18 benda uji). Nilai *slump* seluruh variasi berada dalam rentang standar 6 – 18 cm (normal 7,5 cm; 2% 9,5 cm; 4% 10 cm). Hasil uji menunjukkan peningkatan kuat tekan dibanding beton normal: pada umur 7 hari berturut-turut 13,0 MPa (0%), 14,2 MPa (2%), dan 15,6 MPa (4%); pada umur 14 hari 13,6 MPa (0%), 15,0 MPa (2%), dan 16,7 MPa (4%). Dengan demikian, penambahan pecahan tempurung kelapa hingga 4% efektif meningkatkan kuat tekan beton tanpa mengganggu kelecakan, dan dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pemanfaatan limbah yang bernilai tambah pada material beton.

Penelitian berjudul “Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah” yang dilakukan oleh Saepul

menggunakan metode penelitian eksperimen, yaitu pembuatan benda uji beton yang menggunakan cetakan silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm dengan mengaplikasikan limbah tempurung kelapa sebagai bahan campuran dengan perbandingan mix desain variasi 0%, 2%, 5%, 10% dan 15% terhadap berat semen.

Hasil pengujian menunjukkan beton dengan penambahan abu tempurung kelapa dengan variasi penambahan 0%, 2%, 5%, 10% dan 15% dihasilkan kuat tekan umur 28 hari pada setiap variasi campuran yaitu beton 0% tempurung kelapa 30,37 MPa, beton 2% tempurung kelapa 33,76 MPa, beton 5% tempurung kelapa 36,50 MPa, beton 10% tempurung kelapa 31,22 MPa, dan beton 15% tempurung kelapa sebesar 30,56 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan tambahan abu tempurung kelapa mempengaruhi kuat tekan beton, terlihat pengaruh tertinggi peningkatan kuat tekan beton yaitu pada variasi 5% abu tempurung kelapa dari berat semen.

Tabel 2. 1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Sebelumnya

No.	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
1.	Rival Araz	Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Tambah Mutu Beton K-250	- Menggunakan bahan tambah Abu Tempurung Kelapa. - Tinjauan Analisa Kuat Tekan Beton.	- Variasi penambahan 0%, 4%, 8%, 12%, dan 16%.
2.	Jevon Febrian Saiselar	Pengunaan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton	- Menggunakan bahan tambah Tempurung Kelapa - Tinjauan Analisa Kuat Tekan Beton	- Menggunakan penambahan pecahan tempurung kelapa sebagai bahan tambah terhadap agregat kasar pada kuat tekan

No.	Nama	Judul	Persamaan	Perbedaan
				beton mutu rencana K-175. - Perencanaan campuran dengan benda uji kubus 15x15x15 cm.
3.	Saepul	Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah	- Menggunakan bahan tambah Abu Tempurung Kelapa. - Tinjauan Analisa Kuat Tekan Beton.	- Variasi penambahan 0%, 4%, 8%, 12%, dan 16%.

2.2 Beton

Beton adalah material komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau batu pecah), dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*), yang mengeras membentuk massa padat. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 2847-2013), beton didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan, yang membentuk massa padat.

Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh kualitas masing-masing material penyusunnya serta proporsi campurannya. Penggunaan bahan tambahan (*admixture*) dapat meningkatkan sifat-sifat tertentu dari beton, seperti workability, waktu pengerasan, dan durabilitas (Tjokrodimulyo, 1996)

Beton banyak digunakan dalam konstruksi karena keunggulannya, seperti kemudahan dalam memperoleh bahan baku, kemudahan pengerjaan, dan keawetannya. Material ini banyak digunakan dengan pertimbangan bahwa material

penyusunnya mudah diperoleh, pengerjaannya mudah, dan kekuatannya tinggi serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur sehingga penghematan biaya dapat dilakukan.

2.3 Sifat – Sifat Campuran Beton

2.3.1 Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk dikerjakan, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan maupun sifatnya secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain:

1. Jumlah air

Semakin banyak air yang dipakai semakin mudah beton segar untuk dikerjakan.

2. Kandungan semen

Semakin banyak semen semakin banyak kebutuhan air, untuk memperoleh nilai FAS tetap.

3. Gradasi campuran pasir dan kerikil

Jika campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat yang sesuai dengan standar, maka akan lebih mudah dikerjakan.

4. Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk bulat lebih mudah untuk dikerjakan.

5. Butir maksimum

Kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan, makin besar kerikil makin sulit untuk dikerjakan.

6. Cara pemadatan dan alat pamadat

Cara pemadatan adukan menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan dengan dipadatkan menggunakan tangan.

Workability mengandung makna kemudahan beton segar untuk dicampur, dituang, dipadatkan, dan diselesaikan tanpa mengalami segregasi atau kehilangan homogenitas. Dalam konteks konstruksi, *workability* sangat penting karena mempengaruhi kualitas akhir beton serta efisiensi dalam proses pengerjaan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan *slump*. Percobaan dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dengan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm. Makin besar nilai *slump* berarti adukan semakin encer dan mudah untuk dikerjakan. Pada umumnya nilai *slump* berkisar antara 5-12,5 cm.

2.3.2 Waktu pengikatan (*setting time*)

Waktu pengikatan (*setting time*) adalah waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen atau beton segar untuk mulai mengeras setelah pencampuran dengan air. Proses ini terjadi karena reaksi hidrasi semen, di mana semen bereaksi dengan air membentuk struktur yang semakin padat dan keras. Dengan mengurangi kadar air hingga tingkat tertentu, maka waktu pengikatan dapat dipercepat, sehingga beton lebih cepat kering, dan bahan cetakan beton dapat merekat satu sama lain.

2.3.3 Kedap Air

Beton biasanya memiliki rongga yang disebabkan oleh gelembung udara yang terbentuk selama atau setelah selesainya pencetakan, atau merupakan ruangan yang berisi air yang tidak tercampur sempurna dengan semen selama pengerjaan. Jika suhu air naik, pasti air akan menguap. Kantong udara terbentuk di beton. Rongga udara inilah tempat air masuk dan keluar dari beton.

2.3.4 Keuntungan dan Kerugian Menggunakan Beton

A. Keuntungan menggunakan beton

1. Beton memiliki kekuatan tekan yang sangat tinggi, menjadikannya ideal untuk struktur yang membutuhkan daya tahan terhadap beban berat, seperti gedung tinggi, jembatan, dan infrastruktur lainnya.

2. Beton tahan terhadap berbagai kondisi cuaca ekstrem, termasuk hujan, panas, dan embun beku. Ini membuatnya cocok untuk digunakan di berbagai iklim dan lingkungan.
3. Salah satu sifat unggul beton adalah ketahanannya terhadap api, yang memberikan perlindungan tambahan terhadap risiko kebakaran dan meningkatkan keselamatan bangunan.
4. Beton dapat dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai kebutuhan desain arsitektur. Ini memberikan fleksibilitas bagi arsitek dan insinyur dalam merancang bangunan yang inovatif.
5. Setelah mengeras, beton memerlukan biaya pemeliharaan yang sangat rendah. Struktur beton tidak mudah rusak dan dapat bertahan lama tanpa memerlukan perawatan intensif.
6. Bahan baku untuk beton umumnya melimpah dan dapat didaur ulang. Penggunaan beton juga membantu mengurangi limbah karena dapat menggunakan material lokal.
7. Beton memiliki umur pakai yang panjang, sering kali lebih dari 10 tahun tanpa kehilangan daya tahannya. Ini menjadikannya pilihan yang ekonomis untuk proyek konstruksi jangka panjang.

B. Kerugian menggunakan beton

1. Beton memiliki kekuatan tarik yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekan. Hal ini membuat beton rentan terhadap retak atau patah ketika terkena gaya tarik atau momen lentur.
2. Beton merupakan material yang sangat berat, yang dapat menambah beban pada struktur bangunan. Ini memerlukan pondasi dan kerangka yang kuat untuk menopangnya, serta dapat meningkatkan biaya konstruksi.
3. Beton cenderung mengalami retak dan penyusutan seiring waktu, terutama jika terpapar perubahan suhu atau kelembaban yang ekstrem.
4. Pembuatan dan pengecoran beton memerlukan waktu yang cukup lama, tergantung pada kemampuan penyedia jasa dan kondisi cuaca. Proses ini juga membutuhkan ketelitian tinggi untuk mencapai hasil yang diinginkan.

5. Penggunaan beton seringkali memerlukan biaya tambahan untuk bekisting, yang diperlukan untuk menahan bentuk beton selama proses pengerasan.
6. Produksi beton dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yang tinggi dan berdampak negatif pada lingkungan.
7. Setelah beton mengeras, bentuknya sulit untuk diubah. Ini membatasi fleksibilitas desain jika ada perubahan rencana selama proses konstruksi.

2.3.5 Berat Jenis Beton

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil biasa 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 2.1 (Tjokrodimulyo, 2007).

Tabel 2. 2 Jenis Beton Menurut Berat Jenis dan Pemakaiannya

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: Tjokrodimulyo, 2007)

2.3.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastinya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$E_c = (W_c) 1.5 \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \quad (2. 1)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ untuk beton normal} \quad (2. 2)$$

Dimana:

$$E_c = \text{Modulus elastisitas beton (MPa)}$$

W_c = Berat jenis beton (kg/m^3)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

2.3.7 Bahan Bahan Campuran Beton

A. Semen Portland

Semen Portland adalah jenis semen yang paling umum digunakan di seluruh dunia sebagai bahan dasar untuk beton, mortar, plester, dan adukan non-spesialisasi. Semen ini dikembangkan pada pertengahan abad ke-19 di Britania Raya oleh Joseph Aspdin dan dinamai berdasarkan kesamaannya dengan batu Portland yang ditemukan di Pulau Portland, Inggris. Semen Portland bersifat hidraulis, artinya dapat mengeras ketika bereaksi dengan air, membentuk produk yang tahan air. Komposisi utamanya terdiri dari kalsium silikat, yang biasanya mencakup lebih dari dua pertiga massa klinker. Selain itu, semen ini juga mengandung kalsium sulfat sebagai bahan tambahan.

Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Sifat Fisika Semen Portland

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

2. Sifat – Sifat Kimiawi

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. Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu:

- a. Trikalsium Silikat (3CaO SiO_2) yang disingkat menjadi C3S.
- b. Dikalsium Silikat (2CaO SiO_2) yang disingkat menjadi C2S.
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C3A.
- d. Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C4AF.

Jenis – jenis semen Portland terbagi menjadi 5 *type* yaitu:

1. Semen Portland *type* I

Semen Portland Tipe I adalah jenis semen serbaguna (*ordinary Portland cement*) yang digunakan untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terkait ketahanan terhadap sulfat, panas hidrasi, atau kekuatan awal yang tinggi. Karakteristik Semen Portland *Type I* ini cocok digunakan di lokasi pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai dan memiliki kadar sulfat rendah.

2. Semen Portland *type II*

Semen Portland Tipe II adalah jenis semen yang memiliki ketahanan sedang terhadap sulfat dan panas hidrasi yang lebih rendah dibandingkan Tipe I. Semen ini digunakan pada proyek konstruksi yang berisiko mengalami serangan sulfat, seperti bangunan di dekat air tanah atau daerah pantai. Karakteristik Semen Portland *Type II* yaitu tahan terhadap asam sulfat antara 0,10 hingga 0,20 persen dan hidrasi panas yang bersifat sedang.

3. Semen Portland *type III*

Semen Portland Tipe III adalah semen dengan kekuatan awal tinggi (*High Early Strength Cement*) yang dirancang untuk proyek konstruksi yang membutuhkan pengerasan cepat dan kekuatan awal tinggi dalam waktu singkat. Karakteristik Semen Portland *Type III* diantaranya adalah memiliki daya tekan awal yang tinggi pada permulaan setelah proses pengikatan terjadi, lalu kemudian segera dilakukan penyelesaian secepatnya.

4. Semen Portland *type IV*

Semen Portland Tipe IV adalah semen dengan panas hidrasi rendah (*Low Heat Cement*) yang dirancang untuk mengurangi peningkatan suhu selama proses hidrasi. Semen ini digunakan untuk proyek beton masif di mana pengendalian suhu sangat penting untuk mencegah retak akibat perbedaan suhu yang ekstrem. Karakteristik Semen Portland IV adalah jenis semen yang dalam penggunaannya membutuhkan panas hidrasi rendah.

5. Semen Portland *type V*

Semen Portland Tipe V adalah semen dengan ketahanan tinggi terhadap sulfat (*High Sulfate Resistance Cement*) yang digunakan pada proyek konstruksi yang terpapar lingkungan dengan kadar sulfat tinggi, seperti daerah pesisir, rawa, dan pabrik kimia. Karakteristik Semen Portland *Type V* untuk konstruksi bangunan yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap kadar asam sulfat tingkat tinggi lebih dari 0,20 persen.

B. 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.

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 :

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.

C. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati

sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, *homogen*, rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. Agregat terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Agregat kasar (kerikil, batu pecah atau pecahan dari blast furnace)

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 5 mm – 40 mm (SNI-03-2834-2002). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap desintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan sel semen. Jenis-jenis agregat kasar yang umum yaitu:

- a. Batu pecah alami

Batu pecah alami adalah material agregat kasar yang berasal dari batuan alami seperti batu sungai atau gunung, yang mengalami pemecahan secara alami akibat faktor alam, seperti erosi, tekanan air, atau aktivitas geologi. Batu pecah ini berbeda dengan batu pecah buatan, yang dihasilkan melalui proses pemecahan menggunakan mesin pemecah batu (stone crusher).

- b. Kerikil alami

Kerikil alami adalah batuan kecil yang terbentuk secara alami akibat proses pelapukan, erosi, dan abrasi oleh air, angin, atau faktor geologi lainnya. Kerikil ini umumnya ditemukan di sungai, pantai, atau daerah pegunungan dan memiliki bentuk yang lebih bulat dan halus dibandingkan batu pecah buatan.

- c. Agregat kasar buatan

Agregat kasar buatan adalah material agregat yang diproduksi melalui proses mekanis seperti penghancuran batuan besar menggunakan mesin stone crusher atau dengan metode manufaktur khusus, seperti agregat ringan dari bahan baku tertentu.

d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Dengan adanya tuntunan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma dan neutron.

2. Agregat halus (pasir alami atau batuan)

Agregat halus ialah agregat yang semua butir menembus ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat tersebut dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu:

- a. Pasir galian, diperoleh langsung dari permukaan tanpa atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Tetapi biasanya dibersihkan dari kotoran tanah dengan cara dicuci.
- b. Pasir Sungai, diperoleh dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, bulat bulat akibat proses gesekan, daya lekat antar butir agak kurang, karena butirannya bulat. Karena butirannya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok.
- c. Pasir Laut, diambil dari pantai, butiran-butirannya halus dan bulat. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman yang menyerap kandungan air dan udara. Hal ini menyebabkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

2.3.8 Bahan Tambah

Bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.

2.3.8.1 Tempurung Kelapa

Tanaman kelapa merupakan tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia, sehingga hasil alam berupa kelapa di Indonesia sangat melimpah. Tanaman kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu tanaman yang termasuk dalam *famili Palmae* dan banyak tumbuh di daerah tropis, seperti di Indonesia (Astuti, 2021). Tanaman kelapa membutuhkan lingkungan hidup yang sesuai untuk pertumbuhan dan produksinya. Faktor lingkungan itu adalah sinar matahari, temperatur, curah hujan, kelembaban, dan tanah (Amin & Samsudi, 2010).

Salah satu bagian yang terpenting dari tanaman kelapa adalah buah kelapa. Buah kelapa terdiri dari beberapa bagian, yaitu epicarp, mesocarp, endocarp, dan endosperm (Hajrin, 2023). Epicarp yaitu kulit bagian luar yang permukaannya licin agak keras dan tebalnya $\pm$ mm. *Mesocarp* yaitu kulit bagian tengah yang disebut sabut. Bagian ini terdiri dari serat-serat yang keras, tebalnya 3-5 cm. *Endocarp* yaitu bagian tempurung yang sangat keras. Tebalnya 3-6 mm. Bagian dalam melekat pada kulit luar dari endosperm yang tebalnya 8-10 mm. Buah kelapa yang telah tua terdiri dari 35% sabut, 12% tempurung, 28% *endosperm*, dan 25% air (Purnama, 2013). Bagian dari buah kelapa yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan dalam kehidupan sehari-hari adalah daging buah dan air kelapanya, sehingga tempurung kelapa dibuang begitu saja dan kurang dimanfaatkan. Oleh karena itu, studi pemanfaatan tempurung kelapa perlu dilakukan agar lebih memiliki nilai guna, sehingga dapat mereduksi jumlah tempurung kelapa dalam timbunan sampah.

Sifat pozzolan dari tempurung kelapa (khususnya dalam bentuk abu tempurung kelapa) berkaitan dengan kemampuannya bereaksi secara kimia dengan senyawa hasil hidrasi semen. Pozzolan adalah material yang mengandung silika (SiO_2) atau alumina (Al_2O_3) yang tidak memiliki sifat pengikat sendiri, tetapi akan bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) hasil hidrasi semen untuk

membentuk senyawa pengikat tambahan. Abu tempurung kelapa memiliki sifat pozzolan karena mengandung silika reaktif yang cukup tinggi sehingga mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen. Material ini tidak memiliki sifat mengikat sendiri, namun dalam kondisi halus dan adanya air, abu tempurung kelapa akan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berperan dalam meningkatkan kekuatan beton. Selain itu, ukuran partikel yang halus memungkinkan abu ini mengisi rongga-rongga dalam campuran beton sehingga struktur menjadi lebih padat dan porositas berkurang. Reaksi pozzolan yang terjadi berlangsung lebih lambat dibandingkan semen, sehingga peningkatan kuat tekan biasanya lebih terlihat pada umur beton yang lebih panjang. Dengan berkurangnya kandungan kalsium hidroksida bebas, beton juga menjadi lebih tahan terhadap serangan kimia dan memiliki durabilitas yang lebih baik.

2.3.8.2 Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa (*coconut shell ash*) merupakan limbah dari hasil pembakaran tempurung kelapa sampai menjadi arang kemudian ditumbuk sampai menjadi halus dan dilakukan pengayakan untuk memperoleh abu yang lolos saringan no 200. Apabila tempurung kelapa dibakar pada suhu terkontrol, maka akan menghasilkan abu tempurung kelapa yang mempunyai sifat *pozzolanik* sehingga abu tempurung kelapa termasuk salah satu bahan tambah mineral (*mineral admixture*).



Gambar 2. 1 Abu Tempurung Kelapa

Berdasarkan penelitian yang ditinjau penambahan abu tempurung kelapa dapat meningkatkan kuat tekan beton. Dalam beberapa penelitian, nilai kuat tekan optimal terjadi pada proporsi abu tempurung kelapa tertentu. Misalnya, satu studi menemukan bahwa nilai kuat tekan maksimum terjadi pada proporsi 10% abu tempurung kelapa. Namun, penambahan abu tempurung kelapa yang berlebihan justru dapat menurunkan nilai uji tekan dan kekerasan. Keawetan beton adalah kemampuan untuk menahan kerusakan yang ditimbulkan dalam jangka waktu yang lama. Keawetan beton dapat diukur melalui daya serap atau laju penyerapan air dan ketahanan terhadap serangan sulfat. Benda uji yang dipakai kuat tekan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil Pengujian Kuat tekan 28 hari pada beton normal adalah 14,720 Mpa, beton dengan substitusi abu tempurung kelapa variasi 3,5% dan 7% sebesar 12,078 MPa dan 10,946 Mpa. Hasil pengujian kuat lentur 28 hari pada variasi 3,5% dan 7% mendapatkan hasil nilai sebesar 0,91 Mpa dan 0,85 Mpa. Kesimpulan hasil kuat tekan dan kuat lentur variasi campuran kadar abu tempurung kelapa paling optimum pada penelitian ini adalah dengan variasi 3,5% diumur 28 hari.

2.4 Material Penyusut Beton

2.4.1 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.

Menurut Tjokrodimulyo (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).

2.4.1.2 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 5 mm – 40 mm (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.

2.4.1.3 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 Tjokrodimulyo (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 sferikal. Kebulatan atau ketajaman sudut, ialah sifat yang dimiliki yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir. Sedangkan sferikal 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 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 kemampatannya tinggi.

7. Kadar Air Agregat

Kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu benar-bener tidak berair atau dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, yaitu butir-butir agregat kering permukaanya 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.

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.

8. 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.

2.4.2 Semen Portland

Semen portland adalah bahan hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung silikat-silikat kalsium yang

bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982) gips disini berfungsi sebagai penghambat pengikatan antara semen dan air.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat yang akan mengisi rongga-rongga diantara butir butir agregat. Persentase kandungan semen dalam beton yaitu 10 % dari berat campuran beton, walaupun hanya 10 % tapi semen sangat penting karena semen berfungsi untuk mengikat agregat halus dan agregat kasar pada beton.

1. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland terbagi dalam 5 jenis yaitu: Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak menggunakan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis lain.
2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
5. Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

2.4.3 Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan semen, dan menjadi pelumas agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30 % dari berat semen (Tjokrodimulyo, 2007). Air adalah campuran beton yang menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan terjadinya proses hidrasi yang tidak merata.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat standar yang telah ditentukan. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syaratnya adalah :

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gr/liter.

4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 0,5 gr/liter.

2.5 Analisa Uji Material Campuran Beton

Pengujian bahan dilakukan untuk mendapatkan mix design. Pengujian bahan bertujuan mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam bahan tersebut sesuai dengan peraturan. Pemeriksaan karakteristik agregat yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian bahan penyusun beton:

2.5.1 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

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 kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.
2. Benda uji
 - a. Agregat halus.

- b. Agregat kasar.
- 3. Prosedur pengujian
 - a. Peralatan dan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu.
 - b. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - c. Setelah benda uji dikeringkan, lalu ditimbang kembali.
 - d. Siapkan satu set saringan yang telah disusun dari ukuran yang besar ke ukuran yang kecil.
 - e. Pasang satu set saringan yang telah diisi benda uji pada mesin pengguncang selama 15 menit.
 - f. Setelah dikeluarkan dari mesin pengguncang, timbang berat benda uji yang tertahan pada setiap nomor saringan.
- 4. Perhitungan

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

2.5.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

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:

2.5.2.1 Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

- 1. Peralatan
 - a. Keranjang kawat.
 - b. Tempat air.
 - c. Timbangan.
 - d. Oven.

- e. Alat pemisah contoh.
 - f. 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. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu.
 - c. Keringkan benda uji dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - d. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan (kira-kira 50°C) kemudian timbang benda uji dalam keadaan kering oven (A).
 - e. Benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
 - f. Keluarkan benda uji dari air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air tersebut hilang.
 - g. Timbang benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya sampai nilai 1,0 gram atau 0,1 persen dari berat contoh (B).
 - h. Letakkan benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air (C) yang mempunyai kerapatan $(997 \pm 2) \text{ kg/m}^3$ pada temperatur $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.
4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{(B - C)} \quad (2.3)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{B}{(B - C)} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B}{(B - C)} \times 100 \% \quad (2.5)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \quad (2.6)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram).

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

C = berat benda uji di dalam air (gram).

2.5.2.2 Cara Pelaksanaan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

1. Peralatan
 - a. Timbangan.
 - b. Piknometer.
 - c. Kerucut perpancung.
 - d. Batang penumbuk.
 - e. Saringan no 4 (4,75 mm).
 - f. Oven.
 - g. Pengukur suhu.
 - h. Talam.
 - i. Bejana tempat air.
 - j. Pompa hampa udara.
 - k. 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. Kemudian basahi dengan air baik dengan cara melembabkan sampai 6 % atau merendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
 - b. Buang air perendam dengan hati-hati, lalu tebarkan agregat diatas talam, keringkan pada aliran udara yang hangat, dengan cara membalik-balikan benda uji, lakukan pengeringan sampai keadaan jenuh kering permukaan.
 - c. Periksa keadaan jenuh kering permukaan dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
 - d. Isi piknometer dengan air sebagian saja, setelah itu masukan benda uji jenuh kering permukaan (500 ± 10) gram. Tambahkan kembali air

sampai 90 % kapasitas piknometer. Putar dan guncangkan piknometer sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.

- e. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
- f. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (C).
- f. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- h. Setelah benda uji dingin kemudian ditimbang (A).
- g. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (B).

4. Perhitungan

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (2.7)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (2.8)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (2.9)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(S - A)}{A} \times 100 \% \quad (2.10)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram).

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

C = berat benda uji di dalam air (gram).

S = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram).

2.5.3 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

- a. Timbangan.
- b. Oven.
- c. Talam.

2. Benda uji
 - a. Agregat halus.
 - b. Agregat kasar.
3. Prosedur Pengujian
 - a. Berat talam ditimbang dan dicatat (W1).
 - b. Benda uji dimasukkan ke dalam talam, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya (W2).
 Berat benda uji dihitung ($W_3 = W_2 - W_1$). (2. 11)
 - c. Contoh benda uji dikeringkan beserta talam dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C.
 - d. Setelah kering, contoh benda uji beserta talam ditimbang dan dicatat (W4).
 Berat benda uji kering dihitung ($W_5 = W_4 - W_1$). (2. 12)
4. Perhitungan.

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100 \% \quad (2. 13)$$

Keterangan:

W_3 = berat benda uji semula (gram).

W_5 = berat benda uji kering (gram).

2.5.4 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
 - a. Timbangan.
 - b. Batang penusuk.
 - c. Alat penakar berbentuk silinder.
 - d. Sekop atau sendok.
2. Benda uji

- a. Agregat halus.
 - b. 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 lagi 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 :

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad (2.14)$$
 - 9) Hitung kadar rongga udara dengan rumus:

$$MSSD = M \left\{ 1 + \frac{A}{100} \right\} \quad (2.15)$$
 - 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.

2.5.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur < 5 % merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton.

Cara pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Peralatan

- a. Gelas ukur.
- b. Alat pengaduk.

2. Benda uji

Sampel pasir secukupnya dalam kondisi lapangan dengan bahan pelarut air.

3. Prosedur Pengujian

- a. Contoh benda uji dimasukkan ke dalam gelas ukur.
- b. Air ditambahkan pada gelas ukur guna melarutkan lumpur.
- c. Gelas dikocok untuk mencuci pasir dari lumpur.
- d. Gelas disimpan pada tempat yang datar dan biarkan lumpur mengendap setelah 24 jam.
- e. Tinggi pasir (V₁) dan tinggi lumpur (V₂) diukur.

4. Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \% \quad (2.16)$$

Keterangan:

V₁ = tinggi pasir (mm).

V₂ = tinggi lumpur (mm).

2.5.6 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

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. Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
- b. Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
- c. Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (No 4). Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
- d. Gradasi D, bahan lolos 6,3 mm sampai tertahan 2,36 mm (No 8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
- e. Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- f. Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
- g. Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

3. Prosedur Pengujian

- a. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu cara dari 7 (tujuh) cara berikut:
- b. Benda uji dibersihkan dan dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.
- c. Benda uji dan bola bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles.
- d. Mesin diputar dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 RPM dengan jumlah putaran gradasi 500 putaran.
- e. Setelah selesai pemutaran, benda uji dikeluarkan dari mesin kemudian disaring menggunakan saringan no. 12 (1,7 mm) dan butiran yang

tertahan diatasnya dicuci hingga bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven sampai berat tetap.

- f. 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

$$\text{Keausan} = \frac{(a-b)}{a} \times 100 \% \quad (2.17)$$

Keterangan:

a = berat benda uji semula (gram).

b = berat benda uji tertahan saringan No 12 (1,70 mm) (gram).

2.6 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun ini ditentukan melalui sebuah perhitungan (*mix design*). Metode dalam menentukan proporsi campuran pada penelitian ini digunakan standar sesuai (SNI 03-2834-2000) tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

Perhitungan ini dilakukan dengan berdasarkan kekuatan tekan rencana serta workabilitas yang digunakan. Dua indikator ini sangat kontradiktif, dimana kekuatan beton akan meningkat jika penggunaan air pada pencampuran rendah. Namun demikian, workabilitas yang dicapai juga rendah sehingga sulit dikerjakan. Sebaliknya, jika workabilitas yang direncanakan tinggi, jumlah air yang digunakan tinggi sementara kuat tekan yang dihasilkan menjadi rendah.

Pemilihan agregat juga mempengaruhi sifat pengerjaan beton. Butiran yang besar akan menyebabkan segregasi, sedangkan butiran yang kecil menyebabkan kuat tekan beton yang rendah.

Sifat-sifat beton dapat direncanakan berdasarkan sifat material penyusunnya. *Mix design* adalah pemilihan bahan penyusun beserta proporsinya. Proporsi campuran beton harus menghasilkan beton yang memenuhi persyaratan berikut:

1. Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara serba sama (*homogen*).
2. Keawetan terhadap pengaruh-pengaruh serangan agresif lingkungan (durabilitas).
3. Ketentuan tekan karakteristik atau kekuatan tekan minimum yang dikehendaki (*Compressive strength*).
4. Harga adukan harus ekonomis. Dalam praktek ada beberapa metode rancangan campuran beton yang telah dikenal, antara lain Metode DOE yang dikembangkan oleh *Department of Environment* di Inggris dan Metode ACI (*American Concrete Institute*). Metode rancangan campuran dengan cara DOE ini di Indonesia dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam (SNI 03-2834-2000) “Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal”. Secara garis besar metode tersebut didasarkan pada hubungan empiris, bagan, grafik dan tabel. Berikut adalah prosedur perancangan campuran beton.

2.6.1 Kuat Tekan Beton (f'_c) yang Disyaratkan

Kuat tekan beton yang disyaratkan sesuai dengan persyaratan perencanaan dan kondisi setempat pada umur 28 hari, yaitu kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5%. Tabel 2.2 (Tjokrodimulyo, 2007).

Tabel 2. 3 Mutu Beton dan Penggunaannya

No	Jenis Beton	f'_c (MPa)	Uraian
1	Mutu tinggi	$f'_c \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya.

No	Jenis Beton	f_c' (MPa)	Uraian
2	Mutu sedang	$20 \leq f_c' < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong – gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
3	Mutu rendah	$15 \leq f_c' < 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar.
		$f_c' < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

(Sumber: Tjokrodimulyo, 2007)

2.6.2 Deviasi Standar

Nilai deviasi standar diperoleh apabila fasilitas produksi beton telah mempunyai catatan hasil uji. Data hasil pengujian yang dijadikan sebagai dasar perhitungan standar deviasi harus:

1. Mewakili material, prosedur kontrol kualitas, dan kondisi serupa, dan perubahan-perubahan pada material ataupun proporsi campuran dalam data pengujian tidak perlu dilakukan lebih ketat.
2. Mewakili beton yang dibuat untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan pada kisaran 7 MPa.
3. Terdiri dari sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlah sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian.

Apabila fasilitas produksi beton tidak mempunyai catatan hasil uji yang memenuhi syarat di atas, tetapi mempunyai catatan uji sebanyak 15 sampai 29 hasil pengujian secara berurutan, maka deviasi standar ditentukan sebagai hasil perkalian antara nilai deviasi standar yang dihitung dan faktor modifikasi pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 4 Faktor Pengaruh Deviasi Standar

No	Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
1	Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1.1 1 (5)
2	15	1,16
3	20	1,08
4	30	1,03
5	30 atau lebih	1,00

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2002)

Jika pelaksana tidak mempunyai catatan hasil pengujian serupa pada masa yang lalu/bila data hasil uji kurang dari 15 buah, maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa.

Pada penelitian ini, karena pengujian yang akan dilakukan merupakan pengujian pertama kali, maka standar deviasi tidak ada atau dapat diambil nilai dengan pengendalian yang jelek senilai 7 MPa.

2.6.3 Nilai Tambah (Margin)

Penelitian ini merupakan pengujian pertama kali, maka tidak ada rekan pengujian, maka dapat langsung ditetapkan nilai tambah/margin sebesar 12 MPa. Apabila dihitung menurut rumus:

$$M = 1,64 \times S_r \quad (2. 18)$$

Keterangan:

M = Nilai tambah margin

1,64 = tetapan statistic yang nilainya tergantung persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

S_r = deviasi standar rencana

2.6.4 Kuat Tekan Rata – Rata

Penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan di hitung dengan rumus berikut :

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (2. 19)$$

$$f_{cr} = f'_c + 1,64 S_r \quad (2. 20)$$

Keterangan:

f_{cr} = Nilai yang ditentukan.

f'_c = Nilai batas.

M = Nilai Tambah.

S_r = Deviasi standar rencana.

2.6.5 Jenis Semen

Menurut SNI 2049-2015 di Indonesia semen portland dibedakan menjadi 5 tipe. Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I. Berikut fungsi pemakaian sesuai dengan tipe semen Portland. Tabel 2.4 (SNI 2049-2015).

Tabel 2. 5 Tipe Semen dan Fungsinya

Tipe Semen	Syarat Penggunaan	Pemakaian
I	Kondisi biasa, tidak memerlukan persyaratan khusus.	Perkerasan jalan, gedung, jembatan biasa dan konstruksi tanpa serangan sulfat.
II	Serangan sulfat konsentrasi sedang.	Bangunan tepi laut, dam, bendungan, irigasi dan beton massa.
III	Kekuatan awal tinggi.	Jembatan dan pondasi dengan beban berat.
IV	Panas hidrasi rendah.	Pengecoran yang menuntut panas hidrasi rendah dan diperlukan setting time yang lama.
V	Ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.	Bangunan dalam lingkungan asam, tangki bahan kimia dan pipa bawah tanah.

(Sumber: SNI 2049-2015)

2.6.6 Jenis Agregat

Penetapan jenis agregat pada penelitian ini yaitu agregat kasar berupa batu pecah (kerikil) dan alami (pasir) untuk agregat halus.

2.6.7 Faktor Air Semen

Untuk menentukan nilai faktor air semen dilakukan dengan cara – cara sebagai berikut:

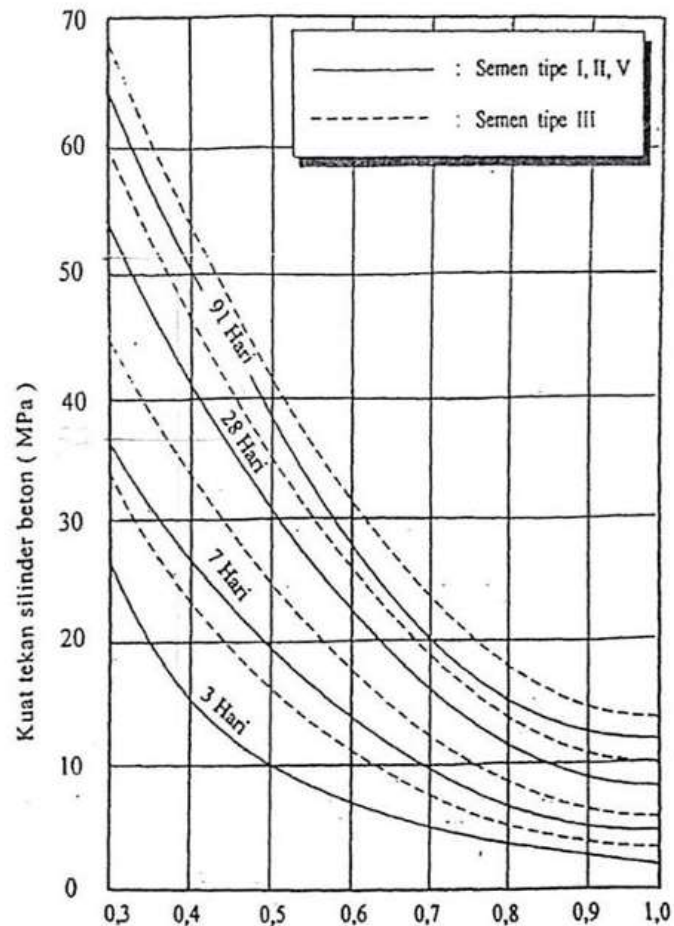
1. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel sesuai dengan jenis semen dan agregat yang akan dipakai.
2. Lihat grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik untuk benda uji berbentuk kubus.
3. Tarik tegak lurus keatas melalui nilai fas sampai memotong kurva kuat tekan yang di dapat dari poin 1.
4. Tarik lengkung melalui titik pada poin 3 secara proporsional.
5. Tarik garis mendatar melalui kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan poin 4.
6. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan fas yang diperlukan. Tabel 2.5 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 6 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Benda uji
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu dipecahkan	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu dipecahkan	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu dipecahkan	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu dipecahkan	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Pada tabel diatas disesuaikan dengan jenis tipe semen yaitu semen portland tipe I dan jenis agregat kasar yaitu batu pecah serta umur rencana 28 hari dengan bentuk benda uji silinder. Gambar 2.2 (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2. 2 Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).

(Sumber : SNI 7656:2012)

Pada grafik diatas sumbu x sebagai fas dan sumbu y sebagai kuat tekan silinder (MPa). Berikut adalah langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tarik secara vertical nilai fas sesuai dengan nilai pada tabel.
2. Kemudian tarik secara horizontal nilai kuat tekan silinder ke kanan sampai berpotongan dengan nilai fas.

3. Setelah berpotongan kemudian dibuat garis parabola sesuai gambar parabola yang digambar baru. Setelah didapat garis parabola, kemudian gunakan kuat tekan silinder yang direncanakan.
4. Kemudian Tarik secara horizontal dari f'_{cr} sampai menyentuh parabola yang dibuat.
5. Kemudian Tarik kebawah secara tegak lurus sampai menyentuh nilai fas dan kemudian dibaca nilai fas yang dicari.
6. Pada penelitian ini didapat nilai faktor air semen bebasnya.

Tabel 2.6 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan:		
a. keadaan keliling korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. air tawar		
b. air laut		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.6.8 Nilai *Slump*

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan dan jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai *slump* yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (*triller*) dapat dilakukan dengan nilai *slump* yang agak kecil. Nilai *slump* yang diinginkan dapat diperoleh dari Tabel 2.7 di bawah ini :

Tabel 2. 8 Penetapan Nilai *Slump* yang Dianjurkan untuk Berbagai Konstruksi

Pemakaian Beton	<i>Slump</i> (mm)	
	Maks	Min
Pondasi beton bertulang (dinding pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan plat lantai	75	25
Beton massa	50	25

(Sumber: SNI 7656:2012)

2.6.9 Ukuran Agregat 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.

2.6.10 Kadar Air Semen

Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat dan *slump* yang diinginkan. Kebutuhan air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen, bukan untuk peresapan air. Tabel 2.8 (SNI 03-2834-2000).

Tabel 2. 9 Perkiraan Kebutuhan Air/ m^3 yang dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Besar Ukuran maks. Agregat (mm)	Jenis Agregat	Kebutuhan Air (m^3) Beton (liter)			
		<i>Slump</i> (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 – 60	60 - 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	260	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	150	175	190	205

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari tabel di atas karena agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan batu pecah), dengan ukuran agregat 20 mm dan nilai

slump 60 – 180 mm. Didapat jenis batuan alami (Wh) dan batu pecah (Wk). Kadar air bebas dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (2.21)$$

Keterangan:

Wh = jumlah air untuk agregat halus.

Wk = jumlah air untuk agregat kasar.

Catatan : untuk temperatur di atas 20°C, setiap kenaikan 5°C harus ditambahkan air sebanyak 5 liter/m³ adukan beton. Untuk permukaan agregat yang kasar harus ditambahkan air kira-kira 10 liter/m³ beton.

2.6.11 Kadar Semen

Kadar semen per meter kubik beton dapat dihitung dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

Kebutuhan semen diperoleh dengan cara membagi perkiraan kadar air dengan rasio air semen.

a. Kadar Air Semen Maksimum

Nilai kadar semen maksimum didapat apabila ditetapkan sebelumnya, bila tidak dituangkan maka dapat diabaikan.

b. Kadar Semen Minimum

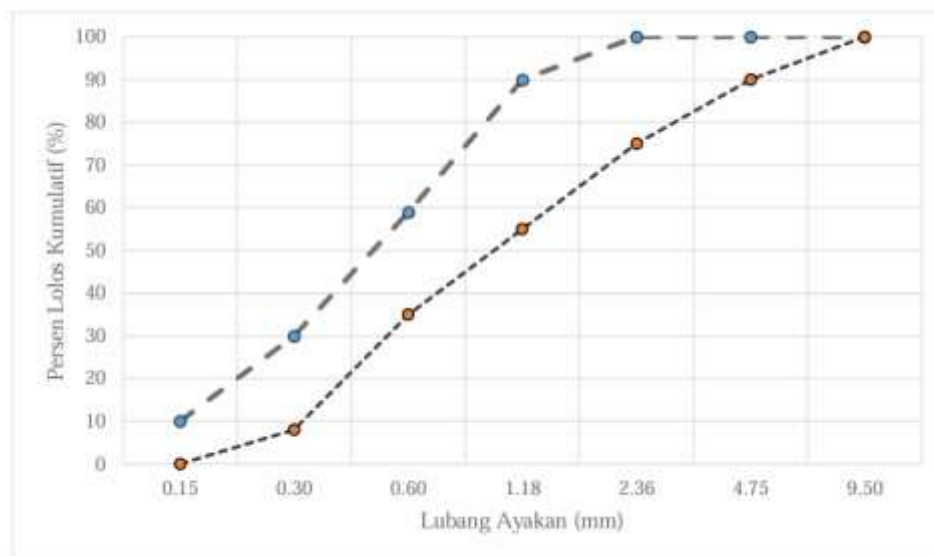
Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus misalnya lingkungan korosif, air payau, dan air laut. Kadar semen minimum ditentukan berdasarkan penggunaan beton pada tabel sebelumnya.

c. Faktor Semen Disesuaikan

Faktor air semen disesuaikan hanya dihitung jika ada perubahan kadar semen dari hasil perhitungan menjadi kadar semen minimum ataupun maksimum. Pada penelitian ini, kadar semen yang akan digunakan adalah kadar semen berdasarkan hasil perhitungan, sehingga tidak perlu adanya faktor air semen disesuaikan atau dengan kata lain fas.

2.6.12 Susunan Besar Butir Agregat Halus

Susunan besar butir agregat halus adalah daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan gradasi (hasil analisis saringan) agregat halus yang akan dipakai dengan klasifikasi menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi didasarkan atas grafik gradasi. Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan berada pada daerah gradasi/zona 2. Gambar 2.3 (SNI 03-2834-2000).



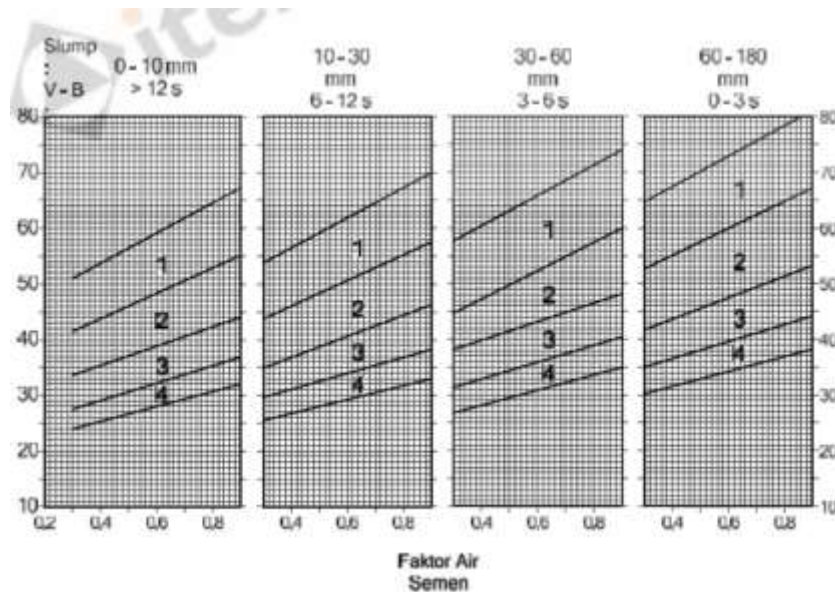
Gambar 2. 3 Grafik Gradasi Agregat Halus
(Sumber : SNI 7656:2012)

2.6.13 Persentase Agregat Halus

Persentase agregat halus diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai *slump*, fas dan daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan data tersebut dan grafik dapat diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.

Pada penelitian ini, agregat maksimum yang digunakan adalah 20 mm, sehingga digunakan grafik 14, kemudian berdasarkan nilai *slump* yang telah ditentukan yaitu 60 – 180 mm, dengan nilai fas yang digunakan yaitu 0,5 dan daerah

gradasi agregat halus gradasi 2, maka persen agregat halus dapat ditentukan. Gambar 2.4 (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Ukuran Butir Maksimum (20mm)

(Sumber : SNI 7656:2012)

Berdasarkan grafik di atas, dari nilai fas tarik garis vertikal hingga memotong dua buah kurva daerah gradasi 2, lalu tarik garis horizontal maka didapatkan persen agregat halus rerata.

2.6.14 Berat Jenis Relatif

Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$B_j \text{ camp} = \frac{P}{100} \times B_j \text{ Ag halus} + \frac{K}{100} \times B_j \text{ Ag Kasar} \quad (2.22)$$

Keterangan:

$B_j \text{ camp}$ = berat jenis agregat campuran.

$B_j \text{ Ag Halus}$ = berat jenis agregat halus (hasil uji properties/bahan).

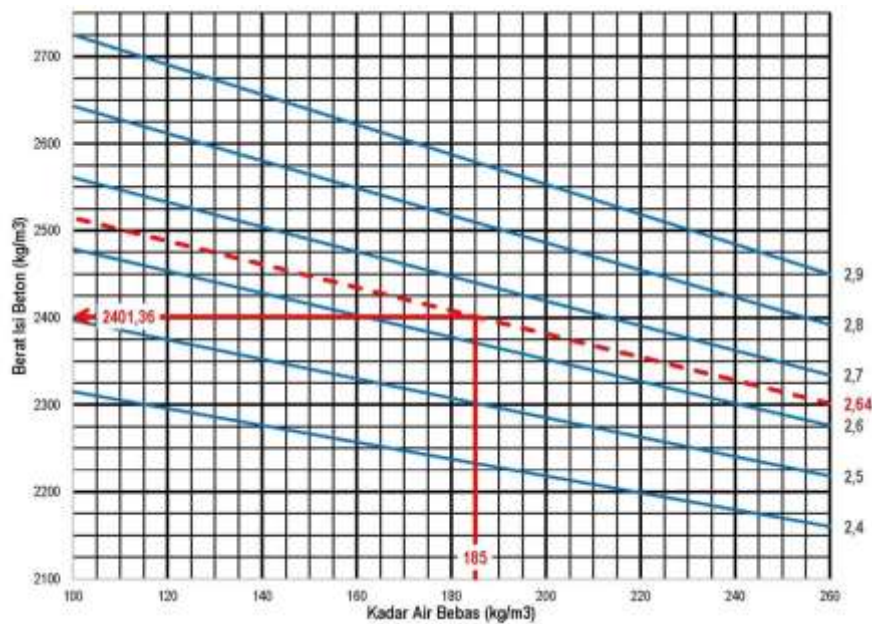
$B_j \text{ Ag Kasar}$ = berat jenis agregat kasar (hasil uji properties/bahan).

P = persentase agregat halus terhadap agregat campuran.

K = persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

2.6.15 Berat Isi Beton

Penentuan berat isi beton menggunakan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya. Berat isi beton ditentukan menggunakan grafik di bawah, dengan sumbu x adalah kadar air bebas dan sumbu y adalah berat isi beton. Gambar 2.5 (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai didapatkan

(Sumber : SNI 7656:2012)

Berdasarkan grafik di atas berat isi beton dapat ditentukan dengan langkah - langkah sebagai berikut:

1. Buat kurva berat jenis agregat gabungan secara proporsional pada grafik.
2. Kemudian tarik garis secara vertikal dari kadar air bebas sampai menyentuh kurva Bj agregat gabungan yang telah dibuat.
3. Selanjutnya tarik garis secara horizontal, sehingga didapat berat isi beton.

2.6.16 Kadar Agregat Gabungan

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat isi beton per meter kubik di kurangi kadar semen dan kadar air bebas. Kadar agregat gabungan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar Ag Gab} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas.} \quad (2.23)$$

2.6.17 Kadar Agregat Halus

Kadar agregat halus adalah persentase fraksi pasir dikalikan jumlah agregat campuran, dan merupakan jumlah pasir yang diperlukan. Kebutuhan agregat halus diperoleh dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halus. Kadar agregat halus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Ag Halus (\%)} = \text{Ag halus} \times \text{kadar Ag Gabungan.} \quad (2.24)$$

2.6.18 Kadar Agregat Kasar

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus. Kadar agregat kasar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Ag kasar} = \text{kadar Ag Gab} - \text{kadar Ag halus.} \quad (2.25)$$

2.6.19 Proporsi Campuran

Proporsi campuran beton (semen, air, agregat halus dan agregat kasar) harus dihitung dalam kg/m^3 adukan.

2.7 Pembuatan Benda Uji

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan di lapangan, pencampuran bahan-bahan dapat dilakukan di laboratorium. Agar tetap terjaga konsistensi rancangannya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar. Cara pengolahan ini akan menentukan kualitas dari beton yang akan dibuat. Adapun tahapan dalam pelaksanaan meliputi:

1. Persiapan

Sebelum pelaksanaan penuangan beton dilaksanakan, hal-hal yang dilakukan adalah membersihkan semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan

beton, membersihkan cetakan benda uji dan melapisi cetakan tersebut dengan minyak mineral untuk memudahkan pembukaan benda uji.

2. Penakaran (*Batching*)

Proses untuk mengukur proporsi dan material beton sebelum dimuat ke dalam pengaduk (*mixer*). Besarnya proporsi masing-masing bahan didapat dari perencanaan campuran (*mix design*). Proses penakaran yang paling akurat adalah dengan menimbanginya.

3. Pengadukan (*Mixing*)

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, maka proses selanjutnya adalah pencampuran/pengadukan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Secara umum pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Pengadukan ini dilakukan sampai warna adukan tampak rata, kelecikan yang cukup (tidak cair tidak padat), dan tampak campurannya *homogen*. Pemisahan butir-butir seharusnya tidak boleh terjadi selama proses pengadukan ini.

Umumnya yang dimasukkan cenderung agregat kasar dulu, kemudian semen, lalu agregat halus. Air ditambahkan terakhir. Alasannya, waktu hopper dijungkirkan untuk mengeluarkan isinya, bahan yang masuk pertama akan keluar belakangan. Oleh karenanya lebih baik jika agregat kasar dapat mendorong agregat halus dan semen yang ada di depannya. Pada umumnya, pencampuran dimulai dengan memasukkan sedikit air terlebih dahulu sebelum material yang lain dimasukkan. Sisa air ditambahkan setelah semua material masuk.

Metode pengadukan dapat dibedakan menjadi dua yaitu manual dan mesinal. Pengadukan manual dilakukan dengan tangan, sedangkan pengadukan dengan mesin memanfaatkan bantuan alat aduk seperti molen atau batching plant. Pengadukan harus dilakukan cukup lama untuk mendapatkan campuran yang seragam. Waktu pencampuran tergantung jenis pengaduk. Lama pencampuran dapat berkisar dari 30 detik sampai 3 menit. Alat yang digunakan dalam pengadukan pada penelitian ini yaitu drum mixer yang mempunyai kombinasi bilah (*blade*) dan bentuk drum yang memungkinkan

pertukaran material dari ujung ke ujung sejajar sumbu rotasi maupun gerakan menyebar.

4. Pengecoran (*Placing*)

Pengecoran beton adalah proses menuangkan beton segar dari alat pengangkut ke dalam cetakan, karat yang terdapat pada baja penguat harus dihilangkan, cetakan harus dibersihkan dan ceceran material beton yang telah mengeras akibat pengangkutan sebelumnya harus dibersihkan. Pengecoran yang baik harus dapat menghindari terjadinya pemisahan perubahan bentuk cetakan atau pergeseran baja penguat dalam cetakan, maupun terjadinya hubungan yang jelek antara lapisan-lapisan pengecoran beton. Segera setelah dilakukan pengecoran, beton harus dipadatkan dengan memakai alat pemadat yang dapat digerakkan dengan tangan atau vibrator.

Hal – hal yang perlu diperhatikan selama pengecoran:

- a. Beton yang akan dicorkan harus pada posisi sedekat mungkin dengan acuan untuk mencegah terjadinya segregasi yang disebabkan pemuatan kembali atau dapat mengisi dengan mudah seluruh acuan.
- b. Tingkat kecepatan pengecoran beton harus diatur agar beton selalu dalam keadaan plastis dan dapat mengisi dengan mudah ke dalam sela-sela.
- c. Beton yang telah mengeras sebagian atau yang seluruhnya tidak boleh dipergunakan untuk pengecoran.
- d. Beton yang telah dikotori oleh bahan lain tidak boleh dituangkan ke dalam struktur.
- e. Adukan beton harus dituang secara terus-menerus (tidak terputus) agar diperoleh beton yang seragam dan tidak terjadi garis batas.
- f. Permukaan cetakan yang berhadapan dengan adukan beton harus diolesi minyak agar beton yang terjadi tidak melekat dengan cetakannya.
- g. Selama penuangan dan pemadatan harus dijaga agar posisi cetakan maupun tulangan tidak berubah.

5. Pemadatan (*Compacting*)

Setelah beton segar diaduk, diangkut, dituangkan, beton masih mengandung udara dalam bentuk rongga udara. Pemadatan beton adalah untuk menghilangkan rongga-rongga udara sebanyak mungkin dan untuk mencapai

kepadatan yang maksimal. Pemadatan juga menjamin suatu pelakatan yang baik antara beton dengan permukaan baja tulangan atau bahan lain yang ikut di cor. Pemadatan dilakukan dengan sebelum terjadinya initial setting time pada beton. Pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

a. Pemadan dengan tangan

Cara pemadatan biasa dengan tangan dapat dilakukan dengan jalan menusuk nusuk menggunakan alat yang tepat, seperti balok besar dan tongkat baja.

b. Pemadatan dengan mesin

Mesin getar dalam (*intern vibro*) kadang-kadang disebut dengan poker (tongkat) atau vibrator (mesin getar) yang dapat dicelupkan ke dalam beton.

6. Pekerjaan Akhir (*Finishing*)

Pekerjaan finishing dimaksudkan untuk mendapatkan sebuah permukaan beton yang rata dan mulus. Pekerjaan ini biasanya dilakukan pada saat beton belum mencapai final *setting time*, karena pada masa ini beton masih dapat dibentuk. Alat yang digunakan biasanya roskam, jidar dan alat perata lainnya.

7. Pengujian Beton Segar (*Slump*)

Campuran beton segar dapat dikatakan mempunyai sifat baik bila memenuhi persyaratan utama campuran yaitu mampu memberikan kemudahan pekerjaan (*workability*), yaitu bila campuran tersebut tetap bertahan seragam ketika berlangsung proses pengangkutan, pengecoran dan pemadatan.

Kelecekan (*workability*) adalah kemudahan suatu campuran beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan. Tidak ada cara yang bisa langsung mengukur suatu kemudahan. Dulu kelecekan diukur secara visual saja, yaitu dengan kategori kaku (*stiff*), lecak (*workable*) dan plastis. Beton segar yang kaku berbentuk seperti tanah yang lembab, dan beton segar yang plastis berbentuk seperti lumpur tebal.

Namun karena kelecekan memegang peran penting dalam kualitas beton, kini kelecekan secara praktis diuji baik di lapangan maupun di laboratorium. Ada dua macam cara pendekatan, yaitu memberi pengaruh tertentu dan mengukur

perubahan bentuk pada beton segar yang diakibatkannya atau sebaliknya. Pengaruh tersebut bisa secara statis dan dinamis.

Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. Uji *slump* merupakan pengujian paling sederhana dan yang paling sering digunakan. Karena kelecakan beton segar sering diidentikkan dengan *slump*nya. Cara pelaksanaan pengujian *slump* adalah sebagai berikut:

a. Peralatan

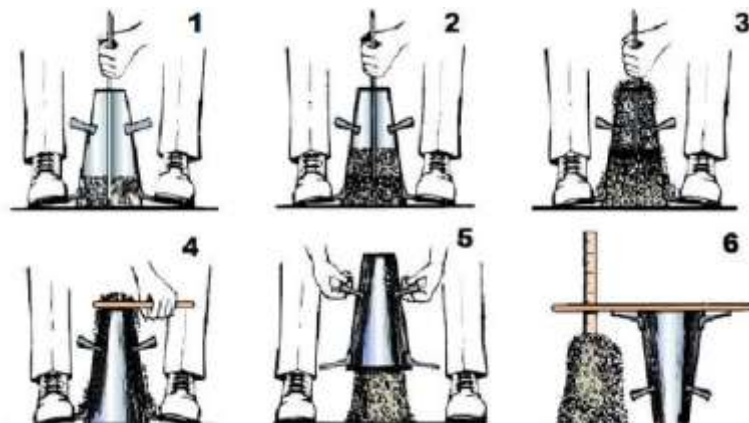
Untuk melaksanakan pengujian *slump* diperlukan peralatan sebagai berikut:

- 1) Cetakan dari logam tebal minimal 1,2 mm berupa kerucut terpancung (cone) dengan diameter bagian bawah 203 mm, bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm. Bagian bawah dan atas cetakan terbuka.
- 2) Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 600 mm, ujung dibulatkan dibuat dari baja yang bersih dan bebas dari karat.
- 3) Pelat logam dengan permukaan yang kokoh, rata dan kedap air.
- 4) Sendok cekung tidak menyerap air.
- 5) Mistar ukur

b. Benda Uji

Pengambilan benda uji harus dari contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

c. Cara Pengujian Untuk melaksanakan pengujian *slump* beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Pengujian *Slump* Beton

(Sumber : SNI 7656:2012)

Tahapan Pengujian Slump

1) Persiapan & Pengisian Lapis Pertama (Gambar 1)

Basahi cetakan (kerucut Abrams) dan letakkan di atas permukaan yang rata serta tidak menyerap air. Injak bagian sayap cetakan agar tetap kokoh. Isi cetakan dengan beton segar dalam 3 lapis. Lapis pertama diisi setinggi kira-kira $\frac{1}{3}$ volume (sekitar 67 mm dari dasar).

2) Pemadatan Lapis Pertama (Gambar 1-2)

Tiap lapisan ditusuk sebanyak 25 kali menggunakan batang besi berdiameter 16 mm. Penusukan dilakukan secara merata di seluruh permukaan, pastikan batang tidak membentur alas.

3) Pengisian & Pemadatan Lapis Berikutnya (Gambar 3-4)

a. Lapis Kedua: Isi hingga $\frac{2}{3}$ volume (sekitar 155 mm dari dasar), lalu tusuk 25 kali hingga menembus sedikit ke lapisan bawahnya.

b. Lapis Ketiga: Isi hingga penuh (berlebih sedikit), lalu tusuk kembali 25 kali.

4) Perataan Permukaan (Gambar 5)

Setelah pemadatan selesai, ratakan permukaan beton di bagian atas cetakan menggunakan batang besi pemadat dengan cara digeser/digelindingkan agar rata dengan bibir cetakan. Bersihkan sisa beton di sekitar dasar kerucut.

5) Pengangkatan Cetakan (Gambar 6)

Angkat cetakan secara perlahan dalam arah vertikal lurus. Pengangkatan harus dilakukan dengan hati-hati dalam waktu 5 ± 2 detik.

6) Pengukuran Nilai Slump (Gambar 6)

Setelah beton turun, ukur perbedaan tinggi antara puncak cetakan (dengan bantuan batang besi di atasnya) dan titik pusat permukaan atas beton yang turun. Hasil pengukuran ini disebut sebagai Nilai Slump (dalam satuan mm atau cm). Gambar 2.6 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017).

d. Pengukuran *Slump*

Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan dua kali pemeriksaan dengan adukan yang sama dan dilaporkan hasil rata-rata (dalam satuan cm).

2.7.1 Cara Pengadukan Serat untuk Pembuatan Benda Uji

- a. Pasir dengan semen dimasukan kedalam molen (dalam keadaan kering) dengan komposisi tertentu.
- b. Pencampuran dilakukan sampai didapatkan warna yang *homogen*.
- c. Tambahkan kerikil, kemudian lakukan pencampuran lagi.
- d. Setelah tercampur, kemudian masukan air secara perlahan sesuai dengan komposisi tertentu.
- e. Aduk hingga rata dan tambahkan sedikit demi sedikit air yang tersisa.
- f. Setelah semua diaduk dengan rata dan memiliki kekentalan yang cukup, adukan ditumpahkan kedalam arco.
- g. Kemudian taburkan serat bambu sesuai sample yang dibuat, lalu dicampurkan dengan rata secara manual.
- h. Setelah tercampur, sebelum adukan dituangkan ke cetakan kita uji *slump* dulu apakah memenuhi atau tidak.
- i. Setelah nilai *slump* memenuhi selanjutnya adukan siap dituangkan ke dalam cetakan.

2.8 Perawatan (*Curing*)

Perawatan beton ialah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna (kira-kira selama 28 hari). Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen (reaksi semen dan air) berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, karena udara yang panas maka akan terjadi proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton

segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonnya (Tjokrodimulyo, 2007).

Perawatan beton (*curing*) dilakukan setelah beton mencapai final *setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini dilakukan minimal selama 7 hari dan untuk beton berkekuatan awal tinggi minimal 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedap terhadap air, ketahanan terhadap aus dan stabilitas dari dimensi struktur.

Perawatan tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu sebagai berikut:

1. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab.
2. Menaruh beton segar dalam genangan air.
3. Menaruh beton segar dalam air.
4. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
5. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
6. Menyirami permukaan beton secara berulang.
7. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan compound.

2.9 Pengujian Kuat Tekan

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 & Anisah, 2019).

2.9.1 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Menurut Tjokrodimulyo (2007) faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton antara lain adalah faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat.

1. Faktor Air Semen