

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

2.1.1 Khamal Firmansyah A., Haryo Koco B. dan Tanjung R. R. (2022)

Kamal Firmansyah Agustiana, Haryo Koco Buwono, dan Tanjung Rahayu R. melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh *Waterproofing Integral Crystalline (Penetron Admix)* Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini menggunakan *waterproofing integral* dengan jenis *penetron admix* sebagai bahan tambah pada campuran beton. Persentase campuran beton yang digunakan adalah beton normal dan campuran *Penetron Admix* dengan persentase 0,8%; 0,9% dan 1% pada masing-masing variasi.

Hasil penelitian pada umur beton 14 hari kuat tekan beton menunjukkan penambahan *Penetron Admix* pada variasi 1% lebih tinggi yaitu 16,61 Mpa dibandingkan dengan beton normal yaitu 16,14 MPa, namun pada variasi 0,8% dan 0,9% kuat tekan beton lebih rendah daripada beton normal.(Agustiana et al., 2022)

2.1.2 Bryan R., Yunita P., David W. dan Budi S. (2018)

Bryan Ramadhan, Yunita Perdanawati, David Widiyanto dan Budi Setiyadi melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penggunaan Zat Admixture “X” Terhadap Peningkatan Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini menggunakan *waterproofing integral* dengan jenis conplast X421 sebagai bahan tambah pada campuran beton. Pengujian kuat tekan beton menggunakan variasi admixture dengan persentase 0% (normal), 50%, 100%, 150% dan 200%.

Penelitian ini dilakukan dengan 4 metode yaitu pengeringan 14 hari dengan keadaan pasir tidak dicuci, pengeringan 28 hari dengan keadaan pasir tidak dicuci, pengeringan 14 hari dengan keadaan pasir dicuci dan 28 hari dengan keadaan pasir dicuci. Tiap metode menggunakan masing-masing variasi admixture.

Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton tertinggi didapat ketika pengeringan 28 hari dengan keadaan pasir dicuci dan pada variasi admixture 100%. Kuat tekan pada pengeringan 28 hari dengan keadaan pasir dicuci dan variasi admixture 100% lebih besar dibanding beton normal dengan metode yang sama dimana nilai kuat tekan rata-ratanya 519 kg/cm² dan nilai rata-rata kuat tekan beton normal 401,61kg/cm². (Ramadhan et al., 2018)

2.1.3 Mohamad Donie Aulia

Mohamed Donie Aulia melakukan penelitian dengan judul “Studi Eksperimental Permeabilitas Dan Kuat Tekan Beton K-450 Menggunakan Zat Adiktif conplast WP421”. Penelitian ini menggunakan bahan tambah berupa *waterproofing integral* dengan jenis conplast WP421 pada campuran beton segar.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *waterproofing integral* conplast WP421 terhadap nilai kuat tekan dan permeabilitas pada beton. Dosis pemakaian conplast WP421 pada penelitian ini sebanyak 1,5 – 2 liter/m³ dengan faktor air semen 0,52 untuk mutu beton K-350 atau f'c 34,3 MPa.

Penelitian ini dilakukan dengan 2 metode yaitu 20 sampel beton normal dan 20 sampel beton dengan penambahan *waterproofing integral* conplast WP421 untuk pengujian kuat tekan.

Hasil penelitian menunjukkan beton dengan penambahan *waterproofing integral* conplast WP421 terbukti efektif meningkatkan kuat tekan beton sebesar 33% dengan nilai kuat tertinggi mencapai 451,59 kg/cm³ dari 20 sampel beton dengan campuran zat adiktif dibandingkan dengan beton normal yang hanya mencapai kuat tekan paling tinggi sebesar 384,81 kg/cm³ dari 20 sampel benda uji. Untuk pengujian permeabilitas menunjukan bahwa beton dengan campuran *waterproofing integral* conplast WP421 dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran beton tahan air dengan rata-rata kedalaman rembesan sebesar 3,6 cm dimana nilai tersebut memenuhi syarat standar DIN 1045 untuk beton tahan air yaitu maksimal 5 cm. (Aulia, n.d.)

2.1.4 Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya

2.1.4.1 Perbedaan Dengan Khamal Firmansyah A., Haryo Koco B. dan Tanjung R. R.

Perbedaan penelitian Kamal Firmansyah Agustiana, Haryo Koco Buwono, dan Tanjung Rahayu R. dengan penelitian ini adalah penelitian Khamal Firmansyah dan rekan-rekannya menggunakan *waterproofing integral* jenis *Penetron Admix* sebagai zat tambah dengan persentase 0,8%; 0,9% dan 1% pada masing-masing variasi. Kuat tekan yang disyaratkan 20 Mpa dan pengujian sampel dilakukan hanya di umur 14 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan *waterproofing integral* jenis conplast WP421 sebagai zat tambah dengan persentase 0,15 %; 0,30% dan 0,45% pada masing-masing variasi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan permeabilitas beton. Pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan benda uji berupa silinder.

2.1.4.2 Perbedaan dengan Bryan R., Yunita P., David W. dan Budi S.

Perbedaan penelitian Bryan R. dan rekan-rekannya dengan penelitian ini adalah penelitian Bryan R. dan rekan-rekannya menggunakan *waterproofing integral* jenis conplast X421 sebagai zat tambah dengan persentase 0%, 50%, 100%, 150% dan 200% pada masing-masing variasi. Benda uji menggunakan kubus dengan dimensi Panjang 15 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm dengan jumlah 80 sampel. Pengujian sampel dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan *waterproofing integral* jenis conplast WP421 sebagai zat tambah dengan persentase 0,15%; 0,30% dan 0,45% pada masing-masing variasi. Benda uji menggunakan silinder dengan dimensi diameter 30 cm dan tinggi 15 cm sebanyak 48 sampel. Pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan permeabilitas pada beton.

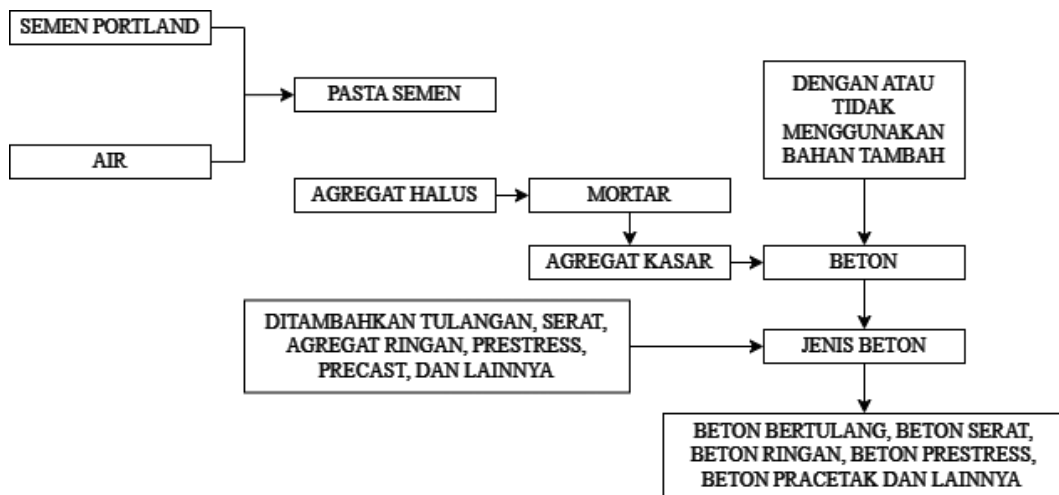
2.1.4.3 Perbedaan dengan Mohamad Donie Aulia

Perbedaan penelitian Mohamad Donie Aulia dengan penelitian ini adalah penelitian Mohamed Donie Aulia menambahkan dosis untuk *waterproofing integral* conplast WP421 sebanyak 1,5 – 2 liter/m³ dengan pengujian hanya dilakukan pada umur 28 hari baik untuk pengujian kuat tekan maupun permeabilitas beton.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan digunakan dosis untuk pencampuran *waterproofing integral* conplast WP421 sebanyak 1,5 – 4,5 liter/m³ dengan dilakukan perbandingan terhadap persentase sehingga didapatkan persentase 0% (beton normal); 0,15%; 0,30% dan 0,45% dan pengujian dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari untuk kuat tekan dan 28 hari untuk permeabilitas.

2.1.5 Beton

Beton dalam bahasa Inggris disebut sebagai concrete. Kata “*concrete*” berasal dari Bahasa Latin yaitu “*concretus*” yang berarti padat. Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000), Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. (SNI 03-2834, 2000)



Gambar 2.1 Proses terbentuknya beton

Sumber: Mulyono, 2019

Klasifikasi beton umumnya dilakukan berdasarkan berat jenis dan kuat tekannya. Berdasarkan berat jenisnya, beton dibagi atas beton ringan yang memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/m³, beton normal memiliki berat jenis 2400 kg/m³, dan beton berat memiliki berat jenis di atas 3200 kg/m³. Berdasarkan kuat tekannya, beton dikategorikan sebagai beton mutu rendah yang memiliki kuat tekan kurang dari 20 MPa, sedangkan beton mutu sedang memiliki kuat tekan 20 – 40 MPa, dan beton mutu tinggi memiliki kuat tekan di atas 40 MPa.

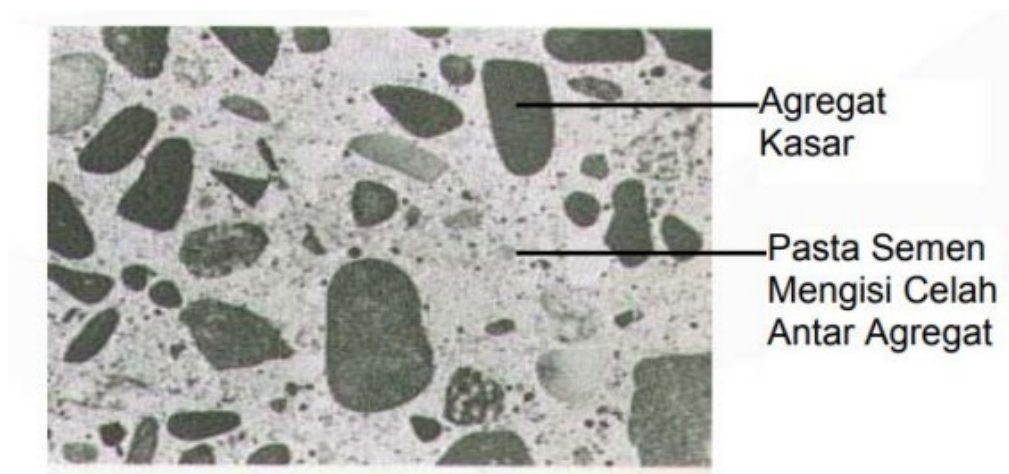
2.1.6 Karakteristik Beton

Beton yang terbentuk dari pencampuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air memiliki sifat khusus. Dalam keadaan segar, beton harus mudah dikerjakan dan dalam keadaan keras beton harus mampu menerima beban tekan. Selain itu beton diharuskan awet dalam menghadapi serangan kondisi lingkungan.

Beton juga dapat dirancang sesuai dengan peruntukannya dan kualitas yang diinginkan.

Beton yang baik harus memenuhi tiga syarat yaitu:

1. Memiliki bahan pengisi yang baik, yaitu dengan kekerasan butiran agregat yang baik dan gradasi agregat yang beragam.
2. Memiliki bahan perekat yang baik, yaitu dengan kualitas dan kuantitas semen yang baik serta jumlah air yang digunakan sesuai dengan kebutuhan semen.
3. Memiliki lekatan antara matriks dan agregat yang baik. Hal ini dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan kebersihan permukaan material alam.



Gambar 2.2 Potongan beton

Sumber: Wijaya Karya, 2005

Pada **Gambar 2.2** ditunjukkan bahwa beton memiliki bahan penyusun yang baik berupa agregat kasar yang memiliki gradasi beragam dan pasta semen sebagai bahan perekat yang mengisi celah antar agregat.

Secara detail diuraikan sifat beton terbagi atas dua, yaitu sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur dan sifat beton dalam keadaan keras. (Wijaya Karya, 2005)

2.1.6.1 Sifat Beton Segar

Sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur, tiga sifat yang penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan

(*workability*), Pemisahan Agregat (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*). (Wijaya Karya, 2005)

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:

- a. Jumlah air, makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar untuk dikerjakan.
- b. Kandungan semen, makin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, untuk memperoleh nilai FAS tetap.
- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil, Jika campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat yang sesuai dengan standar, maka akan lebih mudah dikerjakan.
- d. Bentuk butiran agregat kasar, agregat berbentuk bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
- e. Butir maksimum, kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan, makin besar kerikil makin sulit untuk dikerjakan.
- f. Cara pemadatan dan alat pemadat, 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 juga mengandung makna bahwa adukan mudah untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat dihilangkan. Meski demikian, adukan tersebut harus merupakan suatu massa yang homogen dan tidak terjadi pemisahan antara bahan penyusun. Selain itu, beton juga harus memiliki sifat mobilitas yang baik atau mudah mengalir dalam cetakan.

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. Pemisahan agregat (segregasi)

Segregasi adalah kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton. Segregasi dapat terjadi karena turunnya butiran ke bagian bawah dari beton segar, atau terpisahnya agregat kasar dari campuran, akibat cara penuangan dan pemadatan yang salah. Segregasi tidak bisa diujikan sebelumnya, hanya dapat dilihat setelah semuanya terjadi. Secara nyata, kejadian segregasi beton dapat dilihat ketika pencampuran bahan yaitu nampak pemisahan antara agregat dan pasta semen. Segregasi pada beton disebabkan oleh:

- a. Campuran yang kurus atau kurang semen.
- b. Penggunaan air yang terlalu banyak.
- c. Gradasi agregat yang tidak sesuai standar.
- d. Campuran yang kasar atau kurangnya agregat halus.
- e. Tinggi jatuh pengecoran beton yang tertinggi.

Pemisahan kerikil dari adukan beton berakibat kurang baik terhadap sifat beton keras. Jika tingkat segregasi beton sangat tinggi, maka ketidaksempurnaan konstruksi beton juga tinggi.

Hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak bersisik dan tidak rata. Untuk mengurangi kecenderungan tersebut, dapat dicegah dengan hal-hal berikut:

- a. Jumlah air dan semen yang tepat.
- b. Gradasi agregat yang memenuhi syarat.
- c. Cara pengangkutan, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti tata cara yang benar.

3. Pemisahan air (*bleeding*)

Bleeding adalah pengeluaran air dari adukan beton yang disebabkan oleh pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah dicetak, air yang terkandung didalam beton segar cenderung untuk naik ke permukaan membawa semen dan butir-butir halus, naiknya air bersamaan dengan turunnya bahan ke dasar disebabkan oleh pengaruh gravitasi akibat berat sendiri. Pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*). *Bleeding* dipengaruhi oleh:

- a. Susunan butir agregat, jika komposisinya sesuai kemungkinan untuk terjadi *bleeding* kecil.
- b. Banyaknya air, makin banyak air berarti makin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- c. Kecepatan hidrasi, makin cepat beton mengeras makin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- d. Proses pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

Bleeding terjadi akibat ketidakmampuan bahan padat campuran untuk menangkap air pencampur. Ketika *bleeding* sedang berlangsung, air campuran terjebak di dalam kantong-kantong yang terbentuk antara agregat dan pasta semen (matriks). Sesudah *bleeding* selesai dan beton mengeras, kantong-kantong menjadi kering ketika berlangsung perawatan dalam keadaan kering. Akibatnya, apabila ada tekanan, kantong-kantong tersebut menjadi penyebab mudahnya retak pada beton dan bahan lembut semacam debu halus. Untuk mengurangi terjadinya *bleeding* maka dilakukan cara berikut:

- a. Memberi lebih banyak semen dalam campuran.
- b. Menggunakan air sesedikit mungkin.
- c. Menggunakan butir halus (pasir) lebih banyak.
- d. Menyesuaikan intensitas dan durasi penggetar sesuai dengan nilai slump campuran.

2.1.6.2 Sifat Beton Keras

Sifat beton dalam keadaan keras yaitu kekuatan beton, rangkai & susut, kekedapan air dan tahan lama.

1. Kekuatan beton

Beton baik dalam menahan tegangan tekan daripada jenis tegangan yang lain, dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karena kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam kebanyakan kasus. Sifat kekuatan tekan merupakan sifat utama yang umum harus dimiliki oleh beton, sebab beton yang tidak cukup kekuatan tekannya menurut kebutuhannya menjadi tidak berguna. Secara umum kekuatan beton dipengaruhi oleh dua hal yaitu faktor air semen dan kepadatannya.

Beton dengan faktor air semen kecil sampai dengan jumlah air semen cukup untuk hidrasi semen secara sempurna akan memiliki kekuatan yang optimal. Selain itu, memang untuk keadaan yang berada kuat desak beton dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya sifat semen, sifat agregat, kepadatan, perbandingan antara bahan batuan dan semen dan sebagainya. Kuat tarik beton berkisar $1/18$ kuat tekan beton saat umurnya masih muda dan menjadi $1/20$ sesudahnya. Kuat tarik berperan penting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Di dalam prakteknya, kuat tekan dan tarik selalu diikuti oleh kuat geser.

2. Rangkai dan susut

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan.

Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat, sedangkan pada pembebanan yang tidak singkat beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan lama pembebanannya.

Rangkai adalah peningkatan deformasi (regangan) secara bertahap terhadap waktu akibat beban yang bekerja secara konstan. Deformasi awal akibat pembebanan disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut regangan rangkai. Rangkai

timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Besarnya rangkak berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Rangkak akan lebih besar bila faktor air semen semakin besar. Agregat memberi pengaruh menghambat penyusutan.

Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban, jika terjadi kehilangan kandungan uap air akibat penguapan. Jika dihalangi secara merata, proses susut dalam beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah deformasi rangkak.

Proses rangkak selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan sering kali memberikan pengaruh yang sama terhadap deformasi. Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan mempunyai kecenderungan rangkak yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pasta semen. Rangkak dipengaruhi oleh komposisi beton, kondisi lingkungan, ukuran benda uji atau elemen struktur. Pada prinsipnya rangkak merupakan fenomena bergantung pada beban sebagai fungsi waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak dan susut adalah sebagai berikut:

- a. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat).
 - b. Rasio air terhadap jumlah semen (*water cement ratio*).
 - c. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*).
 - d. Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan (*humidity*).
 - e. Umur beton pada saat beban bekerja.
 - f. Nilai slump (*slump test*).
 - g. Lama pembebanan.
 - h. Nilai tegangan.
 - i. Nilai rasio permukaan komponen struktur.
3. Kekedapan air

Proses pengeringan beton, jumlah air yang dipakai tidak seluruhnya digunakan dalam proses hidrasi. Dimana hidrasi adalah reaksi kimia antara partikel semen dan air yang menghasilkan pasta semen atau bahan

pengikat. Sebagian air terlepas sebagai bleeding dan menyebabkan terjadinya rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan.

4. Tahan lama (durabilitas)

Durabilitas adalah kemampuan beton untuk menahan cuaca, serangan kimia, abrasi, atau proses kerusakan lain, dengan demikian durabilitas beton akan mempertahankan bentuk asli, kualitas dan kemampuan layan saat terekpote di lingkungan. Sifat ini terkait dengan kerusakan yang terjadi akibat kondisi lingkungan. Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan visual seperti perubahan warna dan tekstur atau dapat pula berupa kerusakan mekanis seperti penurunan kekuatannya.

2.2 *Waterproofing*

Waterproofing diartikan sebagai lapisan kedap air pada atap dag beton, GWT atau *ground water tank*, dinding basement dan sebagainya. Ketika beton berada di dalam air atau berada di dekat permukaan air tanah (misalnya beton yang digunakan untuk konstruksi terowongan, tangki air, dinding dan lantai serta atap basement) maka beton tersebut tidak boleh mengalami rembesan sehingga dibuat kedap air. (Agustiana et al., 2022)

Beton *waterproofing* ini diciptakan atas dasar sifat beton yang pada kondisi normal masih bisa dilalui oleh air sehingga dalam pabrikasinya diperlukan bahan tambahan untuk membuat sifat beton lebih kedap terhadap air (*watertight concrete*) dengan campuran *waterproofing integral*.

2.2.1 *Integral Waterproofing*

Integral waterproofing merupakan modifikasi dalam bidang *waterproofer*. *Integral waterproofing* diciptakan atas dasar sifat beton dalam kondisi normal tidak bersifat kedap terhadap penetrasi air sehingga dalam pabrikasi beton dibutuhkan suatu bahan tambahan (admixture) ke dalam adukan beton yang dapat menciptakan beton kedap air / *watertight concrete*. (Jaya et al., 2017)

Waterproofing dengan jenis Integral memiliki beberapa jenis meliputi:

1. Integral yang mengandung *plasticiser* adalah sistem *hidrofobik* yang meningkatkan slump beton sehingga beton menjadi padat dan kedap air. Beberapa jenis *waterproofing integral* yang mengandung *plasticiser* diantaranya *waterproofing* integral Fosroc menggunakan material conplast WP421 dan *waterproofing* integral Sika menggunakan material viscocrete.
2. Integral Kristalisasi atau Integral *Crystalin* adalah sistem *hidrofilik* menggunakan suatu bahan cairan admixture bermutu tinggi dan memiliki dua fungsi yaitu bersifat *waterproof* dan perlindungan korosi pada beton, dengan perlindungan menggunakan teknologi nano yang unik melalui reaksi kimia memodifikasi matriks semen, Reaksi dengan pasta semen dapat mengurangi ukuran pori & kapiler. Reaksi antara admixture ini pencampuran dengan pasta material semen menghasilkan struktur kristal yang tidak larut dan dapat mengisi lubang pori-pori & kapiler. Integral Kristalisasi atau Integral *Crystalin (hidrofilik)* menggunakan material *Deltacrys Admix* atau *Contite H₂O stop*.

Penelitian kali ini *waterproofing* yang digunakan adalah *integral waterproofing* dengan jenis Fosroc menggunakan material conplast WP421. Berdasarkan panduan teknis yang dikeluarkan oleh Fosroc selaku produsen dari conplast WP421 dalam pelaksanaannya dosis *waterproofing integral* yang ditambahkan pada campuran beton normal berkisar pada 1,5 L hingga 4 L dalam 1 m³ beton.

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1 Semen

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI-2049, 2015) .

Semen portland adalah material halus yang terdiri dari bahan-bahan campuran utama seperti kapur, silika, aluminium, besi, dan gipsum. Semen disebut juga bahan pengikat hidrolis karena jika semen berhubungan dengan air akan

menjadi bahan campuran yang aktif secara kimiawi. Dalam campuran beton, pasta terbuat dari campuran semen dan air kemudian akan mengeras, dan dalam keadaan terikat agregat akan menghasilkan beton yang keras dan kuat. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton, penyesuaian harus dilakukan terhadap rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Oleh karena itu, meskipun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, tetapi sangatlah penting karena berperan sebagai pengikat.

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur sekitar 60% - 65%, silika sekitar 20% - 25%, dan oksida besi serta alumina sekitar 7% - 12%. Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

2.3.1.1 Sifat Fisika Semen

Sifat-sifat fisika semen meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, panas hidrasi, perubahan volume (kekalan) dan kekuatan tekan.

1. Kehalusan semen

Semen portland harus digiling sedemikian rupa sehingga luas permukaan butirnya spesifik, tiap gramnya lebih dari 2800 cm^2 dan tiap gramnya seberat $280 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, dan harus lolos saringan 90 mikron.

Kehalusan butir ini berhubungan erat dengan proses hidrasi. Makin halus semen, makin cepat reaksinya. Demikian pula sebaliknya. Kehalusan semen portland di Indonesia pada umumnya berkisar antara 300-350 $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$.

2. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen yang mulai kaku dan mulai tidak dapat dikerjakan (kehilangan sebagian sifat plastisnya). Waktu

pengikatan awal berkisar 1-2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam. Waktu ini sangat penting pada kontrol pekerjaan beton. Untuk kasus-kasus tertentu, diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaian (*finishing*).

- b. Waktu ikatan akhir (*final setting time*) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Waktu pengikatan akhir tidak boleh lebih dari 8 jam.

Proses ikatan disertai perubahan suhu yang dimulai terjadi sejak ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan memendek karena naiknya suhu sebesar 30°C atau lebih. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan oleh lingkungan sekitarnya. Pengikatan semu diukur dengan alat "*Vicat*" atau "*Gilmore*". Pengikatan semu untuk persentase penetrasi akhir minimum pada semua jenis semen adalah 50%.

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Pada pelaksanaan, perkembangan panas ini menimbulkan retakan pada saat pendinginan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

4. Perubahan volume (kekalan) Kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campuran dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Ketidakekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Alat uji untuk menentukan nilai kekalan semen portland adalah menggunakan cara ASTM "*Autoclave Expansion of Portland Cement*".

5. Kekuatan tekan Kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Bila memperhatikan kuat tekan mortar ini akan jelas terlihat lambat atau cepatnya, perkembangan kekuatan semen terhadap umurnya.

2.3.1.2 Sifat Kimia Semen

Sifat-sifat kimia semen meliputi senyawa kimia dan sifat kimia.

1. Senyawa kimia secara garis besar, ada empat senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu:
 - a. Trikalsium Silikat yang disingkat menjadi C_3S .
 - b. Dikalsium Silikat yang disingkat menjadi C_2S .
 - c. Trikalsium Aluminat yang disingkat menjadi C_3A .
 - d. Tetrakalsium Aluminoferrit yang disingkat menjadi C_4AF .
2. Sifat kimia semen meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut, dan yang paling utama adalah komposisi syarat yang diberikan.
 - a. Kesegaran semen, kehilangan berat dari semen merupakan ukuran dari kesegaran semen. Pemeriksaan kesegaran semen dilakukan dengan cara mengambil satu gram semen dan menempatkannya dalam platina bertemperatur $900^{\circ}C$ - $1000^{\circ}C$, selama 5 menit. Dalam keadaan normal, akan terjadi kehilangan berat sekitar 2% (batas maksimum 4%).
 - b. Sifat yang tak larut, sisa bahan yang tak habis bereaksi adalah sisa bahan tak aktif yang terdapat pada semen. Semakin sedikit sisa bahan ini, semakin baik kualitas semen. Jumlah maksimum sisa tak larut yang dipersyaratkan adalah 0,85%.
 - c. Panas hidrasi semen, hidrasi terjadi jika semen bersentuhan dengan air. Proses hidrasi terjadi dengan arah kedalam dan keluar. Maksudnya, hasil hidrasi mengendap di bagian luar, semen bagian dalam belum terhidrasi secara bertahap akan terhidrasi sehingga volumenya mengecil (susut). Reaksi ini berlangsung lambat (sekitar 2-8 jam) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.

- d. Kekuatan pasta semen, banyaknya air yang dipakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Pada dasarnya jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25% dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25%, maka kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan tidak dapat dicapai. Kekuatan beton akan turun jika air yang ditambahkan ke dalam campuran semakin banyak. Karena itu penambahan air harus dilakukan sedikit demi sedikit sampai nilai maksimum yang tercantum dalam rencana tercapai.

2.3.1.3 Jenis-jenis Semen

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama, semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Menurut SNI 2049-2015 membagi semen portland menjadi:

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

2.3.2 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:

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.

2.3.3 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*).
2. Agregat halus (pasir alami atau batuan).

Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak didalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton. Dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut.

2.3.3.1 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) .

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:

1. Batu pecah alami

Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis metamorf. Batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya meskipun dapat menambah kuat tekan beton.

2. Kerikil alami

Kerikil ini didapat dari proses alami yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

3. Agregat kasar buatan

Kemungkinan pemakaian benda limbah padat buangan sebagai bahan pengganti akhir-akhir ini banyak dibicarakan. Hal ini sebenarnya bukan konsep yang baru. Limbah padat ini dapat berupa kaleng-kaleng bekas, bahan-bahan bekas bongkaran bangunan maupun sampah padat dari hasil limbah industri maupun limbah rumah tangga. Sebelum barang ini dipakai sebaiknya ditinjau aspek ekonomi keuntungan penggunaan bahan-bahan ini dibandingkan dengan pemakaian agregat alami. Harus pula dipertimbangkan aspek teknisnya, yang meliputi pengerjaan dan kekuatan beton yang akan dihasilkan.

4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Dengan adanya tuntutan 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. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan disini, misalnya batu pecah, barit, magnetik dan limonit. Sifat-sifat beton penahan radiasi yang berbobot berat ini bergantung pada kerapatan, hampir tidak bergantung pada seklor air sampai semennya. Dalam hal demikian, kerapatan yang tinggi merupakan satu-satunya kriteria disamping kerapatan dan kekuatannya.

Sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat, mortar dan kebutuhan air pencampur. Agregat yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki potensial untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi.

2.3.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm. (SNI 03-2834-2000).

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir dengan ukuran yang bervariasi. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih halus, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton.

Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan. Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus.

2.3.4 Conplast WP421

Conplast WP421 adalah zat admixture berbasis polimer yang digunakan dalam campuran beton untuk memberikan sifat tahan air. Zat admixture ini dirancang khusus untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air dan melindungi struktur beton dari kerusakan akibat air, seperti kebocoran dan korosi.

Conplast WP421 bekerja dengan cara membentuk bahan hidrofobik di dalam pori-pori beton. Ketika ditambahkan ke campuran beton, zat admixture ini berinteraksi dengan air dan membentuk mikrofibril yang mengisi pori-pori beton. Mikrofibril ini membantu mencegah penetrasi air ke dalam struktur beton, sehingga menjaga kekeringan dan mengurangi risiko kerusakan akibat kelembaban.

Manfaat dari penggunaan conplast WP421 meliputi:

1. Tahan air: Zat admixture ini memberikan perlindungan yang kuat terhadap penetrasi air, mengurangi risiko kebocoran dan kerusakan akibat air.
2. Kekuatan dan ketahanan: Penggunaan zat admixture ini tidak mengurangi kekuatan beton yang dihasilkan, sehingga struktur beton tetap kokoh dan tahan lama.
3. Perlindungan terhadap korosi: Dengan mencegah air masuk ke dalam beton, zat admixture ini juga membantu melindungi struktur beton yang tertanam di dalamnya dari korosi.
4. Meningkatkan umur layanan: Dengan mengurangi risiko kerusakan akibat air, conplast WP421 membantu meningkatkan umur layanan struktur beton.
5. Kompatibilitas: conplast WP421 memiliki kompatibilitas yang baik dengan berbagai jenis semen dan bahan admixture lainnya yang umumnya digunakan dalam campuran beton atau mortir.
6. Kehalusan: Zat admixture ini memiliki kehalusan yang tinggi, sehingga dapat tercampur dengan baik dalam campuran beton atau mortir.

7. Stabilitas: conplast WP421 umumnya stabil dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama tanpa terjadi pemisahan atau pengendapan yang signifikan.
8. Kinerja mekanis: Penggunaan conplast WP421 biasanya tidak mengurangi kekuatan atau kinerja mekanis beton yang dihasilkan. Sebaliknya, admixture ini dapat membantu meningkatkan ketahanan beton terhadap kelembaban dan korosi, yang pada gilirannya dapat meningkatkan masa pakai dan kinerja struktur beton.

Penggunaan conplast WP421 disarankan untuk berbagai aplikasi beton yang memerlukan perlindungan tahan air, seperti kolam renang, tangki air, terowongan, fondasi bangunan, dan struktur bawah tanah lainnya. Zat admixture ini biasanya ditambahkan ke campuran beton saat proses pencampuran atau dapat diterapkan pada permukaan beton yang sudah ada melalui metode pengecatan atau semprotan. Conplast WP421 memiliki karakteristik berupa bahan cair berwarna coklat, mengandung *plasticizer* untuk membantu pemadatan yang optimal, dan bahan *antifoam* yang dipilih untuk mengurangi penetrasi air. (Anonim, 2018)

2.4 Kekuatan Beton

Kekuatan beton merupakan sifat beton keras yang paling penting. Kekuatan beton ditentukan dengan cara menghitung berapa beban maksimum yang dapat dipikul oleh suatu penampang beton melalui pengujian benda uji yang mempunyai bentuk tertentu.

Dalam pembuatan beton selalu diperhatikan sifat-sifat dari beton yang diinginkan. Sifat utama dan umum yang dikehendaki adalah sifat mekanis beton. Hal ini mempengaruhi dalam perhitungan dan pembuatan campuran beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi, yakni beton masih baru atau encer disebut beton segar, dan beton dengan kondisi yang sudah mengeras disebut beton keras.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor-faktor intrinsik lainnya seperti kekuatan agregat, kekuatan pasta semen, kekuatan ikatan atau ikatan antara semen dengan agregat.

Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku yang lebih daktil, kedap air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

2.4.1 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun terdapat tegangan tarik yang kecil dalam beton diasumsikan semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dengan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari. (Mulyono, 2017)

Komponen beton dapat dipandang sebagai bahan komposit yang terbangun dari tiga elemen yaitu agregat, mortar dan daerah interfasa (*interface*). Ketiga komponen tersebut akan mempengaruhi kuat tekan beton yang terbentuk. Sifat masing-masing komponen yang membangun kuat tekan beton.

Kuat tekan beton dapat dibagi kedalam beberapa kategori umum berdasarkan standar industri, diantaranya:

1. Beton kualitas rendah: kekuatan tekan kurang dari 20 MPa. Beton kualitas rendah biasanya digunakan untuk proyek-proyek non-struktural yang tidak memerlukan kekuatan tinggi.
2. Beton kualitas menengah: kekuatan tekan sekitar 20-40 MPa. Beton kualitas menengah sering digunakan untuk proyek-proyek struktural yang membutuhkan kekuatan sedang, seperti jalan raya, jembatan, dan bangunan komersial
3. Beton kualitas tinggi: kekuatan tekan lebih dari 40 MPa. Beton kualitas tinggi digunakan untuk proyek-proyek yang memerlukan kekuatan ekstra, seperti gedung bertingkat tinggi, infrastruktur yang kompleks, atau elemen struktural yang menanggung beban berat.

2.4.2 Permeabilitas Beton

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan *permeabel*. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan *impermeabel*, maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air. (Nurchasanah, 2010)

Permeabilitas dapat diukur dengan menentukan tingkat aliran air yang melalui benda tersebut yang nilainya dinyatakan sebagai koefisien permeabilitas k_p (cm/dt) (Sudipta & Sudarsana, 2009). Semakin kecil koefisien permeabilitas beton maka kekuatan beton semakin tinggi. Besar kecilnya koefisien permeabilitas beton menyatakan mudah tidaknya beton dilalui air. Semakin tinggi koefisien permeabilitas semakin mudah dilalui air.

Pengujian permeabilitas beton dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi volume perembesan air di bawah tekanan yang tinggi kedalam benda uji serta tinggi air yang meresap kedalam beton setelah benda uji dibelah sehingga dapat diketahui koefisien permeabilitas dari benda uji tersebut. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji *Water Permeability Apparatus*.

2.5 Analisis Uji Material Campuran Beton

2.5.1 Uji Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian kadar air adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh
2. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
3. Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan benda uji.

Urutan proses pengujian kadar air agregat adalah sebagai berikut:

1. Menimbang dan mencatat berat talam (W_r);

2. Memasukkan benda uji ke dalam talam kemudian menimbang dan mencatat beratnya (W2);
3. Menghitung berat benda uji ($W3 = W2 - W1$);
4. Mengeringkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya tetap;
5. Menimbang dan Mencatat berat benda uji beserta talam setelah kering (W4);
6. Menghitung berat benda uji kering ($W5 = W4 - W1$).

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan:

W3 = Berat benda uji semula (gram)

W5 = Berat benda uji kering (gram)

(SNI-03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat, 1990)

2.5.2 Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat

2.5.2.1 Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Berat jenis curah adalah suatu sifat yang pada umumnya digunakan dalam menghitung volume yang ditempati oleh agregat dalam berbagai campuran yang mengandung agregat termasuk beton semen, beton aspal dan campuran lain yang diproporsikan atau dianalisis berdasarkan volume absolut.

Berat jenis curah yang ditentukan dari kondisi jenuh kering permukaan digunakan apabila agregat dalam keadaan basah yaitu pada kondisi penyerapannya sudah terpenuhi. Sedangkan berat jenis curah yang ditentukan dari kondisi kering oven digunakan untuk menghitung ketika agregat dalam keadaan kering atau diasumsikan kering. Berat jenis semu (*apparent*) adalah kepadatan relatif dari bahan padat yang membuat partikel pokok tidak termasuk ruang pori di antara partikel tersebut dapat dimasuki oleh air.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air yaitu:

1. Timbangan

Timbangan harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI- 03-6414-2002 yang dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menggantung wadah contoh uji didalam air pada bagian tengah-tengah alat penimbang.

2. Wadah contoh uji

Keranjang kawat 3,35 mm (Saringan No. 6) atau yang lebih halus, atau ember dengan tinggi dan lebar yang sama dengan kapasitas 4 sampai 7 liter untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 37,5 mm (Saringan No.1 $\frac{1}{2}$ inci) atau lebih kecil, dan wadah yang lebih besar jika dibutuhkan untuk menguji ukuran maksimum agregat yang lebih besar. Wadah harus dibuat agar dapat mencegah terperangkapnya udara ketika wadah ditenggelamkan.

3. Tangki Air

Tangki air yang kedap dimana contoh uji dan wadahnya akan ditempatkan dengan benar-benar terendam ketika digantung di bawah timbangan, dilengkapi dengan suatu saluran pengeluaran untuk menjaga agar ketinggian air tetap.

4. Alat penggantung (kawat)

Kawat untuk menggantung wadah haruslah kawat dengan ukuran praktis terkecil untuk memperkecil seluruh kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.

5. Saringan 4,75 mm (No. 4)

Saringan atau ukuran yang lain jika dibutuhkan (Pasal 5).

Langkah-langkah pengambilan dan persiapan contoh uji sebagai berikut:

1. Pengambilan dan persiapan contoh uji harus disesuaikan dengan SNI-03-6889- 2002.
2. Mencampur agregat secara menyeluruh dan dikurangi hingga mendekati jumlah yang diperlukan dengan menggunakan prosedur yang sesuai dengan SNI-13- 6717-2002.

Memisahkan semua material yang lolos saringan ukuran 4,75 mm (No.4) dengan penyaringan kering, kemudian mencuci secara menyeluruh untuk menghilangkan debu atau material lain dari permukaan agregat. Jika

agregat kasar mengandung sejumlah bahan yang lebih halus dari saringan ukuran 4,75 mm (No.4) dalam jumlah yang substansial, seperti agregat ukuran 2,36 mm (No. 8) dan Saringan ukuran No. 9 (dalam AASHTO M 43), gunakan saringan ukuran 2,36 mm (No. 8) sebagai pengganti saringan ukuran 4,75 mm (No.4). Memisahkan material yang lebih halus dari saringan ukuran 4,75 mm (No.4) sebagai pilihan dan menguji material menurut SNI-03-1970-1990.

3. Berat contoh uji minimum yang digunakan disajikan di bawah ini. Jika lebih dari 15 persen dari contoh uji tertahan di atas saringan ukuran 37,5 mm (No. 1½ inci), material yang lebih besar dari 37,5 mm diuji dalam satu atau lebih ukuran fraksi secara terpisah dari ukuran yang lebih kecil. Apabila agregat diuji dalam ukuran fraksi yang terpisah, berat contoh uji minimum untuk masing-masing fraksi harus merupakan perbedaan antara berat yang telah ditentukan untuk ukuran minimum dan maksimum dari fraksi tersebut.
4. Jika contoh diuji dalam dua fraksi atau lebih, tentukanlah susunan butiran (gradasi) contoh sesuai dengan SNI-03-1974-1990, termasuk saringan yang dipergunakan untuk memisahkan fraksi di dalam cara uji ini. Dalam menghitung persentase material dalam setiap ukuran, abaikan jumlah material yang lebih halus dari pada saringan ukuran 4,75 mm (No.4) atau saringan ukuran 2,36 mm (No. 8) apabila digunakan seperti yang dijelaskan pada pasal 5. butir b.

Urutan proses pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. Contoh uji tersebut dikeringkan sampai mencapai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, kemudian didinginkan pada temperatur kamar selama satu sampai tiga jam untuk contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm (Saringan No. 1½ in.) atau lebih besar sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan (kira-kira 50°C). Setelah itu, agregat tersebut direndam di dalam air pada temperatur kamar selama (24 ± 4) jam. Saat agregat kasar dengan ukuran maksimum yang besar diuji, contoh uji yang lebih besar diperlukan, dan pengujian lebih

mudah dilakukan dalam dua atau lebih contoh yang lebih kecil, kemudian nilai-nilai yang diperoleh digabungkan dengan perhitungan perhitungan pada pasal 7.

2. Apabila nilai-nilai penyerapan dan berat jenis akan dipergunakan dalam menentukan proporsi campuran beton yang agregatnya akan berada pada kondisi alaminya, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat tetap dapat dihilangkan, dan jika permukaan partikel butir contoh terjaga secara terus-menerus dalam kondisi basah, perendaman sampai (24+4) jam juga dapat dihilangkan. Sebagai catatan nilai-nilai untuk penyerapan dan berat jenis curah (jenuh kering permukaan) mungkin lebih tinggi untuk agregat yang tidak kering oven sebelum direndam dibandingkan dengan agregat yang sama tetapi diperlakukan seperti pada pasal 6 butir a. Hal ini jelas, khususnya untuk partikel butiran yang lebih besar dari 75 mm (3 inci) karena air tidak mungkin mampu masuk sampai pusat butiran dalam waktu perendaman seperti yang disyaratkan.
3. Contoh uji dipindahkan dari dalam air dan diguling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air yang terlihat hilang. Air dari butiran yang besar dikeringkan secara tersendiri. Aliran udara yang bergerak dapat digunakan untuk membantu pekerjaan pengeringan. Kerjakan secara hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi jenuh kering permukaan. Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dan semua berat yang sampai nilai 1,0 gram terdekat atau 0,1 persen yang terdekat dari berat contoh, pilihlah nilai yang lebih besar.
4. Setelah beratnya ditentukan, contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan segera ditempatkan di dalam wadah, lalu beratnya di dalam air yang memiliki kerapatan (997 ± 2) kg/m³ pada temperatur $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ditentukan. Usaha untuk menghilangkan udara yang terperangkap sebelum penentuan berat harus dilakukan dengan hati-hati, dengan cara menggoncangkan wadah dalam kondisi terendam. Wadah tersebut harus terendam dengan kedalaman yang cukup untuk menutup contoh uji selama penentuan berat. Ukuran kawat yang menggantungkan

kontainer tersebut harus dipilih dengan praktis yang paling kecil untuk memperkecil kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, dinginkan pada temperatur-kamar selama satu sampai tiga jam, atau sampai agregat telah dingin pada suatu temperatur yang dapat dikerjakan pada temperatur (kira-kira 50°C), kemudian tentukan beratnya. Gunakan berat ini dalam proses perhitungan pada pasal 7.

Langkah-langkah perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar:

1. Berat jenis curah kering

Perhitungan berat jenis curah kering (S_d) pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{B-C} \quad (2.2)$$

Keterangan :

A = berat benda uji kering oven (gram);

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

C = berat benda uji dalam air (gram);

2. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)

Perhitungan berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s) pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dalam basis jenuh kering permukaan dilakukan dengan rumus berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)} = \frac{B}{B-C} \quad (2.3)$$

Keterangan:

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

C = berat benda uji dalam air (gram).

3. Berat jenis semu

Perhitungan berat jenis semu (S_a) pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dilakukan dengan cara berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{A-C} \quad (2.4)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram);

C = berat benda uji dalam air (gram).

4. Penyerapan air

Menghitung persentase penyerapan air (Sw) dengan cara:

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B-A}{B} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

B = berat benda uji kering oven (gram);

A = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

(SNI-1969-2008 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar, 2008)

2.5.3 Uji Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Analisis saringan agregat adalah 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 maupun agregat kasar. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik.

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji;
2. Satu set saringan; 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); 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);
3. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 + 5) °C;
4. Alat pemisah contoh;
5. Mesin pengguncang saringan;

6. Talam-talam;
7. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, sampai berat tetap;
2. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

(SNI-03-1968-1990 Sieve Analysis Agregat Halus dan Agregat Kasar, 1990)

2.5.3.1 Uji Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam bagai para pelaksana di laboratorium dalam melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Cara uji ini digunakan untuk menentukan setelah (24 ± 4) jam di dalam air berat jenis curah kering dan berat jenis semu, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan, serta penyerapan air.

Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian berat jenis agregat halus yaitu:

1. Timbangan

Timbangan harus sesuai dengan persyaratan dalam SNI-03-6414-2002.

2. Piknometer Labu atau wadah lain yang cocok untuk benda uji agar dapat dengan mudah dimasukkan volume agregat halus sebanyak $\pm 100 \text{ mm}^3$ secara berulang. Volume wadah akan diisi sampai bagian yang ditandai, paling tidak harus 50% lebih besar dari ruang yang diperlukan untuk benda uji. Suatu labu dengan kapasitas 500 mL cukup untuk 500 gram rata-rata benda uji agregat halus. Sebuah labu *Le Chatelier* yang digambarkan pada AASHTO T 133 dapat digunakan untuk 55 gram benda uji.

3. Cetakan

Suatu cetakan yang terbuat dari baja yang tebalnya 0,8 mm berbentuk frustum kerucut (kerucut terpancung) dengan ukuran sebagai berikut: Diameter dalam bagian atas $(40 \pm 3) \text{ mm}$, diameter dalam bagian bawah $(90 \pm 3) \text{ mm}$ dan tinggi kerucut terpancung $(75 \pm 3) \text{ mm}$.

4. Batang penumbuk Suatu batang pemadat dengan berat (340 ± 15) gram dan permukaan pemadat berbentuk lingkaran yang rata dengan diameter (25 ± 3) mm.
5. Oven
Oven yang dapat dipergunakan harus memiliki kapasitas yang sesuai, dilengkapi pengatur temperatur dan mampu memanaskan sampai temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
6. Alat pengukur temperatur
Alat pengukur temperatur seperti thermometer baik analog maupun elektronik dengan rentang temperatur yang sesuai dan ketelitian pembacaan 1°C .
7. Alat bantu lain
 - Pompa vakum atau alat pemanas (tungku) untuk mengeluarkan gelembung.
 - Saringan dengan ukuran bukaan $4,75$ mm (No.4).
 - Talam
 - Bejana tempat air.

Langkah-langkah pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yaitu:

1. Perlu diperhatikan bahwa seluruh penentuan berat harus dilakukan sampai ketelitian $0,1$ gram.
2. Piknometer diisi dengan air sebagian saja. Kemudian, agregat halus seberat (500 ± 10) gram dalam kondisi jenuh kering permukaan yang telah dipersiapkan sebelumnya dimasukkan ke dalam piknometer. Air ditambahkan kembali sampai mencapai sekitar 90% kapasitas piknometer. Piknometer diputar dan diguncangkan dengan tangan untuk menghilangkan gelembung udara yang terdapat di dalam air. Cara uji lain yang dapat digunakan untuk mempercepat pengeluaran gelembung udara dari dalam air diperbolehkan asalkan tidak menimbulkan pemisahan dan merusak butiran agregat. Temperatur piknometer, air, dan agregat disesuaikan pada $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, dan jika perlu, direndam dalam air yang bersirkulasi. Piknometer diisi penuh sampai batas pembacaan pengukuran. Berat total dari piknometer, benda uji, dan air ditimbang. Biasanya,

dibutuhkan waktu 15 sampai 20 menit untuk menghilangkan gelembung udara dari dalam air bila menggunakan cara manual. Menyentuhkan ujung dari handuk kertas ke dalam piknometer cukup efektif untuk menghilangkan buih yang timbul saat menggetarkan atau memutar untuk menghilangkan gelembung, atau dengan cara menambahkan beberapa tetes isopropil alkohol segera setelah gelembung udara dihilangkan dan menambahkan air sampai batas pengukuran juga cukup efektif untuk menghilangkan buih yang terbentuk.

- Cara alternatif menentukan berat dapat dilakukan dengan menghitung jumlah air yang dibutuhkan untuk mengisi piknometer pada temperatur yang ditentukan secara volumetrik dengan menggunakan buret yang ketelitiannya 0,15 mL.
- Langkah alternatif lain menggunakan labu *Le Chatelier* adalah dengan mengisi labu tersebut dengan air hingga mencapai posisi garis yang berada di antara 0 dan 1 mL. Pembacaan ini dicatat pada temperatur $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

55 gram agregat halus kondisi jenuh kering permukaan dimasukkan ke dalam labu. Setelah semua agregat halus dimasukkan, tutup labu dipasang dan labu diputar dengan sedikit dimiringkan untuk mengeluarkan gelembung udara yang terjebak, dilanjutkan hingga tidak ada lagi gelembung yang naik ke permukaan.

Pada posisi akhir, bacaan labu ukur harus dipertimbangkan. Jika alkohol digunakan untuk menghilangkan buih di permukaan air, volume alkohol yang digunakan (tidak lebih dari 1 mL) harus dikurangi saat pembacaan terakhir (R2).

3. Agregat halus dikeluarkan dari dalam piknometer, dikeringkan sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, didinginkan pada temperatur ruang selama $(1,0 \pm 0,5)$ jam, dan kemudian ditimbang beratnya. Saat mengeringkan dan menimbang berat benda uji dari dalam piknometer, sisa dari contoh uji dalam kondisi jenuh kering permukaan dapat digunakan untuk menimbang berat kering ovennya. Benda uji ini harus diambil pada saat yang bersamaan dan selisih beratnya hanya 0,2 gram. Jika labu

Le Chatelier digunakan, akan diperlukan benda uji yang terpisah untuk menentukan penyerapan air. Timbangan berat (500+10) gram benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan yang terpisah, dikeringkan sampai berat tetap, kemudian ditimbang kembali. Benda uji ini harus diambil pada saat yang bersamaan dengan yang dimasukkan ke dalam labu *Le Chatelier*.

4. Berat piknometer ditimbang pada saat terisi air saja hingga batas pembacaan yang ditetapkan pada $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

(SNI-1970-2008 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus, 2008)

2.5.4 Uji Berat Isi Agregat

Cara uji ini meliputi penentuan berat isi dari campuran beton segar dan beberapa formula untuk menghitung volume produksi campuran, kadar semen, dan kadar udara dalam beton.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian berat isi agregat yaitu:

1. Timbangan

Timbangan dengan ketelitian 45 g atau 0.3% dari berat benda uji, atau lebih besar berdasarkan rentang yang digunakan. Rentang yang digunakan berdasarkan timbangan yang dapat digunakan untuk menimbang wadah ukur kosong sampai wadah ukur yang telah terisi beton sekitar 2600 kg/m^3 .

2. Batang penusuk

Batang penusuk terbuat dari baja yang lurus dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm, dengan bagian ujungnya dibulatkan setengah bola dengan diameter 16 mm.

3. Penggetar internal

Penggetar internal harus memiliki permukaan yang halus dan rapat pada bagian penggetarnya serta digerakkan dengan motor listrik. Frekuensi getaran harus 7000 getaran per menit atau lebih. Diameter terluar dari bagian penggetar tidak kurang dari 19 mm dan tidak lebih dari 38 mm. Panjang bagian penggetar tidak kurang dari 600 mm.

4. Wadah ukur

Wadah ukur berbentuk silinder, dapat terbuat dari baja atau logam lain. Kapasitas minimum dari wadah silinder harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam tabel 1 yang berdasarkan pada ukuran agregat dalam beton yang akan diuji. Semua wadah ukur, kecuali wadah ukur pada pengukur kadar udara yang digunakan pada pengujian TEST METHOD C 138, harus sesuai dengan persyaratan TEST METHOD C 29/C 29M. Wadah ukur yang digunakan pada pengukur kadar udara (air meter) harus sesuai dengan persyaratan TEST METHOD C 231, dan harus dikalibrasi untuk volumenya sebagaimana dijelaskan pada TEST METHOD C 29/C 29M.

5. Alat perata

Pelat logam persegi empat dengan ketebalan 6 mm atau pelat acrylic atau kaca dengan ketebalan 12 mm, lebar 50 mm dan panjang yang disesuaikan dengan wadah silinder yang digunakan. Permukaan pelat harus rata dan mulus dengan toleransi penyimpangan 2 mm.

6. Palu karet

Untuk wadah ukur dengan volume tidak lebih dari 14 liter, gunakan palu karet dengan berat (600 ± 200) g, sedang kan untuk wadah ukur dengan volume lebih dari 14 liter, gunakan palu karet dengan berat (1000 ± 200) g.

Prosedur pelaksanaan pengujian berat isi agregat yaitu:

1. Pemilihan metode pemadatan

Pemilihan metode pemadatan berdasarkan nilai slump dilakukan jika tidak ditentukan dalam spesifikasi. Metode pemadatan dilakukan dengan cara penusukan dan getaran internal. Untuk nilai slump yang lebih besar dari 75 mm pemadatan dilakukan dengan cara penusukan. Untuk nilai slump yang terletak di antara 25 mm sampai 75 mm pemadatan dapat dilakukan dengan cara penusukan atau penggetaran internal. Apabila nilai slump lebih kecil dari 25 mm maka pemadatan hanya boleh dilakukan dengan cara penggetaran.

2. Pemadatan

Beton ditempatkan dalam tiga lapis dengan volume yang sama pada setiap lapis. Untuk wadah ukur yang digunakan dengan volume 14 liter atau lebih kecil, tusuk-tusuk setiap lapis dengan 25 tusukan batang penusuk, 50

tusukan bila volume wadah ukur yang digunakan 28 liter, dan satu tusukan untuk setiap 20 cm² dari permukaan untuk wadah ukur yang lebih besar. Tusukan lapisan bawah tidak menyentuh wadah ukur bagian bawah. Penusukan dilakukan secara merata di atas penampang melintang wadah ukur dan untuk dua lapis di atasnya, tusukan menembus lapisan di bawahnya sedalam 25 mm. Setelah setiap lapis ditusuk, pukul-pukul setiap sisi sebanyak 10 sampai 15 kali dengan menggunakan palu (sesuai 4.6) untuk mengurangi jumlah pori dalam beton.

3. Penggetaran internal

Wadah ukur dalam dua lapis yang sama diisi dan digetarkan. Semua beton ditempatkan dalam setiap lapis dalam wadah ukur sebelum penggetaran dimulai. Alat penggetar dimasukkan pada tiga tempat yang berbeda di setiap lapis. Untuk pemadatan lapis bawah, usaha dilakukan agar alat penggetar tidak mengenai bagian bawah wadah ukur. Dalam pemadatan lapis terakhir, setiap lapis yang di bawahnya ditembus oleh alat penggetar kira-kira 25 mm. Alat penggetar ditarik secara hati-hati agar tidak ada udara yang terperangkap dalam beton. Waktu penggetaran yang diperlukan akan tergantung pada tingkat kemudahan pekerjaan beton dan efektivitas penggetar (*Vibrator*). Penggetaran menerus hanya boleh dilakukan untuk mendapatkan beton yang padat. Lamanya waktu penggetaran yang diperlukan untuk berbagai jenis beton, penggetar, dan alat ukur yang digunakan diamati.

4. Penyelesaian pemadatan

Pada penyelesaian pemadatan, wadah ukur tidak boleh dibiarkan dalam keadaan kekurangan atau kelebihan beton. Jumlah maksimum kelebihan beton adalah sekitar 3 mm di atas wadah ukur. Beton dapat ditambahkan dalam jumlah yang sedikit untuk menutupi kekurangan. Jika terdapat kelebihan beton dalam wadah ukur pada saat penyelesaian pemadatan, kelebihan beton tersebut harus dipindahkan dengan menggunakan sendok semen atau sekop secepat mungkin seiring penyelesaian pemadatan dan sebelum wadah ukur diratakan.

5. Perataan

Setelah pemadatan, permukaan atas beton diratakan hingga batas atas wadah ukur dengan menggunakan alat perata sehingga permukaan beton benar-benar rata. Perataan dilakukan dengan menekan alat perata pada permukaan atas wadah ukur untuk menutupi sekitar $\frac{2}{3}$ dari permukaan dan gerakan pelat perata dengan gerakan menyapu sampai tertutup sepenuhnya. Kemudian, pelat perata diletakkan pada permukaan atas wadah ukur untuk menutupi $\frac{2}{3}$ permukaan lainnya dan dilakukan tekanan vertikal serta gerakan menyapu untuk menutupi seluruh permukaan wadah ukur hingga rata. Tusukan akhir dilakukan dengan menggunakan pelat perata untuk memastikan permukaan mulus.

6. Pembersihan dan penimbangan

Setelah diratakan, semua kelebihan beton yang terdapat pada bagian luar wadah ukur dibersihkan, lalu berat beton dan wadah ukur ditentukan dengan timbangan sesuai dengan persyaratan pada 4.1 untuk hasil yang akurat.

(SNI-1973-2008 Cara Uji Berat Isi Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton, 2008)

2.5.5 Uji Kadar Lumpur

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencana dan pelaksana pembangunan jalan.

Tabel 2.1 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji

Ukuran Maksimum Agregat		Berat Kering Benda Uji
Ukuran Saringan	Mm	Gram
No.8	2,36	100
No.4	4,75	500
3/g	9,50	1000
³ /4	19.00	2500
± 1 1/2	± 38.10	5000

Sumber: SNI-03-4142-1996

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Berat kering benda uji awal

$$W3 = W1 - W2 \quad (2.6)$$

2. Berat kering benda uji sesudah pencucian 26

$$W5 = W4 - W2 \quad (2.7)$$

3. Bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm)

$$W6 = \frac{w3-w5}{w3} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

W1 = Berat kering benda uji + wadah (gram);

W2 = Berat wadah (gram);

W3 = Berat kering benda uji awal (gram);

W4 = Berat kering benda uji sesudah pencucian + wadah (gram);

W5 = berat kering benda uji sesudah pencucian (gram);

W6 = % bahan lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).

Tata cara pengujian kadar lumpur adalah sebagai berikut:

1. Wadah ditimbang tanpa benda uji;
2. Benda uji ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah;

3. Air pencuci yang telah berisi sejumlah bahan pembersih dimasukkan ke dalam wadah, sehingga benda uji terendam;
4. Benda uji diaduk dalam wadah sehingga terjadi pemisahan sempurna antara butir-butir kasar dan bahan halus yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).
5. Usahkan bahan halus tersebut menjadi melayang di dalam larutan air pencuci sehingga mempermudah memisahkannya:
6. Air pencuci dituangkan dengan segera di atas saringan Nomor 16 (1,18 mm) yang di bawahnya dipasang saringan Nomor 200 (0,075 mm), pada saat menuangkan air pencuci harus hati-hati agar bahan yang kasar tidak ikut tertuang;
7. Pekerjaan butir (3), (4), dan (5) diulang, sehingga air pencuci terlihat jernih;
8. Semua benda uji yang tertahan oleh saringan Nomor 16 (1.18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) dikembalikan ke dalam wadah, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, hingga mencapai berat tetap, dan ditimbang sampai dengan ketelitian maksimum 0,1% dari berat contoh;
9. Persen bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dihitung dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan seperti yang diuraikan pada Bab III, butir 3.4.

(SNI-03-4142-1996 Analisis Kadar Lumpur, 1996)

2.5.6 Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Tujuan pengujian keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Cara uji ini sebagai pegangan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles. (Sukma, 2022)

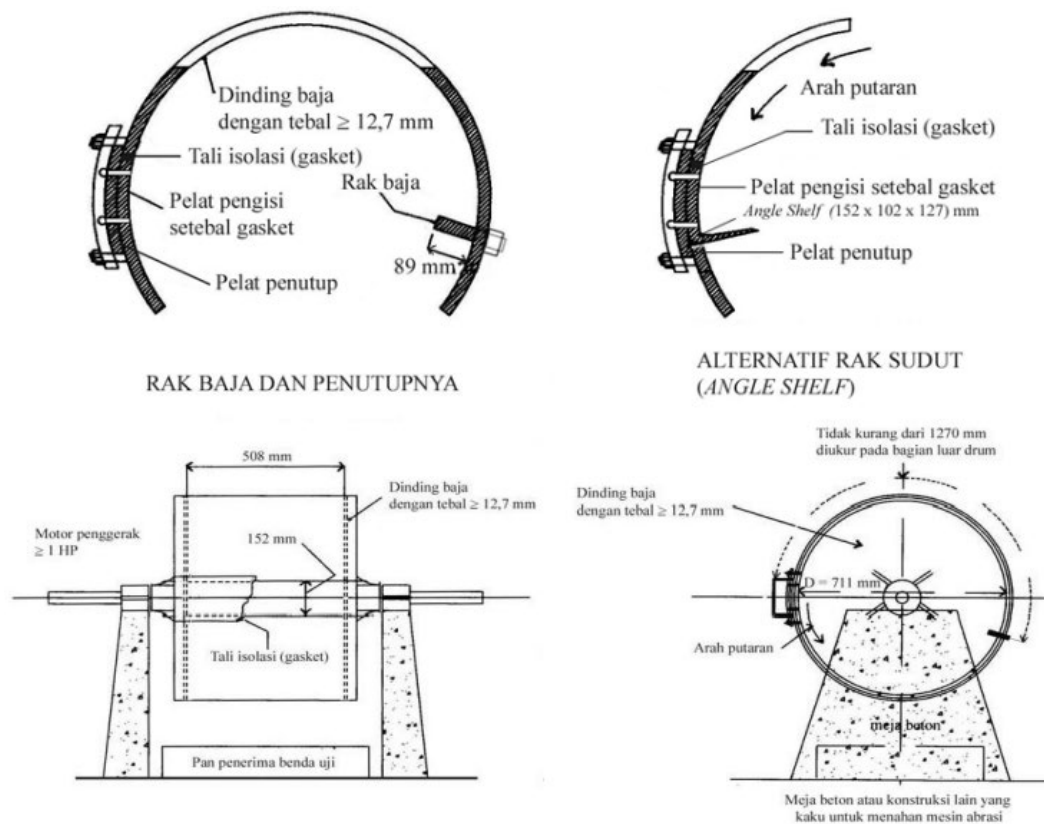
Peralatan yang digunakan dalam pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles yaitu sebagai berikut:

1. Mesin abrasi Los Angeles (Lampiran A). Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28 inci)

panjang dalam 508 mm (20 inci); silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar; silinder berlubang untuk memasukkan benda uji; penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu; di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5 inci);

2. Saringan No.12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya;
3. Timbangan, dengan ketelitian 0,1% terhadap berat contoh atau 5 gram;
4. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32 inci) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram;
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur untuk memanasi sampai dengan $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
6. Alat bantu pan dan kuas.

(SNI-2417-2008 Uji Mesin Los Angeles, 2008)



Gambar 2.3 Peralatan Mesin Abrasi Los Angeles

Sumber: SNI-2417-2008

2.5.7 Analisis Uji Slump (*Slump Test*)

Pengujian slump beton ini bertujuan untuk menyediakan langkah kerja bagi para pengguna untuk menentukan slump dari beton semen hidrolis plastis. Pengujian ini memuat ruang lingkup, arti kegunaan, rangkuman dari cara uji, peralatan, langkah kerja, laporan serta ketelitian dan penyimpangan. Hasil uji ini digunakan dalam pekerjaan, perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pementasan.

Pengujian slump ini merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan workability adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai slump. Kondisi laboratorium dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai slump umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian slump adalah sebagai berikut:

1. Alat uji

Alat uji harus berupa sebuah cetakan yang terbuat dari bahan logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen. Ketebalan logam tersebut tidak boleh lebih kecil dari 1,5mm dan bila dibentuk dengan proses pemutaran (*spinning*), maka tidak boleh ada titik dalam cetakan yang ketebalannya lebih kecil dari 1,15 mm.

Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm. Permukaan dasar dan permukaan atas kerucut harus terbuka dan sejajar satu dengan yang lain serta tegak lurus terhadap sumbu kerucut. Batas toleransi untuk masing-masing diameter dan tinggi kerucut harus dalam rentang 3,2 mm dari ukuran yang telah ditetapkan. Cetakan harus dilengkapi dengan bagian injakan kaki dan untuk pegangan seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Bagian dalam dari cetakan relatif harus licin dan halus, bebas dari lekukan, deformasi atau mortar yang melekat. Cetakan harus dipasang secara kokoh di atas pelat dasar yang tidak menyerap air. Pelat dasar juga harus cukup luas agar dapat menampung adukan beton setelah mengalami slump. (SNI-1972-2008 Uji Slump, 2008)