

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar

Mortar adalah campuran dari semen, agregat halus (pasir), dan air yang berfungsi sebagai bahan perekat untuk menyatukan komponen bangunan seperti batu bata maupun elemen konstruksi lainnya. Mortar berfungsi sebagai perekat yang menyatukan komponen bangunan dan memberikan kekuatan serta ketahanan pada struktur (Neville A. M., 2010). Pada penelitian ini, peneliti membuat sample mortar geopolimer dengan ukuran 5x5 cm.

2.1.1 Perbedaan Mortar Konvensional dan Mortar Geopolimer

Perbedaan utama antara mortar konvensional dan mortar geopolimer terletak pada jenis bahan pengikat yang digunakan. Mortar geopolimer menggunakan aktivator alkali untuk memicu reaksi antara kandungan alumina dan silika dalam material seperti *fly ash* dan limbah konstruksi dinding bata merah dan bata ringan (hebel). Sebaliknya, mortar konvensional mengandalkan semen sebagai bahan pengikat utama dengan air sebagai media hidrasi. Dari segi waktu pengerasan, mortar geopolimer cenderung mengeras lebih cepat dibandingkan mortar konvensional.

Campuran mortar dengan semen PPC cenderung menyerap lebih banyak air, sehingga menghasilkan permukaan yang kasar dan tidak rata. Sementara itu, campuran mortar geopolimer lebih encer saat proses pencampuran, menghasilkan permukaan yang lebih halus dan rata. Selain itu, karena penggunaan *fly ash* berwarna coklat dalam mortar geopolimer, warna hasil akhirnya cenderung lebih terang, sedangkan mortar berbahan PPC memiliki warna abu-abu terang. (Priastiwi et al., 2023)

2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah komponen utama dalam campuran beton, biasanya berupa kerikil atau batu pecah, yang dapat diperoleh dari sumber alami maupun diproduksi secara buatan. Mengacu pada SNI 1970:2008, agregat kasar didefinisikan

sebagai kerikil alami atau hasil pemecahan batuan dengan ukuran partikel antara 4,75 mm (melewati saringan No. 4) hingga 40 mm (melewati saringan $\frac{1}{2}$ inci). Berdasarkan standar ASTM C33, agregat kasar untuk konstruksi dapat berupa kerikil atau batu pecah, dengan ukuran partikel berkisar antara 5 mm hingga 37,5 mm. Adapun persyaratan agregat kasar menurut ASTM C33/03 meliputi: Mortar adalah campuran dari semen, agregat halus (pasir), dan air yang digunakan untuk mengikat batu bata atau bahan bangunan lainnya. Mortar berfungsi sebagai perekat yang menyatukan komponen bangunan dan memberikan kekuatan serta ketahanan pada struktur (Neville A. M., 2010). Pada penelitian ini, peneliti membuat sample mortar geopolimer dengan ukuran 5x5 cm.

1. Agregat kasar harus memiliki tekstur padat tanpa pori serta bersifat keras dan kuat..
2. Material agregat kasar harus tahan terhadap pengaruh cuaca dan memiliki kestabilan bentuk maupun sifat fisik yang tidak mudah berubah.
3. Komposisi material dalam agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang berpotensi menurunkan mutu beton atau menyebabkan kerusakan pada struktur beton dalam jangka panjang.
4. Kandungan lumpur pada agregat kasar tidak boleh melebihi batas maksimum 1%. Apabila kadar lumpur melebihi nilai tersebut, agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum dicampurkan ke dalam beton.

2.3 Agregat Buatan

Agregat buatan merupakan jenis agregat yang memiliki massa jenis kering (dry density) kurang dari 1900 kg/m³ dan dapat diproduksi dari berbagai sumber material, seperti limbah industri, limbah pertanian, maupun bahan mineral alami (Neville, 2011). Menurut ACI Committee 223 (2003), agregat buatan, atau yang disebut juga artificial aggregate, didefinisikan sebagai agregat yang memiliki densitas kering di bawah 1850 kg/m³. Lebih lanjut, ACI Committee 223 mengelompokkan agregat buatan ke dalam tiga kategori berdasarkan tingkat densitasnya, yaitu:

1. Agregat ringan (*lightweight aggregate*): memiliki densitas kering kurang

dari 1200 kg/m³.

2. Agregat sedang (*moderate-density aggregate*): memiliki densitas antara 1200 kg/m³ hingga 1600 kg/m³.
3. Agregat berat (*high-density artificial aggregate*): memiliki densitas antara 1600 kg/m³ hingga kurang dari 1850 kg/m³.

2. 4 Material Penyusun Agregat Buatan

Agregat kasar buatan dalam penelitian ini dibuat dari campuran abu terbang, agregat halus, serta larutan alkali sebagai aktivator kimia yang berperan dalam memicu reaksi geopolimerisasi. Komposisi material penyusun agregat buatan tersebut dijelaskan secara rinci pada bagian berikut.

2.4.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)



Gambar 2. 1 Abu Terbang (*Fly Ash*) Kelas F
Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025

Abu terbang dihasilkan sebagai partikel halus yang terbawa ke atas saat proses pembakaran batu bara berlangsung, sedangkan *bottom ash* merupakan residu padat yang tertinggal di bagian bawah tungku pembakaran. Kedua jenis abu ini umumnya dihasilkan dari proses pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) maupun sistem pembakaran lain yang tidak dilengkapi dengan teknologi pembakaran modern seperti stoker boiler atau tungku industri. Menurut definisi dari American Concrete Institute (ACI) Committee 116R, abu terbang adalah partikel halus sisa pembakaran batu bara yang ikut terbawa oleh aliran gas buang menuju sistem pembuangan (ACI Committee 232, 2004). Meskipun abu terbang tidak memiliki sifat pengikat hidraulik seperti semen, dalam kondisi tertentu terutama ketika bereaksi dengan larutan

natrium hidroksida abu ini dapat menunjukkan sifat pengikatan karena kandungan utama berupa senyawa silikat oksida (Hardjito, 2001). Secara umum, geopolimer terbentuk dari bahan yang mengandung senyawa aluminosilikat, terutama yang kaya akan silika (Si) dan alumina (Al), karena kedua unsur ini berperan penting dalam reaksi polimerisasi yang membentuk struktur geopolimer.

2.4.2 Alkali Aktivator

Aktivator alkali merupakan komponen penting yang berfungsi untuk menginisiasi reaksi kimia pada material berbasis geopolimer. Aktivator kimia dalam penelitian ini terdiri atas natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3), yang keduanya merupakan senyawa terhidrasi dan berperan penting dalam proses geopolimerisasi. Natrium hidroksida berperan sebagai pereaksi terhadap senyawa silika (Si) dan alumina (Al) dalam bahan dasar, sedangkan natrium silikat berfungsi untuk mempercepat laju reaksi polimerisasi sehingga mempercepat proses pembentukan struktur geopolimer (Hardjito et al., 2004 dalam Fitriani, 2010). Kedua jenis aktivator ini umum digunakan dalam sistem geopolimer karena ketersediaannya yang mudah dan efektivitasnya yang tinggi dalam membentuk ikatan polimer yang stabil. Dalam aplikasi beton geopolimer, Natrium Silikat umumnya tersedia dalam bentuk gel yang dikenal dengan istilah *waterglass*.



Gambar 2. 2 Sodium Hidroksida (NaOH)
Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025



Gambar 2. 3 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025

2.4.3 Limbah Konstruksi Dinding Bata Merah dan Bata Ringan



Gambar 2. 4 Limbah Bata Merah

Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025



Gambar 2. 5 Limbah Bata Ringan

Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025

Limbah konstruksi dari dinding bata merah dan hebel merupakan sisa material bangunan yang dihasilkan dari proses pembongkaran, renovasi, atau pembangunan yang menggunakan bata merah atau *hebel* (bata ringan). Limbah ini termasuk dalam kategori limbah padat non-organik yang cukup umum dijumpai di proyek konstruksi maupun pembongkaran bangunan.

Kandungan Silika (SiO_2) yang diperoleh bata merah berkisar antara 50% hingga 60%, sedangkan untuk bata ringan (hebel) memiliki kandungan

silika 55% hingga 65%.

2.5 Agregat Halus

Dalam kajian sebelumnya yang dilakukan oleh (Byung, Seung, dan Byung, 2004), pengembangan agregat buatan dilakukan melalui pencampuran abu terbang dan bottom ash sebagai bahan utama. Penelitian tersebut juga melibatkan uji kekuatan hancur (*crushing test*) terhadap agregat yang dihasilkan. Rincian proporsi campuran dan hasil uji kuat tekan agregat batubara disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Mixture Proporrtion dan Compressive Strength of Coal Test

Type	Fly ash : bottom ash	NaOH (%)	Water glass (%)	Compressive strength (MPa)
B1-N1-G1	5:5	5	10	20.3
B1-N1-G2			15	23.1
B1-N2-G1		10	10	27.1
B1-N2-G2			15	28.1
B1-N3-G1		15	10	23.9
B1-N3-G2			15	25.7
B2-N1-G1	6:4	5	10	26.6
B2-N1-G2			15	27.6
B2-N2-G1		10	10	33.8
B2-N2-G2			15	36.4
B2-N3-G1		15	10	28.4
B2-N3-G2			15	30.9

Sumber : Journal of Korean Concrete Institute

Bottom ash dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan agregat buatan pada penelitian ini, dengan tujuan menjaga kestabilan bentuk butiran yang dihasilkan melalui proses pelletisasi. *Bottom ash* memiliki karakteristik fisik yang menyerupai pasir, dengan distribusi ukuran partikel yang bervariasi mulai dari butiran halus hingga kasar. Sifat tersebut menjadikan *bottom ash* sebagai material yang potensial untuk digunakan sebagai alternatif agregat halus dalam produksi beton (Singh & Siddique, 2015).

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus didefinisikan sebagai material bertekstur halus dengan ukuran partikel maksimum sebesar 4,76 mm, yang dapat berasal dari sumber alami atau terbentuk melalui proses geologis. Di sisi lain, agregat halus hasil olahan merupakan material yang diperoleh melalui proses mekanis, seperti pemecahan dan pengayakan batuan, atau dari limbah industri seperti terak tanur tinggi (*blast furnace slag*). Untuk dapat digunakan sebagai bahan bangunan, agregat halus harus memenuhi standar mutu tertentu sebagaimana tercantum dalam SNI S-04-1989-F, yang meliputi sejumlah ketentuan teknis

sebagai berikut:

1. Partikel agregat halus harus memiliki bentuk yang bersudut tajam, dengan karakteristik keras, padat, serta tidak mudah hancur atau terurai selama proses pencampuran dan pemadatan.
2. Agregat harus tahan terhadap pengaruh cuaca maupun perubahan lingkungan, serta tidak mudah mengalami kerusakan atau kehancuran.
3. Kandungan lumpur dalam agregat halus tidak diperbolehkan melebihi 5% dari total berat material, guna mencegah penurunan kualitas ikatan antara agregat dan pasta semen dalam campuran beton.
4. Agregat halus harus bebas dari kandungan zat organik yang berlebihan, yang dibuktikan melalui pengujian dengan larutan NaOH 3%. Hasil pengujian tidak boleh menunjukkan warna endapan yang lebih gelap daripada warna standar yang telah ditetapkan.
- 5. Agregat halus tidak diperbolehkan mengandung atau tercampur ● dengan pasir laut atau pasir pantai, karena kandungan garam dan unsur klorida di dalamnya dapat merusak struktur beton dan mempercepat proses korosi pada tulangan.
6. Modulus kehalusan dari agregat halus wajib berada dalam kisaran antara 1,50 hingga 3,80.

2.6 Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan beton maupun mortar merupakan ukuran kemampuan maksimum suatu material dalam menahan beban tekan per satuan luas hingga mencapai titik kerusakan. Pengujian kuat tekan mortar dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-6825-2002 yang berjudul "Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil", yang menjelaskan prosedur standar dalam menentukan nilai kuat tekan mortar menggunakan benda uji berbentuk kubus. Dalam prosedur ini, benda uji ditempatkan pada alat uji tekan, kemudian diberikan tekanan hingga benda uji mengalami kerusakan atau pecah. Saat benda uji pecah, nilai gaya tekan maksimum yang tercatat menjadi hasil pengujian.

Kuat tekan mortar diperoleh dengan rumus:

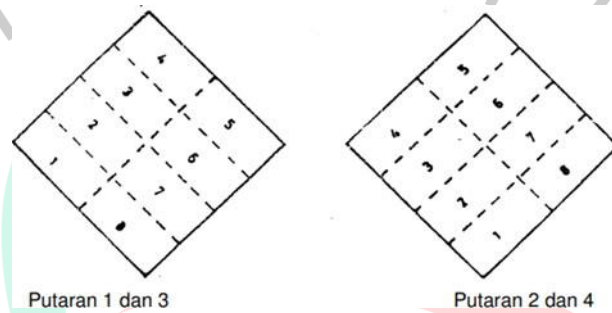
$$F_c' = \frac{F}{A}$$

Keterangan :

F_c' = Kuat Tekan (MPa)

F = Gaya beban maksimum (N)

A = Luas bidang permukaan (mm^2)



Gambar 2. 6 Kuat Tekan Mortar
Sumber: google, 2025

Dalam penelitian beton, berbagai pengujian mekanik dilakukan untuk menilai karakteristik material dan ketahanannya terhadap beban yang diberikan.

Salah satu uji utama adalah uji kuat tekan, yang bertujuan untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan tekanan hingga mencapai titik kegagalan. Uji ini dilaksanakan dengan meletakkan benda uji berbentuk silinder atau kubus pada mesin tekan hingga beton mencapai batas kehancuran. Karena beton umumnya berfungsi di bawah beban tekan dalam struktur bangunan, parameter ini menjadi dasar penilaian kualitas beton.

Dalam penelitian mengenai kekuatan mortar geopolimer sebagai bahan untuk pembuatan agregat kasar, digunakan limbah *fly ash*, limbah konstruksi dinding bata merah dan bata ringan (hebel) sebagai bahan tambahan dalam campurannya. Proses perawatan dilakukan menggunakan metode *steam curing* pada suhu 70°C dan 90°C masing-masing selama 2 jam. Pengujian kuat tekan dipilih sebagai metode paling tepat untuk mengevaluasi kekuatan mortar pada usia tertentu, berdasarkan variasi bahan tambahan yang digunakan. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa campuran mortar dengan 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% limbah konstruksi

dinding bata merah dan bata ringan tetap memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan untuk penggunaan non struktural. Oleh karena itu, uji kuat tekan memberikan informasi yang komprehensif mengenai kinerja mekanis mortar dengan komposisi tersebut, serta menilai kelayakannya untuk digunakan dalam konstruksi yang berkelanjutan dan tahan lama.

2.7 Perawatan (*Curing*)

Perawatan merupakan langkah penting dalam produksi mortar geopolimer karena proses ini mengoptimalkan reaksi aktivasi alkali. Mortar geopolimer bergantung pada reaksi polimerisasi antara material sumber (seperti abu terbang atau abu sekam padi) dan larutan aktivator alkali (NaOH dan Na_2SiO_3), berbeda dengan mortar berbahan dasar semen Portland yang bergantung pada hidrasi semen. Proses curing umumnya dilakukan setelah 24 jam atau satu hari setelah benda uji dicetak. Terdapat beberapa jenis *curing* yang ada salah satunya *steam curing*,

● Pada penelitian ini proses *curing* yang digunakan adalah *steam curing*. ●

Berikut adalah langkah-langkah dalam proses *curing* mortar:

1. Pasta mortar dituangkan ke dalam cetakan uji, kemudian didiamkan selama 24 jam pada kondisi ruang untuk proses awal pengerasan.
2. Setelah 24 jam, cetakan dilepas secara hati-hati, kemudian benda uji dipindahkan ke dalam media perawatan (*curing*) untuk proses perendaman atau penyimpanan pada kondisi lembab sesuai standar pengujian. Lalu lakukan *curing* dengan suhu yang sudah ditentukan.
3. Setelah melaksanakan *steam curing*, keluarkan benda uji lalu diamkan selama 7 dan 28 hari.
4. Ukur dan timbang berat benda uji sebelum melaksanakan pengujian.
5. Lakukan pengujian kuat tekan mortar sesuai standar yang berlaku setelah benda uji siap. (SNI 03-6825, 2002).

2.8 Pengujian Material Agregat Buatan & Agregat Kasar Alami

Pengujian terhadap agregat buatan dilakukan setelah tahap pembuatan sampel, yang kemudian diberi perlakuan *steam curing* pada suhu 70°C dan 90°C selama masing-masing 2 jam. Selanjutnya, sampel tersebut menjalani proses perawatan lanjutan di suhu ruang selama 28 hari.

2.8.1 Pengujian Berat Jenis dan Daya Serap Air

Merujuk pada SNI 1969:2008, pengujian berat jenis dan daya serap air bertujuan untuk memperoleh karakteristik fisik agregat kasar, baik dari sumber alami maupun buatan. Parameter yang diuji meliputi berat jenis curah dalam kondisi kering, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, serta nilai daya serap terhadap air. Informasi ini penting dalam mengevaluasi kualitas dan kesesuaian agregat untuk digunakan dalam campuran beton. Penjelasan masing-masing parameter berikut dengan rumus perhitungannya disajikan dalam uraian berikut.

A. Alat dan Bahan

1. Sample agregat kasar sebanyak ± 5 kg untuk keperluan pengujian.
2. Oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ digunakan untuk proses pengeringan agregat kasar hingga mencapai kondisi kering.
3. Wadah berisi air yang berfungsi untuk merendam agregat kasar dalam proses pengujian..
4. Wadah penampung agregat sebagai tempat untuk meletakkan agregat kasar selama pengujian berlangsung.
5. Neraca digital dengan ketelitian 0,1% digunakan untuk menimbang massa agregat kasar secara akurat.
6. Kain lap digunakan sebagai media untuk mengeringkan permukaan agregat kasar setelah proses perendaman, guna mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD) sebelum dilakukan penimbangan.
7. Neraca gantung dengan tingkat ketelitian minimal 0,1% digunakan untuk mengukur berat agregat dalam dua kondisi, yaitu saat berada di udara dan saat terendam dalam air, guna menentukan berat jenis serta daya serap agregat kasar secara akurat.

B. Cara Pelaksanaan

Langkah 1 : Cuci agregat kasar hingga bersih dan ambil sebanyak ± 3 kg sebagai sampel yang memenuhi persyaratan pengujian.

Langkah 2 : Pengeringan sampel dilakukan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hingga diperoleh berat konstan, ditandai dengan selisih berat antara dua penimbangan berurutan yang tidak melebihi 0,1% dari berat keseluruhan sampel.

Langkah 3 : Dinginkan sampel pada suhu ruang selama 1 hingga 3 jam, kemudian lakukan penimbangan dan catat sebagai berat kering (A).

Langkah 4 : Rendam sampel dalam air dengan suhu ruang selama 24 ± 4 jam.

Langkah 5 : Setelah proses perendaman, agregat kasar diangkat dan dikeringkan permukaannya menggunakan kain lap bersih hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*). Selanjutnya, agregat ditimbang dan hasilnya dicatat sebagai berat SSD (B).

Langkah 6 : Masukkan agregat ke dalam wadah berisi air, hilangkan gelembung udara dengan mengocok perlahan, kemudian timbang dan catat sebagai berat dalam air (C).

C. Perhitungan

1. Berat Jenis Curah Kering

Rumus untuk menghitung berat jenis curah kering (S_d) pada temperatur air dan agregat sebesar 23°C mengacu pada Persamaan 3.1, dan dinyatakan sebagai berikut:

$$S_d = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

S_d = Berat Jenis Curah Kering

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 Jenuh Kering Permukaan

Rumus untuk menghitung berat jenis curah jenuh kering permukaan (SSD), mengacu pada Persamaan 3.2, pada temperatur air dan agregat sebesar 23°C, dinyatakan sebagai berikut:

$$S_s = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots (3.2)$$



Keterangan :

S_s = Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan

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

C = Berat benda uji dalam air (gram)

3. Berat Jenis Semu

Rumus berat jenis semu (S_a) pada temperatur air dan agregat sebesar 23°C, mengacu pada Persamaan 3.3, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S_a = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

S_a = Berat Jenis Semu.

A = Berat benda uji kering oven (gram).

C = Berat benda uji dalam air (gram).

4. Penyerapan Air

Berikut adalah rumus untuk menghitung persentase penyerapan air (S_w) yang mengacu pada Persamaan 3.4:

$$S_w = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

Sw = Persentase Penyerapan Air.

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

2.8.2 Pengujian Berat Isi Agregat Buatan dan Agregat Kasar Alami

Pengujian ini mengacu pada SNI 03-1969-1990 tentang Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. Prosedur pengujian diterapkan untuk agregat halus dan kasar, dengan menggunakan peralatan serta langkah-langkah yang sesuai dengan ketentuan dalam standar tersebut.

A. Alat

1. Timbangan dengan tingkat akurasi 0,1 gram.
2. Batang berdiameter 16 mm dan panjang 610 mm difungsikan sebagai alat penusuk untuk membantu pemadatan agregat.
3. Alat ukur yang digunakan berbentuk silinder, terbuat dari logam atau kain kedap air, dengan permukaan dasar yang benar-benar rata, serta memiliki volume sesuai ketentuan pada Tabel 2.2.
4. Distribusi agregat dilakukan dengan menggunakan alat bantu seperti sekop atau sendok untuk memastikan pengisian merata ke dalam wadah uji.

Tabel 2. 2 Ukuran Nominal Agregat & Kapasitas Maksimum Penakar Berat Isi

Ukuran Besar Beton Nominal Agregat (mm)	Ukuran Besar Beton Nominal Agregat (mm)
12,5	2,8
25,0	9,3
37,5	14
75	28
112	70
150	100

Sumber: SNI 03-4804-1998

B. Prosedur Pengujian

Langkah 1 : Isi wadah penakar hingga mencapai sepertiga dari volumenya, lalu ratakan permukaan agregat dengan menggunakan batang penyipat.

Langkah 2 : Agregat dipadatkan dengan menusukkan batang penusuk sebanyak 25 kali secara memutar menuju pusat campuran.

Langkah 3 : Penakar kemudian diisi kembali hingga mencapai dua pertiga dari total volumenya, permukaannya diratakan kembali dan dilakukan penusukan sebagaimana pada tahap sebelumnya.

Langkah 4 : Setelah penakar terisi penuh, permukaan agregat diratakan secara hati-hati dengan bantuan batang penusuk, mengikuti ketentuan prosedur pengujian.

Langkah 5 : Pengukuran dilakukan terhadap berat alat ukur dalam kondisi kosong, dan berat alat ukur setelah terisi agregat.

Langkah 6 : Berat dicatat menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,05 kg, kemudian berat agregat yang dimasukkan ke dalam penakar dihitung berdasarkan selisih antara berat total dan berat alat ukur kosong.

2.8.3 Pengujian Analisis Saringan Agregat Buatan dan Agregat Kasar Alami

Pengujian ini dilakukan berdasarkan metode yang tercantum dalam SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisis Saringan untuk Agregat Kasar, baik yang berasal dari bahan buatan maupun agregat alami. Standar ini digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir agregat melalui proses pengayakan. Alat, bahan, ukuran saringan, serta tahapan pelaksanaan yang digunakan dalam pengujian ini disajikan sebagai berikut:

A. Alat dan Bahan yang Digunakan

1. Timbangan digital dengan akurasi $\pm 0,2\%$ dari berat sampel uji.
2. Oven dengan pengatur suhu otomatis yang mampu mempertahankan suhu konstan sebesar $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
3. Talam digunakan untuk menampung sampel material pada setiap

tahap proses pengujian guna mempermudah penanganan dan menjaga kebersihan bahan uji

4. Wadah digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara agregat guna mempermudah penanganan dan persiapan sebelum dilakukan pengujian.
5. Satu set saringan standar untuk agregat kasar, dengan rincian ukuran sebagai berikut:
 - a) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 37,5 mm (3").
 - b) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 19,1 mm (3/4").
 - c) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 12,5 mm (1/2").
 - d) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 9,5 mm (3/8").
 - e) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 4,75 mm (No. 4).
 - f) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 2,36 mm (No. 8).
 - g) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 1,19 mm (No. 16).
 - h) Pan (penampung bagian lolos saringan terkecil)

B. Benda Uji

Ukuran agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini mengikuti rentang standar yang umum dipakai dalam pengujian dan pembuatan beton. Rentang ukuran tersebut meliputi:

1. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 1" dengan berat minimal 1,25 kg.
2. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 3/4" dengan berat minimal 1,25 kg.
3. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 1/2" dengan berat minimal 1,25 kg.

4. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 3/8" dengan berat minimal 1,25 kg.

C. Prosedur Pengujian

Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

Langkah 1 : Lakukan pengeringan terhadap sampel agregat halus di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga bobotnya tidak mengalami perubahan lagi.

Langkah 2 : Lakukan proses penyaringan terhadap sampel menggunakan rangkaian saringan yang disusun mulai dari ukuran terbesar di bagian atas. Pengayakan dilakukan dengan cara diguncang, baik secara manual maupun dengan alat mekanis, selama 15 menit.

2.9 Uji Keausan Agregat Kasar (*Los Angeles*)

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap keausan dan kekuatan agregat kasar buatan guna mengevaluasi karakteristik fisiknya serta membandingkannya dengan agregat kasar alami. Hasil dari pengujian ini diharapkan menjadi acuan dalam menentukan kelayakan penggunaan agregat kasar buatan, khususnya dari segi kekuatannya, dalam aplikasi konstruksi..

Menurut SNI 2417:2008, pengujian abrasi bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan akibat gesekan dan tumbukan. Uji ini digunakan untuk mengukur seberapa besar material kehilangan massa setelah diputar dalam mesin Los Angeles. Hasil pengujian dinyatakan sebagai nilai keausan, yaitu persentase perbandingan antara berat agregat yang hilang (aus) dengan berat awal agregat sebelum pengujian. Nilai ini menjadi indikator penting dalam menilai kelayakan agregat untuk digunakan dalam campuran beton atau pekerjaan perkerasan jalan.

Pengujian abrasi agregat kasar dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: sampel agregat disiapkan sesuai dengan gradasi yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles bersama bola baja sebagai media tumbukan. Mesin dioperasikan pada kecepatan 30–33 putaran per menit

selama jumlah putaran yang ditetapkan (biasanya 500 putaran untuk gradasi A, sesuai SNI 2417:2008). Setelah proses pemutaran selesai, agregat hasil pengujian disaring menggunakan saringan tertentu untuk memisahkan material yang aus. Agregat yang tertahan pada saringan dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) hingga mencapai kondisi berat tetap. Nilai keausan diperoleh dari selisih berat awal dan berat akhir agregat. Rincian mengenai gradasi dan jumlah benda uji disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2. 3 Daftar gradasi saringan uji abrasi (*los angeles*)

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3.0	63	2 ½	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
63	2 ½	50	2.0	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
50	2.0	37.5	1 ½	-	-	-	-	2500 ± 50	5000 ± 50	-
37.5	1 ½	25	1	1250 ± 25	-	-	-	-	5000 ± 25	5000 ± 10
25	1	19	¾	1250 ± 25	-	-	-	-	-	5000 ± 10
19	¾	12.5	½	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
12.5	½	9.5	3/8	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
9.5	3/8	6.3	¼	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-
6.3	¼	4.75	No. 4	-	-	2500 ± 10	2500 ± 10	-	-	-
4.75	No. 4	2.36	No. 8	-	-	-	2500 ± 10	-	-	-
Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 10	10000 ± 10	10000 ± 10
Jumlah bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)				5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 20	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25

Sumber : (SNI 03-2417-2008)

Perhitungan keausan dapat dihitung menggunakan rumus (SNI 03-2417-2008) mengenai uji abrasi menggunakan mesin *los angeles* adalah sebagai berikut:

$$Keausan = \frac{a-b}{b} \times 100\%$$

Keterangan :

a = berat benda uji semula, dalam satuan gram (gr)

b = berat benda uji tertahan saringan no.12, dalam satuan gram (gr)



Gambar 2. 7 Mesin Los Angeles
Sumber: Google, 2025