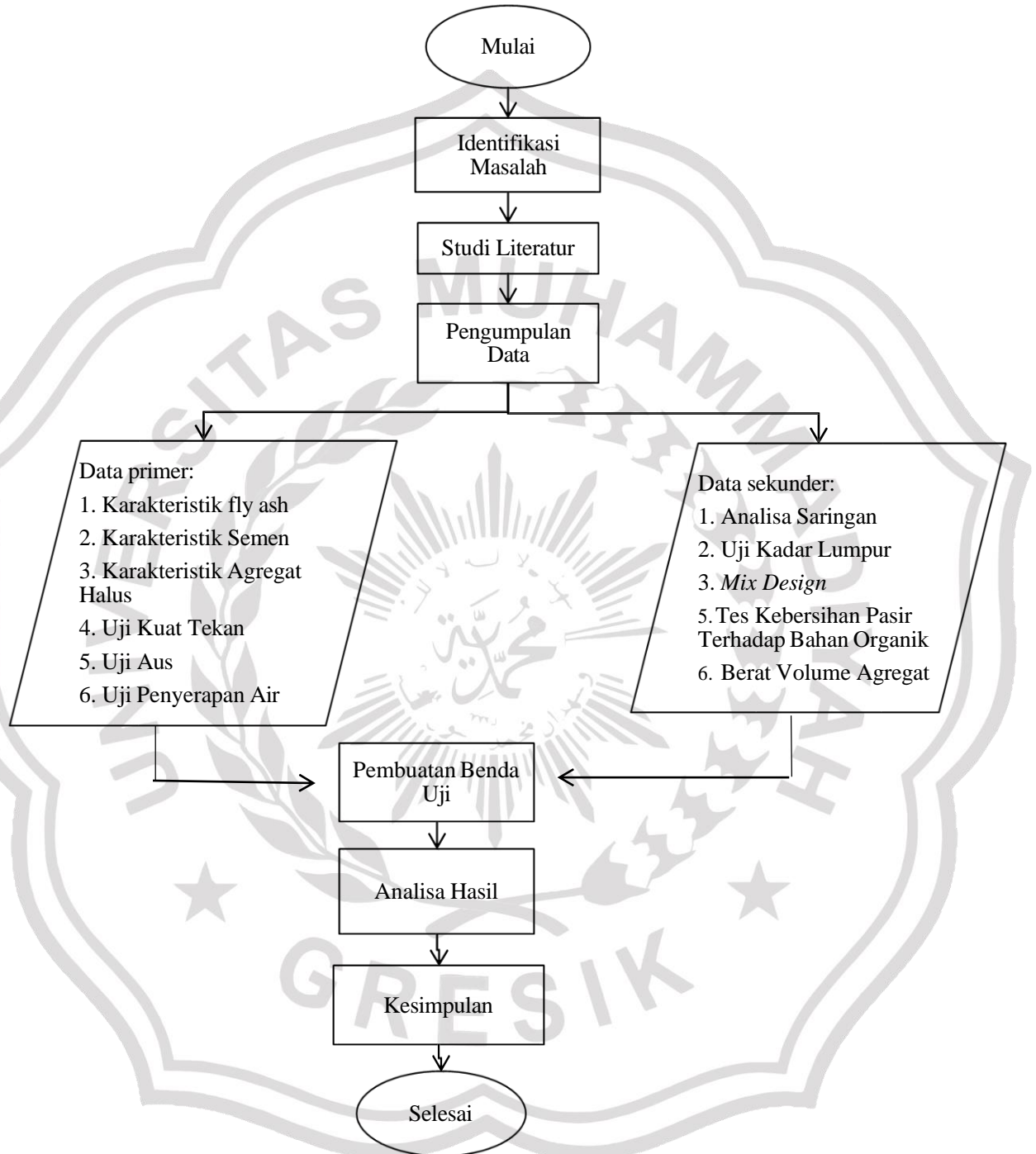


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir
Sumber : (Data Penulis)

3.2 Studi Literatur

Penelitian ini bertujuan untuk menggali dan mengkaji pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan paving stone untuk perkerasan jalan. *fly ash*, sebagai hasil sampingan dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), telah terbukti memiliki potensi besar untuk menggantikan sebagian semen dalam berbagai produk konstruksi, termasuk paving stone. Penggunaan material ini tidak hanya bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada semen Portland, tetapi juga untuk mengurangi dampak lingkungan akibat akumulasi limbah abu terbang yang sering kali tidak dikelola dengan baik.

Dalam proses penyusunan penelitian ini, informasi dan data yang relevan dikumpulkan dari berbagai sumber terpercaya, seperti buku teks yang membahas material konstruksi berkelanjutan, artikel ilmiah dari jurnal penelitian, publikasi dari lembaga pemerintah terkait lingkungan dan konstruksi, serta sumber informasi dari majalah teknik dan media online yang memuat hasil penelitian serupa. Pendekatan ini memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat komprehensif, terkini, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Lebih lanjut, penelitian ini berfokus pada analisis komposisi optimal *fly ash* dalam campuran paving stone, serta pengaruhnya terhadap kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan terhadap faktor lingkungan eksternal. Dengan adanya berbagai sumber informasi yang mendukung, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi paving stone yang ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan.

Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis komposisi optimal *fly ash* dalam campuran paving stone serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan terhadap faktor lingkungan eksternal. Dengan pendekatan berbasis data yang akurat dan berbagai referensi pendukung, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan teknologi paving stone yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan.

3.3 Tempat dan Waktu Penilitan

3.3.1 Tempat Penelitian

Proses pengambilan sampel dan pengujian, pada penelitian ini dilakukan pada lokasi sebagai berikut:

1. Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Gresik Jl. Sumatera No. 101 GKB, Kabupaten Gresik, Jawa Timur, Indonesia.
2. Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember Keputih, Sukolilo, Kabupaten Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

3.3.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan Juni – Agustus 2024

3.4 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan objek berupa *paving block* dengan mutu rencana sebesar 35 MPa, yang disiapkan dalam jumlah sebanyak 25 blok. Pengujian dilakukan dengan mengikuti prosedur standar untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Setiap pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan pada umur 28 hari, dengan menggunakan 3 sampel untuk memperoleh hasil yang representatif mengenai daya tahan struktural material terhadap beban tekan. Selain itu, pengujian juga mencakup uji penyerapan air dan uji ketahanan aus, di mana masing-masing pengujian dilakukan menggunakan 1 sampel *paving block* yang dipilih secara acak dari total sampel yang tersedia.

Setiap *paving block* dalam penelitian ini memiliki dimensi rata-rata sebesar (20,00 x 10,00 x 6,00) cm, sesuai dengan standar spesifikasi yang berlaku untuk produk beton pracetak

jenis ini. Dimensi tersebut dipilih untuk merepresentasikan ukuran umum *paving block* yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan dan trotoar. Pengujian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kinerja mekanis, daya tahan, serta kemampuan *paving block* dalam menyerap air dan menahan abrasi dalam aplikasi di lapangan.

3.4.1 Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi langsung pada objek penelitian, yaitu paving stone yang diproduksi dengan campuran *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen. Observasi ini melibatkan pengamatan langsung terhadap proses produksi, pengujian kuat tekan, daya serap air, serta ketahanan abrasi paving stone. Selain itu, dilakukan juga pencatatan kondisi material, proporsi campuran, dan metode pencetakan yang digunakan. Hasil dari observasi langsung ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat dan mendalam mengenai kualitas paving stone yang dihasilkan dengan pemanfaatan *fly ash*.

Tabel 3.1 Data Primer

No	Data Primer
1	Karakteristik <i>fly ash</i>
2	Karakteristik Semen
3	Karakteristik Agregat Halus

Sumber : (Data Penulis)

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder penelitian ini dikumpulkan dari berbagai referensi standar terkait. Standar yang dijadikan acuan antara lain SNI ASTM C136:2012 yang mengatur tentang pengujian analisis saringan atau modulus agregat halus (MHB). SNI 03-4804-1998, menjelaskan tentang penilaian berat volumetrik lepas dan volume agregat padat halus. SNI 03-4142-1996, mewajibkan pengujian kandungan lumpur yang ada pada pasir. SNI 7394-2008, mengatur tentang formulasi campuran paving stone. SNI 03-0691-1996, menguraikan tentang baku mutu paving slab. SK SNI T-04-1990-F, merinci klasifikasi batu paving. Semua referensi tersebut menegaskan bahwa referensi tersebut menjadi landasan bagi pelaksanaan penelitian ini agar sesuai dengan standar yang relevan. Selain itu, referensi penelitian sebelumnya mengenai produksi batu paving juga diadopsi.

Penerapan paving stone di berbagai proyek konstruksi tidak hanya bertujuan untuk memperkuat struktur permukaan tetapi juga untuk memberikan nilai tambah dari segi estetika dan keberlanjutan. Di kawasan perkotaan, penggunaan paving stone dapat membantu mengurangi efek pulau panas perkotaan karena permukaannya yang tidak menyerap panas sebanyak aspal atau beton konvensional. Selain itu, paving stone yang dirancang dengan sistem permeabel dapat mendukung sistem drainase alami dan mengurangi risiko banjir. Dalam konteks ekonomi, paving stone memberikan keuntungan dari segi biaya perawatan yang relatif rendah. Jika terjadi kerusakan pada bagian tertentu, perbaikan dapat dilakukan dengan mengganti bagian yang rusak saja tanpa harus membongkar seluruh permukaan. Fleksibilitas ini menjadikannya solusi yang lebih hemat dibandingkan material konstruksi lainnya.

Dari sisi sosial, proyek penggunaan paving stone sering melibatkan tenaga kerja lokal, yang membantu menciptakan lapangan pekerjaan di daerah sekitar proyek. Dengan demikian, penggunaan paving stone tidak hanya berdampak positif pada infrastruktur tetapi juga pada pemberdayaan ekonomi masyarakat lokal. Secara keseluruhan, paving stone merupakan solusi konstruksi multifungsi yang memadukan kekuatan, estetika, efisiensi biaya, dan keberlanjutan

lingkungan. Dengan terus berkembangnya teknologi dan inovasi, paving stone diharapkan akan semakin berperan dalam mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan di masa depan.

Secara umum, metode penelitian ini dibagi menjadi lima fase utama:

1. Tahap 1: Persiapan dan juga pengujian bahan.
2. Tahap 2: Perhitungan pada desain campuran.
3. Tahap 3: Persiapan dan pemeliharaan spesimen.
4. Tahap 4: Pengujian kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan abrasi.
5. Tingkat 5: Analisis Data.

3.5 Persiapan Material

Dalam pembuatan paving stone dengan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen, terdapat beberapa bahan utama yang berperan penting dalam memastikan kualitas dan kinerja produk akhir. Salah satu bahan tersebut adalah abu terbang (*fly ash*).

Menurut standar ASTM C618, *fly ash* didefinisikan sebagai partikel halus yang merupakan sisa hasil pembakaran batu bara atau bubuk batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Material ini memiliki sifat pozzolan, yaitu kemampuan bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) pada kondisi lembap untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat pengikat, seperti kalsium silikat hidrat (CSH). Reaksi ini berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kekuatan struktural dan daya tahan paving stone terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Selain itu, *fly ash* memiliki partikel yang lebih halus dibandingkan semen Portland, yang memungkinkannya mengisi rongga mikro pada campuran paving stone. Hal ini membantu mengurangi porositas, meningkatkan kepadatan struktural, dan mengurangi retak akibat penyusutan beton. Sifat kimia dan fisik dari *fly ash* menjadikannya bahan alternatif yang sangat efektif dan ekonomis dalam mengurangi penggunaan semen, sekaligus membantu mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri.

1. Abu terbang

Berdasarkan ASTM C618, *fly ash* diartikan sebagai partikulat yang merupakan sisa hasil pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. Bahan ini mempunyai sifat pozzolan yang dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan pavers.



Gambar 3.2 *fly ash*
Sumber : (Data penulis)

2. Semen

Semen yang biasa digunakan merupakan semen jenis portland dengan tipe 1 yang telah tersedia di pasaran



Gambar 3.3 Semen *Portland*
Sumber : (Data Penulis)

3. Agregat halus

Uji agregat halus dilakukan di Institut Bahan Beton dan Bangunan Universitas Teknik Sepul Nopember untuk mengetahui sifat-sifat material.. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa agregat halus memenuhi standar yang dibutuhkan dalam pembuatan *paving block*. Adapun jenis pengujian yang dilakukan meliputi:

- a. Uji analisis saringan pasir untuk mengetahui distribusi ukuran partikel agregat halus.
- b. Uji berat jenis dan massa jenis agregat halus untuk mengetahui massa jenis bahan dan ruang hampa antar partikel.
- c. Uji kandungan lanau dan kotoran organik pada fraksi halus untuk memastikan bahan bersih dan tidak mempengaruhi kualitas batu paving.



Gambar 3.4 Agregat Halus
Sumber : (Data Penulis)

4. Air

Dalam proses pembuatan *paving block*, air PDAM digunakan sebagai salah satu komponen penting, khususnya dalam proses pencampuran material dan perawatan (curing) untuk memastikan kualitas beton yang dihasilkan. Air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi standar kualitas tertentu, termasuk kebersihan, pH

yang netral, serta bebas dari kandungan zat kimia yang dapat mengganggu reaksi hidrasi semen dan *fly ash*. Selain untuk pencampuran, air PDAM juga digunakan dalam proses perendaman *paving block* selama 28 hari. Proses ini dilakukan untuk pengujian durabilitas beton, di mana *paving block* direndam dalam air dengan tujuan untuk menjaga kelembapan yang diperlukan selama proses hidrasi berlangsung. Perendaman selama periode ini memastikan bahwa reaksi antara semen, *fly ash*, dan air berlangsung optimal, sehingga *paving block* dapat mencapai kekuatan maksimum dan daya tahan yang baik terhadap beban maupun kondisi lingkungan ekstrem. Penggunaan air PDAM dalam perawatan beton penting karena kualitasnya yang terjamin dibandingkan dengan sumber air lainnya yang mungkin mengandung zat-zat berbahaya seperti minyak, garam, atau kandungan organik yang berlebih. Dengan demikian, penggunaan air PDAM menjadi salah satu faktor penting dalam menghasilkan *paving block* dengan kualitas struktural dan durabilitas yang optimal.



Gambar 3.5 Air
Sumber : (<https://shorturl.at/XRgEr>)

3.6 Pengujian Material

Pengujian material *paving block* bertujuan untuk memastikan setiap komponen yang digunakan memenuhi standar kualitas demi menghasilkan produk yang kuat, tahan lama, dan sesuai dengan spesifikasi teknis. Pengujian agregat kasar dan halus dilakukan untuk menilai karakteristik seperti gradasi, bentuk butiran, dan kadar lumpur, sementara *fly ash* diuji untuk mengetahui kandungan kimia dan sifat pozzolaniknya. Semen Portland diperiksa kualitasnya melalui uji berat jenis, waktu ikat, dan kekuatan tekan mortar standar, sedangkan air PDAM yang digunakan dalam campuran dan proses curing diuji untuk memastikan bebas dari zat pengganggu hidrasi semen. Setelah semua material lulus pengujian, *paving block* yang dihasilkan kemudian diuji kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan aus untuk menilai kinerja struktural dan durabilitasnya. Pengujian ini memastikan bahwa *paving block* yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar teknis tetapi juga memiliki kualitas optimal untuk digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi. Berikut adalah pengujian setiap material *paving block* yang digunakan pada penelitian ini.

3.6.1 Analisis *fly ash*

Teknik analisis yang digunakan untuk memahami serta mengidentifikasi karakteristik unsur dan kandungan oksida logam berat dalam limbah padat berupa *fly ash* adalah dengan memanfaatkan instrumen kimia canggih seperti *X-Ray Fluorescence* (XRF). Instrumen ini

berfungsi dengan mendeteksi serta mengukur konsentrasi berbagai unsur kimia yang terdapat dalam sampel secara cepat, presisi, dan akurat. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya untuk memberikan hasil analisis yang rinci tanpa merusak struktur asli dari sampel yang diuji.

Secara umum, terdapat perbedaan signifikan antara senyawa kimia penyusun *fly ash* dan semen Portland. Semen Portland diketahui memiliki kandungan kapur (CaO) yang cukup tinggi, yang berperan penting dalam proses hidrasi semen untuk menghasilkan kekuatan struktural pada beton. Sebaliknya, *fly ash* memiliki kandungan kapur yang relatif lebih rendah. Namun, *fly ash* kaya akan kandungan silika aktif (SiO₂), yang berfungsi sebagai bahan pozzolanik dan dapat meningkatkan kekuatan beton dalam jangka panjang jika digunakan sebagai bahan tambahan pada campuran semen.

Perbedaan ini menjadikan kedua material tersebut memiliki karakteristik yang saling melengkapi dalam aplikasi konstruksi. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambahan pada semen Portland tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kinerja beton, tetapi juga sebagai upaya dalam mengurangi dampak lingkungan akibat pembuangan limbah industri. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan perbandingan kandungan senyawa kimia antara *fly ash* dan semen Portland untuk memberikan gambaran lebih jelas tentang perbedaannya. Berikut tabel perbandingan kandungan senyawa kimia pada *fly ash* dan semen Portland :

Tabel 3.2 Perbandingan Sifat Kimia *fly ash* dan Semen Portland

Komponen Pembanding	% Rata-Rata Untuk Semen Portland	% Rata-Rata Untuk <i>fly ash</i>
Kapur (CaO)	60 – 65	6,70
Silika (SiO ₂)	17 – 25	49,05
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8	17,30
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6	15,64
Magnesia (MgO)	0,5 – 5	2,70
Sulfur (SO ₃)	1 – 2	2,72
Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1	0,52 – 1,27

Sumber : (Data Penulis)

3.6.2 Analisis Semen

Penilaian ini dilakukan dengan mengevaluasi sifat fisik dan kimia *fly ash* sebagai pengganti semen sehingga menghasilkan atribut yang mirip dengan semen. Pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Uji berat jenis semen (ASTM C188-89)
Tujuan dari penilaian ini adalah untuk memastikan berat jenis semen, yang merupakan faktor penting dalam mengevaluasi kualitas dan kepadatan material.
2. Uji daya rekat dan durasi pengawetan semen (ASTM C191-92)
Tujuan dari penilaian ini adalah untuk menentukan waktu pengerasan awal dan akhir semen Portland.
 - a. Setting time: Durasi sejak semen mulai mengeras hingga menjadi keras. Tahap ini ditentukan oleh penurunan jarum Vicat sebesar 25 mm.
 - b. Waktu pengerasan: Ini adalah jangka waktu di mana pasta semen dan agregat menjalani fase pengerasan. Tahap ini ditandai dengan jarum Vicat yang mencapai 0 mm, yang juga menunjukkan momen optimal untuk melepas bekisting beton.
3. Uji konsistensi normal semen portland (ASTM C187-86)

Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kadar air standar yang diperlukan untuk pasta semen pada umumnya. Penentuan ini dilakukan dengan menggunakan grafik penetrasi jarum Vicat dengan sampel semen seberat 300 gram untuk mencapai kondisi pembasahan yang ideal.

4. Uji Berat Volume Semen (ASTM C188-89).

Tujuan dari penilaian ini adalah untuk mengukur berat volumetrik semen lepas dan terikat, yang mempengaruhi kepadatan dan stabilitas campuran beton.

3.6.3 Analisis Agregat Halus

Agregat halus adalah material berupa pasir alami atau hasil pemecahan batu yang berukuran kecil, umumnya di bawah 4,75 mm sesuai standar *ASTM C33* atau 5 mm menurut *SNI*. Material ini memiliki peran penting dalam campuran beton dan mortar karena dapat mengisi rongga di antara agregat kasar serta membantu mencapai kepadatan optimal dalam struktur beton. Berdasarkan sumbernya, agregat halus dibagi menjadi pasir alami dan pasir buatan (*manufactured sand*). Pasir alami berasal dari sungai, pantai, atau hasil letusan gunung berapi dengan tekstur yang halus dan butiran cenderung bulat, sedangkan pasir buatan dihasilkan dari pemecahan batu dengan tekstur kasar dan bentuk butiran bersudut tajam.

Agregat halus yang baik harus memenuhi beberapa syarat, antara lain keras, bersih dari lumpur dan zat organik berbahaya, memiliki gradasi yang baik, serta reaktivitas kimia yang rendah. Nilai *Modulus Kehalusan (Fineness Modulus)* yang ideal biasanya berkisar antara 2,3 – 3,1. Dalam campuran beton, agregat halus berfungsi untuk mengisi rongga agregat kasar, mengurangi penggunaan semen, meningkatkan kohesi agar campuran tidak mudah mengalami segregasi, serta menyediakan permukaan yang baik untuk ikatan dengan pasta semen. Pemilihan agregat halus yang berkualitas dan sesuai dengan spesifikasi teknis akan sangat memengaruhi kekuatan, daya tahan, dan kinerja beton dalam jangka panjang.

Agregat halus yang digunakan diayak terlebih dahulu melalui saringan nomor 100. Pisahkan tanah dan batu yang tidak perlu. Kemudian dilakukan beberapa pengujian untuk memeriksa kualitas agregat halus, seperti:

1. Pemeriksaan berat jenis pasir (ASTM C128-78)
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan berat jenis pasir dalam kondisi pengeringan permukaan jenuh (SSD). Pasirnya menampung uap air, namun permukaannya tetap kering.
2. Evaluasi rembesan air pasir (ASTM C128-93).
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang dapat diserap pasir. Nilai kadar air perkolasi membantu memahami kapasitas pasir dalam menyerap air selama proses pencampuran beton.
3. Penilaian gravimetri volumetrik pasir (ASTM C29/C29M-91)
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur berat volumetrik pasir baik dalam bentuk lepas maupun padat. Berat volumetrik mempengaruhi berat jenis campuran beton akhir.
4. Pemeriksaan bahan organik pada pasir (ASTM C40-92)
Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kandungan bahan organik pada pasir yang dapat mempengaruhi reaksi hidrasi semen dan kekuatan beton.
5. Perbandingan uji kemurnian pasir dan pasir lumpur (Sedimentasi) (ASTM C33-93)
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menilai kandungan lumpur yang ada di pasir. Kadar lumpur yang berlebihan dapat menyebabkan masalah ikatan antara semen dan agregat.
6. Prosedur analisis saringan pasir (ASTM C136-95a)

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi distribusi ukuran partikel atau distribusi ukuran butir pasir. Distribusi ukuran partikel yang tepat berdampak pada kepadatan dan kekuatan struktur beton.

3.7 Pembuatan Benda Uji

3.7.1 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain agregat halus, semen, air, dan bahan tambahan berupa abu terbang (*fly ash*). Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain cetakan paving batu seperti di bawah ini:

1. Wadah/cawan



Gambar 3.6 Loyang atau Wadah
Sumber : (Gambar Penulis)

2. Alat pengaduk



Gambar 3.7 Pengaduk atau Sekop
Sumber : (Gambar Penulis)

3. Cetakan benda uji dan alat-alat bantu lain untuk pencetakan dan pemadatan benda uji



Gambar 3.8 Cetakan dan Pemadat *paving block*
Sumber : (Gambar Penulis)

4. Mesin uji tekan



Gambar 3.9 Mesin Uji Kuat Tekan
Sumber : (Gambar Penulis)

5. Mesin uji aus



Gambar 3.10 Mesin Uji Aus
Sumber : (Gambar Penulis)

6. Labu ukur



Gambar 3.11 Labu Ukur
Sumber : (<https://shorturl.at/sCiwd>)

7. Pipet



Gambar 3.12 Pipet
Sumber : (<https://shorturl.at/fOCzt>)

8. Timbangan



Gambar 3.13 Timbangan Digital
Sumber : (Gambar Penulis)

9. Ayakan



Gambar 3.14 Ayakan
Sumber : (Gambar Penulis)

10. Oven



Gambar 3.15 Oven
Sumber : (Gambar Penulis)

3.7.2 Komposisi Campuran dan Jumlah Benda Uji

Pada penelitian kali ini penggunaan *fly ash* digunakan sebagai *supplementary cementitious materials*. Rincian komposisi *fly ash* sebagai pengganti semen diataranya sebagai berikut :

Tabel 3.3 Komposisi Campuran *fly ash* dan Semen

Campuran	Semen (%)	<i>Fly Ash</i> (%)
FA 1	100	0
FA 2	95	5
FA 3	90	10
FA 4	85	15
FA 5	80	20

Sumber : (Data Penelitian)

Jumlah kebutuhan benda uji disesuaikan dengan jumlah pengujian yang akan dilakukan dan komposisi *fly ash* yang akan digunakan. Berikut adalah jumlah kebutuhan benda uji berdasarkan banyak campuran dan jenis pengujian

Tabel 3.4 Kebutuhan Jumlah Benda Uji

Jenis Pengujian	Umur <i>paving block</i>	Komposisi <i>fly ash</i> (%)				
		0	5	10	15	20
Uji Kuat Tekan	28	3	3	3	3	3
Uji Aus	28	1	1	1	1	1
Uji Penyerapan Air	28	1	1	1	1	1
Sub-total		5	5	5	5	5
Total						25

Sumber : (Data Penelitian)

3.7.3 Pembuatan Benda Uji

Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan benda uji *paving block* :

1. Menyiapkan cetakan yang akan digunakan.



Gambar 3.16 Cetakan *paving block*

Sumber : (Gambar Penulis)

2. Menimbang masing-masing bahan sesuai dengan jumlah bahan yang ditetapkan dari rancangan campuran *paving block*.
3. *Mix design*
Pada tahap ini akan ditetapkan rencana campuran *paving blok* untuk mendapatkan *paving blok* dengan kekuatan yang tinggi, mudah dikerjakan (*workable*), tahan lama, murah, tahan aus. Oleh karena itu harus direncanakan dengan teori perancangan proporsi campuran adukan *paving blok*. Dengan metode rancangan *paving blok* ini akan didapatkan *paving blok* yang memenuhi syarat teknis dan ekonomis. Dalam penelitian ini, rencana campuran (*mix design*) *paving blok* dihitung berdasarkan jurnal dan penelitian terdahulu. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam menggunakan metode ini adalah:
 - a) Menentukan kuat tekan *paving blok* yang disyaratkan pada umur 28 hari (f'_c)
 - b) Menetapkan standar deviasi (Sd) Standar deviasi ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran *paving blok*, makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standar. Untuk memberikan gambaran cara

menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan, diberikan pedoman dengan melihat tabel berikut ini :

Tabel 3.5 Standar Deviasi

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (Mpa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber : (Azis, 2022)

- c) Menghitung nilai tambah margin :

$$M = K \times Sd \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana : $K = 1.64$

- d) Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan :

$$\sigma_{bm} = \sigma_{bk} + M \dots\dots\dots(3.2)$$

- e) Menetapkan jenis semen : Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland di Indonesia dibagimenjadi 5 jenis :

1. Jenis I, yaitu semen *Portland* yang umum digunakan tanpa persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanyamemerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanyamemerlukan kekuatan awal yang tinggi
4. Jenis IV, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanya memerlukan panas hidrasi yang rendah
5. Jenis V, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

- f) Menetapkan jenis agregat, apakah berupa agregat alami (tidak dipecahkan) ataukah agregat jenis batu pecah (*crushed aggregate*)

- g) Menetapkan faktor air semen

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

1. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat ditetapkan dengan cara menggunakan grafik hubungan faktor air semen dan kuat tekan rata-rata *paving block* (sebagai perkiraan nilai fas)
2. Hubungan kuat tekan dengan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian di lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan

- h) Menetapkan faktor air semen maksimum

- i) Menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum

Penetapan besar ukuran butir diperoleh dari hasil analisa saringan agregat pada saat pengujian material *paving block*. Untuk penetapan butir maksimum dapat menggunakan saringan diameter 0,15 mm, 0,30 mm, 0,60 mm, 1,20 mm, 4,80 mm dan 9,52 mm.

- j) Menetapkan kebutuhan semen

Berat semen per meter kubik *paving block* :

$$\frac{\text{Jumlah air yang dibutuhkan}}{\text{Faktor air semen maksimum}} \dots\dots\dots (3.3)$$

k) Menetapkan golongan agregat halus (Pasir)

Tabel 3.6 Presentase Agregat Halus Lolos Ayakan

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir Pasir yang Lewat Ayakan/Lolos			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,5	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3				15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (Azis, 2022)

l) Menentukan kebutuhan pasir

5. Material *paving block* ditimbang dan dicampurkan dengan menggunakan tangan atau mesin pengaduk (*mixer*)



Gambar 3.17 Alat Pengaduk
Sumber : (Gambar Penulis)

Pengadukan material *paving block* dengan mesin pengaduk (*mixer*) dilakukan melalui beberapa langkah sistematis sebagai berikut :

- Menyalakan mesin pengaduk terlebih dahulu, kemudian memasukkan agregat kasar dan sebagian air adukan, atau disesuaikan dengan tipe mesin pengaduk yang digunakan.
- Menambahkan agregat halus, semen, dan *fly ash* ke dalam mesin pengaduk.
- Jika penambahan bahan tidak memungkinkan saat mesin beroperasi, mesin pengaduk dapat dihentikan sementara untuk memastikan keamanan dan keakuratan proses.
- Setelah semua bahan masuk ke dalam mesin pengaduk, aduk campuran selama 3 menit untuk memastikan distribusi awal bahan yang merata.
- Melanjutkan pengadukan kembali selama 2 menit untuk memastikan campuran benar-benar homogen.

- f. Mengeluarkan campuran *paving block* dari mesin pengaduk dengan hati-hati untuk menghindari kehilangan material.
- g. Setelah seluruh bahan tercampur dengan baik, sisa-sisa adukan yang menempel di dinding dan bilah pengaduk dibersihkan untuk menjaga kebersihan mesin.
- h. Campuran *paving block* kemudian diaduk kembali menggunakan sendok aduk atau sekop untuk memastikan campuran benar-benar merata sebelum masuk ke tahap pencetakan

3.7.4 Perawatan Benda Uji

Untuk memastikan hasil pengujian yang optimal, *paving block* harus segera menjalani proses perawatan dengan cara direndam dalam air. Perendaman ini bertujuan untuk menjaga kelembaban yang dibutuhkan selama proses hidrasi semen agar kekuatan dan kualitas *paving block* dapat tercapai sesuai standar. Sehari sebelum dilakukan pengujian, *paving block* diangkat dari dalam air dan ditiriskan untuk memastikan permukaannya dalam kondisi siap untuk diuji.

3.8 Pengujian *paving block*

Pengujian *paving block* dilakukan untuk mengetahui kualitas *paving block* yang telah terbentuk. Berikut adalah beberapa pengujian *paving block* yang akan dilakukan.

3.8.1 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton berdasarkan standard ASTM C39. Uji tekan benda uji yang dirawat lembab harus dilakukan sesegera mungkin setelah pemindahan dari tempat pelembaban. Benda uji harus dipertahankan dalam kondisi lembab dengan cara yang dipilih selama periode antara pemindahan dari tempat pelembaban dan pengujian. Benda uji harus diuji dalam kondisi lembab pada temperatur ruang. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur *paving block* 28 hari.

Untuk mengetahui nilai kuat tekan *paving block* maka perlu dilakukakan pengujian sebagai berikut :

1. Menyiapkan benda uji *paving block*
2. Mengukur dimensi panjang, lebar, dan tinggi masing-masing sampel yang akan diuji kuat tekannya
3. Memasukkan benda uji ke dalam alat uji kuat tekan yaitu CTM
4. Mengatur jarum akat kuat tekan ke nol
5. Menyalakan tombol power kemudian perhatikan indikator penunjuk beban, sambil memberikan tekanan (F) dari atas secara perlahan hingga *paving block* hancur
6. Mencatat nilai beban kompresi maksimum yang terbaca pada jarum
7. Mengulangi kegiatan tersebut dengan menggunakan sampel uji untuk mengkode sampel dengan komposisi yang berbeda

3.8.2 Uji Penyerapan Air

Uji serapan air dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang dapat diserap lantai dengan mengikuti langkah-langkah di bawah ini.:

1. Menyiapkan wadah berisi air dan *paving block* yang telah dikeringkan selama 28 hari.
2. Mengukur dan mencatat massa awal *paving block*.
3. Merendam *paving block* dalam wadah berisi air selama 24 jam.
4. Mengangkat *paving block* setelah perendaman dan mengukur kembali massanya.
5. Menghitung nilai daya serap air berdasarkan data yang diperoleh.
6. Mencatat hasil daya serap air dari setiap sampel.

3.8.3 Uji Aus

Ketahanan aus mengacu pada kemampuan *paving block* untuk menahan gesekan saat diuji menggunakan mesin keausan. Pengujian ini mengacu pada standar SK-SNI-030691-1989 tentang Bata Beton untuk Lantai dan SK-SNI-03-0028-1987 tentang Ubin Semen. Berikut Langkah-langkah Pengujian Ketahanan Aus:

1. Menyiapkan sampel dengan dimensi 50 mm × 50 mm dan ketebalan 20 mm sesuai SNI 03-0691-1996.
2. Mengeringkan sampel di oven pada suhu $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Mengukur dan menimbang sampel sebelum pengujian.
4. Menyiapkan alat uji aus dan menaburkan pasir silika pada batu asah.
5. Memasang pemberat seberat ± 650 gram pada alat uji.
6. Memposisikan permukaan sampel yang akan diuji menghadap batu asah berputar.
7. Menggosok sampel selama 1 menit, kemudian memutar posisi sampel sebesar 90° .
8. Mengulangi langkah tersebut hingga total pengujian mencapai 5 menit.
9. Menimbang sampel setelah pengujian.
10. Membandingkan massa sampel sebelum dan sesudah pengujian untuk menentukan tingkat keausan.

3.9 Jadwal Kegiatan

Berikut merupakan jadwal kegiatan selama melakukan penelitian ini :

Tabel 3.7 Jadwal Kegiatan

No	Nama Kegiatan	Minggu ke-																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Identifikasi Masalah																				
2	Studi Literatur																				
3	Uji XRF Fly Ash																				
4	Pengumpulan data analisa agregat																				
5	Rekapitulasi data hasil analisa agregat																				
6	Eksperimen benda uji																				
8	Perawatan benda uji																				
9	Pengujian benda uji																				
10	Pengolahan data																				
11	Analisa hasil dan kesimpulan																				
12	Pelaporan kemajuan																				
13	Pembuatan abstrak seminar																				
14	Mengikuti seminar																				
15	Penyusunan Laporan Tugas Akhir																				

Sumber : (Data Penelitian)