

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi semakin meningkat karena segala aktivitas yang dilakukan dalam kehidupan sehari-hari memerlukan energi sebagai bahan bakar untuk menunjang aktivitasnya. Kegiatan tersebut mulai dari bahan bakar untuk mobilisasi kendaraan, tenaga listrik untuk menjalankan segala aktivitas sehari-hari dan masih banyak lagi. Salah satu sumber energi yang menunjang kegiatan tersebut berasal dari energi yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) melalui proses pembakaran batu bara.

PLTU Barru, sebagai salah satu aset pembangkit PLN, merupakan tulang punggung penyedia tenaga listrik nasional yang tersebar di seluruh Indonesia, yang salah satunya berada di wilayah provinsi Sulawesi Selatan, mensuplai kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat. Dalam pengoperasiannya, PLTU Barru menghasilkan sisa hasil pembakaran batubara berupa limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash*, atau lebih sering disebut FABA.

Abu hasil pembakaran batu bara (*fly ash*) merupakan limbah industri yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pembangkit listrik berbahan bakar batu bara menghasilkan polutan udara beracun seperti merkuri, timbal, arsenik, kadmium dan partikel halus lainnya. Partikel halus ini dapat masuk ke paru-paru dan masuk ke aliran darah dan pada akhirnya menimbulkan dampak

negatif bagi kesehatan, seperti risiko penyakit jantung, stroke, dan gangguan kesehatan paru-paru lainnya (Maharani, 2015).

Disamping memiliki kandungan beracun yang membahayakan kesehatan manusia, Abu batu bara (*fly ash*) juga yang memiliki sifat pozzolan. Pozzolan adalah bahan yang bersifat mengikat, mengandung silika dan aluminium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida, sehingga dapat dijadikan sebagai campuran beton, *paving block* dan batako. Berdasarkan peraturan pemerintah No.22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *fly ash* dan *bottom ash* termasuk limbah Non B3 terdaftar. Dengan dikategorikannya *fly ash* sebagai limbah Non B3 terdaftar. *Fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai material pada sektor infrastruktur.

Seiring dengan meningkatnya penggunaan *paving block* di masyarakat, material semen dan pasir semakin banyak digunakan. Semen merupakan salah satu bahan yang mencemari udara dan penyumbang karbon yang cukup besar, sehingga perlu dicari solusi pengurangan penggunaan material semen tanpa mengurangi kualitas *paving block*. Sementara limbah abu batu bara (*fly ash*) juga meningkat pada setiap tahun. Abu batu bara (*fly ash*) ini kemudian menjadi solusi yang tepat sebagai salah satu bahan alternatif pengganti semen. Akan sangat disayangkan bila limbah abu batu bara ini terbuang begitu saja tanpa adanya pemanfaatan. Oleh karena itu, maka dilakukan suatu penelitian tentang pemanfaatan limbah abu batu bara (*fly ash*) dengan judul **“PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KAPASITAS KUAT TEKAN PAVING BLOCK”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian masalah yang telah dikemukakan pada latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan pengujian kuat tekan *paving block* menurut *British Standard* 6717 dengan pengujian kuat tekan *paving block* menurut SNI 03-0691 1996 terhadap penggunaan *fly ash* pada *paving block* ?
2. Berapa proporsi penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan optimum pada *paving block* ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai kuat tekan *paving block* menurut British Standard 6717 dengan nilai kuat tekan *paving block* menurut SNI 03-0691 1996 terhadap penggunaan *fly ash* pada *paving block*.
2. Untuk mengetahui berapa proporsi penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan optimum *paving block*.

D. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini penulis dapat memberikan manfaat dan masukan berupa:

1. Sebagai informasi bagaimana pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan *paving block*.
2. Secara akademis dapat memberikan wawasan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam produksi *paving block*.

3. Sebagai informasi untuk memberikan analisa dan pembahasan yang dapat digunakan oleh pihak yang membutuhkan maupun oleh pihak kampus.
4. Melalui penelitian ini diharapkan hasil limbah pembakaran abu batu bara (*fly ash*) pada PLTU di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal, baik sebagai bahan penyusun *paving block* maupun pada pembangunan infrastruktur lainnya, yang dapat keduanya membawa lebih banyak manfaat dan meningkatkan perekonomian dari daerah sekitarnya.

E. Batasan Masalah

Perlu batasan pembahasan aspek pada ruang lingkup penelitian, agar tidak terjadi kerancuan atau kesimpangsiuran, maka diberikan batasan yaitu:

1. Benda uji berupa *paving block* balok ukuran 21 x 10 x 8 cm dan berbentuk kubus ukuran 8 x 8 x 8 cm.
2. Variasi penambahan *fly ash* pada substitusi semen adalah 10%, 20%, dan 30%.
3. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari
4. Hanya dilakukan pengujian kuat tekan *paving block*.
5. Type semen yang digunakan adalah Semen Portland Composite Cement (PCC) dengan berat semen tiap kemasan 40 kg.
6. Penelitian ini akan menggunakan *fly ash* PLTU Barru kab. Barru.
7. Pembuatan benda uji menggunakan mesin press.
8. Standar mutu *paving block* yang dijadikan acuan dalam penelitian adalah SNI 03-0691-1996.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, serta sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang landasan teori karakteristik bahan penyusun campuran *paving block*, metode pembuatan dan pengujian paving block, dan penelitian terdahulu.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan jenis penelitian, waktu dan lokasi penelitian, rancangan penelitian, tahapan penelitian dan diagram alir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan diuraikan hasil uji material serta uji kuat tekan dan serapan air *paving block* yang di lakukan di laboratorium, lalu hasilnya ditampilkan pada tabel-tabel dan grafik, kemudian dari hasil tersebut dilakukan analisis dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdapat kesimpulan utama dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk menyempurnakan hasil penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Pengertian *Paving Block*

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut (SNI 03-0691-1996).

Paving block memiliki nilai estetika yang bagus, karena selain memiliki bentuk segiempat ataupun segibanyak, dapat pula berwarna seperti aslinya ataupun diberikan zat pewarna dalam komposisi pembuatan. *Paving block* ini sendiri berfungsi untuk lantai yang banyak digunakan di luar bangunan serta tidak boleh retak-retak dan cacat.

2. Syarat Mutu *Paving Block*

Faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk menentukan kualitas suatu *paving block* yang harus memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996, antara lain:

- 1) Sifat tampak *paving block* memiliki bentuk yang sempurna, tidak boleh mengalami retak-retak atau pun cacat, serta bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan tangan.
- 2) Bentuk dan ukuran *paving block* untuk lantai bergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Dimana produsen akan memberikan penjelasan

mengenai bentuk, ukuran, dan konstruksi pemasangan *paving block* untuk lantai.

- 3) Penyimpangan tebal *paving block* untuk lantai diperkenankan kurang lebih 3 mm
- 4) Sifat fisik *paving block* untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik yang ditunjukkan pada table 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisika bata beton (*Sumber: SNI 03-0691-1996*).

Mutu	Kegunaan	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-rata Maks.
		Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	Perkerasan Jalan	40	35	0,090	0,103	3
B	Tempat Parkir Mobil	20	17	0,130	0,149	6
C	Pejalan Kaki	15	12,5	0,160	0,184	8
D	Taman kota	10	8,5	0,219	0,251	10

- 5) *Paving block* untuk lantai apabila diuji dengan natrium sulfat tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperbolehkan maksimum 1%.

Menurut Candra (2012), persyaratan ketebalan *paving block* pada umumnya adalah sebagai berikut:

- 1) 6 cm, digunakan untuk beban lalu lintas ringan dengan frekuensi terbatas, misalnya: sepeda motor, pejalan kaki.
- 2) 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas sedang atau berat dan padat frekuensinya, misalnya: mobil, pick up, truk, dan bus.
- 3) 10 cm, digunakan untuk beban lalu lintas super berat, misalnya: tronton, loader.

3. Klasifikasi *Paving Block*

Berdasarkan SK SNI T – 04 – 1990 – F, klasifikasi *paving block* didasarkan atas bentuk, tebal, kekuatan, dan warna. Klasifikasi tersebut antara lain:

a. Klasifikasi Berdasarkan Bentuk

Bentuk *paving block* sebagai berikut:

1) Bentuk trihex

Paving Block berbentuk Trihex merupakan tipe kompleks, hampir sama dengan bentuk segitiga. Pola pemasangan jenis thirex menggunakan satu pola saja. Karena tingkat kesulitan pemasangan dan bentuknya unik, sehingga harganya juga cukup mahal, tetapi hasilnya tidak akan mengecewakan



Gambar 2.1 Bentuk *paving block* model trihex
Sumber: dokumentasi pribadi

2) *Paving block* bentuk bata

Paving jenis ini paling banyak digunakan oleh para tukang bangunan, kontraktor dan pengembang lainnya, karena selain mudah pemasangannya, *paving* jenis ini juga lebih murah dan praktis.



Gambar 2.2 Bentuk *paving block type* bata
Sumber: dokumentasi pribadi

3) *Paving block* bentuk cacing

Paving Block bentuk cacing ini juga salah satu yang paling banyak digunakan dan sering juga kita temukan karena bentuknya yang unik dan menarik. Cara pemasangannya hampir sama dengan pola bata, hanya saja tidak bisa dipadukan dengan jenis lainnya.



Gambar 2.3 *paving block* bentuk cacing
Sumber: dokumentasi pribadi

4) *Paving block* segi enam

Paving block jenis ini berbentuk segi enam dan melingkar, memiliki corak warna beraneka ragam, sehingga dapat menambah nilai seni bagi lingkungan. *Paving block* jenis ini sering digunakan pada kawasan pemukiman hijau dan lingkungan lanskap.



Gambar 2.4 Bentuk *paving block* segi enam

Sumber: dokumentasi pribadi

5) *Paving block* Topi Uskup

Paving block ini digunakan sebagai kunci samping pada saat memasang *paving block* bentuk bata. Penggunaan *paving block* jenis ini lebih kuat dibandingkan dengan kunci langsung (tanpa menggunakan topi uskup). Oleh karena itu, *paving block* jenis ini biasa digunakan namun hanya dalam jumlah yang sangat sedikit.

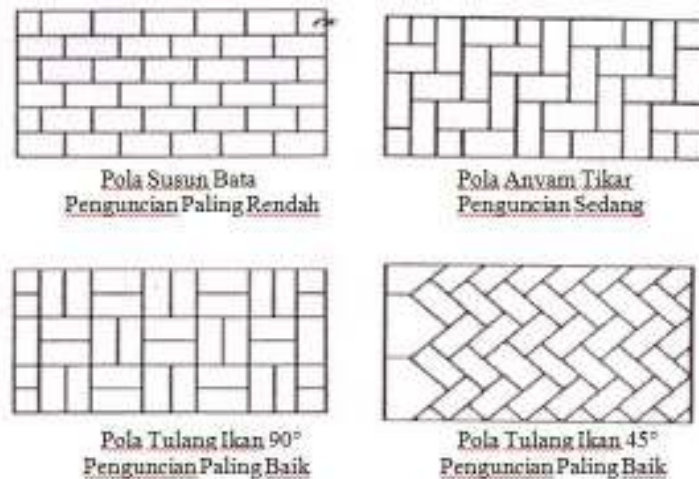


Gambar 2.5 Bentuk *paving block* topi uskup

Sumber: dokumentasi pribadi

Model pemasangan harus sesuai dengan tujuan penggunaan. Pola yang umum digunakan adalah batu bata bertumpuk (usungan sayap), anyaman tikar (anyaman keranjang), dan herringbone (tulang ikan haring). Untuk permukaan jalan, pola herringbone lebih disukai karena memberikan penguncian yang baik.

Selama pemasangan, *paving block* harus berpinggul dan tepi tata letak *paving block* biasanya ditutup dengan tumpukan penutup tepi uskup.



Gambar 2.6 Pola pemasangan *paving block*.

b. Klasifikasi berdasarkan ketebalan

Ada 3 jenis Ketebalan *paving block*, yaitu:

- 1) Ketebalan 6 cm
- 2) Ketebalan 8 cm
- 3) Ketebalan 10 cm

Pemilihan bentuk dan ketebalan yang akan digunakan harus sesuai dengan tujuan penggunaan dan juga harus memperhatikan kekuatan tekan dari *paving block*.

c. Klasifikasi berdasarkan kekuatan

Klasifikasi *paving block* berdasarkan mutu beton adalah sebagai berikut:

- 1) *Paving block* dengan mutu beton f_c' 37,35 MPA
- 2) *Paving block* dengan mutu beton f_c' 27,0 MPA

d. Klasifikasi berdasarkan warna

Warna yang saat ini tersedia di pasaran antara lain abu-abu, hitam dan merah. Selain menambah keindahan, *paving block* berwarna juga dapat digunakan untuk membatasi trotoar seperti tempat parkir, pipa air, dan lainnya.

4. Kelebihan dan Kekurangan *Paving Block*

Kelebihan dan kekurangan penggunaan *paving block* (Yahya, 2018) adalah sebagai berikut:

a. Kelebihan *Paving Block*

- 1) Penyebarannya tidak rumit dan bisa langsung digunakan tanpa harus menunggu mengeras seperti batu bata.
- 2) Perbedaan harga lebih rendah dibandingkan dengan tipe perkerasan lainnya.
- 3) Kemampuan penyerapan air yang tinggi membantu mengurangi genangan air.
- 4) Beragamnya bentuk penggunaan *paving block* mempunyai pilihan bentuk yang banyak, maka dapat mempertimbangkan nilai estetika bentuk perkerasan.
- 5) Pembuatannya mudah dan tidak memerlukan alat berat sehingga bisa diproduksi dengan jumlah yang banyak.

b. Kekurangan *Paving Block*

- 1) *Paving block* yang telah terpasang mudah lepas dan bergelombang, jika pondasinya tidak kokoh.

- 2) *Paving block* tidak cocok digunakan pada medan yang sering dilalui kendaraan dengan kecepatan tinggi dan daerah padat penduduk di perkotaan.
- 3) Selalu terjadi pemasangan yang tidak tepat, maka sambungan akan mudah lepas sehingga menyebabkan jalan tidak rata.

5. Material Penyusunan *Paving Block*

Material penyusun pada *paving block* yang digunakan antara lain, semen portland (PC), agregat halus, air, dan *fly ash*.

a. Semen Portland (PC)

Menurut ASTM C – 150, 1985, Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81.

Semen portland berfungsi membantu mengikat agregat halus dan kasar ketika dicampur dengan air. Selain itu, semen juga mempunyai kemampuan mengisi ruang antar agregat. Sifat-sifat semen adalah sebagai berikut:

1) Sifat Kimia Semen

Secara umum terdapat 4 senyawa kimia utama penyusun semen portland, yaitu (Mulyono, 2004):

a. Trikalsium Silikat ($3CaO \cdot SiO_2$) atau C_3S .

Sifatnya hampir seperti semen, yaitu jika ditambah air akan menjadi keras dan dalam beberapa jam campuran akan mengeras. C_3S Mendukung

kekuatan awal semen dan menghasilkan panas hidrasi sekitar 58 kalori/gram setelah tiga hari.

b. Dikalsium Silikat ($2CaO \cdot SiO_2$) atau C_2S

Jika air ditambahkan setelah reaksi, campuran akan mengeras dan menghasilkan panas sebesar 12 kalori/gr setelah 3 hari. Perekat kemudian mengeras, lalu pengembangan kekuatan akan terjadi secara terus-menerus dan perlahan selama beberapa minggu hingga sampai pada kekuatan tekan akhir kira-kira hampir sama C_3S .

c. Trikalsium Aluminat ($3CaO \cdot Al_2O_3$) atau C_3A .

Ketika zat ini bereaksi dengan air, maka menghasilkan panas hidrasi yang kuat, setara dengan 212 kalori/gram setelah 3 hari. Peningkatan kekuatan terjadi dalam satu sampai dua hari tetapi sangat lemah.

d. Tetrakalsium Aluminoferrit ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) atau C_4AF .

Ketika zat ini bereaksi dengan air, terjadi percepatan lalu membentuk pasta dalam beberapa menit. Jika silikat dan aluminat dalam semen portland bereaksi dengan air, keduanya menjadi bahan pengikat yang memadat dan keras. Reaksi yang membentuk media perekat ini disebut hidrasi.

2) Sifat Fisik Semen

Sifat fisika semen portland adalah:

a. Kehalusan butir

Semakin halus semen maka luas permukaan partikelnya semakin besar, sehingga lebih cepat menyatu dengan air dan membutuhkan jumlah air yang

banyak. Ada beberapa cara untuk mengetahui kehalusan partikel semen, cara yang paling sederhana dan mudah adalah dengan menyaringnya.

b. Berat jenis

Berat jenis bubuk semen biasanya berkisar antara 3,10 hingga 3,30. Biasanya berat jenis rata-rata ditentukan sebesar 3,15. Berat volume (satuan berat) semen sangat bergantung pada cara semen dimasukkan ke dalam alat ukur. Jika cara pengisiannya dengan cara tidak ditekan (lepas), maka berat volume tergolong rendah, sekitar 0,1 kg/liter. Jika isinya ditekan atau ditumbuk, berat wadahnya bisa mencapai 1,5 kg/liter. Dalam prakteknya biasanya kami menggunakan berat volume rata-rata yaitu dari 1,25 kg/liter.

c. Waktu pengerasan semen

Kekerasan semen ditentukan oleh waktu saat ikatan awal dan waktu saat ikatan akhir. Waktu ikatan awal dihitung sejak semen dicampur dengan air hingga mengeras. Waktu pengerasan awal untuk semua jenis semen harus antara 60 dan 120 menit.

d. Kekekalan bentuk

Pasta semen dibuat dengan bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah ketika mengeras, maka semen mempunyai sifat pembentukan yang permanen.

e. Pengerasan awal palsu

Biasanya semen portland memiliki waktu pengerasan awal kurang dari 60 menit, kemudian ketika semen dicampur dengan air, semen tersebut langsung mengeras (pasta menjadi keras). Hal ini bisa terjadi akibat adanya pengikatan awal palsu, akibat efek gips yang dicampur semen tidak berfungsi sebagaimana

mestinya. Fungsi gips pada semen adalah untuk menghambat proses pengerasan, namun pada kasus di atas ternyata gips justru mempercepat pengerasan. Hal ini bisa terjadi karena gips pada semen sudah terurai. Biasanya pada proses pengerasan hanya menimbulkan masalah dan tidak mempengaruhi sifat semen lainnya. Jika campuran tidak mengeras dengan benar, Anda bisa mengaduknya kembali. Setelah proses pengerasan palsu selesai, jika campuran diaduk kembali maka campuran semen akan mengeras seperti biasanya.

f. Pengaruh suhu

Ikatan semen terjadi dengan baik pada suhu 35°C dan terjadi perlahan pada suhu di bawah 15°C.

b. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir adalah partikel mineral keras yang bentuknya bulat, runcing dan tahan lama, dengan ukuran partikel biasanya berkisar antara 0,07 sampai 5 mm (SNI 03-1750-1990). Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi pada campuran *paving block* untuk meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi penggunaan semen. Pasir merupakan salah satu komponen campuran beton yang tergolong agregat halus, agregat yang lolos saringan nomor 8 dan tertahan pada saringan nomor 200. Pasir merupakan bahan tambahan yang tidak ikut aktif dalam proses pengerasan, namun kualitas pasir sangat dipengaruhi pada campuran beton. Mutu dari agregat halus ini sangat menentukan mutu paving block yang dihasilkan.

Menurut SNI 03-1750-1990 untuk menghasilkan *paving block* yang baik, agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Agregat halus harus terdiri dari partikel yang keras, tajam, dan mengalami perubahan warna secara terus menerus. Partikel agregat halus harus mempunyai daya tahan jangka panjang, artinya tidak pecah atau hancur oleh cuaca buruk seperti terik matahari atau hujan.
- 2) Tumpukan butiran memiliki modulus kehalusan antara 1,50 dan 3,80.
- 3) Rasio lumpur/partikel kurang dari 0,07 m maksimal 5%.
- 4) Kandungan zat organik ditentukan oleh larutan natrium hidroksida 3%, apabila dibandingkan dengan warna normal atau pembanding, bukan warna normal yang lebih gelap (sama).
- 5) Kekerasan butir, apabila dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding dari pasir kuarsa Bangka, memberikan hasil bagi tidak lebih tinggi dari 2,20.

c. Air

Fungsi air pada campuran *paving block* adalah membantu reaksi kimia yang menyebabkan terjadinya proses pengikatan. Adapun syarat air menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah:

- 1) Mengandung tidak lebih dari 2 gram/liter lumpur (atau benda terapung lainnya).
- 2) Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, bahan organik, dan lainnya) dengan takaran diatas 15 gram/liter
- 3) Tidak mengandung klorida (*Cl*) dengan kadar melebihi 0,5 gram/liter.
- 4) Kandungan senyawa sulfat tidak disarankan melebihi dari 1 gram/liter.

Agar kekuatan *paving block* yang dihasilkan tetap optimal, penggunaan air dalam pembuatan campuran harus tepat. Penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, yang akan mengurangi kekuatan *paving block*. Pada sisi lain, jika hanya sedikit air yang digunakan, proses hidrasi tidak akan terjadi secara optimal. Akibatnya, kekuatan *paving block* yang akan menurun.

d. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang, juga dikenal *sebagai fly ash*, adalah partikel sisa yang terbentuk setelah pembakaran batubara atau bubuk batubara. Proses pembakaran batu bara untuk menghasilkan tenaga dalam industri, sehingga dihasilkan limbah sisa pembakaran yaitu abu terbang atau *fly ash*, dan *bottom ash* atau endapan abu. Jika kedua limbah tersebut tidak dimanfaatkan dengan baik, maka dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia dan lingkungan sekitarnya (Cahyono, et al, 2013).

1. Sifat Fisik dan Karakteristik *Fly Ash*

Berdasarkan laporan dari ACI Committee 226.3R-87, ukuran dan bentuk partikel *fly ash* bergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi asal homogenitas batu bara, ukuran butiran *fly ash* sebelum proses pembakaran, merata atau tidaknya proses pembakaran, dan tipe sistem pemadatan. Selain itu, terdapat juga partikel *fly ash* yang berbentuk berlubang (*cenosphere*) dan partikel berbentuk bulatan yang mengandung jumlah *fly ash* yang lebih sedikit (*plerospheres*). Proses pembakaran batu bara memiliki peranan yang sangat penting karena semakin sempurna proses pembakarannya, semakin baik *fly ash* yang dihasilkan. *Fly ash* yang sempurna ini adalah hasil dari pembakaran *fly ash*

pada suhu yang melebihi 1000°C dan memiliki warna yang cenderung ke abu-abuan (Andoyo, 2006). Berikut informasi unsur kimia dan klasifikasi *fly ash* sebagai berikut:

Tabel 2.2 Komposisi kimia *fly ash* (Wardani, 2008)

Komponen	Bituminus (%)	Sub-bituminous (%)	Lignit (%)
SiO_2	20 – 60	40 - 60	15 – 45
Al_2O_3	5- 35.	20 – 30	10 - 25.
Fe_2O_3	10 - 40.	4 - 10.	4 - 15.
CaO	1 - 12.	5 - 30.	15 – 40
MgO	0 – 5	1 - 6.	3 - 10.
SO_3	0 – 4	0 – 2	0 – 10
Na_2O	0 – 4	0 – 2	0 – 6
K_2O	0 – 3	0 – 4	0 – 4
LOI	0 – 15	0 – 3	0 – 5

2. Klasifikasi *Fly Ash*

Ada tiga jenis *fly ash* yang dapat digunakan sebagai bahan campuran beton (Andoyo, 2006) sebagai berikut:

- Fly ash* jenis N, adalah *fly ash* hasil kalsinasi dari pozzolan alam seperti tanah diatomite, shale, tuft, dan batu apung.
- Fly ash* jenis F, adalah *fly ash* hasil dari pembakaran batu bara jenis antrasit pada suhu kurang lebih 1560° C.
- Fly ash* jenis C, adalah *fly ash* hasil dari pembakaran lignit/batu bara dengan kadar karbon sekitar 60%. *fly ash* jenis ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur diatas 10%.



Gambar 2.7 Abu batu bara (*fly ash*) PLTU Barru
Sumber: dokumentasi pribadi

Fly ash memiliki kadar bahan semen dan juga memiliki sifat pozzolanic. Sifat pozzolanic tersebut merupakan kemampuan *fly ash* untuk bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan oleh semen saat proses hidrasi, sehingga membentuk senyawa yang memiliki sifat mengikat pada suhu normal ketika tercampur air.

Saat ini *fly ash* batu bara seringkali digunakan di industri konstruksi sebagai bahan campuran pembuatan beton. Selain itu, *fly ash* batu bara juga mempunyai banyak kegunaan yang beragam (Afrianita dkk, 2012).

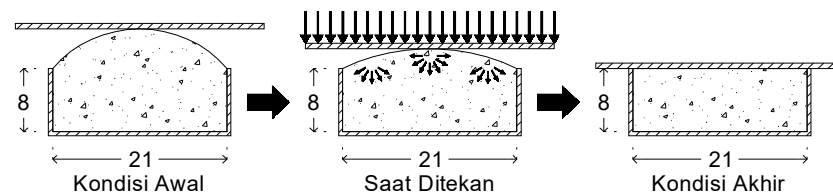
- 1) Bahan penyusun beton untuk pembangunan jalan dan bendungan.
- 2) Sebagai Penimbun lahan bekas pertambangan
- 3) Campuran utama membuat keramik, gelas, batu bata, dan refraktori.
- 4) Bahan penggosok, atau biasa dikenal sebagai polisher.
- 5) Untuk pengisi aspal, plastik, dan kertas.
- 6) Substitusi dan bahan campuran semen.
- 7) Bahan aditif untuk pengerjaan limbah (*waste stabilizer*).
- 8) Konversi menjadi zeolit dan adsorben.

6. Metode Pembuatan *Paving Block*

Metode pembuatan *paving block* diklasifikasikan menjadi dua metode yaitu:

a. Metode Konvensional

Cara pembuatan dilakukan dengan menggunakan mesin press tangan dengan beban tekan yang mempengaruhi tenaga orang yang melakukan usaha tersebut. Cara ini banyak digunakan masyarakat untuk industri rumahan karena selain peralatan yang digunakan sederhana. Semakin kuat orang yang melakukan pekerjaan tersebut, maka akan menghasilkan *paving block* padat dan kuat. Dari proses pembuatan, diperlukan tenaga yang cukup banyak karena proses kompresi dilakukan dengan cara menumbuk alat kompresi ke dalam adonan yang ada di cetakan.

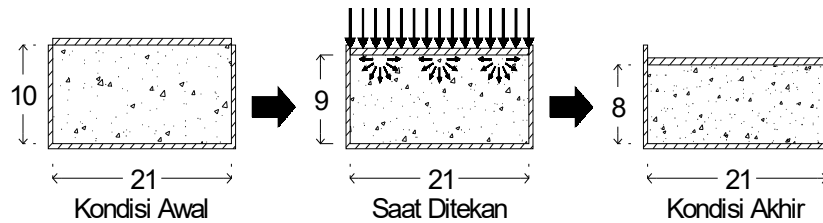


Gambar 2.8 Prinsip kerja metode konvensional

Sumber : Pamungkas, Bambang dan Hairunnisa, Sefa (2007)

b. Metode Mekanis

Cara mekanis dalam perusahaan sering disebut dengan cara pengepresan, cara ini jarang digunakan karena untuk memproduksi *paving block* memerlukan alat yang cukup mahal. Dengan cara ini sering digunakan pada pabrik industri skala menengah atau besar. Produksi *paving block* mekanis dilakukan dengan menggunakan mesin (peralatan kompresi).



Gambar 2.9 Prinsip kerja metode mekanis
 Sumber : Pamungkas, Bambang dan Hairunnisa, Sefa (2007)

7. Kuat Tekan

Kuat tekan suatu bahan merupakan perbandingan antara beban maksimum yang dapat ditahan dengan luas penampang bahan tersebut (Mariq R.2009).

a. Metode Benda Utuh (*Paving Block* Balok)

Sistem benda utuh dengan standard pengujian yang merujuk pada *British Standard 6717-1:1993*, merupakan sistem pengujian dengan memakai contoh dengan wujud awalnya dan didesak untuk menghitung kekuatannya. Pengujian ini umumnya untuk *paving block* tipe bata atau *truepave*. Mutu *paving block* dapat dinilai berdasarkan uji kuat tekan. Berikut rumus kuat tekan *paving block* berdasarkan *British Standard 6717-1:1993* sebagai berikut:

$$f_c = \frac{P_c}{A} \times f_k \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

f_c = Kuat tekan (MPa)

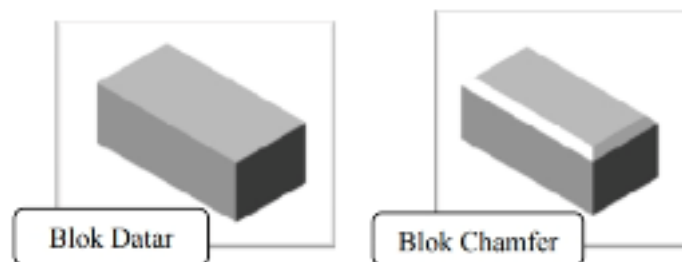
P_c = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang bahan (mm^2)

f_k = faktor koreksi

Tabel 2.3 Nilai faktor koreksi f_k (Sumber. *British Standard 6717-1:1993*)

Tebal (mm)	<i>Paving block chamfer</i>	<i>Paving block datar</i>
60 atau 65	01.06	01.00
80	01.18	01.12
10	01.24	01.18

**Gambar 2.10** *Paving block datar dan paving block chamfer* (Sumber. *British Standard 6717-1:1993*)**b. Metode SNI 03-0691-1996 (*Paving Block Kubus*)**

Sistem benda kubus dengan standard pengujian yang merujuk pada Standard Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1996, merupakan sistem pengujian yang sampel tesnya terpotongkan sampai semua seginya mempunyai panjang yang serupa seperti bentuk kubus. Berikut rumus kuat tekan *paving block* menurut (SNI 03-0691-1996).

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

f_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang bahan (mm²)

Kuat tekan adalah kemampuan menahan gaya tekan/satuan luas. Benda uji yang siap diuji ditekan hingga hancur menggunakan alat press yang kecepatannya dapat diatur. Kecepatan Penekanan dapat di atur selama 1 atau 2 menit, mulai awal penekanan beban hingga penghancuran benda uji. Arah tekanan pada benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban saat digunakan. Kuat tekan rata-rata sampel *paving block* dihitung sebagai kuat tekan total dibagi jumlah sampel uji.

8. Daya Serap

Pengujian daya serap merupakan persentase dari perbandingan antara selisih massa basah dan massa kering dengan massa kering. Kapasitas penyerapan suatu bahan dinyatakan dalam persentase (%) dari volume rongga dalam bahan tersebut. Oleh karena itu, semakin besar porositas benda yang diuji maka kekuatan *paving block* akan turun dan sebaliknya.

Menurut SNI 03-0691-1996, jumlah air yang terserap pada *paving block* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

A = Berat basah *paving block* (Kg)

B = Berat kering *paving block* setelah dikeringkan (Kg)

B. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

1. Indriyantho, B.R., dkk (2022).

“Analisi Pengaruh Zat Polimer *Paving Block* FAB (Fly Ash & Bottom Ash) Dengan Variabel Semen dan *Fly Ash* PLTU TJB Jepara”. Dilakukan

pengujian pengaruh *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti sebagian semen dan agregat terhadap kuat tekan beton dan daya serap air pada *paving block*. Komposisi perbandingan yaitu: A (PC 100% : FA 0%), B (PC 97% : FA 3%), C (PC 94% : FA 6%), D (PC 91% : FA 9%), E (PC 88% : FA 12%), F (PC 85% : FA 15%) dengan BA (*Bottom Ash*) dengan keadaan konstan menggunakan perbandingan 3:1 masing-masing klinker: pengikat Metode perbandingan komposisi campuran *paving block* didefinisikan untuk kualitas beton k 175 dan k 225 yang memaksimalkan abu terbang dan berat substitusi dalam campuran *paving block*. Hasil yang diperoleh setelah pengujian selama 28 hari penutup lantai dengan polimer 1% lebih unggul dari *paving block* dengan kandungan polimer 2%. Sedangkan dibandingkan dengan penggantian FA dengan PC, setiap penambahan *fly ash* mengalami penurunan.

2. Harystama, A, dkk. (2020)

“Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*”. Tujuan penelitian untuk mengetahui kuat tekan *paving block* dengan penambahan abu terbang (*fly ash*) dengan variasi campuran 5%, 10%, 15%, 20% terhadap berat semen, penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan panjang 6 cm dan lebar 6 cm. Hasil penelitian ini menunjukkan data sebagai berikut: a) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 5% dengan kuat tekan 7,22 MPa. b) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 10% dengan kuat tekan 8,1 MPa. c) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 15% dengan kuat tekan 8,42 MPa. d) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 20% dengan kuat tekan 9,34 MPa.

3. Sengkey, S.L, dkk (2022)

“Pengaruh Substitusi Semen Portland terhadap Kinerja *Paving Blok* Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Tipe F”. Pada penelitian ini, Semen Portland (PC) digunakan sebagai bahan substitusi dalam pembuatan paving geopolimer berbahan dasar FA tipe F. Pengaruh penggunaan PC terhadap kinerja *paving blok* geopolimer meliputi kekuatan tekan, penyerapan, porositas, ketahanan aus dan ketahanan terhadap larutan sodium sulfat (Na_2SO_4) pada siklus basah-kering dipelajari. Campuran paving blok geopolimer dibuat dengan komposisi NaOH 10M, rasio $Na_2SO_3/NaOH$ sebesar 2.5, rasio larutan alkali activator/FA sebesar 0.4 dengan variasi substitusi PC sebesar 0%, 20%, 30%, 40% terhadap berat FA serta curing pada temperature ambient. Hasil pengujian menunjukkan pengaruh substitusi PC ke dalam campuran, mampu meningkatkan kinerja *paving block* meliputi kuat tekan, penyerapan, porositas, ketahanan aus, kecuali ketahanan terhadap garam sulfat. Tetapi kehilangan berat *paving* geopolimer dengan menggunakan PC masih memenuhi standar SNI-03-0691-1996. Substitusi PC sebesar 20% terhadap FA, mampu meningkatkan mutu paving dari mutu D untuk penggunaan di taman, menjadi mutu B untuk penggunaan di lahan parkir kendaraan.

4. Diana. A.I.N, & Fansuri, S (2020)

“Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik dan Variasi *Fly Ash* terhadap Penyerapan Paving Blok Ramah Lingkungan”. bagaimana pengaruh penambahan limbah botol plastik dan variasi penambahan abu terbang (*fly ash*) terhadap penyerapan *paving blok* ramah lingkungan”. Penelitian ini menggunakan

perbandingan 1Pc: 4 Ps dengan variasi *fly ash* 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dari berat semen dan limbah plastik sebesar 0,5% dari total campuran. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa ada pengaruh secara simultan penambahan variasi *fly ash* terhadap penyerapan *paving block*. Secara berurutan hasil penyerapan yaitu 8.62%, 9.46%, 7.26%, 10.33%, 11.86%, dan 11.66%. Model persamaan regresi yang diperoleh $Y = 8,047 + 0,073 X$. Dengan demikian mutu *paving block* dalam penelitian ini masuk ke dalam mutu D diperuntukan untuk taman kota.

5. Nursilawati¹, L.I, (2018)

“Pemanfaatan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan *Paving Block*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* terhadap sifat mekanik dan fisik dari *paving block* serta untuk mengetahui berapa proporsi optimum penggantian semen dengan *fly ash* pada *paving block*. Penelitian dilakukan dengan uji pendahuluan untuk menguji sifat fisik dan mekanik bahan. Variasi penggantian semen dengan *fly ash* digunakan kadar 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% dan 10% dari berat total semen dengan jumlah benda uji 15 buah per persentase penggantian. Campuran yang digunakan untuk semen dengan pasir yaitu 1:4 dengan benda uji berbentuk persegi. Benda uji didiamkan selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan terhadap sifat mekanik yang meliputi kuat tekan, impact dan tarik belah sedangkan pengujian sifat fisik berupa pengujian daya serap air. Pengujian kuat tekan dan tarik belah menggunakan alat uji compression testing machine sedangkan pengujian impact menggunakan alat uji protector test dan uji daya serap air menggunakan oven dan bak perendam. Nilai

kuat tekan tertinggi didapat pada benda uji PFA1 atau *paving block* dengan penggunaan 2,5% *fly ash* sebesar 22,500 MPa, lebih tinggi 8,87% bila dibandingkan dengan *paving block* tanpa penggunaan *fly ash* yaitu 20,667 MPa. Nilai ketahanan impact tertinggi didapat pada benda uji PFA1 atau *paving block* dengan penggunaan 2,5% *fly ash* sebesar 115,337 joule, lebih tinggi 30,775 bila dibandingkan dengan *paving block* tanpa penggunaan *fly ash* yaitu 88,199 joule. Nilai daya serap air tertinggi didapatkan pada benda uji PN yaitu sebesar 0,12%, sedangkan nilai daya serap air terendah didapatkan pada benda uji PFA1 dengan penambahan 2,5% *fly ash* yaitu sebesar 0,03%. Nilai rata-rata tarik belah yang dihasilkan pada *paving block* normal sebesar 2,455 MPa, dengan melakukan penggantian semen menggunakan *fly ash* kuat tarik belah cenderung menuurun menjadi 2,123 MPa ; 1,858 MPa ; 1,858 MPa dan 1,460 MPa. Nilai kuat tekan serta impact pada *paving block* yang menggunakan *fly ash* lebih tinggi kekuatannya serta dapat mengurangi daya serap airnya bila dibandingkan dengan *paving block* tanpa penggunaan *fly ash* sama sekali. Namun pada nilai tarik belah, *paving block* mengalami penurunan kekuatan seiring dengan bertambahnya penggunaan *fly ash* tersebut.

6. Aman, dkk (2016)

“*Paving Block Geopolimer Dari Fly Ash Limbah Pabrik*”. Dalam penelitian ini dibuat *paving block* geopolimer dengan komposisi pasir: (*fly ash*+aktivator) = 3:1. Aktivator yang digunakan adalah *NaOH* dengan konsentrasi 14 M dan sodium silikat (Na_2SO_3), rasio *NaOH* dan Na_2SO_3 sebesar 2, variasi liquid aktivator terhadap *fly ash* 0,5 , 0,7 dan 0,9. Temperatur curing (60-100°C). Hasil yang didapat

menunjukkan kuat tekan *paving block* tertinggi 18,18MPa pada rasio liquid to solid (L/S) 0,9 dan temperature optimum 80°C.

7. Azwar (2019)

“Analisa Pemanfaatan Limbah *Battom Ash* dan Serbuk Pecahan Kaca Terhadap Konstruksi *Paving Block*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh campuran semen dan pasir dengan limbah *battom ash* serta serbuk pecahan kaca terhadap kuat tekan. Komposisi penggantian semen dan pasir dengan limbah *battom ash* dan serbuk pecahan kaca sebanyak 5%, 10% dan 20 %. Hasil dari penelitian ini adalah. a) Terjadi peningkatan kuat tekan pada *paving block* dengan tambahan *battom ash* dan pecahan kaca. b) Setelah dibandingkan dengan kuat tekan *paving block* normal dengan campuran 1 semen dan 4 pasir dengan tambahan *battom ash* dan pecahan kaca lebih kuat tapi hanya 3 sample yaitu 5%+5%, 10%+5%, 20%+5%. c) Peningkatan kuat tekan *paving block* campuran hanya sampai komposisi pecahan kaca 5%, semakin banyak ditambahkan maka kuat tekannya semakin turun.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian yang akan digunakan adalah penelitian kuantitatif yaitu penelitian yang didasarkan pada asumsi, kemudian menentukan variabel, dan sebagainya dianalisa dengan menggunakan metode penelitian yang valid sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Nana Sudjana dan Ibrahim (2001).

Metode penelitian kuantitatif ini termasuk dalam penelitian eksperimen yaitu, eksperimen adalah metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (treatment/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Penelitian eksperimen dilakukan di dalam laboratorium.

B. Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian
Sumber: google maps

Waktu penelitian dilakukan selama $\pm$ (kurang lebih) 4 (empat) bulan.

Table 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian.

No	Uraian Kegiatan	Tahun 2023				
		Mei	Juni	Juli	Agustus	September
1	Persiapan Material					
2	Pemeriksaan Agregat					
3	Perencanaan Mix Design					
4	Pembuatan Benda Uji					
5	Perawatan Benda Uji					
6	Pengujian Kuat Tekan Paving Block					
7	Analisis Data Pengujian					

C. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa alat dan bahan yang akan digunakan.

1. Alat

a. Cetok

Cetok digunakan alat untuk mencampur bahan penyusun *paving block*.

Cetok juga digunakan untuk memasukkan dan meratakan campuran ke cetakan.



Gambar 3.2 Cetok

Sumber: dokumentasi pribadi

b. Ember

Ember digunakan sebagai tempat mencampur bahan penyusun *paving block*. Ember bisa juga digunakan sebagai tempat bahan penyusun agregat pada saat penimbangan.



Gambar 3.3 Ember

Sumber: dokumentasi pribadi

c. Timbangan duduk

Timbangan duduk digunakan untuk menimbang bahan penyusun *paving block*, juga digunakan menimbang *paving block* yang akan di uji.



Gambar 3.4 Timbangan duduk

Sumber: dokumentasi pribadi

d. Gerinda

Gerinda digunakan untuk memotong *paving block* utuh menjadi *paving block* kubus.



Gambar 3.5 Gerinda

Sumber: dokumentasi pribadi

e. Mesin Press Hidrolik

Mesin press hidrolik digunakan untuk membuat *paving block*. Mesin dengan kuat tekan hingga $K300-400 \text{ kg/cm}^2$.



Gambar 3.6 Mesin press hidrolik multi block SB 306

Sumber: dokumentasi pribadi

f. Mesin Compression Test

Mesin uji kuat tekan ini digunakan untuk menguji kekuatan *paving block* pada saat mengalami tekanan kuat.



Gambar 3.7 Mesin compression test
Sumber: dokumentasi pribadi

2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan paving block ialah pasir, semen PCC, air dan abu batubara (*fly ash*).



Gambar 3.8 Fly ash PLTU Barru
Sumber: dokumentasi pribadi

D. Rancangan Penelitian

1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

- a) Kajian Pustaka
- b) Persiapan alat dan bahan material :
 - 1. Abu terbang (*Fly ash*)
 - 2. Agregat Halus (Pasir)
 - 3. Semen Portland Composite Cement (PCC) 40 kg.
 - 4. Air
- c) Pengujian Material :
 - 1. Analisa saringan (SNI 3423 – 2008)
 - 2. Berat Jenis (SNI 1969 – 2008)
 - 3. Berat Isi (SNI 1973 - 2008)
 - 4. Kadar Air (SNI 1971 – 2011)
 - 5. Kadar Lumpur (SNI 03 – 4142 – 1996)
- d) Rancangan Campuran Benda Uji /Mix Design (SNI 2847 -2013)
 - 1. *Paving block* normal
 - 2. *Paving block* penggunaan *fly ash* 10% substitusi semen
 - 3. *Paving block* penggunaan *fly ash* 20% substitusi semen
 - 4. *Paving block* penggunaan *fly ash* 30% substitusi semen
- e) Perawatan *paving block* (perendaman) selama 28 hari
- f) Pengujian daya serap air *paving block* menurut SNI 03-0691 1996.
- g) Pengujian kuat tekan *paving block* menurut British Standard 6717.
- h) Pengujian kuat tekan *paving block* menurut SNI 03-0691 1996.

2. Variasi Benda Uji

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen *trail and error*, dengan percobaan secara langsung dilapangan dan laboratorium. Eksperimen dilakukan dengan memberikan perlakuan terhadap variabel yang diteliti sehingga dampak dari perlakuan tersebut didapatkan kesimpulan yang korelasional dengan variabel-variabel yang diteliti.

Jumlah benda uji *fly ash* eksperimen masing-masing jenis yang dibuat sesuai dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0691-1996). Sampel benda uji pada penelitian ini sebanyak 52 sampel dengan model balok (20 x 10 x 8 cm) sebanyak 12 sampel dan model kubus (8 x 8 x 8 cm) sebanyak 24 sampel.

Table 3.2 Komposisi Campuran *Paving Block*

Kode	Uraian	Pengujian Kuat Tekan	
		<i>Paving Block</i> Kubus (8x8x8)	<i>Paving Block</i> Balok (20x10x8)
PF0	1 Pc : 4 Ps	10	3
PF10	1pc (90%pc:10% FA) : 4 Ps	10	3
PF20	1pc (80%pc:20% FA) : 4 Ps	10	3
PF30	1pc (70%pc:30% FA) : 4 Ps	10	3
Total		40	12

Keterangan : Pc = Semen

Ps = pasir

FA = *Fly ash*

3. Tahap Pembuatan Benda Uji

Adapun tahapan pembuatan benda uji sebagai berikut :

- 1) Siapkan alat dan bahan.

- 2) Pengujian material, jika telah memenuhi standar yang di tentukan penelitian dapat dilanjutkan, namun jika belum maka pengujian akan dilakukan ulang hingga meterial memenuhi standar.
- 3) Melakukan pencampuran sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.
- 4) Tuangkan campuran kedalam cetakan mesin press hidrolik dengan sekop atau cetok.
- 5) Mesin press akan menekan hingga padat dan merata.
- 6) keluarkan benda uji dari mesin cetak dengan cara menempatkan potongan papan di atas seluruh permukaan mesin cetak.
- 7) Lalu papan tersebut dikeluarkan secara otomatis menggunakan conveyor pallet transfer, sehingga *paving block* tersebut keluar dari alat cetaknya.
- 8) *Paving block* baru cetak kemudian didiamkan selama 24 jam. Kemudian dilanjutkan proses curing dengan merendam benda uji selama 28 hari.

4. Tahap Pengujian

- a. Tahapan pengujian kuat tekan

Adapun tahap yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan sebagai berikut:

- 1) Siapkan alat dan benda uji.
- 2) Untuk *paving block* kubus potong berukuran 8×8×8 cm.
- 3) Masukkan benda uji kedalam alat kuat tekan dengan diapit plat besi di permukaan atas dan bawah.
- 4) Nyalakan mesin kuat tekan sampai benda uji hancur dan lihat pada nilai pembacaan mesin apa bila nilai sudah tidak naik matikan alat.
- 5) Catat nilai yang muncul pada pembacaan alat.

- 6) Analisis nilai tersebut untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji.

b. Tahap Uji Serapan Air

Adapun uji serapan air pada benda uji dilakukan sebagai berikut :

- 1) Keluarkan benda uji dari bak perendaman setelah 28 hari.
- 2) Timbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat basah benda uji.
- 3) Keringkan dalam ruangan dalam suhu ruangan selama 24 jam.
- 4) Setelah proses pengeringan selesai timbang berat benda uji.
- 5) Analisis data yang didapatkan.

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan penelitian kuantitatif dengan melakukan beberapa pengujian terhadap benda uji di laboratorium. Teknik pengumpulan data terdiri atas 2 (dua) yaitu sebagai berikut :

1. Data primer

Data primer diperoleh dari beberapa hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium sebagai berikut:

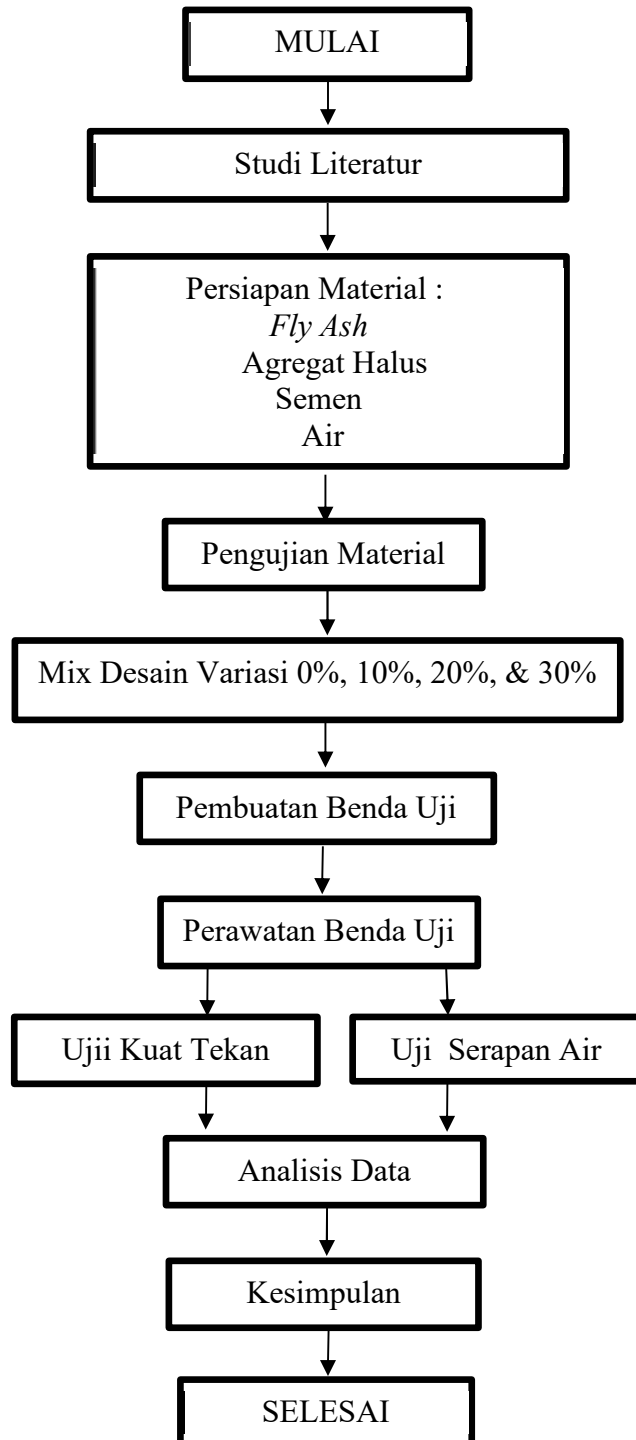
- a) Analisis saringan agregat.
- b) Berat jenis dan penyerapan agregat
- c) Pemeriksaan kadar organik (pasir)
- d) Pemeriksaan berat volume agregat.
- e) Pemeriksaan kadar air agregat.
- f) Pemeriksaan kadar lumpur agregat
- g) Perbandingan dalam campuran *paving block (Mix design)*.
- h) Uji daya serap air *paving block*

- i) Uji kuat tekan *paving block*

2. Data sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai referensi yang memiliki kaitan dengan penelitian yang dilakukan, baik itu dari Standar Nasional Indonesia, buku-buku atau penelitian terdahulu yang dapat menunjang penelitian yang dilakukan, ataupun informasi dari dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Parepare.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium kemudian dianalisa menggunakan metode *statistic* rata-rata aritmatika selanjutnya disajikan dalam bentuk perhitungan, tabel dan grafik.

F. Diagram Alir**Gambar 3.9** Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat halus (pasir), semen dan abu batu bara (*fly ash*).

1. Agregat Halus (Pasir)

Pengujian agregat halus terdiri dari pengujian kadar lumpur, kadar organik, kadar air, berat volume, absorsi, berat jenis dan modulus kehalusan.

Berikut hasil dari pengujian agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus (*Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023*)

NO	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4.6%	4.84%	4.72%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 3	No. 3	3	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4.21%	3.99%	4.10%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1.47	1.56	1.52	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1.80	1.78	1.79	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1.01%	1.42%	1.21%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	2.57	2.62	2.60	Memenuhi

	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.51	2.53	2.52	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.53	2.56	2.55	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	3.51	3.51	3.51	Memenuhi

Pengujian kadar lumpur agregat halus diatas didapatkan hasil 4,72% yang nilainya lebih kecil dari 5% sehingga agregat halus dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Pengujian kadar organik agregat halus diatas didapatkan hasil kadar organik di no.2 yang nilainya lebih kecil dari no.3 sehingga agregat halus dapat dijadikan sebagai bahan campuran mortar.

Pengujian kadar air diatas didapat kan hasil 4,10% yang nilainya lebih kecil dari 5% sehingga agregat halus dapat digunakan pada campuran mortar.

Pengujian berat volume rongga agregat halus didapatkan hasil 1,52 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,79 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,4 – 1,9 kg/liter sehingga aregat halus dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 1,21% yang nilainya masuk dalam interval maksimum 2% sehingga dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Pengujian berat jenis nyata diatas didapatkan hasil 2,60. Berat jenis dasar kering didapatkan nilai sebesar 2,52. Dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,55 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 - 3,3, sehingga agregat halus dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 1,5-3,8. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 3,51 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran mortar.

2. *Fly Ash*

a. Berat volume *fly ash*

Tabel 4.2 Pengujian berat volume *fly ash* (Sumber: Hasil oleh data laboratorium 2023)

KODE	KETERANGAN	SAMPEL 1		SAMPEL 2	
		PADAT	LEPAS	PADAT	LEPAS
A	Volume bohler (liter)	1.178	1.178	1.178	1.178
B	Berat bohler kosong (kg)	4.600	4.600	4.600	4.600
C	Berat bohler + benda uji (kg)	5.907	5.682	5.945	5.671
D	Berat benda uji (C - B)	1.307	1.082	1.345	1.071
Berat Volume = $\frac{D}{A}$ (kg/liter)		1.110	0.919	1.142	0.909

Dari pengujian pengujian berat volume *fly ash* maka diperoleh sampel 1 hasil berat volume lepas 0,919 kg/liter sedangkan berat volume padat 1,110 kg/liter. Sampel 2 hasil berat volume lepas 0,909 kg/liter sedangkan berat volume padat 1,142 kg/liter.

b. Berat jenis *fly ash*

Tabel 4.3 Pengujian berat jenis *fly ash* (Sumber: Hasil oleh data laboratorium 2023)

KODE	KETERANGAN	SAMPEL 1	SAMPEL 2
A	Berat Semen (gram)	52	52
B	Nilai Awal (V1)	0.5	0.8
C	Nilai Akhir (V2)	18.5	20.0
D	Berat Jenis <i>Fly Ash</i> (gram) = $\frac{A}{C - B}$	2.89	2.71
Nilai Rata-rata		2.80	

Dari pengujian pengujian berat jenis *fly ash* maka diperoleh sampel 1 hasil berat jenis *fly ash* 2,89 gram/ m^3 dan Sampel 2 hasil berat jenis *fly ash* 2,71 gram/ m^3 . Hasil Rata-rata kedua sampel yaitu 2,80 gram/ m^3 .

3. Pemeriksaan Berat Volume Semen

Tabel 4.4 Pengujian berat volume semen pcc (*Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023*)

KODE	KETERANGAN	SAMPEL 1		SAMPEL 2	
		PADAT	LEPAS	PADAT	LEPAS
A	Volume bohler (liter)	1.178	1.178	1.178	1.178
B	Berat bohler kosong (kg)	4.600	4.600	4.600	4.600
C	Berat bohler + benda uji (kg)	6.050	5.700	6.110	5.660
D	Berat benda uji (C - B)	1.450	1.100	1.510	1.060
Berat Volume = $\frac{D}{A}$ (kg/liter)		1.231	0.934	1.282	0.900

Dari pengujian pengujian berat volume semen maka diperoleh sampel 1 hasil berat volume lepas 0,934 kg/liter sedangkan berat volume padat 1,231 kg/liter. Sampel 2 hasil berat volume lepas 0,900 kg/liter sedangkan berat volume padat 1,282 kg/liter.

B. Perencanaan Adukan Campuran *Paving Block* (Mix Design)

1. *Paving Block* Balok

a. Volume *Paving Block* Balok

$$V = P \times L \times T$$

Keterangan : P = Panjang

L = Lebar

T =Tinggi

V = Volume

Dimana: $P = 21 \text{ cm}$

$L = 10 \text{ cm}$

$T = 8 \text{ cm}$

Untuk menentukan volume cetakan *paving block*, maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = 21 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} = 1.680 \text{ cm}^3$$

b. Komposisi Campuran *Paving Block* Balok

Dalam menentukan proporsi bahan dan material digunakan perbandingan volume. Berdasarkan pengamatan pada alat cetak *paving block* didapatkan volume cetakan sebesar 1.680 cm^3 . Adapun perbandingan yang digunakan didalam penelitian ini adalah Semen : 1, pasir : 4 untuk varian sampel *paving block* normal (PF0). Penggunaan air pada pembuatan campuran untuk semua varian sampel PF0 menggunakan asumsi faktor air semen (w/c) sebesar 0,35.

Selain varian sampel *paving block* normal (PF0), pada penelitian ini dibuat varian sampel dengan penambahan *fly Ash* (FA) sebagai substitusi semen dengan uraian: varian sampel PF10 (90%pc : 10% FA) : 4 Ps, varian sampel PF20 (80%pc : 20% FA) : 4 Ps, dan varian sampel PF30 (70%pc : 30% FA) : 4 Ps sehingga secara keseluruhan terdapat 4 (empat) varian sampel.

1) *Paving block* normal

$$\text{Volume } Paving \text{ block} = 21 \times 10 \times 8 = 1.680 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan v. semen} &= \left(\frac{1}{(1+4)} \times V. \text{paving block} \right) \\ &= \left(\frac{1}{(1+4)} \times 1.680 \right) = 336 \text{ cm}^3 = 0,336 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan v. pasir} &= \left(\frac{4}{(1+4)} \times V. \text{paving block} \right) \\ &= \left(\frac{4}{(1+4)} \times 1.680 \right) = 1.344 \text{ cm}^3 = 1,344 \text{ liter}\end{aligned}$$

Kebutuhan bahan pada 1 benda uji:

$$\text{Bahan} = \text{Berat volume} \times V. \text{ benda uji}$$

$$\text{Semen} = 0,920 \times 0,336 = 0,309 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 1,515 \times 1,344 = 2,037 \text{ kg}$$

Penambahan pada setiap kebutuhan bahan sebanyak 30%.

$$\text{Semen} = 0,309 \times 30\% = 0,402 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 2,037 \times 30\% = 2,648 \text{ kg}$$

Untuk menentukan kebutuhan air dengan cara, kebutuhan semen dikalikan faktor air semen (w/c).

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Berat semen 3 benda uji} \times \text{Fas (w/c)} \\ &= 1,206 \times 0,35 = 0,422 \text{ kg}\end{aligned}$$

Tabel 4.5 Mix design *paving block* normal (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

Bahan	Berat volume (kg/liter)	Kebutuhan volume benda uji (liter)	Kebutuhan tiap benda uji (kg)	Tambahan 30% benda uji (kg)	Kebutuhan tiap 3 benda uji (kg)
Semen	0,920	0,336	0,309	0,402	1,206
Pasir	1,515	1,344	2,037	2,648	7,943
Air					0,422

Berdasarkan hasil yang didapat di Laboratorium untuk perancangan campuran (*mix design*) untuk *paving block* normal untuk 3 (tiga) sampel yaitu semen 1,206 kg, pasir 7,943 kg, dan air 0,422 kg.

2) *Paving block* variasi 10% *fly ash*

$$\text{Volume fly ash} = \left(\frac{\text{jum.pengganti}}{100} \times \text{kebutuhan v. semen} \right)$$

$$= \left(\frac{10}{100} \times 0,336 \right) = 0,034 \text{ liter}$$

$$\text{Fly ash} = \text{Berat volume fly ash} \times \text{Kebutuhan volume fly ash}$$

$$= 0,910 \times 0,034 = 0,031 \text{ kg}$$

$$\text{Volume Semen} = \text{volume semen} - \text{Kebutuhan fly ash}$$

$$= 0,336 - 0,031 = 0,302 \text{ liter}$$

$$\text{Semen} = \text{Berat volume semen} \times \text{Kebutuhan volume semen}$$

$$= 0,920 \times 0,302 = 0,278 \text{ kg}$$

Tambahan 30% pada bahan penyusun *paving block*:

$$\text{Semen} = 0,278 \times 30\% = 0,362 \text{ kg}$$

$$\text{Fly ash} = 0,031 \times 30\% = 0,040 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 2,037 \times 30\% = 2,648 \text{ kg}$$

Kebutuhan bahan penyusun untuk 3 benda uji *paving block*:

$$\text{Semen} = 0,362 \times 3 = 1,085 \text{ kg}$$

$$\text{Fly ash} = 0,040 \times 3 = 0,119 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 2,648 \times 3 = 7,943 \text{ kg}$$

Tabel 4.6 Mix Design *Paving block* variasi 10% *fly ash* (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

Bahan	Berat volume (kg/liter)	Kebutuhan volume benda uji (liter)	Kebutuhan tiap benda uji (kg)	Tambahan 30% benda uji (kg)	Kebutuhan tiap 3 benda uji (kg)
Semen	0.920	0.302	0.278	0.362	1.085
<i>Fly ash</i>	0.910	0.034	0.031	0.040	0.119
Pasir	1.515	1.344	2.037	2.648	7.943

Berdasarkan hasil yang didapat di laboratorium untuk perancangan campuran (*mix design*) untuk *paving block* variasi 10% *fly ash* untuk 3 (tiga) sampel yaitu semen 1,085 kg, *fly ash* 0,119 kg, dan pasir 7,943 kg.

3) *Paving block* variasi 20% *fly ash*

$$\begin{aligned} \text{Fly ash} &= \left(\frac{\text{jum.pengganti}}{100} \times \text{kebutuhan v. semen} \right) \\ &= \left(\frac{20}{100} \times 0,336 \right) = 0,067 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\text{Semen} = 0,336 - 0,067 = 0,269 \text{ liter}$$

Tabel 4.7 Mix design *paving block* variasi 20% *fly ash* (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

Bahan	Berat volume (kg/liter)	kebutuhan volume benda uji (liter)	kebutuhan tiap benda uji (kg)	Tambahan 30% benda uji (kg)	kebutuhan tiap 3 benda uji (kg)
Semen	0,920	0,269	0,247	0,321	0,964
<i>Fly ash</i>	0,910	0,067	0,061	0,079	0,238
Pasir	1,515	1,344	2,037	2,648	7,943

Berdasarkan hasil yang didapat di laboratorium untuk perancangan campuran (*mix design*) untuk *paving block* variasi 20% *fly ash* untuk 3 (tiga) sampel yaitu semen 0,964 kg, *fly ash* 0,238 kg, dan pasir 7,943 kg.

4) *Paving block* variasi 30% *fly ash*

$$\begin{aligned} \text{Fly ash} &= \left(\frac{\text{jum.pengganti}}{100} \times \text{kebutuhan v. semen} \right) \\ &= \left(\frac{30}{100} \times 0,336 \right) = 0,101 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\text{Semen} = 0,336 - 0,101 = 0,235 \text{ liter}$$

Tabel 4.8 Mix design *paving block* variasi 30% *fly ash* (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

Bahan	Berat volume (kg/liter)	Kebutuhan volume benda uji (liter)	Kebutuhan tiap benda uji ((kg)	Tambahan 30% benda uji (kg)	Kebutuhan tiap 3 benda uji (kg)
Semen	0.920	0.235	0.216	0.281	0.844
<i>Fly ash</i>	0.910	0.101	0.092	0.119	0.358
Pasir	1.515	1.344	2.037	2.648	7.943

Berdasarkan hasil yang didapat di laboratorium untuk perancangan campuran (*mix design*) untuk *paving block* variasi 30% *fly ash* untuk 3 (tiga) sampel yaitu semen 0,844 kg, *fly ash* 0,358 kg, dan pasir 7,943 kg.

Adapun material yang di butuhkan untuk semua variasi pencampuran pada *paving block* balok sebagai berikut:

Tabel 4.9 Rekapitulasi jumlah agregat *paving block* balok (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

Bahan	kebutuhan benda uji (kg)
Semen	4,10
<i>Fly ash</i>	0,72
Pasir	23,83
Air	1,69

2. *Paving Block* Kubus

Pengujian kuat tekan *paving block* kubus dibutuhkan benda uji sebanyak 10 sampel masing-masing pada setiap variasi yaitu, variasi 0%, 10%, 20% dan 30% *fly ash*. Untuk membuat *paving block* kubus, *paving block* balok di potong menggunakan gerinda sehingga membentuk *paving block* kubus dengan ukuran 8 × 8 × 8 cm.

C. Hasil Pengujian *Paving Block*

Pada penelitian ini dilakukan 2 pengujian *pada paving block* yaitu pengujian daya serap air dan kuat tekan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.

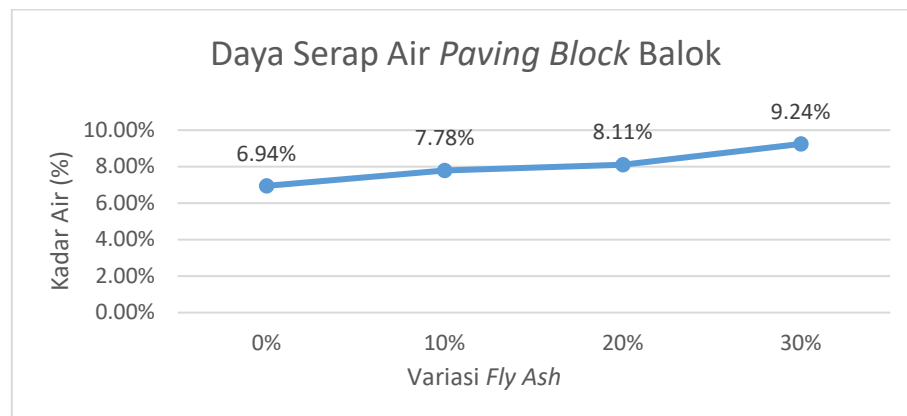
1. Pengujiian Daya Serap Air

Uji serapan air *paving block* dilaksanakan setelah mencapai 28 hari dengan ukuran benda uji 21x10x8 cm (*paving block* balok) sebanyak 3 buah untuk setiap variasi, dengan 5 macam variasi yaitu 0%, 10%, 20% dan 30% *fly ash*. Berikut adalah hasil dari pengujian daya serap air yang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.10 Hasil pengujian daya serap air pada *paving block* balok (*Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023*)

No	Variasi	Umur Hari	Benda Uji	Berat Basah	Berat Kering	Daya Serap Air %	Rata-rata %
1	0%	28 H	Sampel.1	3,800	3,560	6.32%	6.94%
			Sampel.2	3,860	3,565	7.64%	
			Sampel.3	3,720	3,465	6.85%	
2	10%	28 H	Sampel 1	3,795	3,515	7.38%	7.78%
			Sampel 2	3,810	3,520	7.61%	
			Sampel 3	3,830	3,510	8.36%	
3	20%	28 H	Sampel 1	3,780	3,490	7.67%	8.11%
			Sampel 2	3,805	3,495	8.15%	
			Sampel 3	3,825	3,500	8.50%	
4	30%	28 H	Sampel 1	3,830	3,490	8.88%	9.24%
			Sampel 2	3,850	3,480	9.61%	
			Sampel 3	3,845	3,490	9.23%	

Tabel diatas menunjukkan hasil uji serapan air didapatkan nilai rata-rata pada *paving block* balok dengan variasi 0% *fly ash* sebesar 6.94%, variasi 10% *fly ash* sebesar 7.78%, variasi 20% *fly ash* sebesar 8,11% dan variasi 30% *fly ash* sebesar 9,24%.



Gambar 4.1 Grafik pengujian serapan air *paving block* balok
Sumber: dokumentasi pribadi

Berdasarkan grafik di atas hasil uji serapan air pada *paving block* balok dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen meningkat pada setiap variasi penggunaan *fly ash*, semakin banyak penggunaan *fly ash* semakin tinggi nilai serapan air *paving block*. Nilai tertinggi uji serapan air pada variasi 30% *fly ash* diperoleh rata-rata sebesar 9,24% dan nilai terendah pengujian daya serap air pada variasi 0% *fly ash* diperoleh rata-rata sebesar 6,94%.

Tabel 4.11 Penggolongan mutu penyerapan air *paving block* balok (*Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023*)

No	Variasi	Hasil Pengujian (%)	Syarat SNI Rata-rata maks	Mutu	Kegunaan
1	0%	6.94	6	B	Lahan Parkir
2	10%	7.78	8	C	Pejalan Kaki
3	20%	8.11	8	C	Pejalan Kaki
4	30%	9.24	10	D	Taman Kota

Berdasarkan hasil yang telah di analisis pada uji serapan air *paving block* balok, maka dilakukan penentuan mutu *paving block* sesuai persyaratan SNI 03-0691-1996. *Paving block* balok dengan variasi 0% *fly ash* diklasifikasikan pada

mutu B yaitu untuk lahan parkir, variasi 10% dan 20% *fly ash* pada mutu C untuk ruas pejalan kaki, variasi 30% *fly ash* pada mutu D untuk taman kota.

2. Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan *paving block* dilaksanakan setelah mencapai 28 hari dengan ukuran benda uji 21x10x8 cm (*paving block* balok) dan ukuran benda uji 8x8x8 cm (*paving block* kubus). Pengujian kuat tekan menggunakan mesin compression test. Pengujian dilakukan di Laboratorium bahan dan struktur Universitas Muhammadiyah Parepare.



Gambar 4.2 Uji kuat tekan *paving block*
Sumber: dokumentasi pribadi

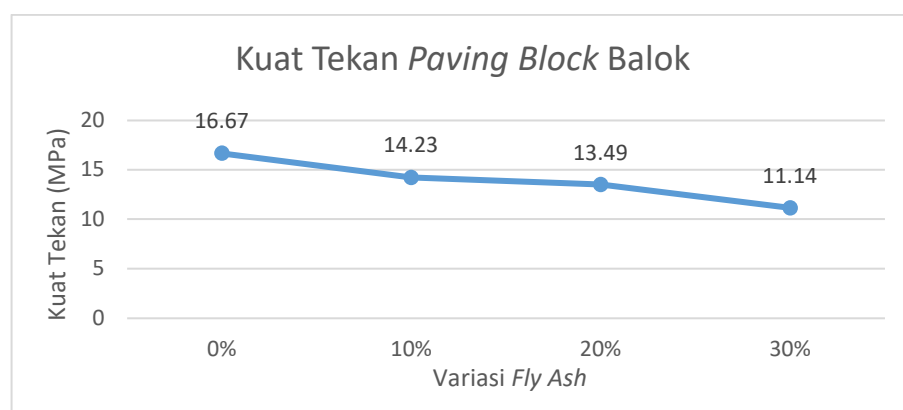
a. Kuat Tekan *Paving Block* Balok

Pengujian kuat tekan *paving block* balok sebanyak 3 buah untuk setiap variasi, dengan 5 macam variasi yaitu 0%, 10%, 20% dan 30% *fly ash*. Berikut adalah hasil dari pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.12 Hasil pengujian kuat tekan *paving block* balok (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

No	Variasi	Umur Hari	Benda Uji	Berat (kg)	Luas Permukaan (mm)	Beban Tekan (N)	Kuat tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
1	0%	28 H	Sampel.1	3,560	21000	300	16.857	16.67
			Sampel.2	3,565	21000	290	16.295	
			Sampel.3	3,675	21000	300	16.857	
2	10%	28 H	Sampel.1	3,515	21000	270	15.171	14.23
			Sampel.2	3,520	21000	240	13.486	
			Sampel.3	3,510	21000	250	14.048	
3	20%	28 H	Sampel.1	3,490	21000	230	12.924	13.49
			Sampel.2	3,495	21000	240	13.486	
			Sampel.3	3,500	21000	250	14.048	
4	30%	28 H	Sampel.1	3,490	21000	200	11.238	11.14
			Sampel.2	3,480	21000	195	10.957	
			Sampel.3	3,490	21000	200	11.238	

Tabel diatas menunjukkan hasil uji kuat tekan didapatkan nilai rata-rata pada *paving block* balok dengan variasi 0% *fly ash* sebesar 16,67 MPa, variasi 10% *fly ash* sebesar 14,23 MPa, variasi 20% *fly ash* sebesar 13,49 MPa dan variasi 30% *fly ash* sebesar 11,14 MPa.



Gambar 4.3. Grafik hasil uji kuat tekan *paving block* balok
Sumber: dokumentasi pribadi

Grafik diatas menunjukkan hasil uji kuat tekan pada *paving block* balok dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% *fly ash* sebagai substitusi semen mengalami penurunan pada setiap penambahan kadar penggunaan *fly ash*, semakin banyak penggunaan *fly ash* semakin rendah nilai kuat tekan yang didapatkan. Nilai tertinggi pengujian kuat tekan pada variasi 0% *fly ash* diperoleh rata-rata sebesar 16,67 MPa dan nilai terendah pengujian kuat tekan pada variasi 30% *fly ash* diperoleh rata-rata sebesar 11,14 MPa.

Berikut penggolongan mutu sesuai persyaratan SNI 03-0691- 1996 dari hasil kuat tekan *paving block* balok dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.13 Penggolongan mutu kuat tekan *paving block* balok (*Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023*)

No	Variasi	Hasil Pengujian (Mpa)		Syarat SNI (Mpa)		Mutu	Kegunaan
		Rerata	Min.	Rerata	Min.		
1	0%	16.67	16.295	15	12.5	C	Pejalan kaki
2	10%	14.23	13.486	15	12.5	C	Pejalan kaki
3	20%	13.49	12.924	15	12.5	C	Pejalan kaki
4	30%	11.14	10.957	10	8.5	D	Taman kota

Berdasarkan data-data yang telah di analisis pada hasil pengujian kuat tekan *paving block* balok, maka dilakukan penentuan mutu sesuai persyaratan SNI 03-0691-1996. *Paving block* balok dengan variasi 0%, 10%, dan 20% *fly ash* diklasifikasikan pada mutu C yaitu untuk ruas pejalan kaki, variasi 30% *fly ash* diklasifikasikan pada mutu D untuk taman kota.

b. Kuat Tekan *Paving Block* Kubus

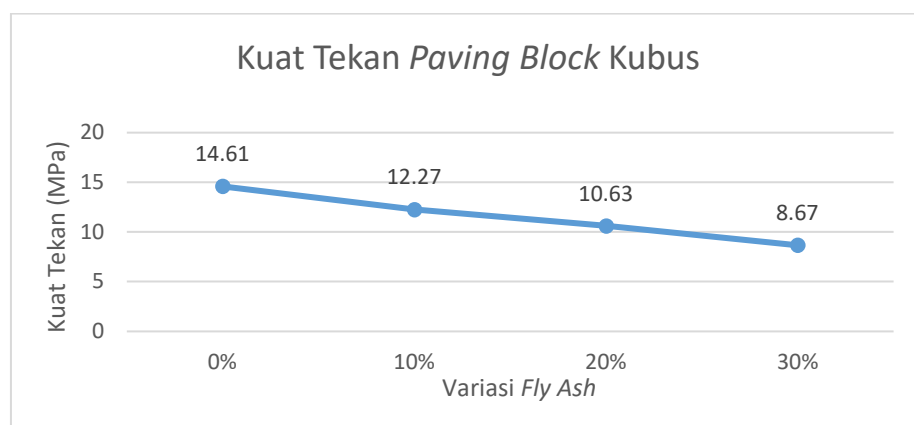
Pengujian kuat tekan *paving block* kubus ukuran 8x8x8 cm sebanyak 10 buah untuk setaiap variasi, dengan 5 macam variasi yaitu 0%, 10%, 20% dan 30% *fly ash*. Berikut hasil dari pengujian kuat tekan *paving block* kubus.

Tabel 4.14 Hasil pengujian kuat tekan *paving block* kubus (Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023)

No	Variasi Fly Ash	Umur Hari	Benda Uji	Berat (kg)	Luas Permukaan (mm)	Beban Tekan (N)	Kuat tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
1	0%	28 H	Sampel.1	1,440	6400	95	14.844	14.61
			Sampel.2	1,440	6400	100	15.625	
			Sampel.3	1,435	6400	95	14.844	
			Sampel.4	1,450	6400	95	14.844	
			Sampel.5	1,460	6400	100	15.625	
			Sampel.6	1,420	6400	90	14.063	
			Sampel.7	1,320	6400	85	13.281	
			Sampel.8	1,340	6400	80	12.500	
			Sampel.9	1,450	6400	100	15.625	
			Sampel.10	1,445	6400	95	14.844	
2	10%	28 H	Sampel.1	1,405	6400	80	12.500	12.27
			Sampel.2	1,400	6400	75	11.719	
			Sampel.3	1,395	6400	80	12.500	
			Sampel.4	1,300	6400	80	12.500	
			Sampel.5	1,410	6400	90	14.063	
			Sampel.6	1,390	6400	75	11.719	
			Sampel.7	1,385	6400	80	12.500	
			Sampel.8	1,300	6400	85	13.281	
			Sampel.9	1,285	6400	75	11.719	
			Sampel.10	1,380	6400	65	10.156	
3	20%	28 H	Sampel.1	1,360	6400	60	9.375	10.63
			Sampel.2	1,320	6400	60	9.375	
			Sampel.3	1,355	6400	65	10.156	
			Sampel.4	1,370	6400	75	11.719	
			Sampel.5	1,310	6400	80	12.500	

			Sampel.6	1,370	6400	70	10.938	
			Sampel.7	1,360	6400	70	10.938	
			Sampel.8	1,450	6400	65	10.156	
			Sampel.9	1,360	6400	70	10.938	
			Sampel.10	1,355	6400	65	10.156	
4	30%	28 H	Sampel.1	1,340	6400	60	9.375	8.67
			Sampel.2	1,150	6400	55	8.594	
			Sampel.3	1,350	6400	60	9.375	
			Sampel.4	1,295	6400	55	8.594	
			Sampel.5	1,290	6400	50	7.813	
			Sampel.6	1,300	6400	50	7.813	
			Sampel.7	1,295	6400	55	8.594	
			Sampel.8	1,210	6400	55	8.594	
			Sampel.9	1,330	6400	60	9.375	
			Sampel.10	1,310	6400	55	8.594	

Tabel diatas menunjukkan hasil uji kuat tekan didapatkan nilai rata-rata pada *paving block* kubus dengan variasi 0% *fly ash* sebesar 14,16 MPa, variasi 10% *fly ash* sebesar 12.27 MPa, variasi 20% *fly ash* sebesar 10.63 MPa dan variasi 30% *fly ash* sebesar 8.67 MPa.



Gambar 4.4 Grafik hasil uji kuat tekan *paving block* balok.
Sumber: dokumentasi pribadi

Grafik di atas menunjukkan hasil uji kuat tekan pada *paving block* kubus dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% *fly ash* sebagai pengganti semen mengalami penurunan pada setiap variasi penggunaan *fly ash*, semakin banyak penggunaan *fly ash* semakin rendah nilai kuat tekan pada *paving block*. Nilai tertinggi pengujian kuat tekan pada variasi 0% *fly ash* diperoleh rata-rata sebesar 14,61 MPa dan nilai terendah pengujian kuat tekan pada variasi 30% *fly ash* diperoleh rata-rata sebesar 8,67 MPa.

Berikut penggolongan mutu sesuai persyaratan SNI 03-0691- 1996 dari hasil kuat tekan *paving block* kubus dapat dilihat pada tabel 4.16.

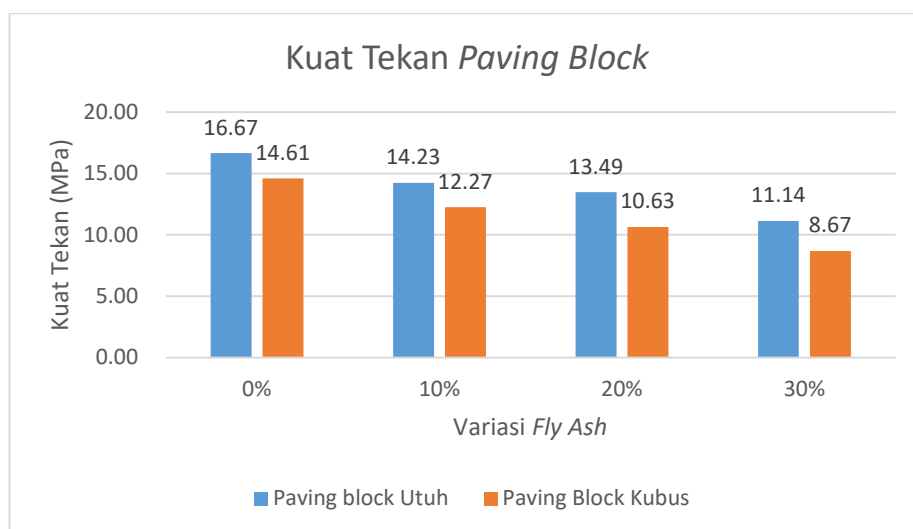
Tabel 4.15 Penggolongan mutu kuat tekan *paving block* kubus (*Sumber: Hasil olah data laboratorium 2023*)

No	Variasi	Hasil Pengujian (Mpa)		Syarat SNI (Mpa)		Mutu	Kegunaan
		Rerata	Min.	Rerata	Min.		
1	0%	14.61	12.50	15	12.5	C	Pejalan kaki
2	10%	12.27	10.16	15	12.5	C	Pejalan kaki
3	20%	10.63	9.38	10	8.5	D	Taman kota
4	30%	8.67	9.38	10	8.5	D	Taman kota

Berdasarkan data-data yang telah di analisis pada hasil pengujian kuat tekan *paving block* kubus, maka dilakukan penentuan mutu sesuai persyaratan SNI 03-0691- 1996. *Paving block* balok dengan variasi 0%, dan 10% *fly ash* diklasifikasikan pada mutu C yaitu berfungsi untuk ruas pejalan kaki, *paving block* variasi 20% dan 30% *fly ash* diklasifikasikan pada mutu D berfungsi untuk taman kota.

D. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kapasitas kuat tekan *paving block* telah diketahui nilai pengujian kuat tekan *paving block* balok dan *paving block* kubus. Berikut adalah grafik pengujian kuat tekan *paving block* balok dan *paving block* kubus yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.5 Grafik hasil kuat tekan *paving block* balok dan *paving block* kubus
 Sumber: dokumentasi pribadi

pada grafik diatas, diketahui nilai uji kuat tekan yang optimum pada *paving block* balok dan *paving block* kubus yaitu *paving block* balok normal sebesar 16,67 MPa (Mutu B) dan *paving block* kubus normal sebesar 14,61 MPa (Mutu C). *Paving block* normal menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada penggunaan *fly ash*, hal itu terjadi karena semen memiliki daya rekat yang kuat terhadap agregat dibanding abu batu bara (*fly ash*).

Penggunaan *fly ash* pada *paving block* yang menghasilkan nilai optimum yaitu, *paving block* balok variasi 10% *fly ash* sebesar 14,23 Mpa (Mutu C) dan nilai

optimum *paving block* kubus variasi 10% *fly ash* sebesar 12,27 (Mutu C). *Paving block* variasi 10% *fly ash* menghasilkan kuat tekan cukup baik. Hal ini terjadi karena kandungan silika dari abu batubara berikatan dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen pada saat bereaksi dengan air sehingga menghasilkan kuat tekan yang cukup baik.

Penggunaan *fly ash* pada *paving block* balok dan *paving block* kubus variasi 20% dan 30% mengalami penurunan kuat tekan dari variasi 10%. Hasil kuat tekan *paving block* balok variasi 20% sebesar 13,49 MPa (Mutu C) dan *paving block* kubus variasi 20% sebesar 10,63 MPa (Mutu D), dan hasil kuat tekan *paving block* balok variasi 30% sebesar 11,14 MPa (Mutu D) dan *paving block* kubus variasi 30% sebesar 8,67 MPa (Mutu D). Semakin banyak penggunaan *fly ash* akan mengurangi kuat tekan *paving block*, hal ini karena semen yang berfungsi sebagai perekat jumlahnya semakin sedikit dan jumlah silika yang terlalu banyak, sehingga banyak silika yang tidak bereaksi dengan kalsium hidroksida. Silika *fly ash* banyak yang tidak bereaksi, sehingga menyebabkan daya ikat antar agregat menjadi kurang.

Berdasarkan data-data yang telah di analisis, maka penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada *paving block* balok dan *paving block* kubus variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% menghasilkan nilai kuat tekan sesuai SNI 03-0691-1996.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah di analisis, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan metode *British Standard 6717*, nilai faktor koreksi 1.18 dengan tebal 0,80 mm dari hasil pengujian kuat tekan rata-rata *paving block* balok menggunakan *fly ash* pada 3 variasi yaitu, variasi 10% sebesar 14,23 MPa, variasi 20% sebesar 13,49 MPa, dan variasi 30% sebesar 11,14 MPa. Sedangkan menurut SNI 03-0691 1996 yaitu, *paving block* kubus variasi 10% sebesar 12,27 MPa, variasi 20% sebesar 10,63 MPa, dan variasi 30% sebesar 8,67 MPa. Jadi hasil kuat tekan metode *British Standard 6717* lebih kuat daripada SNI 03-0691 1996.
2. Hasil kuat tekan *paving block* menggunakan *fly ash* yang optimum terdapat pada *paving block* balok variasi 10% sebesar 14,23 MPa dan *paving block* kubus variasi 10% sebesar 12,27 MPa.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditinjau kekurangan yang terjadi pada penelitian ini, sehingga peneliti memberikan saran dan masukan sebagai bahan pertimbangan untuk peneliti selanjutnya.

1. Dalam penelitian pemanfaatan *fly ash* selanjutnya, *fly ash* digunakan sebagai substitusi sebagian pasir untuk mengetahui pengaruh kuat tekan pada *paving block*.
2. Dalam penelitian pemanfaatan *fly ash* selanjutnya diharapkan menggunakan campuran yang lebih bervariasi seperti 5%, 10%, 15%, dan 20%.
3. Dalam penelitian pembuatan paving block diharapkan membuat bentuk yang berbeda seperti, bentuk segi enam dan bentuk thirex.
4. Dalam menentukan komposisi perbandingan antara semen dan pasir sebaiknya peneliti selanjutnya menggunakan komposisi yang lebih variatif seperti 1:2 atau 1:3, untuk mendapatkan mutu *paving block* terbaik sesuai SNI 03-0696-1996.

DAFTAR PUSTAKA

- SNI 03-0691-1996. Standar bata beton (*paving block*). Dewan Standarisasi Nasional (DSN). Jakarta.
- British Standar. (2003). *Precast Concret Paving Block - Specification For Paving Blocks*. BS 6717 1:1986. BSI Publications. Landon.
- ASTM. (1995). *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia: ASTM.
- Adi, A.S. (2017). Analisa Persentase Penambahan Fly ash Dan Bottom Ash Pada Campuran Beton Dalam Pembuatan Paving Block. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil*. 5(2): 15-22.
- Tjokrodinuljo, K. (2007), *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Anggi Harystama, dkk (2020). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Paving Block. *CIVeng*. 1(1): 11-16.
- Sandri Linna Sengkey, dkk (2022). Pengaruh Substitusi Semen Portland terhadap Kinerja Paving Blok Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe F. Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV). Diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado: Manado.
- Azwar. (2019). Analisa Pemanfaatan Limbah *Battom Ash* dan Serbuk Pecahan Kaca Terhadap Konstruksi *Paving Block*. *Jurnal Ilmiah Tekno Global*. 8(2): 2338-6762.
- Edwin, R.S., dkk. (2020). Bimbingan Teknis Teknologi Mortar Dengan Campuran Fly Ash Untuk Industri Paving Block Di Kelurahan Kessilampe Kota Kendari. *Jurnal Panrita Abdi*. 5(2). 158-167.
- Nursilawati, L.I. (2018). Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan *Paving Block*. Skripsi tidak dipublikasikan. Mataram: Universitas Mataram.
- Kusdarini E, dkk. (2022). Penentuan Komposisi Bahan Baku Pada Pemanfaatan Fly Ash Pada Proses Paving Block. *Jurnal Reka Lingkungan*. 10(2). 103-112.
- Aman, dkk (2016). *Paving Block Geopolimer Dari Fly Ash Limbah Pabrik*. Prosiding Seminar Nasional Pelestarian Lingkungan dan Mitigasi Bencana. Diselenggarakan oleh Fakultas Teknik Universitas Riau: Riau.

- Lubis, N. (2017). Optimasi Substitusi *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Terhadap Pembuatan *Paving Block* Sesuai SNI 03-0691-1996. *Jurnal Teknik Sipil USU*. 6(1).
- Rahima. (2023). Studi Perbandingan Kuat Tekan *Paving Block* Berbahan Dasar Plastik. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*. 20 (1): 41-50.
- Ramadhan, M.S. (2023). Pengaruh Penambahan Tumbukan Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Mortar Sebagai Bahan Dasar *Paving Block*. Universitas Muhammadiyah Parepare.
- Setiawati, M. (2018). *Fly Ash* Sebagai Bahan Penggati Semen Pada Beton. Prosing Semnastek.
- Asrisnawanti, A. (2023). Potensi Penggunaan Campuran Fly Ash dan Bottom Ash dengan Tanah Sebagai liner Material Penahan logam Berat. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Standar Nasional Indonesia. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. Jakarta. Badan Standar Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. SNI 1970:2008. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1998). Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat. SNI 03-4804-1998. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). Semen Portland. SNI 2049:2015. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton SNI 03-1947-1990. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1996). Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan 200 (0,0075 mm). Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). Metode Uji Bahan Lebih Halus Dari Saringan No. 200 Dalam Agregat Mineral Dengan Pencucian. SNI 03-4142-1996. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.