

**TUGAS AKHIR**

**PERILAKU MEKANIK DAN KECEPATAN GELOMBANG  
ULTRASONIK PADA PAVING BLOK BERBAHAN HASIL  
SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**

***MECHANICAL BEHAVIOR AND ULTRASONIC PULSE  
VELOCITY ON PAVING BLOCKS MADE FROM STEAM  
POWER PLANT***

**WILLIAM BAGITA SAMUEL  
D011 18 1803**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

### PERILAKU MEKANIK DAN KECEPATAN GELOMBANG ULTRASONIK PADA PAVING BLOK BERBAHAN HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Disusun dan diajukan oleh:

**WILLIAM BAGITA SAMUEL**

**D011 18 1803**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 20 Juli 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

  
Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng  
NIP: 196805292002121002

  
Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng  
NIP: 198604092019043001

Ketua Program Studi,

  
  
Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : William Bagita Samuel

NIM : D011181803

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis saya yang berjudul :

### PERILAKU MEKANIK DAN KECEPATAN GELOMBANG ULTRASONIK PADA PAVING BLOK BERBAHAN HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, 29 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



William Bagita Samuel

NIM: D111 18 1803

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Perilaku Mekanik Dan Kecepatan Gelombang Ultrasonik Pada *Paving block* Berbahan Hasil Sampingan Pembangkit Listrik Tenaga Uap**" yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu **papa** dan **mama** atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun

material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Pacar terkasih **Yizrielsa Tappi** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. Teman-teman terkasih di **Laboratorium Riset Eco Material** yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman-teman **asisten Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu menyemangati dalam pembuatan tugas akhir ini.
5. Saudara-saudari **se-Transisi 2019** dan **Level Up** yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 29 Juli 2022



Penulis

## ABSTRAK

Sekitar 80-90 % *Fly Ash* (abu terbang) dan 10-20% *Bottom Ash* (abu dasar) dihasilkan baik dari industri – industri berbasis batu bara maupun dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup 2006, limbah *Fly Ash* batu bara yang dihasilkan PLTU batu bara mencapai 52,2 ton/hari, sedangkan limbah *Bottom Ash* mencapai 5,8 ton/hari. Volume limbah padat terutama *Fly Ash* diprediksi akan terus meningkat sehingga pengelolaan limbah yang tidak terencana dengan baik berpotensi membahayakan masyarakat. *Fly ash* dan *bottom ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Banyaknya limbah abu batu bara yang dihasilkan tidak seiring dengan cara penanganannya. Sebagian besar masih terbatas melalui penimbunan lahan (*landfill*).

Tujuan penelitian ini adalah untuk ntuk menentukan besar nilai kuat tekan, menganalisis berat volume *paving block*, menganalisis kuat lentur dan menganalisis *ultrasonic pulse velocity test* pada *paving block* yang menggunakan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai bahan pengganti semen dan abu batu. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, PT. Citra Permai Makassar dan Laboratorium PT. Bosowa dengan rentang waktu penelitian selama 4 bulan dimulai dari Desember 2021 sampai dengan Maret 2022.

Berat volume pada *paving block* umur 28 hari dan 90 hari mengalami penurunan dari tiap-tiap variasi. Dimana presentasi penurunan terbesar terdapat pada variasi 30% *Fly Ash* dan 100% *Bottom Ash* I yaitu sebesar 8,28%. Nilai kuat lentur pada *paving block* umur 28 hari dan 90 hari mengalami peningkatan dari tiap-tiap variasi. Dimana presentasi peningkatan nilai kuat lentur terbesar terdapat pada variasi 100% *Bottom Ash* II yaitu sebesar 19.57%. Nilai kuat tekan pada *paving block* umur 28 hari dan 90 hari mengalami peningkatan dari tiap-tiap variasi Dimana presentasi peningkatan nilai kuat tekan maksimum terdapat pada variasi 30% *Fly Ash* dan 100% *Bottom Ash* I yaitu sebesar 17,87%. *Ultrasonic Pulse Velocity Test* pada setiap variasi campuran *paving block* berbanding lurus dengan nilai kuat tekan *paving block*.

## ABSTRACT

*Around 80-90% Fly Ash and 10-20% Bottom Ash are produced both from coal-based industries and from coal-fired Steam Power Plants (PLTU). According to 2006 data from the Ministry of Environment, Fly Ash waste produced by coal-fired power plants reached 52.2 tons/day, while Bottom Ash waste reached 5.8 tons/day. The volume of solid waste, especially Fly Ash, is predicted to continue to increase so that improperly planned waste management has the potential to endanger the community. Fly ash and bottom ash are solid wastes produced from burning coal in a steam power plant (PLTU). The amount of coal ash waste produced is not in line with the way it is handled. Most of it is still limited through landfilling (landfill).*

*The purpose of this study was to determine the value of compressive strength, analyze the volume weight of the paving block, analyze the flexural strength and analyze the ultrasonic pulse velocity test on paving blocks using Fly Ash and Bottom Ash as a substitute for cement and stone ash. The research location was carried out at the Structure and Materials Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, PT. Citra Permai Makassar and the Laboratory of PT. Bosowa with a research period of 4 months starting from December 2021 to March 2022.*

*Volume weight on paving blocks aged 28 days and 90 days decreased from each variation. Where the largest percentage decrease is in the variation of 30% Fly Ash and 100% Bottom Ash I, which is 8.28%. The value of flexural strength on paving blocks aged 28 days and 90 days increased from each variation. Where the percentage increase in the value of the greatest flexural strength is found in the 100% Bottom Ash II variation, which is 19.57%. The value of the compressive strength of paving blocks aged 28 days and 90 days has increased from each variation. Where the percentage increase in the maximum compressive strength value is found in variations of 30% Fly Ash and 100% Bottom Ash I, which is 17.87%. Ultrasonic Pulse Velocity Test for each variation of the paving block mixture is directly proportional to the compressive strength of the paving block.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH <b>iiError! Bookmark not defined.</b>	<b>ii</b>
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	5
E. Batasan Masalah .....	5
F. Sistematika Penulisan .....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	8
A. Penelitian Terdahulu .....	8
B. Teori dan Aplikasi <i>Paving Block</i> .....	14
C. Materi Penyusun <i>Paving Block</i> .....	17
C.1 Semen Portland ( <i>Portland Cement</i> ) .....	17
C.1.1 Jenis-Jenis Semen.....	18
C.1.2 Tipe-Tipe Semen .....	20
C.2 Abu Batu.....	22
C.3 Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ).....	23
C.3.1 Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) Jenis Siliceous.....	24
C.3.2 Abu Terbang Berkapur ( <i>Calcareous Fly Ash</i> ).....	25
C.3.3 Kategori abu terbang ( <i>Fly Ash</i> ) .....	26
C.4 Abu Endapan ( <i>Bottom Ash</i> ) .....	27



C.5 Air .....	29
C.5.1 Spesifikasi Air Sebagai Bahan Bangunan .....	30
D. Kuat Tekan .....	31
E. Kuat Lentur .....	32
F. Berat Volume .....	33
G. <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> .....	35
BAB 3. METODE PENELITIAN .....	38
A. Prosedur Penelitian .....	38
B. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	40
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data .....	40
D. Alat dan Bahan Penelitian .....	40
E. Pemeriksaan Karakteristik Material .....	42
E.1 Abu Batu .....	42
E.2 Abu Endapan ( <i>Bottom Ash</i> ) .....	43
E.3 Abu Batu ( <i>Fly Ash</i> ) .....	43
F. Pembuatan Benda Uji .....	44
G. Perawatan( <i>Curing</i> ) Benda Uji .....	45
H. Pengujian Kuat Tekan .....	46
I. Pengujian Kuat Lentur .....	48
J. <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> .....	49
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	50
A. Karakteristik Material .....	50
A.1 Agregat Halus (Abu Batu) .....	50
A.2 <i>Fly Ash</i> (FA) .....	51
A.3 <i>Bottom Ash</i> (BA) .....	52
A.4 Semen .....	54
B. Rancangan Campuran <i>Paving Block</i> .....	55
C. Berat Volume <i>Paving Block</i> .....	56
C.1 Berat Volume Berbentuk Prisma Pada <i>Paving Block</i> .....	56
C.2 Berat Volume Berbentuk Kubus Pada <i>Paving Block</i> .....	57
D. Kuat Lentur <i>Paving Block</i> .....	59

E. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> .....	61
F. <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV)</i> .....	63
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
A. Kesimpulan .....	67
B. Saran .....	68
UCAPAN TERIMA KASIH .....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	70
LAMPIRAN .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Aplikasi Penggunaan <i>Paving block</i> .....	16
Gambar 2. Diagram Balok Terbentuknya <i>Fly Ash</i> .....	24
Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> .....	32
Gambar 4. Pengujian Kuat Lentur <i>Paving Block</i> .....	33
Gambar 5. Pengujian Berat Volume <i>Paving block</i> .....	35
Gambar 6. Cara Pengukuran UPV Test.....	36
Gambar 7. <i>Flowchart</i> Pengujian .....	39
Gambar 8. Material Campuran <i>Paving Block</i> .....	42
Gambar 9. Proses <i>Curing</i> Benda Uji .....	46
Gambar 10. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> .....	47
Gambar 11. Pengujian Kuat Lentur <i>Paving Block</i> .....	48
Gambar 12. Alat <i>UPV</i> yang digunakan .....	49
Gambar 13. Metode Pengujian Dengan 3 Titik yang Berbeda .....	49
Gambar 14. Morfologi FA .....	52
Gambar 15. Morfologi BA .....	54
Gambar 16. Berat Volume Berbentuk Prisma Pada <i>Paving Block</i> .....	57
Gambar 17. Berat Volume Berbentuk Kubus Pada <i>Paving Block</i> .....	59
Gambar 18. Nilai Kuat Lentur .....	60
Gambar 19. Nilai Kuat Tekan.....	62
Gambar 20. Hasil <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> .....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tipe-Tipe <i>Paving block</i> .....	15
Tabel 2. Karakteristik Fisik <i>Fly Ash</i> .....	26
Tabel 3. Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> .....	27
Tabel 4. Sifat Fisik Khas <i>Bottom Ash</i> .....	36
Tabel 5. Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang .	37
Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu .....	43
Tabel 7. Pemeriksaan Karakteristik Abu Endapan .....	43
Tabel 8. Pemeriksaan Karakteristik Abu Terbang .....	44
Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu .....	50
Tabel 10. Hasil Pengujian Karakteristik Fisik <i>Fly Ash</i> .....	51
Tabel 11. Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> .....	51
Tabel 12. Komposisi Kimia <i>Bottom Ash</i> .....	53
Tabel 13. Hasil Pengujian Karakteristik <i>Bottom Ash</i> .....	54
Tabel 14. Komposisi Kimia Semen .....	54
Tabel 15. Rancangan Campuran <i>Paving Block</i> dalam m <sup>3</sup> .....	55
Tabel 16. Berat Volume Berbentuk Prisma Pada <i>Paving Block</i> .....	57
Tabel 17. Berat Volume Berbentuk Kubus Pada <i>Paving Block</i> .....	58
Tabel 18. Hasil Pengujian Kuat Lentur.....	60
Tabel 19. Hasil Pengujian Kuat Tekan .....	62
Tabel 20. Nilai <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> .....	64

## BAB 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

*Fly Ash* dan *Bottom Ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada fasilitas pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Ada tiga tipe pembakaran batu bara yang dikenal dalam industri listrik, yaitu *dry bottom boilers*, *wet bottom boilers*, dan *cyclon furnace*. Tipe yang paling lazim digunakan adalah tipe *dry bottom boilers*. Tipe pembakaran ini menghasilkan abu yang kurang lebih 80%-nya dalam bentuk *Fly Ash* yang mengalir menuju corong gas yang dikumpulkan dengan mekanisme persipitasi dan sisanya 20% dalam bentuk *Bottom Ash* yang tertinggal di dasar tungku.

Sekitar 80-90 % *Fly Ash* (abu terbang) dan 10-20% *Bottom Ash* (abu dasar) dihasilkan baik dari industri – industri berbasis batu bara maupun dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup 2006, limbah *Fly Ash* batu bara yang dihasilkan PLTU batu bara mencapai 52,2 ton/hari, sedangkan limbah *Bottom Ash* mencapai 5,8 ton/hari. Volume limbah padat terutama *Fly Ash* diprediksi akan terus meningkat sehingga pengelolaan limbah yang tidak terencana dengan baik berpotensi membahayakan masyarakat.

Seiring dengan adanya kebijakan dari pemerintah yaitu dicabutnya FABA dari daftar limbah B3 termuat dalam perubahan Tabel 4 yang memuat daftar limbah B3 dari sumber spesifik khusus pada Lampiran IX

PP No. 22 Tahun 2021, yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari PP tersebut. *Fly Ash* dan *Bottom Ash*, yang memiliki kategori bahaya 2, semula dengan aturan lama pada kolom sumber limbah dideskripsikan berasal dari proses pembakaran batu bara pada fasilitas Pembangkitan Listrik Tenaga Uap (PLTU), boiler, dan/atau tungku industri. Namun dalam Lampiran IX PP No. 22 Tahun 2021 frasa “proses pembakaran batu bara pada fasilitas PLTU” dihapus sehingga FABA yang bersumber dari proses pembakaran pada fasilitas boiler dan/atau tungku industri saja yang masih masuk kategori sebagai limbah B3 sedangkan FABA batu bara masuk dalam Lampiran XIV dan ditetapkan dalam kategori limbah non-B3 terdaftar.

Banyaknya limbah abu batu bara yang dihasilkan tidak seiring dengan cara penanganannya. Sebagian besar masih terbatas melalui penimbunan lahan (landfill). Jika tidak dimanfaatkan dan tidak ditangani dengan baik, maka dapat berpotensi menimbulkan pencemaran. Maka dengan pemanfaatan FABA sebagai limbah non-B3, khususnya dalam penelitian ini, *Fly Ash* dan *Bottom Ash* digunakan sebagai bahan pengganti (substitusi) dari pasir. Pasir merupakan komponen yang paling banyak pada *Paving Block* sekitar 65% - 75% total volume. Sehingga penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti pasir dapat mengurangi tumpukan limbah tersebut di PLTU.

*Paving block* adalah bahan konstruksi yang terutama digunakan di jalan, jalan masuk, trotoar, garasi, dan tempat parkir. Standar Nasional

Indonesia (SNI) 03-0691-1996 mendefinisikan *paving block* sebagai bahan komposit yang terbuat dari bahan Portland. semen atau bahan perekat hidrolis semacam air dan agregat halus . Meningkatnya permintaan *paving block* sebagai material konstruksi telah mengakibatkan meningkatnya kebutuhan semen untuk pembuatan *paving block*. Mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan bahan berbasis semen seperti *Paving Block*, beton dan *paving block* dapat secara signifikan mengurangi Emisi CO<sub>2</sub> dari produksi semen, yang menghasilkan 0,9 ton CO<sub>2</sub> untuk setiap 1,0 ton semen . Sekitar 8% dari total emisi CO<sub>2</sub> global berasal dari produksi semen . Untuk mengatasi masalah ini, banyak upaya telah dilakukan dibuat untuk memanfaatkan bahan limbah dan produk sampingan seperti: *Fly Ash*, silika fume, terak tanur sembur berbutir tanah, keramik serbuk limbah, abu sekam padi, abu bahan bakar kelapa sawit, abu ampas tebu, dan abu dasar insinerator sebagai alternatif pengganti sebagian menggantikan semen dalam bahan berbasis semen.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai berta jenis yang terdapat pada setiap variasi campuran *paving block* , mengetahui nilai kuat lentur dari berbagai macam variasi campuran *paving block* , mengetahui nilai kuat tekan dari berbagai macam variasi campuran *paving block* , dan untuk mengetahui nilai *ultrasonic pulse velocity* pada tiap-tiap variasi pada campuran *paving* .

## “PERILAKU MEKANIK *PAVING BLOCK* BERBAHAN HASIL SAMPINGAN PEMBAKARAN LISTRIK TENAGA UAP”

### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Bagaimana berat volume *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu?
2. Bagaimana pengaruh *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu terhadap nilai kuat lentur ?
3. Bagaimana pengaruh *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu terhadap nilai kuat tekan ?
4. Bagaimana pengaruh *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu terhadap *ultrasonic pulse velocity test* ?

### C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis berat volume yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu .
2. Untuk menganalisis kuat lentur pada *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu .



3. Untuk menentukan besar nilai kuat tekan *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu.
4. Untuk menganalisis *ultrasonic pulse velocity test* pada *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai bahan pengganti semen dan abu batu .

#### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah mengetahui nilai berat volume , kuat lentur, kuat tekan ,dan *ultrasonic pulse velocity test* pada *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu .

#### **E. Batasan Masalah**

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan diatas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. *Fly ash* yang digunakan merupakan abu terbang rendah kalsium (kelas C).
2. *Bottom Ash* yang digunakan merupakan abu endapan rendah kalsium (kelas C).
3. Semen yang digunakan adalah salah satu jenis semen campuran (*blended cement*), yaitu semen Portland Komposit (PCC).
4. *Fly ash* dan *Bottom Ash* digunakan sebagai pengganti 100% semen dan abu batu pada campuran *paving block* .

5. Pengujian kuat lentur, kuat tekan , berat volume dan *ultrasonic pulse velocity test* dilaksanakan pada umur 28 hari dan 90 hari .
6. Perawatan benda uji dengan dilakukan penyiraman pada sampel selama 14 hari dan di simpan di tempat yang teduh .
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Agar lebih terarah penulisan tugas akhir, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dapat diurutkan yaitu :

##### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini, pokok-pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

##### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai landasan atau acuan dalam melakukan penelitian.

##### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang

dituangkan dalam bentuk flowchart penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

#### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pemeriksaan karakteristik agregat, pengujian penyerapan air, pengujian sorptivity, dan hasil analisa pengujian kuat lentur , kuat tekan , berat volume dan *ultrasonic pulse velocity test* pada *paving block*.

#### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

(Uygunolu dkk, 2012) Membahas pengaruh kadar abu terbang dan penggantian agregat batu pasir pecah dengan beton limbah dan limbah marmer di blok interlocking beton pra-fabrikasi (PCIB). Kami telah membandingkan sifat-sifat PCIB dengan *Fly ash* yang dihasilkan dengan tiga rasio penggantian agregat yang berbeda. Kompresif kekuatan, kekuatan membelah tarik, kepadatan, porositas nyata, penyerapan air berat, ketahanan abrasi, reaksi alkali-silika dan ketahanan beku-cair PCIB ditentukan. Saat membandingkan PCIB dengan batu pasir pecah, penggantian batu pasir pecah dengan limbah beton dan marmer limbah menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang lebih rendah. Sebaliknya, penggantian semen dengan *Fly ash* (dari 10% hingga 20%) memiliki efek signifikan dalam meningkatkan sifat penting PCIB.

(Kim Hung Mo dkk, 2022) Produk sampingan pembakaran batubara seperti *Fly ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA) diproduksi dalam jumlah besar di seluruh dunia. Salah satu jalan yang menjanjikan untuk mengintegrasikan produk sampingan ini dalam volume besar adalah bahan bangunan seperti produk bata dan balok. Ini karena batu bata dan balok diproduksi secara massal secara global dan banyak mengkonsumsi bahan baku alami. Dengan memasukkan FA dan BA dalam produk bata/blok, produk sampingan ini dapat dimanfaatkan dan

mengurangi konsumsi bahan baku. Partikel FA halus dapat dimanfaatkan dalam berbagai bentuk di bata/balok; sebagai penyusun utama (>50%) (bata FA, balok FA, bata/bata geopolimer), sebagai pengganti sebagian bahan konvensional (<30%) (bata semen, balok beton, batako, dan dalam jumlah kecil sebagai stabilizer (<10%) (bata tanah, blok tanah). Di sisi lain, BA yang lebih kasar dapat digunakan dalam bentuk agregat dan mengurangi densitas dan konduktivitas termal batu bata/balok. Secara umum, produk bata dan blok ramah lingkungan yang mengandung FA dan BA dapat digunakan untuk penggunaan umum, meskipun pertimbangan lain seperti desain campuran dan metode pembuatan harus diperhitungkan untuk menghasilkan produk bata atau blok berkualitas yang memenuhi semua persyaratan tertinggi dalam standar.

(Indrayanto Dwi Nugroho, 2020) Menyatakan bahwa Paving blok atau bata beton adalah komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya. Paving blok merupakan salah satu bahan konstruksi yang ramah terhadap lingkungan dimana paving blok sangat baik dalam membantu konversi air tanah yang tidak dimiliki oleh perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Dalam Pelaksanaan di lapangan paving blok juga lebih cepat serta mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan serta memiliki harga yang terjangkau. Oleh karena itu paving blok menjadi

alternatif pembangunan di Indonesia yang berwawasan lingkungan. Pada penelitian ini untuk meningkatkan kuat tekan dan penyerapan air, menggunakan bahan campur abu batu sebanyak 30 % terhadap berat pasir. Komposisi paving blok antara lain yaitu semen agregat halus, serta penambahan abu batu. Jumlah benda uji untuk kuat tekan 32 benda uji, 16 benda uji tanpa menggunakan bahan tambah abu batu dengan variasi 500 kg 5 Tumbukan, 500 kg 10 Tumbukan, 600 kg 5 Tumbukan dan 600 kg 10 Tumbukan, dan 16 benda uji dengan variasi sama yang ditambahkan abu batu sebanyak 30% dari berat pasir. Benda uji untuk penyerapan air 32 benda uji dengan variasi yang sama. Benda uji berbentuk kubus 6 cm x 6 cm x 6 cm dan pengujian dilakukan setelah paving berumur 28 hari. Pada hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air paving blok tanpa bahan tambahan abu batu untuk variasi 500 kg 5 tumbukan memiliki nilai kuat tekan sebesar 8,54 MPa, dengan nilai penyerapan air 14,78 %, untuk variasi 500 kg 10 tumbukan nilai kuat tekan sebesar 9,31 MPa, dengan nilai penyerapan air sebesar 11,05 %, untuk variasi 600 kg 5 tumbukan nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 9,03 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 12,00 % dan untuk variasi 600 kg 10 tumbukan nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 10,14 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 10,11 %. Sedangkan hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air paving blok dengan bahan tambah abu batu untuk variasi 500Kg 5 tumbukan memiliki nilai kuat tekan sebesar 9,24 MPa, dengan nilai penyerapan air

15,04 %, untuk variasi 500 kg 10 tumbukan nilai kuat tekan sebesar 10,28 MPa, dengan nilai penyerapan air sebesar 12,41 %, untuk variasi 600Kg 5 tumbukan nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 9,72 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 13,10 % sedangkan untuk variasi 600 kg 10 tumbukan nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 11,04 MPa dengan nilai penyerapan air sebesar 11,03 %.

(Rio Indriyantho dkk, 2022) Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya pemanfaatan limbah batubara di PLTU tanjung Jati B Jebara. Batubara yang digunakan untuk sumber energi akan menghasilkan residu berupa *Fly ash* dan *Bottom Ash*. Di Indonesia khususnya di Jebara banyak ditemukan *Fly ash* dan *Bottom Ash* yang jumlahnya akan meningkat setiap tahun jika tidak ditangani secara serius. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan kajian pemanfaatan limbah batubara khususnya *Fly ash* dan *Bottom Ash*. Dan salah satu cara pemanfaatan limbah tersebut adalah dengan menggunakan material *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen dan agregat dalam campuran pembuatan *paving block*. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian pengaruh *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai substitusi parsial semen dan agregat terhadap pengujian kuat tekan beton dan daya serap air pada *paving block*. Komposisi yang telah ditentukan dengan 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 keadaan BA (*Bottom Ash*)

dengan keadaan konsisten menggunakan perbandingan dengan binder 3 : 1 masing-masing *Bottom Ash* : binder. Metode perbandingan komposisi campuran *paving block* diatur dengan mutu beton k 175 dan k 225 dengan memaksimalkan substitusi *Fly ash* dan *Bottom Ash* pada campuran pembuatan *paving block*. Hasil yang diperoleh setelah pengujian selama 28 hari paving menggunakan polimer lebih tinggi 1% dibandingkan paving blok dengan kandungan polimer 2%. Sedangkan jika dibandingkan dengan substitusi FA ke PC, terjadi penurunan pada setiap penambahan *Fly ash*.

(Basuki dkk, 2019) Menjabarkan bahwa *Paving block* merupakan komposisi dari bahan bangunan yang mempunyai fungsi untuk menutup permukaan tanah, seperti trotoar, pengerasan areal parkir, dan pengerasan jalan kelas ringan (Nofryadi Telaumbanua, 2016). Umumnya bahan dasar pembuat *paving block* berupa campuran antara semen, pasir, dan air. Kandungan yang dimiliki abu gosok mempunyai kesamaan pada kandungan yang dimiliki semen yaitu mempunyai kandungan silika. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kuat tekan *paving block* yang akan di campur dengan abu gosok dengan persentasi 0%,5%,10%, dan 10% dengan perbandingan 1 : 6. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di Politeknik Negeri Medan, dengan penambahan abu gosok didapatkan hasil pengujian *paving block* dengan persentasi tertentu didapatkan hasil kuat tekan yang dilakukan



selama 28 hari adalah 0% sebesar 12,35Mpa, 5% sebesar 11,95Mpa, 10% sebesar 13Mpa, dan 15% sebesar 11,26Mpa.

(Suwanto dkk, 2020) Pesatnya perkembangan perindustrian di bidang transportasi dan tatanan pertamanan kota, turut mempengaruhi industri *paving block*. Salah satu home industri yang berkembang dalam bidang produksi *paving block* adalah UD. Putra Mandiri dan UD Abadi jaya yang bertempat di jalan Prof. Suharso No. 27 Semarang. Usaha *paving block* ini dilakukan secara bersamaan pengelolaannya dengan kegiatan usaha lainnya seperti batako. Tingginya permintaan konsumen terhadap *paving block* tidak diimbangi dengan ketersediaan kualitas yang memadai baik dari segi kekuatan, umur pakai, dan durability paving. Pada usaha ini masih banyak ditemukan beberapa produk yang retak dan pecah, hal ini mungkin disebabkan oleh proses pencetakan yang masih menggunakan proses manual dengan tenaga manusia. Proses pencetakan manual ini menyebabkan ketidak konsistensian dalam pemadatan cetakan *paving block* sehingga seringkali hasil produksi tidak dapat dipasarkan karena terdapat banyak produk yang cacat. Sehingga tujuan dari pengabdian ini adalah untuk melakukan pemeriksaan uji kuat tekan produk *Paving block* yang dihasilkan mitra dengan proses pencetakan manual, serta membandingkan kuat tekan produk tersebut dengan *Paving block* hasil pencetakan dengan proses mekanis.

## **B. Teori dan Aplikasi *Paving block***

(Basuki dkk, 2019) *Paving block* merupakan komposisi dari bahan bangunan yang mempunyai fungsi untuk menutup permukaan tanah, seperti trotoar, pengerasan areal parkir, dan pengerasan jalan kelas ringan (Nofryadi Telaumbanua, 2016). Umumnya bahan dasar pembuat *paving block* berupa campuran antara semen, pasir, dan air.

Berdasarkan SNI-03-0691-1989, Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

(Basuki dkk, 2019) Bata Beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton itu. Konstruksi perkerasan dengan paving merupakan konstruksi ramah lingkungan, karena memiliki kemampuan untuk ditembus air hujan. Sehingga tidak banyak mengganggu konservasi air tanah. Menurut SNI 03-0691-1996. *Paving block* merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. Sebagai bahan penutup dan pengerasan permukaan tanah *paving block* sangat luas penggunaannya untuk berbagai keperluan, biasanya *paving block* digunakan untuk

pengerasan dan memperindah trotoar jalan di kota-kota, halaman, taman dan jalan kompleks perumahan. Adapun sifat fisis dari paving blok adalah sebagai berikut:

**Tabel 1. Tipe-Tipe *Paving block***

Mutu	Kuat tekan (Mpa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks. (%)
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	
A	40	35	0.090	0.103	3
B	20	17.0	0.130	0.149	6
C	15	12.5	0.160	0.184	8
D	10	8.5	0.219	0.251	10

Keterangan:

- *Paving block* mutu A digunakan untuk jalan
  - *Paving block* mutu B digunakan untuk pelataran parkir
  - *Paving block* mutu C digunakan untuk pejalan kaki
  - *Paving block* mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lain
- (Ragil Prasetyo Himawan, 2013) *Paving block* yang di produksi secara manual biasanya termasuk dalam mutu beton kelas D atau C yaitu untuk tujuan pemakaian non struktural, seperti untuk taman dan penggunaan lain yang tidak diperlukan untuk menahan beban berat di atasnya. Mutu *paving block* yang pengerjaannya dengan menggunakan mesin pres dapat di kategorikan dalam mutu beton kelas C sampai A dengan kuat tekan di atas 125 kg/cm<sup>2</sup> bergantung pasa perbandingan campuran bahan yang digunakan.

Adapun keuntungan dari pemakaian *paving block* adalah:

1. Daya pantul sinar matahari cukup rendah.
2. Daya tahan terhadap tekanannya/ beban cukup baik
3. Tidak mudah pecah/lepas.
4. Pemasangannya mudah dikerjakan.
5. Proses pencetakan tidak merusak lingkungan/pencemaran
6. Harga jadi setelah terpasang relative murah karena tidak menggunakan adukan semen. Kecuali pada tepi/akhir dari pasangan.
7. Pemeliharaan sangat mudah, jika terjadi kerusakan.

Daya serap terhadap air hujan cukup baik, karena pemasangan antara satu dengan yang lainnya tanpa menggunakan perekat / adukan semen. **Gambar 1.** memperlihatkan penggunaan *paving block* di lapangan.



**Gambar.1** Aplikasi Penggunaan *Paving block* Di Lapangan

## C. Material Penyusun *Paving block*

### C.1 Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air, dengan menggunakan reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air (Standar BS EN 197-1). Semen *Portland* adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*clinker*) *portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat ( $x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen *portland* bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ( $x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara *irreversible*, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Semen *Portland* dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat volumenya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft<sup>3</sup>. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO<sub>2</sub>) – dari lempung,
3. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).

### **C.1.1 Jenis-Jenis Semen**

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), terdapat beberapa jenis semen yaitu:

#### **a. *Portland Cement***

Adalah jenis yang paling umum dari semen dalam penggunaan umum di seluruh dunia karena merupakan bahan dasar beton, dan plesteran semen.

#### **b. *Super Masonry Cement***

Semen ini lebih tepat digunakan untuk konstruksi perumahan gedung, jalan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225. Dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan genteng

beton, *hollow brick*, *paving block*, tegel dan bahan bangunan lainnya.

c. *Oil Well Cement*

Merupakan semen khusus yang lebih tepat digunakan untuk pembuatan sumur minyak bumi dan gas alam dengan konstruksi sumur minyak bawah permukaan laut dan bumi. Untuk saat ini jenis OWC yang telah diproduksi adalah class G, HSR (*High Sulfat Resistance*) disebut juga sebagai "*BASIC OWC*". Bahan *additive/* tambahan dapat ditambahkan/dicampurkan hingga menghasilkan kombinasi produk OWC untuk pemakaian pada berbagai kedalaman dan temperatur.

d. *Portland Pozzolan Cement*

Adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling *clinker*, *gypsum* dan bahan *pozzolan*. Produk ini lebih tepat digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti: jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi dan fondasi pelat penuh.

e. Semen Putih

Digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.

f. *Portland Composite Cement*

Digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan OPC dengan kuat tekan yang sama. PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan OPC, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/plester yang lebih rapat dan lebih halus.

### **C.1.2 Tipe-Tipe Semen**

Menurut SK-SNI T-15-1990-03 Semen *portland/ Ordinary Portland Cement* (OPC) dibedakan menjadi:

a. *Portland Cement Type I (Ordinary Portland Cement)*

Semen *portland* tipe I merupakan jenis semen yang paling banyak dibutuhkan oleh masyarakat luas dan dapat digunakan untuk seluruh aplikasi yang tidak membutuhkan persyaratan khusus. Contohnya, ketika pemilik rumah atau tukang batu yang sedang mengerjakan proyek atau merenovasi rumah tinggal akan membeli semen di toko bangunan, mereka hanya menyebut semen, tanpa menyebut jenis semen apa yang seharusnya digunakan atau cocok dengan lingkungan pemukiman mereka berada, antara lain: bangunan, perumahan, gedung-gedung bertingkat, jembatan, landasan pacu dan jalan raya.



b. *Portland Cement Type II (Moderate sulfate resistance)*

Semen *portland* tipe II merupakan semen dengan panas hidrasi sedang atau di bawah semen portland tipe I serta tahan terhadap sulfat. Semen ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase. Semen *portland* tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

c. *Portland Cement Type III (High Early Strength Portland Cement)*

Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas. Selain itu juga dapat dipergunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin. Kegunaan pembuatan jalan beton, landasan lapangan udara, bangunan tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

d. *Portland Cement Type IV (Low Heat Of Hydration)*

Tipe semen dengan panas hidrasi rendah. Semen tipe ini digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen

jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang *portland* tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis. Cocok digunakan untuk daerah yang bersuhu panas.

e. *Portland Cement Type V (Sulfat Resistance Cement)*

Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

## **C.2. Abu Batu**

Abu batu adalah limbah hasil dari pemecah batu yang berupa butiran halus yang digunakan untuk kombinasi beton. Karena jumlahnya tidak sedikit abu batu diupayakan pemanfaatannya untuk mengurangi pasir dalam campuran beton.

Abu batu umumnya berwarna abu-abu yang terdiri dari butiran yang kasar. Kelebihan abu batu bila dibandingkan dengan pasir adalah ukuran butirnya yang kecil seperti debu bisa dimanfaatkan sebagai filler dalam campuran pembuatan beton, ukurannya cukup merata di setiap bagian sehingga tidak diperlukan lagi proses

pengayakan. Kelebihan lainnya abu batu memiliki tekstur yang tajam karena abu batu berasal dari proses pemecahan batu sehingga tekstur abu batu memiliki tekstur yang tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat.

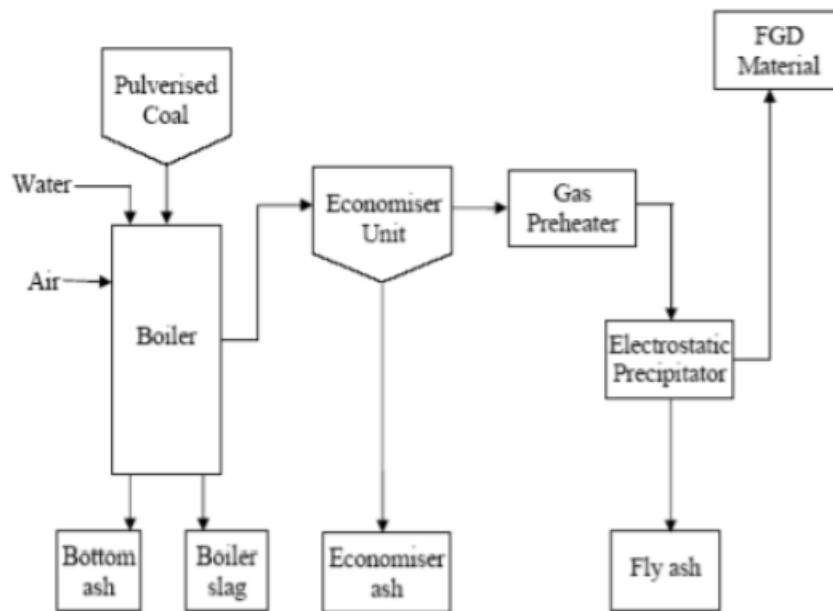
### **C.3 Abu Terbang (*Fly ash*)**

*Fly ash* atau abu terbang merupakan residu pembakaran batu bara yang diperoleh dengan mengendapkan secara elektrostatis atau mekanis debu partikel hasil pembakaran batu bara dari gas buang pada tungku pembakaran. Abu terbang terdiri atas 2 macam yaitu yang pertama mengandung silika (*siliceous*) memiliki karakteristik pozzolan. Jenis abu terbang yang kedua berkapur dalam bentuk alami (*calcareous*), mungkin memiliki karakteristik pozzolan, di samping itu, memiliki sifat hidrolik. Kehilangan massa akibat pembakaran (*lost of ignition*, Lol atau hilang pijar) dengan waktu pembakaran 1 jam harus dalam dari batasan sebagai berikut:

- a) 0% sampai 5,0% massa
- b) 2,0 % sampai 7,0% massa
- c) 4,0% sampai 9,0% dari massa

Batas atas Lol dari abu terbang yang digunakan sebagai kandungan utama untuk produksi semen harus dicantumkan pada kemasan atau catatan pengiriman. Tujuan dari persyaratan untuk Lol adalah untuk membatasi residu karbon yang tidak terbakar

dalam abu terbang. Oleh karena itu cukup untuk menunjukkan, melalui pengukuran langsung dari residu karbon yang tidak terbakar, bahwa jumlah karbon yang tidak terbakar ada dalam batas-batas kategori tersebut di atas.



**Gambar 2.** Diagram Balok Terbentuknya *Fly ash*

(Agus Suprihanto, 2006)

### C.3.1 Abu Terbang (*Fly ash*) Jenis Siliceous

Abu terbang jenis siliceous adalah serbuk halus dari partikel berbentuk bola yang sebagian besar memiliki sifat pozzolanik. Pada dasarnya terdiri dari silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang reaktif. Sisanya mengandung besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan senyawa lainnya. Kandungan kalsium oksida reaktif ( $\text{CaO}$ ) harus kurang dari 10,0% massa, kandungan kalsium oksida bebas, tidak

melebihi 1,0% massa. Abu terbang yang memiliki kandungan kalsium oksida bebas lebih tinggi dari 1,0% massa tetapi kurang dari 2,5% massa juga dapat diterima, asalkan persyaratan pada ekspansi (*soundness*) tidak melebihi 10 mm saat diuji menggunakan campuran 30% massa dari abu terbang jenis siliceous dan 70% massa dari semen CEM sesuai dengan EN 197-1. Kandungan silikon dioksida yang reaktif tidak kurang dari 25,0% massa.

### **C.3.2 Abu Terbang Berkapur (*Calcareous Fly ash*)**

Abu terbang berkapur adalah kapur bubuk halus, yang memiliki sifat hidrolis dan/atau pozzolanik. Pada dasarnya terdiri dari oksida kalsium reaktif ( $\text{CaO}$ ), reaktif silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Sisanya mengandung besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan senyawa lainnya. Proporsi kalsium oksida reaktif tidak kurang dari 10,0% massa. Abu terbang berkapur mengandung kalsium oksida reaktif antara 10,0% hingga 15,0% dari jumlah massa dan harus memuat silikon dioksida reaktif tidak kurang dari 25,0% dari jumlah massa. Abu terbang berkapur yang telah dihaluskan mengandung kalsium oksida reaktif lebih dari 15,0% dari jumlah massa, harus mempunyai kuat tekan minimal 10,0 MPa pada umur 28 hari bila diuji sesuai dengan EN 196-1. Sebelum pengujian, abu terbang harus dihaluskan dan kehalusannya pada ayakan basah dengan saringan 40  $\mu\text{m}$  harus antara 10% dan 30% dari jumlah massa

### C.3.3 Kategori abu terbang (*Fly ash*)

ASTM C618-05 membagi *Fly ash* dalam tiga kelas yaitu kelas N, F dan C seperti pada **Tabel 2**. Minimum kandungan senyawa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah 70% untuk kelas N dan kelas F, sedangkan kelas C antara 50% - 70 %. Sehingga, kandungan CaO pada *Fly ash* kelas N dan F relatif kecil dibandingkan dengan kelas C dimana kandungan CaO lebih besar dari pada 10% (ASTM C618-05, 2005).

**Tabel 2.** Karakteristik Fisik *Fly ash* (ASTM C618-03)

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Fineness:</i>			
Amount retained when wet-sieved on 45 µm (No. 325) sieve,max,% <sup>A</sup>	34	34	34
<i>Strength activity index:<sup>B</sup></i>			
With portland cement, at 7 days min, percent of control	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>
With portland cement, at 28 days min, percent of control	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>
Water requirement, max,percent of control	115	105	105
<i>Soundness:</i>			
Autoclave expansion or contraction, max,%	0.8	0.8	0.8
<i>Uniformity requirements:</i>			
The density and fineness of individual samples shall not vary from the average established by the ten preceding tests, or by all preceding tests if the number is less than ten, by more than :			
Density, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45 µm (No.325,max variation, percentage points from average	5	5	5

**Tabel 3.** Kandungan Kimia *Fly ash* (ASTM C618-03)

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Silicon dioxide</i> (SiO <sub>2</sub> ) plus <i>aluminium oxide</i> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) plus <i>iron oxide</i> (F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), min, %	70	70	50
<i>Sulfur trioxide</i> (SO <sub>3</sub> ), maks, %	4,0	5,0	5,0
Moisuture, maks, %	3,0	3,0	3,0
Loss on ignition (LOI), maks, %	10,0	6,0	6,0

#### C.4 Abu Endapan (*Bottom Ash*)

*Bottom Ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara dimana jumlahnya akan terus meningkat selama industri terus memproduksi. Penanganan limbah ini dilakukan dengan cara menimbunnya di lahan kosong sehingga apabila volume dalam proses pencampurannya mengalami proses pengerasan atau hidrasi dalam kurun waktu tertentu (Achmad Subki Arinata, 2013)

*Bottom Ash* batu bara merupakan bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *Fly ash*, sehingga *Bottom Ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan. Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.

Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. Beberapa sifat fisik dan kimia yang penting dari *Bottom Ash* adalah sebagai berikut: Sifat fisik *Bottom Ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit. weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry Bottom Ash* dapat dilihat pada **Tabel 4.**

**Tabel 4.** Sifat Fisik Khas *Bottom Ash*

Sifat fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
<b>Bentuk</b>	Angular/bersiku	Berbutir kecil/granular
<b>Warna</b>	Hitam	Abu-abu gelap
<b>Tampilan</b>	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
<b>Ukuran (% lolos ayak)</b>	No. 4 (90 – 100%)	1,5 s/d 3/4 in (100%)
	No. 10 (40 – 60%)	No. 4 (50 – 90%)
	No. 40 (10%)	No. 10 (10 – 60%)
	No. 200 (5%)	No. 40 (0 – 10%)
<b>Spesifik gravitasi</b>	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
<b>Spesifik gravitasi</b>	960 – 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 – 1600 kg/m <sup>3</sup>
<b>Penyerapan</b>	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%



Komposisi kimia dari *Bottom Ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton (1973), didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari *Bottom Ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *Bottom Ash*. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite (iron sulfide)* yang besar (Achmad Subki Arinata, 2013).

#### **C.5. Air**

Air merupakan bahan dasar penyusun *Paving Block* yang paling penting dan paling murah. Air berfungsi sebagai bahan pengikat (bahan penghidrasi semen) dan bahan pelumas antara butir - butir agregat supaya mempermudah proses pencampuran agregat dengan binder serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton (*workability*) (Veliyati 2010). Secara umum air yang dapat digunakan dalam campuran adukan *Paving Block* adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan *Paving Block* dengan kekuatan lebih dari 90% dari *Paving Block* yang memakai air suling (ACI 318-83). Berdasarkan SNI 03-2847-2002, air yang dapat digunakan sebagai pencampur *Paving Block* tidak dapat diminum dan tidak boleh digunakan pada adukan *Paving Block* kecuali

pemilihan proporsi campuran *Paving Block* harus didasarkan pada campuran *Paving Block* yang menggunakan air dari sumber yang sama, mempunyai pH antara 4,5 – 7 dan tidak mengandung lumpur.

### **C.5.1 Spesifikasi Air Sebagai Bahan Bangunan**

Air yang dimaksud disini adalah air sebagai bahan yang digunakan untuk pembuatan dan perawatan beton, pemadaman kapur, adukan pasangan dan adukan plesteran. Air berfungsi untuk melakukan reaksi hidrolis dengan semen sehingga dapat membentuk pasta. Jumlah air harus diperhitungkan agar dapat mencukupi kebutuhan untuk melaksanakan reaksi hidrolis dengan semen dan diserap oleh pori-pori agregat. Persyaratan air sebagai bahan bangunan harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Air harus bersih;
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual;
3. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter;
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl) tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO<sub>3</sub>;

5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%;
6. Semua air yang mutunya merugikan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya;
7. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut diatas air tidak boleh mengandung khlorida lebih dari 50 p.p.m.

#### **D. Berat Volume**

Pengujian berat volume beton dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan pengukuran berat dan volume dan dengan air raksa. Hal ini dilakukan dengan tujuan membandingkan hasil pengukuran dari metode – metode tersebut sehingga dapat diketahui metode yang paling akurat dan efisien. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- a. Menimbang sampel beton.
- b. Mengukur diameter dan tinggi sampel beton. 34
- c. Menghitung volume sampel beton.

Adapun perhitungannya dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Keterangan :

$\gamma$  : berat volume ( gr / cm<sup>3</sup> )

$w$  : berat sampel beton ( gram )

$v$  : volume sampel beton ( cm<sup>3</sup> )

Untuk pengujian berat volume beton dengan menggunakan pengukuran berat ini perlu dilakukan pengecekan terhadap dimensi cetakan silinder beton. Ini dilakukan untuk mengetahui apakah dimensi cetakan silinder mengalami perubahan setelah digunakan dalam waktu yang cukup lama yang mungkin terjadi akibat material-material yang menempel pada dinding cetakan. Jika terjadi perubahan dimensi, diameter tidak tepat 15 cm dan tinggi tidak tepat 30 cm, maka volume juga akan sedikit berubah sehingga perhitungan berat volume juga akan sedikit berubah .



**Gambar 5.** Pengujian Berat volume *Paving block*

### E. Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari dan umur 90 hari sesuai dengan SNI 03-4154 , seperti terlihat pada Gambar 7. Balok sampel ditempatkan dalam peralatan balok lentur dan dikenai pembebanan 3 titik dengan rentang bersih 170 mm. Beban diberikan pada sampel *paving block* melalui batang baja sampai sampel rusak. Kekuatan lentur setiap sampel ditentukan menggunakan Persamaan :

$$F. \sigma_F = 1,5 PL/(b^2d)$$

Dimana  $\sigma_F$  adalah kuat lentur (N/mm<sup>2</sup>), P adalah beban runtuh sampel (N), L adalah panjang bentang (mm); dan b dan d adalah lebar dan kedalaman sampel (mm), masing-masing.



**Gambar 4.** Pengujian Kuat Lentur *Paving block*

### G. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kekuatan yang dihasilkan oleh beton pada umur tertentu dimana dari kekuatan beton ini dapat menunjukkan kualitas beton dan strukturnya dan juga untuk mengidentifikasi apakah beton telah dicampur dengan benar dengan menggunakan bahan dengan mutu baik, campuran dengan jumlah yang benar dan rencana pencampuran yang tepat. Kuat tekan beton umumnya diuji dengan mempergunakan persyaratan dari ASTM C39, maksud dari pengujian kuat tekan beton selain untuk mendapatkan kuat tekan beton yang dihasilkan juga untuk mengetahui apakah beton telah dicampur dengan baik.

$$\sigma_c = P/A$$

dimana  $\sigma_c$  adalah kuat tekan ( $N/mm^2$ ), P adalah beban runtuh benda uji (N), dan A adalah luas permukaan benda uji ( $mm^2$ ).



**Gambar 3.** Penhujian Kuat Tekan *Paving block*

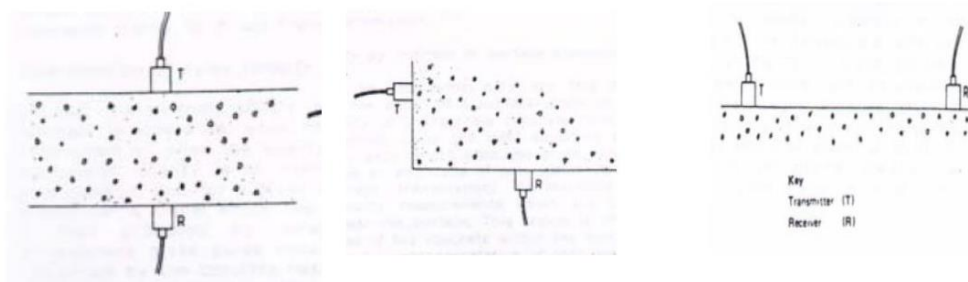
### **H. Ultrasonic Pulse Velocity**

Ada beberapa metode pengujian untuk mengetahui nilai kuat tekan beton, yaitu pengujian-pengujian yang bersifat merusak benda uji (*Destructive test*), dan pengujian-pengujian yang tidak merusak benda uji (*Non Destructive test*). Destruktif tes dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat kuat tekan beton (*compression testing machine*), dari pengujian ini diperoleh data kekuatan beton yang bersifat aktual . Sedangkan untuk pengujian non destruktif tes biasanya dilakukan untuk keperluan evaluasi beton *existing*, pelaksanaannya dilakukan di lapangan (*insitu*). Akan tetapi data hasil non destruktif ini belum dapat mewakili kekuatan suatu struktur, sehingga diperlukan hubungan koreksi dengan beberapa pengujian kuat tekan lain.

*Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* adalah salah satu metode pengujian beton yang bersifat non destruktif dan memiliki fungsi untuk mengukur kecepatan hantaran gelombang (*pulse velocity*) ultrasonik yang melewati suatu struktur. Secara umum, penggunaan *UPV test* pada beton adalah untuk memperkirakan kekuatan beton , mengetahui homogenitas beton, dan mendeteksi kerusakan beton, seperti adanya rongga ataupun retak (*crack*) .

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan kecepatan gelombang dengan kuat tekan paving block pada berbagai variasi umur dan campuran paving block, memperkirakan nilai kuat tekan paving block dengan menguji *UPV* dan membandingkannya terhadap hasil uji tekan paving block . Tes *UPV* dapat di-lakukan dalam tiga cara yaitu: (1) langsung, (2) semi langsung, dan (3) tidak langsung

**Gambar 6.**



**(a) Cara Langsung    (b) Cara Semi Langsung    (c) Cara Tidak Langsung**

**Gambar 6.** Cara Pengukuran *UPV Test*

(Sumber: *International Atomic Energy Agency*, 2002: 101 – 102)

Waktu tempuh  $T$  yang dibutuhkan untuk merambatkan gelombang pada lintasan beton sepanjang  $L$  dapat diketahui, sehingga kecepatan gelombang dapat dicari dengan Persamaan (1) (Lawson, 2011)

$$v = L / T \dots\dots\dots (1)$$

$v$  : Kecepatan gelombang longitudinal (km/s)

$L$  : Panjang lintasan beton yang dilewati (km)

$T$  : Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada lintasan  $L$  (s)



Berikut adalah tabel klasifikasi pada *ultrasonic pulse velocity test* :

**Tabel 5.** Klasifikasi Kualitas Beton Berdasar-kan Kecepatan Gelombang

<b>Kecepatan Gelombang</b>		
<b>Longitudinal</b>		<b>Kualitias Beton</b>
<b>Km/(detik.10<sup>3</sup>)</b>	<b>Ft/detik</b>	
>4,5	>15	Sangat bagus
3,50-4,50	12-15	Bagus
3,00-3,50	10-12	Diragukan
2,00-3,00	7-10	Jelek
<2,00	<7	Sangat Jelek

(Sumber: *International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002* : 110)